

Das Energieverständnis angehender Chemielehrkräfte

**Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Naturwissenschaften**

**vorgelegt beim Fachbereich
Biochemie, Chemie und Pharmazie
der Johann Wolfgang Goethe - Universität**

in Frankfurt am Main

von
Annabel Pauly
aus Trier

Frankfurt am Main 2022

(D30)

vom Fachbereich 14 der
Johann Wolfgang Goethe - Universität als Dissertation angenommen.

Dekan: Prof. Dr. Clemens Glaubitz
1. Gutachter: Prof. Dr. Arnim Lühken
2. Gutachter: Prof. Dr. Andreas Nehring

Datum der Disputation: 05.07.2022

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	11
I. Theoretischer Hintergrund und Stand der Forschung	15
2. Forschungsrahmen	17
2.1. Modell der Didaktischen Rekonstruktion	17
2.1.1. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion in der fachdidaktischen Forschung	17
2.1.2. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion in der Hochschule . .	20
2.2. Vorstellungen im Kontext von Sprache und Kommunikation	22
2.2.1. Fachsprache	23
2.2.2. Chemische Fachsprache im Lehr-Lern-Kontext	24
2.2.3. Metaphern	28
2.3. Die theoretischen Konstrukte <i>concept image</i> und <i>concept definition</i>	29
3. Energie als grundlegendes Konzept	33
3.1. Energiedefinition	33
3.2. Zentrale Aspekte der Energie	34
3.3. Fachdidaktische Konzeptualisierungsansätze von Energie	37
4. Energie im Chemieunterricht	41
4.1. Energiebildung	41
4.2. Energie als Basiskonzept für den Chemieunterricht	43
4.3. Energiebezug im Chemieunterricht	44
5. Energie im Kontext von Sprache und Kommunikation	47
5.1. Energie und Metaphern	48
5.2. Sprachliche Betrachtung: Energie verbrauchen, verlieren und vernichten .	50
6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden	55
6.1. Mentale Repräsentationen von Lernenden zum Begriff Energie	55
6.2. Mentale Repräsentationen von Lehrenden zum Begriff Energie	58
6.3. Vorstellungen von Lernenden und Studierenden zu chemischen Bindungen	60
6.3.1. Bindungsenergie	60
6.3.2. Ionisierungsenergie und atomare Trends im Periodensystem	62

6.4.	Vorstellung von Lernenden und Studierenden zu thermodynamischen Größen	63
6.4.1.	Wärme und Temperatur	63
6.4.2.	Enthalpie und Reaktionsenthalpie	65
6.4.3.	Entropie	66
6.4.4.	Freie Enthalpie und die Freiwilligkeit einer chemischen Reaktion	67
6.5.	Vorstellungen von Lernenden und Studierenden zur Elektrizität und Elektrochemie	68
II. Methodisches Vorgehen		69
7.	Forschungsziel und Forschungsfragen	71
8.	Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden	77
8.1.	Datenerhebung und Durchführung der Untersuchung	77
8.1.1.	Qualitative Interviews	77
8.1.2.	Vorstudie	79
8.1.3.	Pilotstudie	82
8.1.4.	Leitfadenkonstruktion Hauptstudie	82
8.1.5.	Stichprobe Hauptstudie	85
8.1.6.	Differenzierungsmerkmale der Stichprobe	87
8.1.7.	Durchführung Hauptstudie	88
8.2.	Datenauswertung	89
8.2.1.	Aufbereitung der Daten	89
8.2.2.	Qualitative Inhaltsanalyse	90
8.2.3.	Gütekriterien und Maßnahmen zur Qualitätssicherung	92
III. Ergebnisse		95
9.	Mentale Repräsentationen von Energie	97
9.1.	Alltagsassoziationen zur Energie	98
9.2.	Energieexplikation	100
9.3.	Analyse anhand der Differenzierungsmerkmale	103
9.3.1.	Differenzierung nach dem Zweitfach der Probanden	104
9.3.2.	Differenzierung nach dem Fachsemester der Probanden	105
9.3.3.	Differenzierung nach dem Alter der Probanden	106
9.4.	Selbstreflexion: Herausforderungen des Energiebegriffs	107
10.	Energie im (Chemie-) Unterricht	109
10.1.	Energie in den verschiedenen Unterrichtsfächern	110
10.2.	Energie im Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II	112
10.3.	Mindestkenntnisse zur Energie zum Abschluss der schulischen Ausbildung	114

11. Chemische Bindungen	117
11.1. Bindungsenergie	118
11.2. Gitterenergie	120
11.3. Ionisierungsenergie	121
11.4. Elektronenaffinität	122
12. Thermodynamik	125
12.1. Temperatur und Wärme	127
12.2. Wärmekapazität	132
12.3. Enthalpie	133
12.4. Entropie	135
12.5. Freie Enthalpie	137
13. Chemische Reaktionen	141
13.1. Energiediagramme	142
13.2. Exergone und endergone Reaktionen	146
13.3. Die Aktivierungsenergie	149
13.4. Der Übergangszustand	150
14. Energie in Natur, Technik und Gesellschaft	151
14.1. Chemische Energie	153
14.2. Elektrischer Strom	154
14.3. Energiewirtschaft	161
14.4. Energie verbrauchen, verlieren und vernichten	163
14.4.1. Energie verbrauchen	164
14.4.2. Energie verlieren	165
14.4.3. Energie vernichten	165
14.5. Energie verbrauchen, verlieren und vernichten im Kontext System und Umgebung	166
14.6. Energie erzeugen	168
15. Alternative Konzepte zur Energie in den Fachkontexten	171
15.1. Alternative Konzepte zu chemischen Bindungen	172
15.2. Alternative Konzepte der Thermodynamik	175
15.2.1. Temperatur und Wärme	176
15.2.2. Enthalpie	177
15.2.3. Entropie und freie Enthalpie	178
15.3. Alternative Konzepte zu chemischen Reaktionen	179
15.4. Zusammenhänge der alternativen Konzepte	182
15.4.1. Analyse anhand der Differenzierungsmerkmale	182
15.4.2. Abhängigkeit der vorhandenen alternativen Konzepten	184

IV. Schlussbetrachtungen	187
16. Zusammenführung der Ergebnisse	189
Forschungsfrage 1:	189
Forschungsfrage 2:	190
Forschungsfrage 3:	191
Forschungsfrage 4:	193
Forschungsfrage 5:	193
Forschungsfrage 6:	194
17. Interpretation der Ergebnisse	197
17.1. Mentale Repräsentationen von Energie	197
17.1.1. Alltagsassoziationen	198
17.1.2. Energieexplikation und zentrale Aspekte der Energie	199
17.1.3. Vielfalt der Assoziationen und Erklärungsansätze	201
17.1.4. Struktur der mentalen Repräsentationen von Energie	201
17.2. Energie in verschiedenen Fachbereichen und -kontexten	202
17.2.1. Energie im naturwissenschaftlichen Unterricht	202
17.2.2. Energie und chemische Bindungen	203
17.2.3. Energie in der Thermodynamik	207
17.2.4. Energie und chemische Reaktionen	211
17.2.5. Energie in Natur, Technik und Gesellschaft	217
17.3. Sprache in Bezug auf das Energieverständnis	220
18. Diskussion der Ergebnisse	225
19. Implikationen für die Lehrkräfteausbildung	229
20. Zusammenfassung und Ausblick	233
20.1. Zusammenfassung	233
20.2. Fazit	236
20.3. Ausblick	237
V. Anhang	239
A. Interviewleitfaden	241
B. Zur Beschreibung der Stichprobe	245
B.1. Verschiedene Universitätsstandorte	245
B.2. Kontingenztabellen zu den Differenzierungsmerkmalen	246
C. Kontingenztabellen zur Beschreibung der mentalen Repräsentationen	247
C.1. Zweitfach	247
C.2. Fachsemester	249

C.3. Alter	250
D. Kodierleitfäden Energiewirtschaft	253
D.1. Hauptkategorien fossile Energie	253
D.2. Hauptkategorien regenerative Energie	255
D.3. Hauptkategorien Kernenergie	257
E. Kontingenztabellen zur Beschreibung der alternativen Konzepte	259
E.1. Zweitfach	259
E.2. Fachsemester	261
E.3. Alter	263
F. Kontingenztabellen zum Zusammenhang alternativer Konzepte	267

Abkürzungsverzeichnis

ADP	Adenosindiphosphat
ATP	Adenosintriphosphat
BE	Bindungsenergie
EA	Elektronenaffinität
EBS	Energiebildungsstudie
GE	Gitterenergie
IE	Ionisierungsenergie
MDR	Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Zusammenfassung

Damit in der Schule die Vermittlung eines adäquaten Energieverständnisses gelingen kann, benötigt es eine Lehrkräfteausbildung, die dessen Herausforderungen in den Blick nimmt und die angehenden (Chemie-) Lehrerinnen und Lehrer aus fachwissenschaftlicher und didaktischer Perspektive vorbereitet. Denn in die Unterrichtsvorbereitung fließen neben bildungspolitischen und curricularen Vorgaben auch die Vorstellungen und Überzeugungen der Lehrkräfte mit ein. Zu den Herausforderungen, mit denen Lernende wie Lehrende konfrontiert sind, zählen die verschiedenen mentalen Repräsentationen zum Wort Energie aus Alltag und Naturwissenschaft, die zahlreichen chemischen Fachkontexte, in denen Energie bzw. Energiephänomene eine Rolle spielen, die unterschiedlichen Wissensnetze, die mit dem Begriff in den verschiedenen Naturwissenschaften verknüpft sind und der Einfluss der Fach- bzw. Alltagssprache.

Die (angehenden) Lehrkräfte fühlen sich auf diese Aufgabe oftmals fachlich nicht ausreichend vorbereitet. Um die Lehrkräfteausbildung in ihrem ersten Ausbildungsabschnitt auf die genannten Herausforderungen anzupassen und Lehrformate zu erweitern, benötigt es umfangreiche Kenntnisse über die mentalen Repräsentationen der Studierenden zur Energie sowie die damit verbundenen alternativen Konzepte zu schulrelevanten und lehrplanorientierten Themenschwerpunkten und die sprachlichen Besonderheiten. Die Vielschichtigkeit des Begriffs Energie erfordert eine ganzheitliche Betrachtung aller Aspekte, die es so bislang nicht gibt.

Aus diesem Grund ist es Ziel dieser Studie, die mentalen Repräsentationen der Studierenden, wie auch deren alternative Konzepte zu ausgewählten energiebezogenen Fachbegriffen aus den Bereichen chemische Bindungen, Thermodynamik und chemische Reaktionen zu erheben, in einen gemeinsamen fachlichen und sprachlichen Kontext zu setzen und daraus Rückschlüsse auf das Energieverständnis zu ziehen.

Im Sinne des Modells der didaktischen Rekonstruktion wird eine fachliche Klärung zum Untersuchungsgegenstand Energie durchgeführt. Für die Erhebung der empirischen Daten findet ein Rückgriff auf halbstandardisierte Leitfadeninterviews statt. Zielgruppe sind angehende Chemielehrkräfte, die mindestens im 5. Fachsemester Chemie für das Lehramt an Gymnasien studierten. Die Auswertung der Interviews erfolgt unter Rückgriff auf die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING (2014) und wird mit quantifizierenden Elementen trianguliert.

Die Studie zeigt die Erklärungsvielfalt des Begriffs Energie auf, denen sich die Studierenden bedienen. Dabei werden vor allem Beispiele einzelner Energiephänomene oder Energieformen herangezogen. In den verschiedenen Fachkontexten konnten diverse alternative Konzepte detektiert werden. Darüber hinaus konnten übergreifende Herausforderungen detektiert werden. Erkennen die Studierenden Widersprüche in ihrem Ener-

Inhaltsverzeichnis

gieverständnis, wird Energie als abstrakt und schwer fassbar beschrieben. Zudem wird eine anthropozentrische Sicht eingenommen. Die angehenden Lehrkräfte neigen zu einer starken Kompartimentalisierung und begründen Wissenslücken mit der Zugehörigkeit zu anderen Fachwissenschaften. Eine weitere wichtige Erkenntnis aus der Studie ist, dass in den Fachwissenschaftlichen Veranstaltung die qualitativen Diskussionen angeregt werden müssen. Die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer bewegen sich in einem Spannungsverhältnis zwischen Fachwissenschaft und Didaktik und sind sich dessen sehr deutlich bewusst, indem sie bei Begriffsdefinitionen und Erklärungen die Anschaulichkeit der Exaktheit vorziehen. Es besteht die Notwendigkeit, Fachbegriffe in einem größeren Zusammenhang zu erläutern und die Studierenden zur Kommunikation darüber anzuregen.

1. Einleitung

Motivation und Hintergrund Der Begriff Energie wird in den Naturwissenschaften, in politischen und gesellschaftlichen Debatten, im Kontext von Ökonomie und Ökologie sowie im alltäglichen Leben häufig verwendet. Im Fokus der medialen Berichterstattung stehen beispielsweise die Nutzung von fossilen bzw. alternativen, regenerativen Energieeressourcen sowie die Herbeiführung einer Energiewende. Erkenntnisse und Innovationen in diesen Bereichen basieren auf naturwissenschaftlichen Prinzipien. Immer mehr junge Menschen setzen sich für diese Themen ein. Die Förderung deren Handlungs- und Urteilsfertigkeiten bis hin zur Partizipation verlangt auch fachwissenschaftliche Kenntnisse und Energieverständnis. Schulen und insbesondere die naturwissenschaftlichen Fächer stehen dabei mit in der Pflicht. Im Lehrplan für den Chemieunterricht der Sekundarstufe II in Rheinland-Pfalz steht beispielsweise:

„Damit erwächst dem Chemieunterricht in der gymnasialen Oberstufe die Aufgabe die Schülerinnen und Schüler zu befähigen, ihre natürliche und technische Umwelt in einer naturwissenschaftlichen Perspektive zu erschließen.“
(MINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT UND WEITERBILDUNG, 1998, S. 7).

Die Umsetzung dieser Aufgabe liegt vor allem bei den jeweiligen Lehrkräften. Damit die Vermittlung eines adäquaten Energieverständnisses gelingen kann, benötigt es eine Lehrkräfteausbildung, die dessen Herausforderungen in den Blick nimmt und die angehenden (Chemie-) Lehrerinnen und Lehrer aus fachwissenschaftlicher und didaktischer Perspektive vorbereitet. Auch eine Sensibilisierung im Hinblick auf das eigene Energieverständnis ist wichtig. Denn in die Unterrichtsvorbereitungen fließen neben den bildungspolitischen und (schul-) curricularen Vorgaben sowie didaktischen und pädagogischen Überlegungen auch die Vorstellungen und Überzeugungen der Lehrkräfte mit ein (vgl. bspw. PHILIPP, 2007).

Im Hinblick auf das eigene Energieverständnis aber auch dessen Vermittlung sind Lehrende wie Lernende mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert:

- Mentale Repräsentationen von Energie
Dem Wort Energie werden in den Naturwissenschaften bzw. im Alltag verschiedene Bedeutungen zugeschrieben. Diese können allgemein und fachkontextunabhängig sein. Einige Bedeutungen sind nicht mit einem adäquaten naturwissenschaftlichen Energiekonzept zu vereinen.
- Energie in den verschiedenen Fachkontexten
In der Naturwissenschaft Chemie finden sich verschiedene Fachkontexte, in denen

1. Einleitung

Energie bzw. Energiephänomene eine Rolle spielen. Diese spielen sich zum Teil auf makroskopischer und zum Teil auf submikroskopischer Ebene ab. Die Verbindung dieser verschiedenen Teilbereiche stellt eine Herausforderung dar.

- Energie als fächerübergreifender (Unterrichts-) Gegenstand
Energiephänomene und -prozesse werden in den unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Fächern aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet und mit anderen Wissensnetzen verknüpft. Der Wechsel zwischen den Fachdisziplinen erweist sich dadurch als herausfordernd.
- Verschränkung von Sprache und Fachwissen
Alltagssprachliche Ausdrücke wie *Energie verbrauchen* bzw. *Energie sparen* vermitteln, dass Energie vernichtet werden kann. Diese Begrifflichkeiten sind jedoch mit der (chemischen) Fachsprache bzw. dem naturwissenschaftlichen Konzept der Energieerhaltung nicht kompatibel. Neben fachwissenschaftlich konsistenten Vorstellungen sind auch fachsprachliche Kompetenzen notwendig, um am gesellschaftlichen Diskurs über naturwissenschaftliche Themen teilzunehmen (NITZ et al., 2012).

Forschungsziel und Forschungsfragen Die im Rahmen der Energiebildungsstudie durchgeführte bundesweite Lehrkräftebefragung (EULER, 2013a) zeigte, dass Lehrerinnen und Lehrer selbst vor fachwissenschaftlichen Herausforderungen in Bezug auf die Energiebildung stehen und sich eine größere Unterstützung in diesem Bereich wünschen. KAMINSKI et al. (2010) formulierten in den Thesen zur Didaktik der Energiebildung, dass eine defizitäre Ausbildungssituation der Lehrkräfte in Bezug zu energiewirtschaftlichen Fragestellungen vorliegt. Für einzelne chemische Fachkontexte finden sich Studien, die mit (angehenden) Chemielehrkräften durchgeführt wurden (bspw. BARKER und MILLAR (2000), STACY et al. (2014) zur Bindungsenergie, TAN et al. (2008) zur Ionisierungsenergie oder NILSSON und NIEDDERER (2014) zur Enthalpie und Enthalpieänderung). Es zeigte sich, dass oftmals eine Diskrepanz zwischen den Vorstellungen der Befragten und den fachwissenschaftlich anerkannten Zusammenhängen besteht.

An diesem Punkt ist die erste Phase der Lehrkräftebildung an den Hochschulen gefragt, der die Vermittlung der fachwissenschaftlichen Grundlagen und Kompetenzen zugeordnet ist (KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2008). Die bestehenden Defizite im Energieverständnis angehender Lehrkräfte müssen in den Lehrveranstaltungen aufgegriffen werden. Hier liegt das Desiderat für die folgende Studie: Um die Lehrkräfteausbildung in ihrem ersten Ausbildungsabschnitt auf die genannten Herausforderungen anzupassen und Lehrformate zu erweitern, benötigt es umfangreicher Kenntnisse über die mentalen Repräsentationen der Studierenden zur Energie sowie die damit verbundenen alternativen Konzepte zu schulrelevanten und lehrplanorientierten Themenschwerpunkten. Die Vielschichtigkeit des Begriffs Energie erfordert eine ganzheitliche Betrachtung, die mentale Repräsentationen, fachwissenschaftliche Aspekte und sprachliche Besonderheiten gemeinsam in den Blick nimmt und miteinander verbindet. Nur so können die angehenden Lehrerinnen und Lehrer auf die Schulpraxis vorbereitet werden, in der fachwissenschaftliche und didaktische Entscheidungen mit den eigenen Energieverständnis verknüpft und

an die sprachliche Vermittlung gebunden sind.

Die bislang vorliegenden Studien greifen ausschließlich einzelne Teilaspekte heraus. Der eigentlich benötigte umfassende Überblick kann nur studienübergreifend abgeleitet werden. Die Zusammenführung der Ergebnisse wäre jedoch aufgrund von großen Unterschieden im Erhebungszeitpunkt, Zielgruppen (Lernenden, Lehrende, Studierende), verschiedenen Fachwissenschaften (vor allem Physik, Biologie und Chemie), unterschiedlichen Nationalitäten und Bildungssystemen sowie Erhebungs- und Auswertungsmethoden nahezu unmöglich.

Vor der Erarbeitung konkreter Maßnahmen wird demnach eine Grundlage benötigt, die das Energieverständnis angehender Chemielehrkräfte aus verschiedenen Perspektiven qualitativ beleuchtet. Daraus ergeben sich für die vorliegende Arbeit angelehnt an die oben genannten Herausforderungen folgende Forschungsfragen:

- Welche Assoziationen und Erklärungsansätze weisen die angehenden Chemielehrkräfte zum Begriff Energie auf?
- Welche zentralen Aspekte nutzen die angehenden Chemielehrkräfte, um energiebezogene Phänomene und Prozesse zu erläutern?
- Welche alternativen Konzepte zum schulrelevanten, lehrplanorientierten Fachwissen lassen sich bei den angehenden Chemielehrkräften finden?
- Wie verorten die angehenden Chemielehrkräfte Energie im Schulunterricht und insbesondere als ein fächerübergreifender Unterrichtsgegenstand?
- Welchen sprachlichen Besonderheiten bedienen sich die angehenden Chemielehrkräfte bei der Versprachlichung energiebezogener Themen? Welchen Einfluss haben diese auf das Energieverständnis der angehenden Chemielehrkräfte?

Mit den Erkenntnissen aus diesen Forschungsfragen können Maßnahmen für die Lehrkräfteausbildung abgeleitet werden, mit denen das Energieverständnis der angehenden Lehrerinnen und Lehrer gestärkt wird.

Forschungsrahmen Der Forschungsrahmen ist an das Modell der didaktischen Rekonstruktion in der Hochschule (LOHMANN, 2006) angelehnt. Der Fokus liegt dabei auf dem fachwissenschaftlichen Gegenstand Energie. Im Rahmen der fachlichen Klärung werden schulrelevante und lehrplanorientierte Fachkontexte herausgearbeitet. Im empirischen Teil wird auf halbstandardisierte Leitfadeninterviews zurückgegriffen, um neben der fachlichen Komponente auch die sprachliche Komponente des Energieverständnisses in den Blick zu nehmen. Die Auswertung erfolgt unter Rückgriff auf die qualitative Inhaltsanalyse nach MAYRING (2014) und enthält quantifizierende Elemente. Mit Hilfe der theoretischen Konstrukte *concept image* und *concept definition* (nach TALL & VINNER, 1981) wird das Verständnis der Studierenden beschrieben und interpretiert. Durch die Betrachtung der Zusammenhänge von allgemeinen mentalen Repräsentationen, den alternativen Konzepten sowie den verschiedenen Fachkontexten unter Berücksichtigung

1. Einleitung

der sprachlichen Besonderheiten wird auf das Energieverständnis der Lehramtsstudierenden geschlossen.

Struktur der Forschungsarbeit Im ersten Teil der vorliegenden Arbeit wird der theoretische Hintergrund aufgearbeitet. In den ersten beiden Kapiteln wird Energie als grundlegendes Konzept der Naturwissenschaften (Energiedefinition, zentrale Aspekte der Energie, fachdidaktische Konzeptualisierungsansätze) sowie im Hinblick auf die relevanten Fachkontexte für den Chemieunterricht beleuchtet. Grundlage dazu ist der Einbezug der Basiskonzepte und Bildungspläne für den Chemieunterricht. Die daraus abgeleiteten schulrelevanten, lehrplanorientierten Themenbereiche werden aus fachlicher Sicht betrachtet und gewichtet sowie relevante Fachbegriffe und Zusammenhänge knapp dargestellt. Da Fach- und Alltagssprache ebenfalls einen Einfluss bei der Analyse von Vorstellungen und Konzepten haben können, werden sprachliche Merkmale auf der Basis theoretischer Betrachtungen zur Alltags- und chemischer Fachsprache sowie der Bedeutung von Metaphern untersucht. Im Anschluss an diese fachlichen Darstellungen wird in den folgenden zwei Kapiteln ein Modell für die Beschreibung des (Energie-) Verständnisses theoretisch abgeleitet. Abschließend wird ein Blick auf die vorhandene Forschungsliteratur zu Energievorstellungen von Lernenden und Lehrenden geworfen.

Im zweiten Teil der Arbeit wird das methodische Vorgehen in der Datenerhebung und -auswertung erläutert und im Rückbezug auf den theoretischen Hintergrund begründet. Die Stichprobe wird vorgestellt und anhand verschiedener Differenzierungsmerkmale (Fachsemester, Zweifach, Alter) gegliedert. Anschließend werden der Forschungsgegenstand und die Forschungsfragen detailliert dargelegt.

Der dritte Teil der Arbeit umfasst die Darstellung der Ergebnisse. Dabei werden zunächst die vorgefundenen mentalen Repräsentationen des Wortes Energie aufgeführt und der Zusammenhang zu den Differenzierungsmerkmalen untersucht. In den folgenden Kapiteln wird detailliert auf die einzelnen ausgearbeiteten und erhobenen energiebezogenen Fachkontexte eingegangen. Den Abschluss des dritten Teilbereichs bildet die Zusammenfassung und Auflistung der im Rahmen dieser Studie vorgefundenen alternativen Konzepte der angehenden Chemielehrkräfte zur Energie. Es wird der Zusammenhang zwischen den dominanten alternativen Konzepten und den Differenzierungsmerkmalen analysiert.

Im vierten und letzten Teil werden im Rahmen der Schlussbetrachtung die Ergebnisse zusammengeführt und im Hinblick auf die Forschungsfragen interpretiert. Die sprachlichen Merkmale der Studie werden aufgegriffen und in einen Kontext zu den fachlichen Ergebnissen gesetzt. Aus den Interpretationen werden dann Implikationen für die Lehramtsausbildung abgeleitet. Abschließend werden die Entscheidungen in der Forschungsarbeit diskutiert, ein Fazit gezogen und ein Ausblick für weitere Forschungsmöglichkeiten gegeben.

Teil I.

**Theoretischer Hintergrund und
Stand der Forschung**

2. Forschungsrahmen

2.1. Modell der Didaktischen Rekonstruktion

Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion (MDR) (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997) ist ein Paradigma der fachdidaktischen Forschung und Unterrichtsentwicklung, bei dem Schülervorstellungen und wissenschaftliche Vorstellungen miteinander in Beziehung gesetzt werden (REINFRIED et al., 2009). Das Modell wurde zunächst zur Didaktischen Rekonstruktion von Unterrichtsgegenständen entwickelt. Die Fachdidaktik wird als eine Metawissenschaft verstanden, die eine kritische Betrachtung fachlicher Inhalte ermöglicht (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997). Das Modell wurde für die Lehrkräfteausbildung von LOHMANN (2006) in Bezug auf Lehramtsstudierenden und von van DIJK und KATTMANN (2007) für aktive Lehrkräfte weiterentwickelt. Die verschiedenen Modelle werden im Folgenden näher beleuchtet.

2.1.1. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion in der fachdidaktischen Forschung

Das MDR stellt einen theoretischen Rahmen für die fachdidaktische Forschung und zur Konstruktion geeigneter Lernumgebungen dar. Bei den Schülerinnen und Schülern vorhandene Vorstellungen werden als persönliche, teils vorunterrichtliche Konstrukte aufgefasst, die für das Individuum eine Kohärenz und Stimmigkeit besitzen. Im Rahmen einer fachlichen Klärung werden die wissenschaftlich bedeutsamen Aspekte zu einem Thema beleuchtet und systematisch in Beziehung zu den entsprechenden Schülervorstellungen gesetzt. Diese individuellen Vorstellungen werden vordergründig nicht als Hindernisse für das fachliche Lernen angesehen. Sie werden als Lernvoraussetzungen und potenzielle Lernhilfen aufgefasst (BAALMANN et al., 2005). Nicht das Ersetzen dieser Vorstellungen vielmehr deren Modifizierung, Bereicherung und Differenzierung steht im Vordergrund des Lernprozesses (KATTMANN, 2005).

Ziel dieses Vorgehens ist eine themenspezifische, lernerbezogene didaktische Strukturierung, wobei die persönlichen und die fachlich geklärten wissenschaftlichen Vorstellungen bei der Konstruktion von Unterricht gleichwertig behandelt werden (KATTMANN, 2005). Für die Rekonstruktion eines Unterrichtsgegenstandes sind dabei drei wesentliche Aspekte von Bedeutung, die eng miteinander verbunden sind und in wechselseitiger Beziehung zueinander stehen (vgl. KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997):

- Fachliche Klärung

2. Forschungsrahmen

- Empirische Erhebung von Schülervorstellungen
- Didaktische Strukturierung

Diese drei Module werden im MDR als fachdidaktisches Triplet bezeichnet (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997).

Fachliche Klärung Unter der fachlichen Klärung ist die fachdidaktische Untersuchung der wissenschaftlichen Vorstellungen zum Unterrichtsgegenstand zu verstehen. Durch die eingennommene fachdidaktische Blickweise wird eine Metaperspektive generiert.

„Die kritische und methodisch kontrollierte systematische Untersuchung wissenschaftlicher Theorien, Methoden und Termini unter Vermittlungsabsicht - also einem metafachlichen Auswahlkriterium - wird fachliche Klärung genannt.“ (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997, S. 11)

Bemerkenswert ist, dass die fachlichen Vorstellungen nicht als allgemeingültig akzeptiert werden, sondern dass eine kritische Betrachtung des Faches, seiner Inhalte und seiner Sprache aus der Sicht der Vermittlung erfolgt. Es wird nach den wissenschaftlichen Aussagen und deren Grenzen zum Themenbereich, nach der Genese, Funktion und Bedeutung von fachlichen Begriffen und nach Termini, die durch ihren Wortsinn lernförderliche oder lernhinderliche Vorstellungen generieren, gefragt (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997). Ebenso steht im Vordergrund, welche Korrespondenzen von wissenschaftlichen und individualen Vorstellungen für das Lernen genutzt werden können (REINFRIED et al., 2009).

Empirische Erhebung von Schülervorstellungen Bevor die empirische Erhebung von Vorstellungen von Lernenden in den Blick genommen werden kann, muss ein Blick auf die Bedeutungszuschreibung zum Wort *Vorstellungen* im Rahmen des MDR geworfen werden. Vorstellungen werden als subjektive gedankliche Prozesse beschrieben, die das Lernen der Individuen beeinflussen und sich in verschiedene Komplexitätsebenen gliedern lassen (vgl. GROPENGIESSER, 1997):

- **Begriff**
Ein Begriff wird immer als ein gedankliches Konstrukt aufgefasst. Dabei wird ein Wort (Benennung, Symbol) mit einem Referenten (Gegenstand, Ereignis) verknüpft. Unter einem Wort werden sprachliche Zeichen verstanden, mit denen einem Begriff Ausdruck verliehen werden kann.
- **Konzept**
Unter einem Konzept wird eine Verknüpfung von verschiedenen Begriffen verstanden. Konzepte beziehen sich immer auf Sachverhalte (referentieller Bereich) und werden durch Behauptungen, Sätze oder Aussagen expliziert (sprachlicher Bereich).

- **Denkfigur**

Denkfiguren sind komplexe Vorstellungen, die aus verschiedenen Konzepten bestehen. Sie beziehen sich auf einen Wirklichkeitsaspekt (referentieller Bereich) und werden durch Grundsätze ausgedrückt (sprachlicher Bereich).

- **Theorien**

Theorien beschreiben einen Wirklichkeitsbereich (referentieller Bereich), der mittels Aussagegefügen und Darlegungen ausgedrückt wird (sprachlicher Bereich). Theorien bestehen dabei aus verschiedenen Konzepten und Denkfiguren.

Die Komplexität der Vorstellungen steigt vom Begriff bis hin zur Theorie stetig an. Bei der Erhebung von Schülervorstellungen steht aber die Frage im Mittelpunkt, welche Begriffe, Konzepte, Denkfiguren und Theorien bei den Lernenden zu einem (Unterrichts-) Gegenstand vorhanden sind. Für die empirische Forschung hat sich gezeigt, dass eine mittlere Komplexitätsebene, also die Fokussierung auf Konzepte oder Denkfiguren, für den Vergleich der persönlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen ideal ist.

„Bedingung für das Herstellen von Bezügen zwischen verallgemeinerten Vorstellungen von Schülern und Wissenschaftlern ist deren Vergleichbarkeit. Für den Vergleich werden deshalb persönliche und wissenschaftliche Theorien auf den jeweils gleichen Komplexitätsebenen strukturiert, nämlich auf den Ebenen der Konzepte und Denkfiguren (GROPENGIESSER, 1997, S.74).

Unter dieser Voraussetzung können Eigenheiten, Gemeinsamkeiten, Verschiedenheit und Begrenztheit beleuchtet werden (GROPENGIESSER, 1997a zitiert nach KEIMES & REIXING, 2018). Bei der empirischen Erhebung von Schülervorstellungen steht nicht nur das Erfassen von Wissensbeständen im Sinne fachwissenschaftlicher Kenntnisse im Vordergrund. Es wird vielmehr ein Blick auf die kognitiven Konstrukte der Lernenden im Sinne von Konzepten und Denkfiguren geworfen, die vor ihrem lebensweltlichen oder fachorientierten Kontexten zu verstehen sind. Zentrale Fachwörter und die ihnen zugewiesenen Bedeutungen werden betrachtet (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997). Ebenfalls stehen die verwendeten Metaphern und Analogien im Vordergrund (REINFRIED et al., 2009). Ziel ist es, Aussagen über deren Struktur und Qualität zu treffen.

Didaktische Strukturierung Bei der didaktischen Strukturierung werden die Ergebnisse der fachlichen Klärung, also der Inhaltsanalyse der hinzugezogenen Datenquellen und der empirischen Erhebung der Schülervorstellungen, systematisch zueinander in Bezug gesetzt. Der Vergleich der identifizierten Konzepte und Denkfiguren der Lernenden und der Fachwissenschaft legt die Basis für die Konstruktion geeigneter Unterrichtseinheiten. Dabei werden die Charakteristika, die lernförderlichen Korrespondenzen zwischen den individualen und wissenschaftlichen Vorstellungen sowie die zu erwartenden Lernschwierigkeiten in den Blick genommen (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997). Typische Fragen der didaktischen Strukturierung richten sich an die unterrichtlichen

2. Forschungsrahmen

Möglichkeiten sowie den Einbezug der Schülerperspektiven (KATTMANN, DUIT, GRO-PENGISSER et al., 1997). Ebenfalls sind als Konsequenzen aus der fachlichen Klärung und der empirischen Erhebung von Schülervorstellungen die Vieldeutigkeit von Fachsprache, das Verhältnis zur Umgangssprache sowie die relevanten Metaphern für die didaktische Strukturierung zu beachten (REINFRIED et al., 2009).

2.1.2. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion in der Hochschule

Das MDR kann auch auf die Hochschuldidaktik übertragen und dort mit Modifikationen angewendet werden.

„Da zwischen dem Lernen in der Schule und Lernen an der Universität kein qualitativer Unterschied besteht, liegt es nahe, Erkenntnisse und Methoden sowie Lehr- und Lernstrategien aus dem schulischen auf den Hochschulbereich zu übertragen, insbesondere in die Lehrerbildung.“ (LOHMANN, 2006)

Man macht sich zunutze, dass das Lernen im schulischen Bereich ähnlich dem Lernen der angehenden Lehrkräfte in der Hochschule ist. LOHMANN (2006) bezieht in seinem Hochschuldidaktischen Modell neben den kognitiven Wissens-elementen, wie dem fachlichen Wissen und den Lehr- und Lernvorstellungen, ebenfalls die subjektiven Theorien der Studierenden zur wissenschaftlichen Literatur, persönliche Erfahrungen sowie Einstellungen und Emotionen mit ein. Im Hochschuldidaktischen Modell (vgl. Abbildung 2.1) findet eine Vermittlung zwischen der Fachwissenschaft, der Fachdidaktik, der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler sowie den Vorstellungen der angehenden Lehrkräfte statt. Die von LOHMANN (2006) beschriebene *fachdidaktische Klärung* von fachlichen Lehr- und Lernprozessen beruht vor allem auf der kritischen Betrachtung fachdidaktischer Aussagen, Unterrichtskonzepte und Leitlinien. Ebenfalls können die Ergebnisse einer vorangegangenen didaktischen Strukturierung im MDR Gegenstand der fachdidaktischen Klärung werden. Die *Erfassung der Lernerperspektive* richtet sich an den Vorstellungen der Studierenden zu einem Unterrichtsthema sowie dessen Vermittlung aus. Aus diesen beiden Schritten wird die *hochschuldidaktische Strukturierung* vorgenommen, mit deren Hilfe Leitlinien, Unterrichtsgänge und Vorlesungen durch den systematischen Abgleich von fachdidaktischen, wissenschaftlichen Vorstellungen und den Vorstellungen der angehenden Lehrkräfte konstruiert werden können.

Das ERTE-Modell nach van Dijk und Kattmann (2007) van DIJK und KATTMANN (2007) haben mit dem ERTE-Modell (*Model of Educational Reconstruction for Teacher Education*) ebenfalls das MDR weiterentwickelt und für die Lehrkräftebildung adaptiert. Dabei liegt der Fokus anders als bei LOHMANN (2006) auf der empirischen Untersuchung des Pedagogical Content Knowledge (PCK) von naturwissenschaftlichen Lehrkräften. Das aus den Studien verallgemeinerte fachdidaktische Wissen der Lehrerinnen und Lehrer soll im Abgleich mit fachdidaktischen Konzepten zu einem Gegenstand in Leitlinien

2.1. Modell der Didaktischen Rekonstruktion

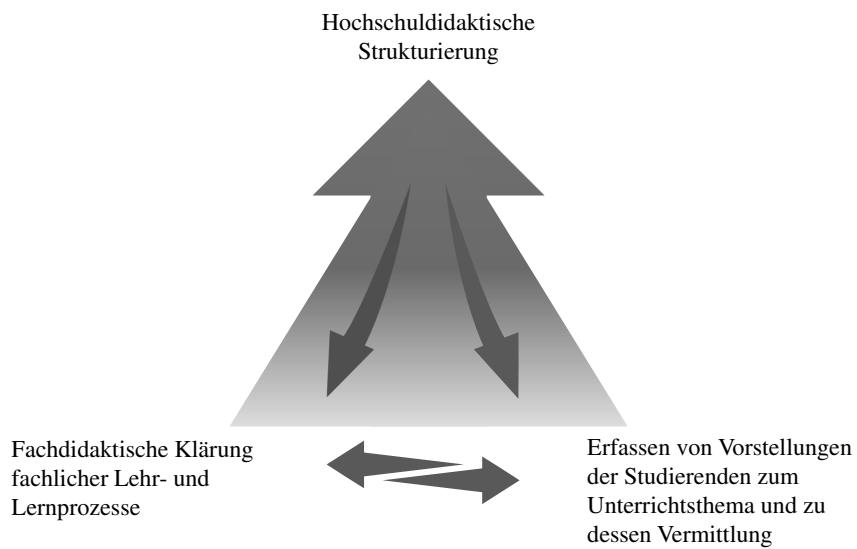


Abbildung 2.1.: Modell der Hochschuldidaktischen Rekonstruktion (nach LOHMANN, 2006, S. 69)

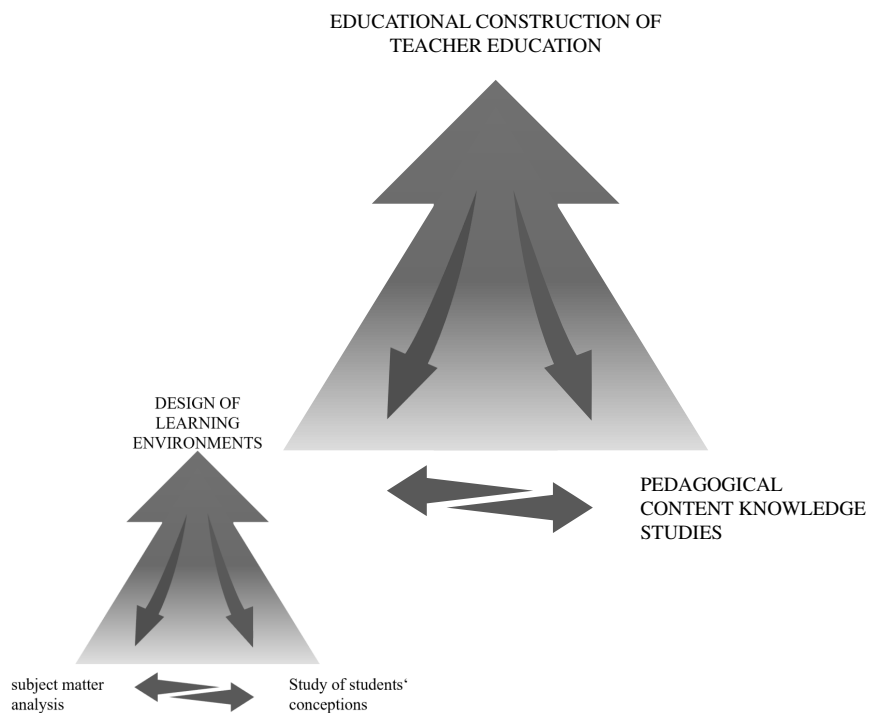


Abbildung 2.2.: ERTE-Modell (nach van DIJK & KATTMANN, 2007, S. 894)

2. Forschungsrahmen

für die Lehrkräftebildung übergehen. Es handelt sich dabei um ein zweischichtiges Modell (vgl. Abbildung 2.2), bei dem das MDR eine Ecke des ERTE-Modells ausfüllt (van DIJK & KATTMANN, 2007).

2.2. Vorstellungen im Kontext von Sprache und Kommunikation

Die dargestellten Inhalte zum MDR zeigen, dass die (Fach-)Sprache im Kontext von persönlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen für die fachdidaktische Forschung und die Unterrichtsentwicklung von Bedeutung ist. Innerhalb der drei Module des MDR finden sich Hinweise auf

- die kritische Betrachtung von Inhalt und Sprache des zu untersuchenden Gegenstandes,
- Termini, die durch ihren Wortsinn lernförderliche oder lernhinderliche Vorstellungen generieren,
- die unterschiedlichen Bedeutungszuschreibungen zu zentralen Fachwörtern,
- die Untersuchung von verwendeten Metaphern und Analogien und
- die Betrachtung des Verhältnisses von Fachsprache und Umgangssprache.

Die Aneignung von Wissen ist damit verbunden, sich eine Handlungsfähigkeit in jeweils spezifischen Kontexten zu sichern, wobei davon auszugehen ist, dass das Wissen um einen Gegenstand immer in kulturelle Praktiken eingebunden ist. Es kommt zu kollektiven wie individuellen mentalen Repräsentationen dieser Gegenstände (KONERDING, 2015). Wissensgewinnung und Wissensvermittlung bedienen sich dem Medium Sprache und befinden sich somit in einer gegenseitigen Abhängigkeit. Vor allem die Wissensvermittlung im (natur-) wissenschaftlichen Unterricht muss auf der einen Seite fachlich korrekt, effektiv und ökonomisch sein aber auf der anderen Seite die Anforderungen an eine (sprachliche) Verständlichkeit erfüllen. Dieser Wissenstransfer kann in verschiedenen Kontexten stattfinden. Ein wichtiger Bereich, den es zu betrachten gilt, ist dabei die Kommunikation in der Schule, die geprägt ist durch fachdidaktische Diskussionen unter den Lehrkräften, Experten-Laien-Kommunikation im Unterricht sowie der Kommunikation der Lernenden untereinander (KNIFFKA & ROELCKE, 2016). Eine Möglichkeit, um sprachliche Grenzen zwischen Experten und Laien zu überwinden, ist die Nutzung von Metaphern. Durch die Metaphorisierung und der Übernahme gesellschaftlicher Ausdrücke in den wissenschaftlichen Kontext kann man zu neuen Erkenntnissen gelangen, die vorher sprachlich nicht einfach zugänglich waren. Jedoch muss dabei beachtet werden, dass diese Übernahme nur in einem bestimmten Maß möglich und die Reichweite der eingesetzten Metaphern begrenzt ist (vgl. Abschnitt 2.2.3) (VAHRAM et al., 2015). Auch durch diesen Vorgang entfernt man sich von der Unabhängigkeit des Wissens von Sprache, Gesellschaft und Geschichte, da gerade der Einsatz von Metaphern auf diesen

Aspekten aufbaut.

Daher wird im Folgenden auf die Fachsprache im Allgemeinen, die Sprache im chemischen Lehr- und Lernkontext im Speziellen sowie Metaphern näher eingegangen.

2.2.1. Fachsprache

Die verschiedenen (wissenschaftlichen) Disziplinen unterscheiden sich unter anderem in ihrer Sprache, Kommunikation und dadurch bedingt auch in ihrem Wissenstransfer.

„Fachsprache ist die Gesamtheit aller sprachlichen Mittel, die in einem fachlich begrenzten Kommunikationsbereich verwendet werden, um die Verständigung zwischen in diesem Bereich Betätigten zu gewährleisten.“ (HOFFMANN, 1985, S. 53)

Aus diesem Zitat lassen sich die Faktoren, die die jeweilige Fachsprache beeinflussen, ableiten. Zum einen spielt das Fach an sich eine Rolle. Zum anderen ist es wichtig, welche Personen an der Kommunikation beteiligt sind und welche Aufgaben und Funktionen der Fachsprache in dieser Situation zukommen. Der Fachsprache werden die Funktionen der Präzisierung, Differenzierung, Ökonomie und Anonymisierung zugeordnet (KNIFFKA & ROELCKE, 2016):

- **Präzisierung**
Durch Fachsprache wird die Bedeutung von Gegenständen oder Sachverhalten möglichst präzise festgelegt. Das erfolgt zumeist durch verschiedene Arten der Definition. Zum einen können klassische Definitionen angegeben werden, in denen der zu definierende Gegenstand einer übergeordneten Klasse zugewiesen wird und zusätzlich artunterscheidende Merkmale genannt werden. Zum anderen können bedeutungsgleiche Begriffe im Sinne einer synonymischen Definition angegeben oder Beispiele als exemplarische Definition angeführt werden.
- **Differenzierung**
Fachsprache erfüllt den Zweck, den Wortschatz zu erweitern, um auftretende Phänomene sprachlich beschreiben und einordnen zu können. Dies kann durch Wortzusammensetzungen, Wortentlehnungen aus anderen (Fach-) Sprachen sowie dem Einsatz von Metaphern geschehen.
- **Ökonomie**
Neben der Präzisierung und Differenzierung dient die Fachsprache auch dazu, Sachverhalte möglichst mit einem minimalen kommunikativen Aufwand darstellen zu können.
- **Anonymisierung**
Fachsprache soll dazu beitragen, dass Gegenstände, Phänomene oder Sachverhalte aus ihrer fachlichen Perspektive heraus möglichst objektiv beschrieben werden können.

2. Forschungsrahmen

Es existiert nicht eine universelle Fachsprache. Man geht von verschiedenen einzelnen Fachsprachen in diversen Fachgebieten aus. Um diese zu gliedern, bedient man sich meist einer horizontalen oder einer vertikalen Differenzierung.

Unter der horizontalen Gliederung von Fachsprachen ist deren Aufteilung nach den verschiedenen Fachbereichen und Fächern zu verstehen. Die vertikale Gliederung ist geprägt durch die Unterteilung in Sprachebenen (HOFFMANN, 1985). Die Einteilung in die verschiedenen Bereiche beruht dabei zum einen auf den sprachlichen Merkmalen im Hinblick auf die Verwendung bestimmter Zeichen und Symbole und zum anderen auf den an der fachlichen Kommunikation beteiligten Personen. Allgemein wird bei der vertikalen Einteilung von Fachsprache Gewicht auf die sogenannte Experten-Laien-Kommunikation gelegt, die mit dem Wissenstransfer zwischen Fachvertretern und Alltagspersonen einhergeht (KNIFFKA & ROELCKE, 2016).

Verschränkung von Fachsprache und Fachwissen Ohne fachsprachliche Fähigkeiten kann vorhandenes fachliches Wissen und Verständnis nicht adäquat ausgedrückt werden und ohne Kenntnisse um die Ausprägung und Besonderheiten der jeweiligen Fachsprache kann keine Vermittlung und kein Transfer des Fachwissens geschehen. Fachsprache und Fachwissen bedingen sich gegenseitig.

Wird in einer Untersuchung Fachwissen über (fach-) sprachliche Aspekte erhoben, müssen im Hinblick auf diese Verschränkung bei der Interpretation folgende Fälle unterschieden werden:

1. Die Fachkommunikation verläuft über den Austausch inhaltsleerer Vokabeln (SUMFLETH & PITTON, 1998). Es finden sich fachsprachliche Ausdrücke, die jedoch nicht mit dem benötigten Fachwissen unterfüttert sind.
2. Fachliches Verständnis ist prinzipiell vorhanden, kann jedoch nicht (fach-) sprachlich ausgedrückt werden.
3. Fachliche Ausdrücke werden falsch genutzt. Es besteht eine fachlich nicht adäquate Verknüpfung von sprachlichem, gedanklichem und referentielltem Bereich der verschiedenen Komplexitätsebenen von Vorstellungen. Daraus kann fälschlicherweise auf ein fehlendes fachliches Verständnis geschlossen werden (PARCHMANN & BERNHOLT, 2013).

2.2.2. Chemische Fachsprache im Lehr-Lern-Kontext

Im Chemieunterricht stellt das Erreichen einer angemessenen Sprachkompetenz einen wichtigen Baustein des Wissenserwerbs dar. Die chemische Fachsprache ist das Medium der Wissensvermittlung und muss von den Protagonisten beherrscht werden (VOLLMER, 1980). Es existieren verschiedene Sprachrealisationen, die im Chemieunterricht aufzufinden sind und die die Kommunikation bestimmen.

Formen der chemischen Fachsprache VOLLMER (1980) unterscheidet zwischen der Wissenschaftssprache, der chemischen Umgangssprache (Laborjargon) und der Lehr-Lern-Sprache (Unterrichtssprache) der Chemie. Diesen Spracharten liegen verschiedene Merkmale zugrunde, die auch durch das Einsatzgebiet und die Intention der Verwendung mitbestimmt werden. Ebenfalls nimmt die Alltagssprache eine wichtige Rolle im chemischen Sprachgebrauch ein (STRIPPEL & BOHRMANN-LINDE, 2018).

- **Wissenschaftssprache**

Die Wissenschaftssprache ist durch ihre Exaktheit und der damit einhergehenden Präzision gekennzeichnet. Sie ist institutionellen Normen (z.B. IUPAC) unterworfen und findet vor allem in wissenschaftlichen Veröffentlichungen Anwendung. Die Wissenschaftssprache orientiert sich weniger an der gesprochenen Sprache.

- **Chemische Umgangssprache**

Die chemische Umgangssprache beschreibt die berufsbezogene Kommunikation über chemische Inhalte. Die Teilnehmenden der Kommunikationen gehören alle einer Berufsgruppe an, die im Bereich der Chemie beheimatet ist und verfügen über eine spezifische Fachkenntnis. Es gilt zu beachten, dass diese chemische Umgangssprache oftmals sehr unpräzise ist und vor allem Metaphern eine große Rolle spielen. Jedoch ist auch kennzeichnend für die Nutzenden, dass diese, bei Bedarf und direkt darauf angesprochen, jederzeit im Sinne der Wissenschaftssprache exakter werden können (VOLLMER, 1980). Die Vermittlung der chemischen Umgangssprache ist kein Ziel des Chemieunterrichts (STRIPPEL & BOHRMANN-LINDE, 2018).

- **Lehrsprache**

Die Lehrsprache der Chemie ist geprägt durch die Experten-Laien-Kommunikation, mittels der chemisches Wissen in didaktisch reflektierter Form an Laien vermittelt werden soll. Zum einen findet diese Art der Fachsprache in populärwissenschaftlichen Medien und zum anderen als Unterrichtssprache Anwendung. Kennzeichnend ist die Verknüpfung der Sprache mit der Wissensvermittlung.

- **Alltagssprache**

Im Gegensatz zu der chemischen Fachsprache unterliegt die Alltagssprache ausschließlich den Regeln des alltäglichen und informellen Austausches. Im Chemieunterricht können dadurch fachliche Sachverhalte durch die Verwendung von Metaphern oder Personifizierungen kommuniziert werden (HARMS & KATTMANN, 2013). Ebenfalls ist sie in der Reflexion des chemischen Sprachgebrauchs sowie den Bedeutungsunterschieden von Fach- und Alltagssprache wichtig.

Die verschiedenen in der Chemie verwendeten Sprachen bewegen sich in einem Spannungsfeld von Anschaulichkeit und Exaktheit, das in Abbildung 2.3 dargestellt ist (STRIPPEL & BOHRMANN-LINDE, 2018).

Begriffe und Begriffsbildung im Chemieunterricht Begriffe als die Verknüpfung eines sprachlichen sowie eines kognitiven, gedanklichen Aspektes werden im Chemieunterricht

2. Forschungsrahmen

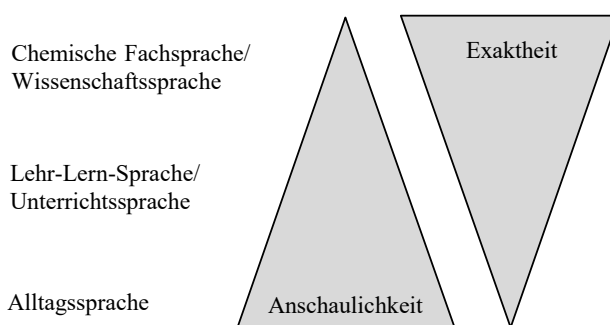


Abbildung 2.3.: Verschiedenen Sprachen der Chemie und des Chemieunterrichts (eigene Darstellung nach STRIPPEL und BOHRMANN-LINDE (2018, S. 242).

vermittelt. Unter der Begriffsbildung versteht man die gedankliche Auseinandersetzung durch Vergleich, Differenzierung, Generalisierung und Abstraktion mit einem fachlichen Gegenstand (SOMMER, 2018). Dadurch wird der Begriff in einen größeren Zusammenhang eingeordnet und von anderen Begriffen abgegrenzt. Die Begriffsbildung geschieht demnach nicht isoliert sondern immer durch das Herstellen von Beziehungen zu anderen Begriffen. Am Ende der Begriffsbildung wird der Begriff mittels einer Definition beschrieben, die sich durch die Benennung des Begriffsinhaltes sowie dessen Beschreibung in eigenen Worten auszeichnet (SOMMER, 2018).

Mehrdeutige Begriffe Bei den Lernenden werden im Unterricht grundlegende Kenntnisse der Alltagssprache unter anderem in Wortschatz und Grammatik vorausgesetzt. Das heißt, dass in die fachsprachliche Begriffsbildung (im Unterricht) auch immer die Sprache des Alltags miteinbezogen werden muss, um ein vollständiges Verständnis zu erreichen. Problematisch sind vor allem Wörter mit einer alltagssprachlichen und einer fachsprachlichen Bedeutungszuschreibung. VOLLMER (1980) merkte an, dass bei der Betrachtung der Mehrdeutigkeit von Wörtern oftmals auf die Wörterbuchbedeutungen zurückgegriffen wird, ohne dass ein Einbezug der subjektiven Bedeutung stattfindet. Dieser weist er jedoch besonders im Unterricht eine größere Rolle zu:

„Diese konnotativen Bedeutungen umfassen nicht nur die kognitiven Momente, sondern ragen vielmehr bis tief in den affektiven Bereich hinein. Begriffe wie Feuer, Wasser, Kristall usw. lassen emotionale Saiten erklingen [...]“ (VOLLMER, 1980, S. 50)

Die individuellen Bedeutungen eines Wortes, die die Lernenden auch im Alltag berühren, üben somit einen Einfluss auf deren fachsprachliche Verwendung aus. Lernende müssen bei mehrdeutig verwendeten Wörtern über deren lebensweltlicher Bedeutung und dem umschließenden fachlichen Kontext hinaus auf die fachsprachliche Bedeutung des Wortes schließen. Begriffe aus der Alltagssprache erfahren dann eine Bedeutungsveränderung zum chemischen Fachbegriff, indem ein weiterer Begriffsinhalt im Unterricht hinzugefügt

2.2. Vorstellungen im Kontext von Sprache und Kommunikation

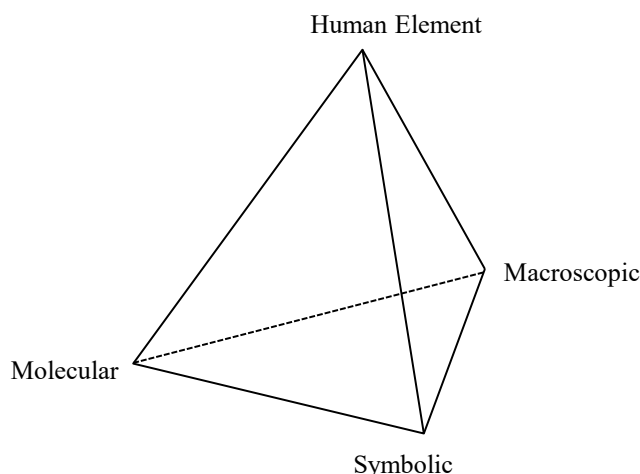


Abbildung 2.4.: Darstellungsebenen chemischer Inhalte (eigene Darstellung nach MAHAFFY (2006))

wird (SOMMER, 2018). Begriffe können dabei eine Bedeutungserweiterung bzw. eine Bedeutungsverengung erfahren (VOLLMER, 1980). Aus diesen Ausführungen lassen sich für die Begriffsbildung verschiedene Herausforderungen ableiten:

- Auch in der Alltagssprache ist das Wort mehrdeutig und es wird die falsche Begriffsbedeutung zugrunde gelegt.
- Die subjektive Bedeutung wird miteinbezogen.
- Es werden im Rahmen einer Bedeutungsverengung nicht nur die relevanten Merkmale des alltagssprachlichen Begriffs zur Deutung herangezogen, sondern auch diejenigen Merkmale, die nicht relevant sind und so zu einer falschen Folgerung für den Fachbegriff führen.
- Weitere Merkmale des Fachbegriffs abseits dessen lebensweltlicher Bedeutungen werden im Sinne einer Bedeutungserweiterung nicht erkannt oder berücksichtigt.

Besonders im Hinblick darauf, dass das mehrdeutig verwendete Wort von den Lernenden in ihrem Alltag zumeist wesentlich häufiger genutzt wird, besteht für den Chemieunterricht die Notwendigkeit einer deutlichen Explikation.

Darstellungsebenen chemischer Inhalte Die Darstellung chemischer Inhalte im Unterricht ist nicht nur geprägt durch die verschiedenen Formen der Fachsprache und der Alltagssprache, sondern ist außerdem abhängig von drei verschiedenen Darstellungsebenen (molekular oder submikroskopisch, makroskopisch und symbolisch). Das chemische Tetraeder nach MAHAFFY (2006) gibt diesbezüglich Aufschluss (vgl. Abbildung 2.4). Die drei aufgezählten Ebenen werden in einen Alltagsbezug gesetzt. Dadurch soll die

2. Forschungsrahmen

(sprachliche) Wissensvermittlung unterstützt und den Lernenden der Zugang zu chemischen Sachverhalten vereinfacht werden (STRIPPEL & BOHRMANN-LINDE, 2018). Diese verschiedenen Darstellungsebenen sind Teil eines sprachexpliziten Unterrichts. Hier ist es notwendig, auf die Übersetzungen zwischen den einzelnen Ebenen zu fokussieren. Es hat sich gezeigt, dass deutliche Unterschiede zwischen Experten und Laien existieren. Der bewusste Wechsel zwischen den einzelnen Repräsentationsformen bedingt auch das chemische Problemlösen (PARCHMANN & BERNHOLT, 2013).

2.2.3. Metaphern

Metaphern sind ein elementarer Bestandteil der Sprachpraxis und der Wissensvermittlung im (natur-) wissenschaftlichem Bereich.

„In fact, metaphorical concepts are essential to scientific thought - without them we could understand very little beyond our direct physical experience.“
(LAKOFF & JOHNSON, 1980a, S. 208)

Besonders für die Naturwissenschaften sind Metaphern ein guter Weg, um zu einem Erkenntnisgewinn zu gelangen aber auch, um Wissenstransfer (zwischen Experten und Laien) zu generieren (SCHMITT et al., 2018). LAKOFF und JOHNSON (1980b) haben das Metaphernverständnis der kognitiven Linguistik geprägt. Sie definieren das Wesen einer Metapher als das Verstehen und Erleben eines Gegenstandes bzw. Sachverhaltes, indem ein Wort aus einem anderen Bedeutungszusammenhang übertragen und so ein Vergleich hergestellt wird:

„The essence of metaphor is understanding and experiencing one kind of thing in terms of another.“ (LAKOFF & JOHNSON, 1980b, S. 5)

Damit ist gemeint, dass aus dem sogenannten Quellbereich, einem lebensweltlichen Erfahrungsraum, der konkret zugänglich ist, Ordnungsmuster, Ausdrücke und Zusammenhänge auf den abstrakten und komplexen Zielbereich übertragen werden, in dem das zu beschreibende Phänomen verortet ist.

SCHMITT et al. (2018, S. 4) haben basierend auf den Ausführungen von LAKOFF und JOHNSON (1980b) Regeln zur Identifizierung einer Metapher aufgestellt. Demnach liegt eine Metapher dann vor, wenn

- a „[...] ein Wort oder eine Wendung in einem strengen Sinn in dem für die Sprech-
äußerung relevanten Kontext mehr als nur wörtliche Bedeutung hat,
- b die wörtliche Bedeutung einem prägnanten Bedeutungsbereich (Quellbereich) ent-
stammt,
- c und gleichzeitig auf einen zweiten, oft abstrakteren Bereich (Zielbereich) übertra-
gen wird.“

2.3. Die theoretischen Konstrukte *concept image* und *concept definition*

Eine Bedeutungsübertragung findet von einem einfacheren hin zu einem abstrakteren Bereich statt. Jedoch ist zu diskutieren, ob es sich bei dem Quellbereich wirklich immer um einen einfacheren Kontext oder doch vielleicht eher um den *kollektiv-üblichen* Kontext handelt. Dieser Überlegung liegt zugrunde, dass Metaphern zumeist nicht von dem/der Nutzenden selbst erfunden werden, sondern man sich aus einem Reservoir gesellschaftlich anerkannter und bewährter Metaphern bedient (SCHMITT et al., 2018). Auch findet man in der Regel nicht nur eine sondern mehrere Metaphern vor, die einen bestimmten Quell- und Zielbereich miteinander verbinden. Diese kann man dann zu sogenannten metaphorischen Konstrukten zusammenschließen. Das ist auch im Hinblick auf die Tatsache wichtig, dass einzelne Metaphern einzelne Aspekte eines Konstruktes hervorheben und andere dafür unbeachtet lassen, sodass mehrere Metaphern zur Beschreibung eines abstrakten Bereichs von Nöten sein können.

2.3. Die theoretischen Konstrukte *concept image* und *concept definition*

Die Vorstellungen der zukünftigen Lehrenden zu einem Unterrichtsgegenstand sind ein Teilaspekt des Modells der Hochschuldidaktischen Rekonstruktion nach LOHMANN (2006). Um bei deren empirischer Erhebung auf ein mögliches fachlich adäquates Verständnis des Unterrichtsgegenstandes schließen zu können, genügt es nicht, das Kennen und korrekte Rezitieren von Definitionen im Rahmen der Begriffsbildung miteinzubeziehen. Vielmehr kann es vorkommen, dass trotz der Kenntnis einer formalen Definition das dahinterstehende wissenschaftliche Konzept nicht verstanden ist (vgl. VINNER, 1983). Das liegt vor allem daran, dass zu vielen Gegenständen, Sachverhalten bzw. Wirklichkeitsaspekten bereits komplexe kognitive Strukturen vorliegen. Wenn ein Unterrichtsgegenstand und die zugehörigen wissenschaftlichen Begriffe gelehrt und gelernt werden, findet dementsprechend ein Rückgriff auf eine Vielzahl persönlicher, mentaler Repräsentationen statt. In der Mathematikdidaktik werden die theoretischen Konstrukte *concept image* und *concept definition* als ein möglicher Ansatz zur Beschreibung des Verständnisses (mathematischer) Begriffe herangezogen. Die Verwendung dieser Konstrukte ermöglicht einen Abgleich persönlicher und wissenschaftlicher Vorstellungen unter Einbezug mentaler Repräsentationen.

concept image Das theoretische Konstrukt *concept image* beruht auf der Annahme, dass das Verständnis eines Konzeptes neben den zugehörigen Definitionen vor allem auf verknüpften Assoziationen beruht. TALL und VINNER (1981) fassen unter dem *concept image* eines Konzeptes die kognitiven Strukturen zusammen, die mentale Bilder, assoziierte Eigenschaften und Prozesse beinhalten. Sie beschreiben, dass sich das *concept image* über Jahre bildet und immer wieder durch verschiedene Erfahrungen und Impulse dynamisch weiterentwickelt, angepasst oder verändert wird.

Auch wenn in dieser Darlegung vor allem der nonverbale Charakter des *concept image*

2. Forschungsrahmen

im Vordergrund steht, so werden außerdem Symbole, Wörter und Beispiele zu dem theoretischen Konstrukt hinzugezählt.

„A person’s concept image consists of everything he or she person associates with the concept - images, symbols, words, examples, properties.“ (ZANDIEH, 1997, S. 7)

Das *concept image*, das eine Person zu einem Konzept aufweist, muss nicht immer kohärent sein. Verschiedene äußere Impulse können einzelne Teilbereiche des *concept image* aktivieren. TALL und VINNER (1981) sprechen dabei von einem *evoked concept image*: Werden durch die äußeren Impulse Teilbereiche angepasst, können diese im Widerspruch zu weiteren vorhandenen mentalen Repräsentationen stehen. Diese können nebeneinander existieren, ohne dass eine Anpassung vorgenommen wird. Erst wenn mehrere inkonsistente Teilbereiche aktiviert werden, kann es zu einem kognitiven Konflikt kommen, der wiederum eine Anpassung des *concept image* zur Folge hat.

concept definition Neben dem theoretischen Konstrukt *concept image* erläutern TALL und VINNER (1981) ein weiteres Konstrukt, die *concept definition*. Allgemein wird unter einer *concept definition* zunächst die formale, aus Worten und Symbolen geformte Definition für das zugrundeliegende Konzept verstanden.

„The definition of a concept (if it has one) is quite a different matter. We shall regard the concept definition to be a form of words used to specify that concept.“ (TALL & VINNER, 1981, S. 152)

Diese genügt den wissenschaftlich (und mathematisch) geforderten Ansprüchen an eine nicht zirkuläre, korrekte und adäquate Definition. Neben dieser *formal concept definition* existiert jedoch außerdem die *personal concept definition*. Man spricht von dieser individuellen Definition, wenn es sich um eine eigene geformte Definition des Individuums handelt.

„It may also be a personal reconstruction by the student of a definition. It is then the form of words that the student uses for hi own explanation of his (evoked) concept image.“ (TALL & VINNER, 1981, S. 152)

Diese Art der Definition, die in eigenen Worten wiedergegeben wird und auf individuellen Vorstellungen beruht, muss nicht widerspruchsfrei zu anderen Definitionen bestehen oder den wissenschaftlichen Standards an eine Definition genügen. VINNER (1991) beschreibt die *personal concept definition* als Antwort auf die konkrete Frage nach dem Gegenstand bzw. Sachverhalt. Die Ermittlung dieser individuellen Definition kann wie folgt erfolgen:

„A natural method to learn about somebody’s concept definition is by a direct question (what is a function? what is a tangent? and so on).“ (VINNER, 1991, S. 73)

2.3. Die theoretischen Konstrukte *concept image* und *concept definition*

Dementsprechend können *formal concept definition* und *personal concept definition* zu einem Gegenstand variieren. Oftmals wird die *personal concept definition* aufgrund der individuellen Rekonstruktion als Teil des *concept image* aufgefasst (vgl. beispielsweise ZANDIEH, 1997, RÖSKEN und ROLKA, 2007) und der *formal concept definition* gegenübergestellt.

Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit wird diesem Vorgehen entsprochen. Unter dem *concept image* werden alle individuellen, visuellen wie verbalen Rekonstruktionsprozesse eines Konzeptes und unter *concept definition* die von außen vermittelten, formalen, wissenschaftlich adäquaten Definitionen bzw. Vorstellungen aufgefasst.

Übertragung der theoretischen Konstrukte auf diese Forschungsarbeit Auch wenn in den Naturwissenschaften Konzepte durch präzise Definitionen beschrieben werden können, unterscheidet sich die Chemie von vielen anderen Wissenschaftszweigen. Präzise Definitionen umfassen neben einem eigenen Vokabular häufig auch mathematische Symbole und Operatoren. Ebenfalls müssen Konzepte auf drei verschiedenen Ebenen betrachtet werden (vgl. auch MAHAFFY, 2006):

1. makroskopische Ebene (beobachtbare Eigenschaften)
2. submikroskopische Ebene (stoffbildende Partikel)
3. symbolische Ebene (Stoffidentitätssymbole)

Diese drei Ebenen können außerdem noch in einen Alltagsbezug gesetzt werden.

In der Chemiedidaktik wird der Begriff des *conceptual understanding* zumeist in Relation zu einem festgesetzten Standard gesetzt. Weniger häufig wird eine detaillierte Spezifizierung angegeben. HOLME et al. (2015) beschreiben aus diesem Grund in ihrer Forschungsarbeit, aufbauend auf der Untersuchung der Aussagen von knapp 1400 Chemielehrenden, fünf grundlegende Aspekte des *conceptual understanding*:

„In chemistry there are chemistry core ideas that include theories, practices, patterns, and relationships. A student who demonstrates conceptual understanding can:

- Transfer [...]
- Depth [...]
- Predict [...]
- Problem solving [...]
- Translate [...]“ (HOLME et al., 2015, S. 1480)

Um auf das Verständnis der naturwissenschaftlichen Konzepte insbesondere in der Chemie zu schließen, muss also neben der wechselseitigen Beziehung von *concept image* und (*formal*) *concept definition* auch auf die verschiedenen Darstellungsebenen eingegangen werden.

2. Forschungsrahmen

Ein weiterer Aspekt, der bei der Verwendung der theoretischen Konstrukte zur Beschreibung des Verständnisses beachtet werden muss, ist der Unterschied von Schulchemie und Hochschulchemie. Die angehenden Chemielehrkräfte befinden sich immer in einem Zwiespalt zwischen den unterschiedlichen Sichtweisen chemischer Inhalte: In der Schulchemie werden vor allem elementare Inhalte vermittelt, die einen starken Anwendungsbezug haben und darauf ausgelegt sind, anschaulich und konzeptbildend zu wirken. Im Rahmen der didaktischen Reduktion werden aber nicht alle Aspekte der fachwissenschaftlichen Konzepte vermittelt. Das Studium der angehenden Chemielehrkräfte ist geprägt durch den Übergang von der Hochschule zur Schule. Ziel des Lehramtsstudiums ist es, dieser Diskontinuität entgegenzuwirken und auf das zukünftige Lehrerhandeln hinzuwirken (HEFENDEHL-HEBEKER, 2013). Durch diese Ausrichtung kann die Wiedergabe fachlicher Inhalte durch die zukünftigen Lehrkräfte geprägt sein. Eine Konsequenz ist bei der Erhebung vor allem die schulrelevanten und lehrplanorientierten Themenfelder in den Fokus zu rücken.

In diesem Rahmen werden die Studierenden nach einer Definition verschiedener Konzepte explizit gefragt und die *personal concept definition* erhoben. Diese wird dann als Teil des *concept image* mit der *formal concept definition* abgeglichen. Der Fokus liegt auf der Verbalisierung, da die angehenden Chemielehrkräfte im späteren Unterrichtsgeschehen sprachlich adäquat agieren müssen. Zusätzlich können erhobene Assoziationen, Anmerkungen sowie Beziehungen verschiedener Konzepte zu einem erweiterten Bild des *concept image* führen. Wenn in der Interpretation also von *concept image* die Rede ist, ist die *personal concept definition* mit eingeschlossen.

Grenzen des Modells Um das Verständnis von Energie der angehenden Chemielehrkräfte zu beschreiben, wird in dieser Forschungsarbeit das oben vorgestellte Modell verwendet. Dieses weist jedoch Grenzen auf. Das theoretische Konstrukt *concept image* ist ein sehr umfassendes Konzept, das bei jeder Person individuell ist. Ebenso kann man verschiedene Teilbereiche aktivieren, die widersprüchlich zueinander sein können. Eine Erhebung des *concept image* kann dementsprechend nicht vollständig erfolgen und eine Interpretation und ein Abgleich von *concept image* und *concept definition* muss immer unter diesem Gesichtspunkt erfolgen. Außerdem nähert man sich dem Verständnis aus einer kognitiven Perspektive und vernachlässigt dabei soziale und institutionelle Einflussfaktoren (BINGOLBALI & MONAGHAN, 2008).

3. Energie als grundlegendes Konzept

Energie ist eine Kernidee in den Naturwissenschaften und im naturwissenschaftlichen Unterricht, die verschiedenen Phänomenen und Prozessen zugrunde liegt. In den verschiedenen Disziplinen gibt es jedoch Unterschiede in der Anwendung des Konzeptes. Das impliziert die Notwendigkeit, sich dem Konzept Energie möglichst präzise zu nähern. Dazu werden in diesem Kapitel die Herausforderungen einer Energiedefinition, die zentralen Aspekte der Energie sowie mögliche Konzeptualisierungsansätze, die die verschiedenen (didaktischen) Zugänge zum Energiebegriff repräsentieren, näher beleuchtet. Die verschiedenen Ansätze sind teilweise umstritten und bergen verschiedene Schwierigkeiten für den naturwissenschaftlichen Unterricht, die im Folgenden auch diskutiert werden. Die Betrachtungen von Energie als grundlegendes Konzept legen die Basis für die anschließenden fachkontextspezifischen Darstellungen in den folgenden Kapiteln.

3.1. Energiedefinition

Zunächst einmal ist Energie eine physikalische Größe, der meist das Formelzeichen E zugewiesen wird. Die SI-Einheit ist ein Joule. Der Entstehung eines naturwissenschaftlichen Energiekonzeptes liegt ein historisch geprägter Entwicklungsprozess zugrunde (vgl. COOPERSMITH, 2015). Die Naturwissenschaftler und Naturwissenschaftlerinnen näherten sich dabei dem Energiebegriff über einen forschenden, experimentellen Zugang und weniger über Definitionen (QUINN, 2014). Das ist unter anderem auf die Abstraktheit der Größe zurückzuführen.

„Es ist wichtig einzusehen, dass wir bis heute nicht wissen, was Energie *ist*.“
(FEYNMAN et al., 2015, S. 46)

Es ist schwieriger festzulegen, was Energie ist, als zu beschreiben, wie sich Energie manifestiert (NORDINE, 2016b), denn lediglich die verschiedenen Energieerscheinungsformen bzw. Veränderungen lassen sich beobachten und messen. Es gibt zahlreiche Definitionsvorschläge bzw. -arten in der Literatur, die den Energiebegriff aus verschiedenen Perspektiven charakterisieren. Die folgende Auflistung stellt einen Ausschnitt der unterschiedlichen Beschreibungen dar.

- *For the present you should think of energy as something supplied by fuels.* (ROGERS, 1960, S. 379)

3. Energie als grundlegendes Konzept

- „*Energy is a substance-like quantity: It is distributed in and can flow through space.*“ (FALK et al., 1983, S. 1076)
- „*Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten oder/und Wärme abzugeben oder/und Strahlung auszusenden.*“ (LIEBERS, 1981 zitiert nach SCHELER, 2004, S. 67-68)
- „*Energie kann allgemein als das Vermögen zur Verrichtung von Arbeit oder zur Übertragung von Wärme definiert werden.*“ (BROWN et al., 2013, S. 76)
- „*Energie ist eine mengenartige Größe, die weder erzeugt noch vernichtet werden, sondern nur von einer Form in eine andere umgewandelt werden kann.*“ (HUBER & HABELITZ-TKOTZ, 2015, S. 30)
- „*Energie ist notwendig, damit Prozesse ablaufen können. Sie kann weder erschaffen, noch vernichtet, sondern nur von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden.*“ (WAGNER & FLINT, 2018, S.30)

Die dargestellten Definitionen und Charakterisierungen von Energie aus verschiedenen fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Literaturquellen unterscheiden sich teilweise stark voneinander und sind in ihren Ausführungen nicht immer widerspruchsfrei anerkannt. Ein detailliertere Diskussion der verschiedenen Definitionsansätze findet sich in Kombination mit der Darstellung der Konzeptualisierungsansätze in Abschnitt 3.3. Neben dem Weg über eine direkte Definition ist es auch möglich, Energie indirekt zu beschreiben:

„Physikalische Begriffe wie die Energie lassen sich nicht durch Definitionen fassen, nämlich nicht dadurch, daß man sie auf andere Begriffe zurückführt. Sie stellen vielmehr Mittel dar, verschiedene, scheinbar unzusammenhängende Phänomene als zusammengehörig, als Einheit zu begreifen und in ihren gegenseitigen Beziehungen zu beschreiben. Infolgedessen werden physikalische Größen nur dadurch begrifflich, daß man klarmacht, welche verschiedenen Phänomene sie zusammenfassen und wie sie das tun. Dabei werden Gemeinsamkeiten und Regeln sichtbar.“ (FALK & RUPPEL, 1976, S. 1)

Diese Gemeinsamkeiten und Regeln finden sich unter anderem in den fünf zentralen Aspekten der Energie wieder, mittels derer Phänomene und Prozesse im Hinblick auf ihren Energiebezug charakterisiert werden können.

3.2. Zentrale Aspekte der Energie

DUIT (1986) (vgl. auch DUIT, 2014) charakterisierte die Energieumwandlung, Energieerhaltung, Energieübertragung sowie die Energieentwertung als sogenannte *Energiequadrige*. Diese vier Basisideen sind eng miteinander verknüpft. Eine Beschreibung des Energiebegriffs unter Ausschluss eines Aspektes kann nicht zu einem vollständigen Energiekonzept führen (DUIT, 1986). Vielfach wird diese Energiequadrige in Studien und Darstellungen um den Aspekt der Energieformen ergänzt (vgl. M. SCHMIDT, 2008; VIERING,

2012 und NORDINE, 2016b). Mithilfe dieser fünf zentralen Aspekte kann Energie aus phänomenologischer und abstrakter Sicht charakterisiert werden. Sie bilden die Basis für ein Energiekonzept im Zusammenspiel der naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen.

Energieformen *Energie kann sich in verschiedenen Formen zeigen.*

Energieformen sind die Manifestationen der Energie eines Systems. Sie stellen jede für sich eine Möglichkeit dar, der messbaren Energieänderung dieses Systems einen bestimmten Zahlenwert zuzuweisen. Auf einer abstrakten Ebene sind Energieformen durch mathematische Terme repräsentiert, die dieselbe physikalische Größe unter Berücksichtigung verschiedener Systemeigenschaften beschreiben.

Ausgehend von einem phänomenologischen Energiebegriff sind Energieformen als Speicher- bzw. Austauschformen (zurückzuführen auf die potentielle bzw. kinetische Energie) zu verstehen, die qualitativ Phänomenen, Prozessen oder Zuständen zugeschrieben werden. Aus fachdidaktischer Sicht wird der Ausdruck Energieformen kritisch gesehen, da dieser den Lernenden suggeriert, dass die Energie eine bzw. mehrere physikalisch fassbare Gestalten annehmen kann. Auch das Synonym Energiearten ist nur reflektiert zu nutzen, da der Eindruck entstehen könnte, dass die Energieformen nicht nur auf eine sondern auf verschiedene Energien zurückzuführen sind. SCHECKER und DUIT (2018) sehen den Begriff Erscheinungsformen für die physikalische Begriffsbildung als anschlussfähig an. Die Problematik um ein adäquates Verständnis des Begriffs wird durch den Umstand verstärkt, dass einzelne Energieformen nicht genau definiert sind (QUINN, 2014).

Energieumwandlung *Energie kann von einer Energieform in eine andere umgewandelt werden.*

Die Energieumwandlung beschreibt den Prozess der Umwandlung mindestens zweier Energieformen ineinander. Auf abstrakter Ebene ist die Umwandlung im eigentlichen Sinne kein relevanter Aspekt, da Energie immer Energie bleibt. Mathematisch ist die Energieumwandlung durch die den einzelnen Energieformen zugeordneten Terme zu charakterisieren. Diese Formeln beschreiben bei einer Energieumwandlung den gleichen Energiebetrag. Die Beschreibung eines Umwandlungsprozesses bezieht sich vor allem auf die phänomenologische Ebene. Die Energieerhaltung stellt die Invarianten fest, wohingegen die Energieumwandlung den Fokus auf die (beobachtbaren) Änderungen in den Energieerscheinungsformen legt.

WAGNER und FLINT (2018) ergänzen das Konzept der Energieumwandlung, das sich im Physikunterricht vor allem auf die Phänomene Wärme, Licht, elektrischer Strom und mechanische Arbeit stützt, um die *Energie in den Stoffen*. Durch diese Erweiterung können die in der Chemie betrachteten Stoffumwandlungen und der zugehörige Energieumsatz berücksichtigt werden. Die in den Stoffen gespeicherte Energie wird somit als Teil der Energieumwandlungskette betrachtet werden.

Energieübertragung *Energie wird zwischen Systemen und Objekten übertragen.*

Wechselwirkungen zwischen zwei Systemen gehen zumeist mit einer Energieübertragung

3. Energie als grundlegendes Konzept

einher. Aus Perspektive eines abstrakten Energiebegriffs betrachtet man dabei einen Energieaustausch, der mathematisch über die Beträge der Energie und deren Zu- und Abnahme in den betreffenden Systemen darstellbar ist. Bei einer phänomenologischen Betrachtungsweise steht der Transport von Energie über Systemgrenzen hinweg im Fokus.

Man kann im fachdidaktischen Zusammenhang zwei Arten von Transferketten betrachten (SCHECKER & DUIT, 2018):

- **Transferkette aus Perspektive der Energieformen:**

Es wird die Übertragung bzw. Umwandlung einzelner Energieformen ineinander betrachtet.

Beispiel: chemische Energie \rightarrow elektrische Energie \rightarrow kinetische Energie

- **Transferkette aus Perspektive der Energie(form)wandler:**

Der Energietransfer wird mittels der einzelnen Energiewandler betrachtet. Die Art der Energie spielt dabei eine untergeordnete Rolle.

Beispiel: Kohlekraftwerk \rightarrow Ventilator

Energieerhaltung *Energie bleibt erhalten. Sie kann nicht erzeugt oder vernichtet, sondern nur umgewandelt und übertragen werden.*

Unter Energieerhaltung ist zu verstehen, dass Energie weder vernichtet noch erschaffen werden kann. Diese für das Energieverständnis fundamentale Aussage beruht auf der Beobachtung von Prozessen und Phänomenen in der Lebenswelt, für die es keine Ausnahmen gibt. Aus diesem Grund ist das Prinzip der Energieerhaltung als ein wahrgenommener aber nicht deduktiv ableitbarer Grundsatz zu verstehen (FEYNMAN et al., 2015).

Die Energieerhaltung lässt sich durch mathematische Formulierungen darstellen. In den Naturwissenschaften erfolgt dies insbesondere durch den 1. Hauptsatz der Thermodynamik sowie dem daraus resultierenden Energieerhaltungssatz.

Im Alltag bedeutet der Ausdruck *etwas erhalten*, dass etwas in seinem ursprünglichen Zustand belassen wird. Aus Sicht der Naturwissenschaften bedeutet *Energie erhalten* jedoch, dass Energie nicht vernichtet oder erschaffen aber die ursprüngliche Form verändert werden kann (NORDINE, 2016b). Eng verwandt damit ist der Umstand, dass die Energie zwar erhalten bleibt aber nach bestimmten Prozessen in einer für den Menschen nicht nutzbaren Form vorliegt (vgl. auch Energieentwertung).

Energieentwertung *Energie wird in allen makroskopischen Prozessen dissipiert.*

Aus abstrakter Perspektive wird eine Dissipation von Energie durch die Entropie quantifiziert und durch den 2. Hauptsatz der Thermodynamik beschrieben (SCHLICHTING, 2000). Unter dissipativen Prozessen werden solche verstanden, bei denen eine geordnete Bewegung in eine weitaus weniger geordnete Bewegung übergeht und die Entropie zunimmt. Diese Prozesse sind irreversibel. Betrachtet man die Nutzbarkeit von Energie aus

3.3. Fachdidaktische Konzeptualisierungsansätze von Energie

phänomenologischer Perspektive über die verschiedenen möglichen Energietransportprozesse sowie Umwandlungen hinweg, so fällt auf, dass der Nutzwert der Energie (für den Menschen) immer geringer wird. Das geschieht durch die Umwandlung verschiedener Energieerscheinungsformen in thermische Energie. Bei der Reibung wird beispielsweise Wärme von einem System an die Umgebung übertragen. Diese Eigenschaft der Energie nennt man auch Energieentwertung. Der Begriff Entwertung unter Beachtung der Energieerhaltung weist darauf hin, dass dieser Teil der Energie nach einem Prozess nicht verschwunden bzw. verloren ist, sondern nur nicht mehr für den Menschen zur Verfügung steht. Mit dieser ökonomischen Sichtweise muss jedoch ein Wertesystem der Energieformen diskutiert werden (SCHELER, 2004).

3.3. Fachdidaktische Konzeptualisierungsansätze von Energie

Um zu einem fachwissenschaftlichen Energiekonzept hinzuführen, bedient man sich im naturwissenschaftlichen Unterricht verschiedener Konzeptualisierungsansätzen der Energie. Unter einer Konzeptualisierung ist der Versuch zu verstehen, ein Phänomen, das aus der Lebenswelt bekannt ist, in einen abstrakten Kontext einzubetten bzw. durch diesen zu verdeutlichen. Dabei wird der Fokus auf einen oder mehrere relevante Aspekte gelegt. Den Konzeptualisierungsansätzen der Energie ist allen die Anerkennung der Energieerhaltung und die Bilanzierung der Energie, die je nach Ansatz unterschiedlich stark in den Vordergrund gerückt werden, gemeinsam. Die einzelnen Ansätze sind nicht unumstritten. Im Zusammenhang mit der folgenden Darlegung werden auch die damit einhergehenden Herausforderungen erwähnt. Mittels der Konzeptualisierungsansätze kann verdeutlicht werden, welche Zugänge zum Energiebegriff existieren, welche Anschlussfähigkeit diese besitzen und in welchen Bereichen Herausforderungen bestehen können. Diese Erkenntnisse lassen sich dann auf die Untersuchung bestehender Energiekonzepte bei Lehrenden und Lernenden übertragen.

Energie als eine abstrakte Bilanzierungsgröße Es findet eine rein mathematische Betrachtung der Energie statt: Innerhalb eines Systems befindet sich eine bestimmte Menge an Energie, die sich nicht verändert - unabhängig davon, was innerhalb des Systems passiert. Ist dennoch eine Änderung des Energiebetrags feststellbar, so kann das ausschließlich an einer Interaktion mit der Umgebung oder mit einem zweiten System liegen. Die Energieänderungen der beiden Systeme gleichen sich aus.

Mit diesem Ansatz gehen Energiedefinitionen, die die Mengenartigkeit der Energie betonen (vgl. HUBER & HABELITZ-TKOTZ, 2015) einher. Eine beispielhafte Umsetzung dieser Vorgehensweise findet sich bei der Energiebetrachtung als Tauschwert (vgl. SCHELER, 2012). Nachteile dieser Konzeptualisierung finden sich in deren geringer Anschaulichkeit wie auch der Voraussetzung eines umfassenden mathematischen Verständnisses.

3. Energie als grundlegendes Konzept

Energie als Fähigkeit, Arbeit zu verrichten Der Ansatz bedient sich einer traditionell häufig verwendeten Energiedefinition. Der Ursprung dieser Definition kann in der historischen Entwicklung des Energiebegriffs gesehen werden (vgl. bspw. MAXWELL, 1902, Erstveröffentlichung 1871).

Die Konzeptualisierung ist mit verschiedenen Nachteilen verbunden. Dazu zählen unter anderem:

- Der Konzeptualisierungsansatz setzt vertiefende Kenntnisse der Fachbegriffe Arbeit und Kraft voraus.
- Es steht ausschließlich die Mechanik im Vordergrund. Dass sich die Energie auf alle physikalischen Kontexte anwenden lässt, wird dabei vernachlässigt.
- Der Energiebegriff spielt auch in der Biologie und Chemie eine wichtige Rolle, die physikalischen Größen Arbeit und Kraft jedoch weniger.

Um diese Kritik aufzugreifen, gibt es verschiedene, umformulierte Definitionsansätze (vgl. LIEBERS, 1981).

Energie als Fähigkeit, Veränderungen zu bewirken Der Ansatz stellt Energie als die Voraussetzung für den Ablauf von verschiedenen Prozessen dar (DUI, 1986) und betont die damit einhergehende Veränderung. Im IPN-Curriculum Physik (1978) werden diese Vorgänge und Prozesse in einer Energiedefinition näher ausgeführt:

„Energie ist nötig, wenn etwas in Bewegung gesetzt, schneller gemacht, gehoben, beleuchtet oder erwärmt werden soll und für viele andere Vorgänge.“
(IPN-Curriculum Physik (1978) zitiert nach SCHELER, 2004, S. 67-68)

Diese Art der Konzeptualisierung birgt auch Nachteile: Zum einen ist die Beschreibung der Veränderung bzw. der Ausprägung von Veränderungen unscharf und nicht einheitlich. Zum anderen stellt die Kombination dieses Ansatzes mit der Konzeptualisierung von Energie als abstrakter Bilanzierungsgröße eine Herausforderung dar, da man einen mathematischen Zahlenwert nicht für das Ablaufen eines Prozesses verantwortlich machen kann.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass mit der Erhaltungsgröße Energie nicht begründet werden kann, warum Prozesse in die eine Richtung ablaufen, in die andere aber nicht (MILLAR 2014). Hier müssen die Größen Entropie und freie Enthalpie miteinbezogen werden. BORN (1977) beschreibt das Verhältnis von Entropie und Energie anschaulich:

„In der riesigen Fabrik der Naturprozesse nimmt die Entropieproduktion die Stelle des Direktors ein, das Energieprinzip spielt nur die Rolle des Buchhalters. Während der Direktor (oder heute der ‚Betriebsrat‘) die ‚Richtung‘ des Unternehmens bestimmt, wacht der Buchhalter nur streng darüber, daß nicht mehr ausgegeben als eingenommen wird.“ (BORN, 1977, S.78)

3.3. Fachdidaktische Konzeptualisierungsansätze von Energie

OGBORN (1990) schlägt für den allgemeinen Schulgebrauch vor, Veränderungen nicht durch die Energie sondern durch einen Unterschied irgendeiner Art, wie beispielsweise einen Temperatur- oder Höhenunterschied, zu begründen.

Energie als Fähigkeit, Wärme zu erzeugen Die Konzeptualisierung von Energie mittels Wärme ist an der Sichtweise der Thermodynamik orientiert. Dabei liegt der Fokus phänomenologisch auf realen Prozessen und der Energieübertragung. Problematisch ist, dass ausschließlich das Phänomen Wärme in den Blick genommen wird, ohne dass andere Phänomene wie Licht oder Elektrizität Beachtung finden (DUIT, 2014).

Energie als universeller Treibstoff Die Konzeptualisierung von Energie beruht auf der Prämisse, dass Energie durch die verschiedenen Brennstoffe geliefert wird und ist stark an der Alltagswelt angelehnt. Durch die uneingeschränkte Betrachtung verschiedener Brennstoffe beschränkt sich die Konzeptualisierung nicht ausschließlich auf einen Fachkontext.

Probleme kann die Bestimmung der genauen Energiemenge aus den Treibstoffen bereiten: Wird die Energieänderung als Multiplikation von Kraft und zurückgelegtem Weg erfasst (vgl. ROGERS, 1960), treten wieder dieselben Herausforderungen in den Vordergrund, die sich auch bei der Konzeptualisierung im Zusammenhang mit der physikalischen Größe Arbeit ergeben.

Energie als quasi-stoffliche Größe bzw. als Fluidum Anschließend an die Vorstellung der Energie als ein universeller Treibstoff lässt sich die Energie als eine quasi-stoffliche Entität oder auch als Fluidum diskutieren. Dieser Konzeptualisierungsansatz steht im Gegensatz zu der Beschreibung von Energie im Sinne eines Abstraktums und stellt Energie als stoffähnlich dar. Energie kann in einem System gespeichert sein und fließt bei der Energieübertragung zu einem anderen System (vgl. FALK et al., 1983). Dieser Energiefluss ist immer auch an einen Fluss von Energieträgern gebunden. Als Energieträger werden dabei Treibstoffe, Brennstoffe oder auch Nahrungsmittel gesehen (FALK et al., 1983).

Der Ansatz widerspricht im Allgemeinen nicht dem physikalischen Energiekonzept (mit Ausnahme der Quantenmechanik) und kann besonders im Bereich der klassischen Physik als Analogie dienen. Es muss jedoch beachtet werden, dass die Energie - im Gegensatz zu einer realen stofflichen Größe - relativ zu einem Bezugssystem gesehen werden muss.

4. Energie im Chemieunterricht

Die Darstellung des Energiebezugs in den nationalen Bildungsstandards der Naturwissenschaften und den Bildungsplänen der Bundesländer stellt den Zugang zu einer allgemeinen Betrachtung der Thematik in den Schulen dar. Neben einer allgemeinen, inter- und multidisziplinären Energiebildung (vgl. bspw. im Projekt *energie.bildung* OLDENBURG, n. d.) und der Darstellung einiger Ergebnisse der Energiebildungsstudie (RWE STIFTUNG GEMEINNÜTZIGE GMBH, 2013), durchgeführt vom Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik (IPN) im Auftrag der RWE Stiftung, wird der Fokus auf den Chemieunterricht gelenkt: Es werden die energiebezogenen Aussagen der Basiskonzepte im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss (KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005b) sowie die *Einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie* (EPA) (KMK, 2004) betrachtet. Auf Grundlage einer vorliegenden Analyse der Bildungspläne für den Chemieunterricht der Bundesländer durch WAGNER und FLINT (2018) findet eine spezifischere Betrachtung relevanter, energiebezogener Themenbereiche für den Chemieunterricht statt.

4.1. Energiebildung

Unter dem Begriff Energiebildung wird ein multidisziplinäres Thema verstanden, das den Blick auf den Energiesektor, die Energiewende und die damit einhergehenden fachlichen, ökonomischen, soziologischen, politischen, historischen, rechtlichen, technischen, ökologischen und ethischen Dimensionen lenkt (OLDENBURG, n. d.). Einen wichtigen Anteil an der Energiebildung tragen dabei Hochschulen und Schulen.

„Unter schulischer Energiebildung werden die Gesamtheit aller erzieherischen Bemühungen und Prozesse verstanden, die Kinder und Jugendliche beim Aufbau von bestimmten Kenntnissen, Fähigkeiten, Verhaltensdispositionen und Einstellungen unterstützt. [...]“ (OLDENBURG, n. d.)

Diese Arbeitsdefinition des Projektes *energie.bildung*, das an der Universität Oldenburg durchgeführt wurde, ist fachübergreifend zu verstehen. Jedes (Unterrichts-) Fach leistet einen eigenen Beitrag zur Energiebildung, der sich auch in den jeweiligen Bildungsplänen der einzelnen Bundesländer widerspiegelt.

Im Zuge der Energiebildungsstudie (EBS) (RWE STIFTUNG GEMEINNÜTZIGE GMBH, 2013) wurde eine Lehrplananalyse naturwissenschaftlicher Fächer sowie der Fächer Technik, Geografie, Wirtschaft und Politik auf ihren Energiebezug hin durchgeführt. Es fand

4. Energie im Chemieunterricht

eine Untersuchung der Lehrpläne aller 16 Bundesländer statt. Dabei wurde zwischen systematisch-fachlichen Bezügen, technischen sowie gesellschaftlichen Aspekten unterschieden. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass jedes Bundesland andere Schwerpunkte hinsichtlich der Energiebildung legt und es wurde eine sehr große Streubreite identifiziert. Ebenfalls zeigte sich eine hohe Variabilität in der Intensität der Behandlung und Gewichtung der verschiedenen relevanten Aspekte. Als Kritik wurde zudem geäußert, dass häufig eine Verknüpfung der naturwissenschaftlichen Inhalte zu gesellschaftlichen und technischen Fragestellungen fehlt. Der Fokus wurde deutlich auf der Fachsystematik liegend identifiziert.

„Mehr als nur abstrakt besteht die Gefahr, dass ein beträchtlicher Teil der Schülerinnen und Schüler derzeit in einem nicht ausreichenden Maß für eine kompetente Auseinandersetzung mit den wissenschaftlichen, technologischen und gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Energiezukunft vorbereitet werden.“ (IPN, 2012, S. 3)

Erschwerend kommt hinzu, dass in einigen Bundesländern sehr detaillierte Lehrpläne vorliegen und in anderen ausschließlich knappe Beschreibungen der Ziele existieren. Auch wenn in allen Lehrplänen durchgängig das Thema *Energie sparen* vertreten ist, so war ersichtlich, dass die gesellschaftlichen Aspekte, vor allem in der Oberstufe, in den Hintergrund treten. Diese Voraussetzungen müssen in Bezug auf die Vermittlung der Energiebildung in der Schule berücksichtigt werden.

Energiebildung in der Lehrkräfteausbildung Die oben zitierte Arbeitsdefinition des Projektes *energie.bildung* wird noch weitergeführt:

„Lehrerinnen und Lehrer sollen durch Energiebildung befähigt werden, Schülerinnen und Schüler beim Aufbau dieser Kenntnisse, Fertigkeiten und Dispositionen zu unterstützen.[...]“ (OLDENBURG, n. d.)

Aus der Definition geht hervor, dass die Lehrkräfte einen entscheidenden Einfluss auf die Energiebildung in der Schule nehmen. Die Energiebildung muss also neben der systematischen Implementierung im Unterricht Gegenstand von Studienkonzepten der Lehrkräfteausbildung und -professionalisierung sein.

Im Rahmen der Energiebildungsstudie wurde außerdem eine bundesweite Befragung von Lehrkräften verschiedener Fächer und Schulstufen durchgeführt (EULER, 2013b). Die Lehrenden wurden nach Maßnahmen zur Unterstützung der Energiebildung in den Schulen sowie nach Ausbildungs- und Fortbildungswünschen gefragt. Neben dem Wunsch nach besonderen Lernformen, wie beispielsweise der Projektarbeit, und einer Verbesserung der Lehrpläne wurde ein Bedarf in der fächerübergreifenden Vernetzung der Thematik gesehen.

In der Bewertung der Ausbildungsqualität wurde die Notwendigkeit nach einer optimierten fachlichen und fachdidaktischen Lehrkräfteausbildung gesehen. Wünsche zu Ausbildungs- und Fortbildungsangeboten für (angehende) Lehrkräfte beliefen sich zu

nahezu gleichen Teilen auf ökologische, technologische und naturwissenschaftliche Angebote. Einen höheren Stellenwert hatten Informationen zur Energieeffizienz und zum Energiesparen. Es stellte sich heraus, dass die Befragten eine geringere Notwendigkeit in der Thematisierung von gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Aspekten, wie beispielsweise der Blick auf die Umsetzung neuer Energietechnologien, sahen.

4.2. Energie als Basiskonzept für den Chemieunterricht

Neben der fächerübergreifenden Betrachtung der Energiebildung wird der Themenbereich Energie für den Chemieunterricht in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss (KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005b) sowie in den einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie (KMK, 2004) umrissen. Dabei werden die Lerninhalte in verschiedene Basiskonzepte eingeordnet, um um einen systematischen Wissensaufbau aus fachlicher und lebensweltlicher Sicht zu gewährleisten (KMK, 2004).

Mittlerer Schulabschluss REHM und STÄUDEL (2012) bezeichnen Energie als einen der fünf Grundbegriffe des Chemieunterrichts. In den Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss wird im Kompetenzbereich *Fachwissen* der Fachbegriff Energie in zwei der vier Basiskonzepte explizit thematisiert:

- **F 3: Chemische Reaktionen** (KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005b, S. 11)
 - **F 3.1** Die Schülerinnen und Schüler beschreiben Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen.
 - **F 3.2** Die Schülerinnen und Schüler deuten Stoff- und Energieumwandlungen hinsichtlich der Veränderung von Teilchen und des Umbaus chemischer Bindungen.
- **F 4: Energetische Betrachtungen bei Stoffumwandlungen** (KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005b, S. 12)
 - **F 4.1** Die Schülerinnen und Schüler geben an, dass sich bei chemischen Reaktionen auch der Energieinhalt des Reaktionssystems durch Austausch mit der Umgebung verändert.
 - **F 4.2** Die Schülerinnen und Schüler führen energetische Erscheinungen bei chemischen Reaktionen auf die Umwandlung eines Teils der in Stoffen gespeicherten Energie in andere Energieformen zurück.

Der Schwerpunkt zum Aufbau eines Energiekonzeptes liegt im Chemieunterricht der Sekundarstufe I deutlich auf den chemischen Reaktionen und den damit einhergehenden Energieumwandlungsprozessen und Energieerscheinungsformen, wobei explizit die chemischen Bindungen und die in den chemischen Bindungen gespeicherte Energie erwähnt

4. Energie im Chemieunterricht

werden. Ebenso ist die Energieübertragung zwischen einem (Reaktions-) System und der Umgebung ein Schwerpunkt in der Formulierung der Basiskonzepte. Von den fünf zentralen Aspekten der Energie sind Energieumwandlung, Energieübertragung und Energieerscheinungsformen aufgeführt. Nicht ausdrücklich erwähnt sind die Aspekte Energieerhaltung und Energieentwertung.

Hochschulreife In den einheitlichen Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie (EPA) wird das Basiskonzept *Energie* benannt:

Alle chemischen Reaktionen sind mit einem Energieumsatz verbunden. (KMK, 2004, S. 7)

Im Kompetenzbereich Fachkenntnisse liegt wie auch in den Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss der Schwerpunkt auf den chemischen Reaktionen. Zusätzlich findet sich jedoch ein weiterer Zusammenhang im Kompetenzbereich *Reflexion*:

„De Prüflinge erkennen und beschreiben die gesellschaftliche Relevanz und Bedeutung der angewandten Chemie für die Ernährungssicherung, Energieversorgung, Werkstoffproduktion sowie in der Informations- und Biotechnologie.“ (KMK, 2004, S. 6)

In den einheitlichen Prüfungsanforderungen werden somit zusätzlich die gesellschaftlichen Herausforderungen der Energieversorgung in den Blick genommen.

4.3. Energiebezug im Chemieunterricht

Die Bildungsstandards zeigen, dass das Energiekonzept im Chemieunterricht stark mit den chemischen Reaktionen verwoben ist. Zu Beginn der Sekundarstufe I liegt der Fokus im Chemieunterricht vor allem auf den Stoffumwandlungsprozessen bei chemischen Reaktionen (SCHMIDKUNZ & PARCHMANN, 2011). Die zugehörigen energetischen Betrachtungen rücken im Verlauf der Schulzeit immer mehr in den Vordergrund und werden im Rahmen eines Spiralcurriculums weiter vertieft (WAGNER & FLINT, 2018). In der Sekundarstufe I werden Energieformen und deren Austausch zwischen System und Umgebung behandelt. Nach SCHMIDKUNZ und PARCHMANN (2011) werden die Freisetzung und die Zufuhr verschiedener Energieerscheinungsformen sowie gezielte Energieumwandlungsprozesse in einem weiteren Schritt thematisiert. Neben diesen grundlegenden Betrachtungen stellen die Deutung energetischer Phänomene über Teilchen (Bewegung, Bindungen) und die Kenntnis des Energiestufenmodells weitere Stufen in der Entwicklung des Energiekonzeptes dar. Die Sekundarstufe II zeichnet sich in der Entwicklung des Energieverständnisses von Lernenden vor allem durch thermodynamische Betrachtungen aus. Der Fokus liegt auf einer an den fachwissenschaftlichen Deutungen orientierten Darstellung der Inhalte.

Um konkrete Schwerpunkte zu identifizieren, die Beiträge zum Energiekonzept liefern, wurde von WAGNER und FLINT (2018) eine Synopse aktueller Rahmenlehrpläne für das Fach Chemie aller Bundesländer durchgeführt. Es lassen sich die in den folgenden Abschnitten dargestellten fachlichen Themenbereiche aus den Bildungsstandards und Rahmenlehrplänen, dem Überblick über die Entwicklung des Energieverständnisses von SCHMIDKUNZ und PARCHMANN (2011) sowie des Unterrichtskonzeptes zur Energie im Chemieunterricht von WAGNER und FLINT (2018) ableiten:

Chemische Bindungen Bindungsmodelle werden energetisch betrachtet und auf submikroskopischer Ebene interpretiert. Zwei wichtige Schwerpunkte stellen in der Sekundarstufe I die Energiestufen und die Ionisierungsenergie dar (WAGNER & FLINT, 2018). Im Chemieunterricht wird der Fokus vor allem auf die ionischen und kovalenten Bindungen im Zusammenhang mit den damit einhergehenden Fachbegriffen gelegt.

Thermodynamik und Kinetik bei chemischen Reaktionen In der Sekundarstufe I stellen die Energieumwandlung und die Energieübertragung bei chemischen Reaktionen, die Begriffe exotherm und endotherm sowie die Aktivierungsenergie und Energiediagramme wichtige Bausteine des Energiekonzeptes dar (WAGNER & FLINT, 2018). In der Sekundarstufe II werden die thermodynamischen Betrachtungen ergänzt. Es findet eine Erweiterung und Abstraktion statt. Die Hauptsätze der Thermodynamik sowie die damit zusammenhängenden Fachbegriffe sind vor allem im Leistungskursbereich präsent. Deren Einführung ist stark an der Fachwissenschaft orientiert (WAGNER & FLINT, 2018). Der erste Hauptsatz der Thermodynamik wird oftmals als Energieerhaltungssatz bezeichnet. Dies ist aber insofern irreführend, da der Energieerhaltungssatz die Unveränderlichkeit der Energiemenge in einem abgeschlossenen System postuliert. Der erste Hauptsatz der Thermodynamik bezieht sich hingegen auf ein geschlossenes System und ist eher als Energiebilanzgleichung mit den Charakteristika einer Energieübertragung in Form von Wärme und Arbeit zwischen einem System und seiner Umgebung zu verstehen.

Im direkten Zusammenhang zu den thermodynamischen Betrachtungen steht die Bedeutungsbeschreibung zu den Fachwörtern Temperatur, Wärme, Wärmekapazität und thermische Energie. Vor allem der Wärmebegriff ist für den Chemieunterricht von großer Bedeutung und die Unterscheidung von Temperatur und thermischer Energie sowie die Speicherung und Leitung thermischer Energie sind Gegenstand in den Rahmenlehrplänen (WAGNER & FLINT, 2018). Die Verwendung und Unterscheidung dieser Begrifflichkeiten stellt eine Herausforderung für den Chemieunterricht dar (SCHMIDKUNZ & PARCHMANN, 2011). Das liegt unter anderem daran, dass Ausdrücke wie *warm*, *Wärme* und *Temperatur* im Alltagssprachgebrauch synonym verwendet werden. Ebenso wird die Unterscheidung von Zustands- und Prozessgrößen nicht getroffen.

Energie in Natur, Technik und Gesellschaft Neben der Betrachtung von Inhaltsgebieten der organischen Chemie, wie beispielsweise der Verbrennung von Kohlenwasserstoff-

4. Energie im Chemieunterricht

fen, Energieträgern, Brennstoffen sowie dem energetischen Recycling in der Sekundarstufe I (WAGNER & FLINT, 2018) nehmen elektrochemische Prozesse eine wichtige Rolle in den Rahmenlehrplänen der Bundesländer ein (WITT & FLINT, 2016). Darin ist unter anderem der Betrieb von Batterien, Akkumulatoren und Brennstoffzellen inbegriffen. Zum Verständnis der ablaufenden Prozesse und den Hintergründen zur Energiespeicherung ist Fachwissen zu elektrochemischen Vorgängen notwendig.

Die chemische Energie ist ein Begriff, der vor allem im Bereich der Elektrochemie gebraucht wird, um die Energieumwandlungsprozesse in Batterien und Akkumulatoren zu beschreiben. QUINN (2014) erläutert, dass mit dem Begriff chemische Energie allgemein diejenige Energie gemeint ist, die in chemischen Prozessen umgesetzt wird bzw. werden kann und betont, dass diese nicht durch einen Absolutwert definiert, sondern über die Energieänderungen innerhalb einer chemischen Reaktion charakterisiert wird. Eine Herausforderung stellt die Abgrenzung des Fachbegriffs zu der inneren Energie sowie der Bindungsenergie dar (QUINN, 2014).

Die Rahmenlehrpläne verweisen darauf, dass die Lernenden als abschlussbezogene Kompetenzen auch die (zukünftige) Energieversorgung reflektieren und bewerten können sollen. Dies umfasst unter anderem fachliche Kenntnisse zu fossilen Energieträgern und regenerativen Energiequellen sowie zu den Prozessen der Energiebereitstellung in Kraftwerken und der Nutzung der Kernenergie. Auch die Energie in Nahrungsmitteln stellt einen Bestandteil des alltagsnahen Energiekonzeptes dar (WAGNER & FLINT, 2018).

Direkt übertragen auf den Bereich Energie setzt eine aktive Teilhabe und ein Mitwirken am gesellschaftlichen Energiediskurs Kenntnisse zu den Bedingungen der Energienutzung sowie zu Entstehungs-, Sach- und Verwendungszusammenhängen energieumsetzender Systeme voraus. Man kann hier von Energiemündigkeit sprechen (vgl. FLETCHER & DEUTSCH, 2016): Die Energiemündigkeit ist geprägt durch ein *naturwissenschaftliches Konzeptwissen*, das die Kenntnis der zentralen Aspekte der Energie auch in einem fächerübergreifenden Kontext umfasst. Ebenfalls von Bedeutung ist das *alltagspraktische Energiewissen*, das sich auf Faktenwissen in Bezug auf die Energienutzung im Alltag bezieht. Das *Bewertungswissen* ist gekoppelt mit der Fähigkeit, die Folgen der Energienutzung abschätzen zu können.

5. Energie im Kontext von Sprache und Kommunikation

Der Begriff Energie nimmt im Kontext des (sprachlichen) Wissenstransfers eine besondere Rolle ein. Zum einen handelt es sich um einen mehrsprachigen Begriff, der in verschiedenen Fachdisziplinen, -kontexten und im Alltag eine Bedeutungszuschreibung erfährt. Zum anderen sind die verschiedenen Darstellungsebenen, wie beispielsweise Metaphern relevant. Ebenso finden sich Ausdrücke wie *Energie verbrauchen*, *Energie verlieren* und *Energie vernichten*, die aus linguistischer, fachwissenschaftlicher und fachdidaktischer Perspektive diskutiert werden.

Energie als mehrdeutiger Begriff Die Mehrdeutigkeit des Begriffs Energie lässt sich anhand der Betrachtung zweier verschiedener Wörterbücher verdeutlichen:

- **Duden** (DUDENREDAKTION, n. d.):
Energie:
 1. Mit Nachdruck, Entschiedenheit (und Ausdauer) eingesetzte Kraft, etwas durchsetzen;
starke körperliche und geistige Spannkraft, Tatkraft
 2. (Physik) Fähigkeit eines Stoffes, Körpers oder Systems, Arbeit zu verrichten
- **Duden - Das Wörterbuch chemischer Fachausdrücke** (NEUMÜLLER, 2003, S. 218):
Energie: [...] In Naturwissenschaft u. Technik die Fähigkeit eines stofflichen Systems, Arbeit zu verrichten. In der Thermodynamik spielen die Zustandsfunktionen innere Energie, freie oder Helmholtz-Energie u. Gibbs-Energie (freie Enthalpie) eine bes. Rolle. [...]

Die allgemeine Definition der Energie (DUDENREDAKTION, n. d.) umfasst zunächst eine lebensweltliche Bedeutung, die durch stark subjektive Komponenten (Entschiedenheit; geistige Spannkraft) geprägt ist. Als weitere Bedeutung wird auf die klassische Definition der Energie als Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, verwiesen (siehe 3.3). Im Gegensatz dazu erfährt die Energie eine Bedeutungsveränderung im fachsprachlichen Kontext von NEUMÜLLER (2003). Lebensweltlicher und subjektiver Bezug spielen in dieser Definition keine Rolle. Der Schwerpunkt liegt auf der Thermodynamik unter Nennung von innerer Energie, Helmholtz- und Gibbs-Energie.

5. Energie im Kontext von Sprache und Kommunikation

Würden sich Lernende auf Grundlage der erstgenannten Duden-Definition dem fachsprachlichen Begriff Energie nähern, kämen sie möglicherweise zu einer nicht-adäquaten Bedeutungsübertragung aus der Alltagssprache in die Fachsprache.

5.1. Energie und Metaphern

Energie ist ein abstraktes naturwissenschaftliches Konzept, das durch die Nutzung verschiedener Metaphern zu charakterisieren ist (vgl. AMIN et al. (2012)). LANCOR (2014a) und LANCOR (2014b) identifizierte sieben Metaphern im naturwissenschaftlichen Kontext, die sich in der Biologie, der Chemie und der Physik im (fachlichen) Sprachgebrauch und in der (schrift-) sprachlichen Wissensvermittlung finden lassen.

- **Energie als bilanzierbare Größe** (*Energy as a Substance that can be accounted for*)
Bei dieser Metapher wird die Energieerhaltung in den Fokus gestellt aber die Energieumwandlung vernachlässigt. Man findet im didaktischen Kontext die Nutzung von Analogien mit dem Kontomodell der Energie oder den Bauklötzen bei FEYNSMAN et al. (2015).
- **Energie als Substanz, die die Form ändern kann** (*Energy as a substance that can change forms*)
Von den zentralen Aspekten der Energie steht bei dieser Metapher vor allem die Energieumwandlung aber auch die Energieerhaltung im Vordergrund. In den Hintergrund rückt jedoch die Energieübertragung. In den Naturwissenschaften finden sich viele Beispiele, in denen die Energieumwandlung zwischen Energieformen thematisiert werden. In der Biologie ist es beispielsweise die Fotosynthese (Strahlungsenergie in chemische Energie), in der Chemie geschieht dies unter anderem bei chemischen Reaktionen und in der Physik findet man häufig die Analogie der Umwandlung von potentieller in kinetische Energie, wenn ein Ball eine Rampe herunter rollt.
- **Energie als eine Substanz, die fließen kann** (*Energy as a substance that can flow*)
Bei dieser Darstellungsform der Energie wird vor allem die Energieübertragung hervorgehoben, wohingegen die Energieerhaltung nicht weiter beachtet wird. Der Energiefluss ist eine Metapher, die in der naturwissenschaftlichen Didaktik häufig gefunden werden kann. Beispielsweise wird der Energiefluss innerhalb eines Ökosystems betrachtet oder die Wärmeübertragung des thermischen Gleichgewichts als ein Fluß beschrieben.
- **Energie ist eine Substanz, die verloren gehen kann** (*Energy as a substance that can be lost*)
Wird der Energieverlust betrachtet, so stehen Energieübertragung und Energieentwertung im Fokus. Auf die Energieumwandlung und die Energieerhaltung wird

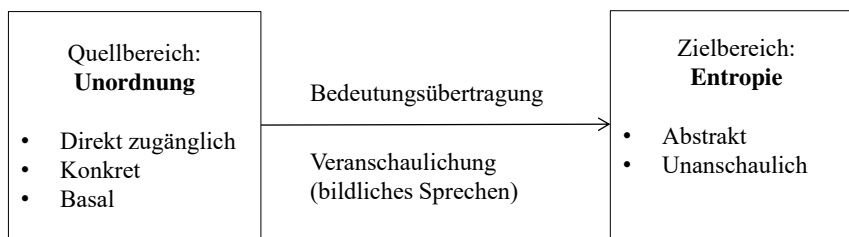


Abbildung 5.1.: Unordnung und Entropie: Darstellung des Quell- und Zielbereichs

dabei weniger eingegangen. Für die Biologie wird bei der Energieverlustmetapher die Nahrungspyramide angeführt, bei der von der untersten zu den oberen Stufen immer nur ein Teil der Energie übertragen werden kann. In der Chemie können exotherme Reaktionen, bei denen Wärme zwischen System und Umgebung übertragen wird, mit einem Energieverlust in Verbindung gebracht werden.

- **Energie als eine Zutat oder ein Produkt** (*Energy as an ingredient or product*)
Diese Metapher legt den Fokus auf den Energietransfer, vernachlässigt jedoch die Aspekte der Energieerhaltung und der Energieentwertung. In den Naturwissenschaften lassen sich verschiedene Analogien finden. So ist oftmals von der gespeicherten Energie in chemischen Bindungen oder Substanzen die Rede, die freigesetzt werden kann. Auch die Aktivierungsenergie, die einer chemischen Energie zugeführt werden muss, um diese zu starten, zählt dazu. Ebenso werden Energiespeicher, wie Batterien oder Akkumulatoren thematisiert.
- **Energie als ein Prozess oder eine Wechselwirkung** (*Energy as process or interaction*)
Diese Metapher legt den Fokus auf die Energieübertragung und hat die Energieumwandlung sowie die Energieerhaltung weniger im Blick.

Entropie und die Unordnung - eine Metapher Eine weitere verbreitete Metapher im erweiterten Fachkontext zur Energie ist die Verbindung von Entropie und Unordnung (vgl. auch Abschnitt 6.4.3). Dabei ist die Unordnung der Quellbereich der Metapher (vgl. Abbildung 5.1). Synonyme für die Unordnung sind Chaos und Durcheinander. Betrachtet man die Deutungszusammenhänge des Begriffs Ordnung, so ergeben sich unter anderem zwei verschiedene Sichtweisen, die sich auch auf die Entropie anwenden lassen:

- der geordnete, ordentliche Zustand
- ein System geregelter Beziehungen, in dem Teile eines Ganzen zueinander stehen

Herrscht Unordnung, so existiert dieser geordnete Zustand nicht. Es bestehen keine oder kaum geregelte Beziehungen der Teile eines Ganzen zueinander. Die Interaktionen sind wahllos bzw. regellos.

5. Energie im Kontext von Sprache und Kommunikation

Die Bedeutungsübertragung des Begriffs Unordnung aus dem dargestellten Quellbereich auf den Zielbereich Entropie erfolgte aus historischer Perspektive schon sehr früh. Beispielsweise wurde die Metapher Mitte des 19. Jahrhunderts von BOLTZMANN und HELMHOLTZ genutzt (LAMBERT, 2002). Ungefähr ab Ende des 19. Jahrhunderts war die Unordnungs-Metapher in den allgemeinen Sprachgebrauch zur Beschreibung der Entropie übergegangen (HAGLUND, 2017).

5.2. Sprachliche Betrachtung: Energie verbrauchen, verlieren und vernichten

Anhand der inhaltlichen Deutung der Termini *Energie verbrauchen*, *Energie verlieren* und *Energie vernichten* lassen sich der Zusammenhang von Sprache und Wissen, der Gebrauch von Metaphern und die Differenz von chemischer Fach- und Alltagssprache darstellen. Die Ausdrücke werden in der Alltagssprache sehr selbstverständlich verwendet, widersprechen aber dem fachwissenschaftlichen Aspekt der Energieerhaltung. An dieser Stelle muss ein genauer Blick auf die Termini geworfen sowie deren Verwendung differenziert betrachtet und interpretiert werden.

Energie verbrauchen

Das Verb verbrauchen wird in der medialen Berichterstattung zumeist in folgenden Zusammenhängen thematisiert (DIGITALES WÖRTERBUCH DER DEUTSCHEN SPRACHE, n. d. a):

- Kraftstoff verbrauchen
- Energie verbrauchen
- Ressourcen verbrauchen
- Strom verbrauchen

Dabei werden diesem im Allgemeinen zwei differenzierte Bedeutungen zugeschrieben (vgl. DIGITALES WÖRTERBUCH DER DEUTSCHEN SPRACHE, n. d. a):

1. eine bestimmte Menge von etw. für einen bestimmten Zweck verwenden, bis es aufgebraucht ist, nichts mehr übriggeblieben ist
2. etw. durch Verwendung abnutzen, verschleifen, unbrauchbar machen

Wenn man sich nun also den Zusammenhang der beiden Begriffe Energie und verbrauchen unter Rückgriff auf die oben angesprochenen Wortbedeutungen von verbrauchen betrachtet, so ergeben sich für den Term Energieverbrauch zwei Deutungsmöglichkeiten:

5.2. Sprachliche Betrachtung: Energie verbrauchen, verlieren und vernichten

1. **Eine bestimmte Menge der Energie wird für einen bestimmten Zweck verwendet. Dies kann so lange geschehen, bis diese Menge aufgebraucht ist.**

Der Begriff wird im Sinne von brauchen bzw. anwenden betrachtet. Man benötigt Energie für einen bestimmten Vorgang bzw. für eine bestimmte Apparatur. Diese kann aber nur so lange zugeführt werden, bis die Menge an Energie erschöpft ist.

2. **Die Energie, die genutzt wird, wird unbrauchbar gemacht.**

In dieser Verwendung wird der Begriff in Bezug auf die Energieentwertung verwendet. Der Begriff verbrauchen steht hier nicht dafür, dass die Energie vernichtet wird, sondern dass sie in der (nach dem stattfindenden Prozess) vorliegenden Form nicht mehr zu Verfügung steht. Sie ist nicht mehr zur weiteren Verwendung geeignet.

NORDINE (2016a) beschreibt, dass die Verwendung des Term *Energie verbrauchen* bzw. *energy use* unter der Berücksichtigung bestimmter Rahmenbedingungen möglich ist:

„When we say that we use energy, this means that we transfer energy into a system or device in a form that is concentrated and readily available. In the device, the energy is transformed as the device operates.“ (NORDINE, 2016a, S. 67)

Der Begriff verbrauchen impliziert neben dem Energietransport zwischen System und Umgebung auch immer die Entwertung, wenn die Energieerscheinungsform in thermische Energie umgewandelt wird und dann (dem Menschen) zur weiteren Nutzung nicht mehr zur Verfügung steht. Der Energieverbrauch steht hier im Zeichen des Konsums.

Eine wichtige Größe im Bereich der Energiewirtschaft ist die *Exergie*. Diese stellt den Teil der Energie dar, der im entsprechenden Prozess direkt genutzt werden kann. Der andere Teil, der nicht genutzt werden kann, ist die *Anergie*. Anergie kann beispielsweise Abwärme darstellen, die bei Energieumwandlungsprozessen anfällt. Im Gegensatz zur Energie ist die Exergie keine Erhaltungsgröße; sie kann irreversibel in Anergie überführt werden. Im energiewirtschaftlichen Sektor ist die Exergie die Bezugsgröße und nicht die Energie. Beispielsweise richten sich die Preise verschiedener Energieträger nach deren Exergiegehalt und berücksichtigen schon die verschiedenen Verluste innerhalb einer Energiebereitstellungskette, sprich deren Anergie (LÜDEKE-FREUND & OPEL, 2014). Bezogen auf den Ausdruck Energieverbrauch ist demnach in vielen Fällen eher der Exergieverbrauch gemeint.

Eine weitere Interpretation bezieht sich auf den Verbrauch von Energieträgern bzw. Energieressourcen im Alltag.

„If we say that we should drive less to conserve energy, what we really mean is that we should conserve the energy resources that went into producing gasoline. That we should maintain these energy resources in their original condition.“ (NORDINE, 2016a, S. 67)

5. Energie im Kontext von Sprache und Kommunikation

Auch hier lässt sich der Bezug zur Energiewirtschaft und der Primärenergie herstellen. Primärenergie stellt die Ressourcen dar, die benötigt werden, um Endenergie bereitzustellen. Dabei befinden sich diese in einem technisch noch nicht aufbereitetem Zustand (z.B. Kohle, Öl, Erdgas, Uran)(LÜDEKE-FREUND & OPEL, 2014). Wenn über die Begrenztheit fossiler und nuklearer Ressourcen diskutiert wird, ist der Primärenergieverbrauch die Referenzgröße. So hatte im Jahr 2017 in Deutschland das Mineralöl einen Anteil von 35 % an den genutzten Primärenergien, die regenerativen Energien wiesen einen Anteil von gut 13 % auf. (vgl. ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN E. V., 2018)

Wenn also von einem Energieverbrauch die Rede ist, kann auch der Primärenergieverbrauch und damit der Verbrauch der Ressourcen gemeint sein.

Aussagen, die den Energieverbrauch zum Thema haben, sind nicht grundsätzlich als fachlich inadäquat zu bewerten. Wird die Wertigkeit der Energie oder der Verbrauch von Ressourcen angesprochen, so kann von der Akzeptanz der Energieerhaltung ausgegangen werden.

Energie verlieren

Dem Verb verlieren können verschiedene Bedeutungen zugeschrieben werden. Darunter finden sich die folgenden (DIGITALES WÖRTERBUCH DER DEUTSCHEN SPRACHE, n. d. b):

1. etw. kommt unwillkürlich, ungewollt abhanden
2. etw. einbüßen müssen; etw. nicht behalten können
3. etw. verschwindet

Etwas verlieren bedeutet dementsprechend, dass das Subjekt nicht mehr zur Verfügung steht, jedoch nicht aufgehört hat zu existieren. Ebenso wie der Energieverbrauch steht auch der Begriff Energieverlust unter bestimmten Voraussetzungen dem Konzept der Energieerhaltung nicht konträr gegenüber. Der Ausdruck Energie verlieren wird in den Naturwissenschaften vor allem als Metapher genutzt (vgl. auch Abschnitt 5.1). Die Ineffizienz der Energieübertragung wird dabei in den Vordergrund gerückt (NORDINE, 2016a). Verschiedene Studien setzen sich mit dieser „energy loss“ Metapher auseinander (vgl u. a. LANCOR, 2014a, LANCOR, 2015 und WERNECKE et al., 2018). Entscheidend ist bei der Verwendung des Begriffs Energieverlust, dass immer ein Systembezug hergestellt werden muss. Die Energie ist für das eine System nicht mehr nutzbar, sie geht verloren, was bedeutet, dass sie in ein anderes System transferiert wird.

5.2. Sprachliche Betrachtung: Energie verbrauchen, verlieren und vernichten

Die Thematisierung eines Energieverlustes kann dementsprechend als fachlich adäquate Vorstellung gewertet werden, wenn ein Systembezug hergestellt wird und dessen Grenze den Übergang der Energie an die Umgebung symbolisiert. In diesem Fall wird die Energieerhaltung nicht abgelehnt.

Energie vernichten

Für das Verb vernichten gibt es eine Deutungsweise (DIGITALES WÖRTERBUCH DER DEUTSCHEN SPRACHE, n. d. c):

1. etw. völlig zerstören, zunichtemachen

Die Vernichtung von Energie kann damit so beschrieben werden, dass diese nicht mehr existiert, da sie vollkommen zunichtegemacht wurde. Die Aspekte der Energieübertragung, Energieentwertung und Energieumwandlung spielen in dieser Deutung keine Rolle. Die Energievernichtung muss der Energieerhaltung entgegengesetzt angesehen werden.

Die Verwendung des Begriffs ist dementsprechend im Zusammenhang der Energiethematik als falsch zu betrachten und weist auf ein fehlendes Verständnis der Energieerhaltung hin.

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

Die empirischen Erhebungen, die zu den Vorstellungen von Lehrenden und Lernenden durchgeführt wurden, lassen sich in zwei Bereiche einteilen. Zum einen werden Assoziationen und (Rahmen-) Konzepte erhoben. Dabei werden die mentalen Repräsentationen zu dem Begriff Energie aus einem konkreten Fachkontext rausgelöst betrachtet und als ein grundlegendes Konzept betrachtet. Zum anderen wird der Gegenstand Energie und die zugehörigen Fachbegriffe in den verschiedenen Fachkontexten beleuchtet. Dazu zählen im Kontext der Arbeit die chemischen Bindungen, Thermodynamik und Kinetik bei chemischen Reaktionen sowie der Energiebezug in Natur, Technik und Gesellschaft. Für eine umfassende Übersicht werden in der Darstellungen Studien aus verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen miteinbezogen.

6.1. Mentale Repräsentationen von Lernenden zum Begriff Energie

Assoziationen DUIT (1981) erhob Assoziationen von Schülerinnen und Schülern zur Energie und klassifizierte diese in verschiedene Kategorien. Das Kategoriensystem wurde außerdem von TRUMPER (1990) aufgegriffen und erweitert:

- **Gegenständliches:** Menschen, Naturobjekte, Gerätschaften, Industrie, Laborgeräte
- **Prozesse:** Körperliche und mentale Aktivitäten
- **Phänomene:** Licht, Wärme, Elektrizität
- **Physikalische Konzepte:** Einheiten, Formeln, Energieformen, Termini wie Kraft, Leistung und Arbeit
- **Sonstiges:** Alle Zusammenhänge, die nicht in eine der vorherigen Kategorien eingeordnet werden konnten

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

Im Rahmen der Querschnittsstudie von TRUMPER (1990) konnte festgestellt werden, dass mit dem Alter der Schülerinnen und Schüler die Nennung physikalischer Konzepte deutlich anstieg.

DUIT (1986) zeigte mittels eines Assoziationstestes, dass die Lernenden Energie als eine Art Universaltriebstoff betrachten. Häufig wurden ebenfalls die Begriffe Öl, Benzin, Strom, Kraft, Licht und Energiesparen assoziiert. In der zu dieser Studie von CROSSLEY et al. (2009) durchgeführten Replikationsstudie fiel auf, dass die elektrische Energie im Vergleich von den Schülerinnen und Schülern doppelt so häufig genannt wurde. Hingegen wurden die Brenn- und Treibstoffe wesentlich seltener assoziiert. Auch kam das Energiesparen nicht mehr vor. CROSSLEY et al. (2009) betrachtete außerdem die Entwicklung im Verlauf der Schulzeit und stellte ebenso wie DUIT (1986) fest, dass die Nennung des elektrischen Stroms ab- und die Erwähnung von Energieformen zunahm. So fanden sich unter den acht häufigsten Nennungen in der Klassenstufe 9 die mechanische Energie, die Wärmeenergie, die elektrische Energie und die chemische Energie (CROSSLEY et al., 2009).

(Rahmen-) Konzepte GILBERT und WATTS (1983) fassen unter einer Vorstellung die persönlichen Hypothesen und Theorien des einzelnen Individuums zum erfragten Sachverhalt auf. Ein Rahmenkonzept versteht sich als eine zusammenfassende Beschreibung, welches die expliziten Aussagen und die implizierte Intention der Probanden erfasst und verallgemeinert.

WATTS (1983a) identifizierte bei Schülerinnen und Schülern sieben verschiedene Rahmenkonzepte zur Energie:

- **Anthropozentrische Energie** (*Anthropocentric energy*)
Die Energie wird als menschenähnlich oder auch menschenzentriert gesehen. Das bedeutet, dass die Energie als dem Menschen eigen angesehen wird und nicht in leblosen Gegenständen enthalten ist. Einzig in der Aktivität wird leblosen Objekten Energie zugeordnet. Dies geschieht dann mittels der Zuweisung menschlicher Attribute.
- **Gelagerte Energie** (*Depository energy*)
Im Vordergrund dieses Rahmenkonzeptes steht der Energieinhalt bestimmter Objekte wie Batterien, Kohle oder Chemikalien. Es werden verschiedene Energieformen genannt, die aber separat voneinander betrachtet werden. Die Wirkungsweise der Energie wird auf einen Verbrauch der jeweiligen Energieform zurückgeführt (und nicht auf eine Umwandlung).
- **Funktionale Energie** (*Functional energy*)
Energie wird als vom Menschen (für technologischen Komfort) erfunden angesehen. Ihre Menge richtet sich nach Angebot und Nachfrage. Sie ist nur dann ständig verfügbar, wenn sie angefragt wird. Sie wird nicht als den Objekten innewohnend, sondern als extern angesehen.

6.1. Mentale Repräsentationen von Lernenden zum Begriff Energie

- **Energie als Zutat** (*Ingredient energy*)
Energie ist in bestimmten Stoffen enthalten und kann nur durch einen Auslöser oder eine gezielte Aktivierung freigesetzt werden. Energie ist also nicht ununterbrochen verfügbar.
- **Sichtbare Energie** (*Ostensive energy*)
Die Energie wird beim Auftreten von offenkundigen Ereignissen während einer Aktivität beschrieben. Sie ist nur in diesen Aktivitäten vorhanden. Oftmals werden sogar die Aktivitäten selbst mit dem Begriff Energie bezeichnet.
- **Produzierte Energie** (*Produced energy*)
In diesem Rahmenkonzept gehen die Schülerinnen und Schüler davon aus, dass Energie als Nebenprodukt beispielsweise einer chemischen Reaktion produziert und freigesetzt wird. Das kann entweder geschehen, um einen weiteren Prozess anzutreiben oder aber Energie wird als Abfallprodukt gesehen. Es wird weder Bezug auf den Energieinhalt bestimmter Stoffe noch auf die Aufnahme von Energie bei chemischen Reaktionen genommen.
- **Transferierte Energie** (*Transfer energy*)
Es existieren verschiedene Formen der Energie, die ineinander überführt werden können. Außerdem wird die Energie ähnlich einer Flüssigkeit gesehen, die von System zu System und von Ort zu Ort fließen bzw. transferiert werden kann. Sie gilt dabei als extern. Die Energie wird als ständig verfügbar betrachtet.

TRUMPER (1990) ergänzte zwei der Konzepte:

- **Gelagerte Energie**
Gelagerte Energie ist aktiver Natur, in dem die Energie als Auslöser für bestimmte Prozesse gesehen wird.
- **Transferierte Energie**
Akzeptiertes naturwissenschaftliches Gesetz mittels Energieübertragung über Systemgrenzen hinweg.

Bei allen befragten Schülerinnen und Schülern fanden sich die Rahmenkonzepte *anthropozentrische Energie*, *(aktive) gelagerte Energie* sowie *produzierte Energie*.

BEHLE und WILHELM (2017) führten ihrerseits eine Reanalyse von DUIT (1986) und CROSSLEY et al. (2009) durch und bezog sich in der Darstellung der Ergebnisse außerdem auf die Rahmenkonzepte von WATTS (1983a), zu denen Unterschiede detektiert wurden. So waren die Konzepte *Energie als Zutat* und *sichtbare Energie* kaum noch abbildbar, wohingegen zwei neue Rahmenkonzepte aus den Aussagen der Lernenden abgeleitet werden konnten (BEHLE & WILHELM, 2017):

- **Energie als Katalysator**
Die Energie wird als Antrieb bzw. als Katalysator beschrieben, wobei sie jedoch nicht als Inhaltsstoff bestimmter Objekte und Körper angesehen wird. Das heißt, der Energie wird kein Träger zugeordnet.

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

- **Partiell transferierte Energie**

Das Rahmenkonzept stellt einen Übergang der von WATTS (1983a) benannten Konzepte *transferierte Energie* und *gelagerte Energie* dar. Wie bei der gelagerten Energie werden Energieformen betrachtet, die nicht unbedingt als gleichwertig angesehen werden. Jedoch kann mittels dieser Energieformen eine Art lokaler Energietransfer begründet werden. Der vollständige Energietransfer wird jedoch nicht konsequent zu Ende gedacht. So werden Umwandlungsketten und ein abschließender Verbrauch der Energie in Einklang gebracht.

SOLOMON (1983) führte ebenfalls eine Studie über das Lernen von Energieaspekten im Schulunterricht durch. In seinem Fokus stand dabei die Analyse von Beschreibungen von Energieumwandlungsketten durch die Schülerinnen und Schüler innerhalb des sogenannten symbolischen (Fokus auf der Fachwissenschaft) und des lebensweltlichen Bereichs (Fokus auf dem Alltag). Er beleuchtete, inwieweit die Schülerinnen und Schüler bei ihren Antworten auf Begriffe aus den beiden Domänen zurückgriffen. Dabei wurde ersichtlich, dass viele Probanden richtige Antworten gaben, diese jedoch oftmals mit lebensweltlichen Begriffen versahen. Ebenso konnte festgestellt werden, dass sich die Nutzung alltäglicher Begriffe über eine längere Zeitspanne hinweg verfestigte, wenn keine gezielte Stärkung des zugehörigen symbolischen Wissens erfolgte.

„The deepest levels of understanding are achieved neither in the abstract heights of 'pure' physics, nor by a struggle to eliminate the inexact structures of social communication, but by the fluency and discrimination with which we learn to move between these two contrasting domains of knowledge.“ (SOLOMON, 1983, S.58)

Ein erfolgreicher Übergang zwischen beiden Domänen gestaltete sich schwieriger und war mit einem tieferen Verständnis der Materie verbunden.

J. BURGER (2001) die Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zur Energie im biologischen Kontext. Sie stellte unter anderem fest, dass Energie als Voraussetzung für das Leben angesehen wurde. Die Wärme (-energie) spielte besonders in den Bereichen Energieaufnahme und -abgabe relevant. Die Probanden beschrieben außerdem, dass die Wärmeenergie durch Lebewesen erzeugt wird und für alle Organismen lebensnotwendig ist.

6.2. Mentale Repräsentationen von Lehrenden zum Begriff Energie

TRUMPER (1996) untersuchte die Energievorstellungen angehender Physiklehrkräfte in einer Querschnittsstudie mit vier verschiedenen Jahrgängen. Es zeigte sich, dass bei den Energieassoziationen der Studierenden physikalische und pseudo-physikalische Begriffe dominieren, es jedoch keine Kohärenz innerhalb der verschiedenen Jahrgängen vorlag. Außerdem war die anthropozentrische Sichtweise auf Energie besonders in den unteren

drei Jahrgängen stark vertreten und die Energie wurde eher als etwas Konkretes denn als eine abstrakte Größe betrachtet. Zudem stellte er eine Ablehnung der Energieentwertung fest. Im Vergleich zu Biologielehramtsstudierenden, die TRUMPER (1997) ebenfalls befragte, schnitten sie jedoch in allen Bereichen besser ab. Die Vorstellung von Energie als einem abstrakten Konstrukt war bei den Biologielehramtsstudierenden weitaus weniger häufig vorhanden. Sie verblieben bei der Annahme, dass Energie etwas Konkretes sei. Ebenfalls verwarfen viele der Studierenden in dieser zweiten Studie nicht nur das Konzept der Energieentwertung sondern auch dasjenige der Energieerhaltung, was bei den Physikstudierenden nicht der Fall war. Die Biologiestudierenden zeigten deutlich mehr Probleme bei der Differenzierung der Begriffe Kraft und Energie. TRUMPER (1997) interpretierte, dass die Lehramtsstudierenden der Biologie zu großen Teilen auf die Kenntnisse aus der eigenen Schulzeit und auf die Informationen aus den Medien zurückgreifen, da die Inhalte der Physik in ihrem Studium einen geringen Anteil einnahmen. TRUMPER (1998) ergänzte diese Untersuchung mit einer Längsschnittstudie, um herauszufinden, wie sich das Verständnis von Energie bei Lehramtsstudierenden der Physik über vier Jahre hinweg entwickelte und inwiefern deren belegte fachliche und fachdidaktische Kurse dieses beeinflussten. Die anthropozentrische Sichtweise auf Energie nahm über die Studiendauer hinweg ab. Die Rahmenkonzepte der gelagerten Energie und der Energie als Zutat nahmen hingegen zu. Das deckt sich auch mit den Erkenntnissen, dass sich die Studierenden über die Jahre hinweg immer mehr darauf fokussieren, dass bestimmte Objekte Energie besitzen bzw. lagern. Auch die Akzeptanz des Gesetzes der Energieerhaltung festigte sich im Laufe des Studiums. Kaum eine Unterscheidung zeigte sich im Längsschnitt hingegen in der Akzeptanz der Energieentwertung. Sehr wenige Studierende konnten sich diese Eigenschaft vorstellen.

PAHL (2012) erhob die Vorstellungen aktiver Physiklehrkräfte zur Energie und identifizierte bei den Probanden sieben Schlüsselkategorien:

- **Energieexplikation**

Die Antworten der Lehrpersonen zur Beschreibung und Definition von Energie konnte PAHL (2012) auf drei wesentliche Grundideen zurückführen. Die Energiedefinitionen stützten sich auf die Fachbegriffe Arbeit (Energie als Fähigkeit Arbeit zu verrichten) oder Kraft (Energie als Voraussetzung für Bewegungsabläufe). Eine weitere Grundidee war die Erklärungen der Energie als *Quidditas*¹. Dabei wird Energie als nichts Gegenständliches betrachtet, kann jedoch in Umwandlungsprozessen sichtbar gemacht werden. Außerdem wurde die Energie als Modellbegriff oder auch als Bilanzierungsgröße beschrieben.

- **Denken in Umwandlungsprozessen**

Der Fokus bei der Betrachtung von Umwandlungsprozessen lag auf der Umwandlung von einer Energieform in eine andere innerhalb bestimmter Umwandlungsketten (mittels eines Energiewandlers). Konkret wurden Energiewandler wie das

¹Der von PAHL (2012) gewählte Ausdruck *Quidditas* soll zum Ausdruck bringen, dass für die befragten Lehrpersonen Energie irgendetwas ist, was nicht weiter spezifiziert werden kann. Energie wird dabei nicht unbedingt als gegenständlich oder mit bestimmten Eigenschaften versehen beschrieben.

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

Auto, der menschliche Körper und das Windrad genannt. Oftmals wurde der Energiewandler auch als Energieerzeuger verstanden.

- **Denken in Bewegungen und in Bewegungsprozessen**
Energie wurde von den Lehrkräften als allgemeine Voraussetzung für Bewegungsabläufe gesehen. Einige Lehrpersonen schrieben ruhenden Objekten keine Energie zu.
- **Denken in verschiedenen Energieformen**
Die Lehrkräfte thematisierten verschiedene Energieformen und wiesen als wesentliche Vorstellung auf, dass Energie mittels dieser erklärt werden kann. Unter anderem die elektrische Energie/Strom, mechanische, chemische und thermische Energie/innere Energie/Wärme. Außerdem wurden Windenergie/-kraft, Sonnenenergie/-kraft und Wasserenergie/-kraft als Energieformen genannt.
- **Denken in Zusammenhängen von Energiespeicher und -träger als Energielieferanten**
Besonders wurden in dem Zusammenhang stoffliche Gegenstände als Energiespeicher oder -träger sowie die Möglichkeit Energie in (physikalischen) System zu speichern, diskutiert.
- **Denken in Zusammenhängen von Energieversorgung und -nutzung**
Energie wurde auf politischer, gesellschaftlicher und ökologischer Ebene thematisiert und Wertungen vorgenommen.
- **Weitere Vorstellungen zum Thema Energie**
Beispiele für Aussagen der Lehrkräfte, die keiner der vorangegangenen Schlüsselkategorien zugeordnet werden konnten, bezogen sich beispielsweise auf die Sonne als Ursprung für alles Lebende auf der Erde und für den Ursprung der Energie. Genannt wurde außerdem, dass Energie die Grundlage für das Wachstum auf der Erde darstellt.

6.3. Vorstellungen von Lernenden und Studierenden zu chemischen Bindungen

6.3.1. Bindungsenergie

In verschiedenen Studien (vgl. u.a. BARKER und MILLAR, 2000; GALLEY, 2004; COOPER und KLYMKOWSKY, 2013; STACY et al., 2014) in den unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Fachbereichen wurde jeweils auf ähnliche Weise das Verständnis von Schülerinnen und Schülern aber auch von Studierenden zur Bindungsenergie bzw. zu energetischen Aspekten im Kontext chemischer Bindungen erhoben: Den Probanden wurde eine exotherme Reaktion präsentiert. Im Bereich der Chemie handelte es sich dabei oftmals um Verbrennungsprozesse wie von Methan oder anderen freiwillig ablaufenden

6.3. Vorstellungen von Lernenden und Studierenden zu chemischen Bindungen

und deutlich exothermen Reaktionen. In der Biologie wurde zumeist auf die Hydrolyse von Adenosintriphosphat (ATP) zurückgegriffen. Die anschließende Frage lautete dann, aus welchem Grund bei der vorliegenden Reaktion Wärme freigesetzt wird. In Bezug auf die Bindungsenergie fanden sich durchgehend zwei Argumentationsmuster bei den Probanden wieder:

1. Energie aus dem Bindungsbruch

Die Lernenden gingen davon aus, dass in den Bindungen der Edukte Energie gespeichert war. Es wurde argumentiert, dass diese dann während der Reaktion beim Brechen der Bindung freigesetzt wird, was zu einer exothermen Reaktion führt.

2. Energie aus der Bindungsbildung

Die Lernenden argumentierten, dass zunächst Energie aufgewendet werden muss, um Bindungen zu brechen und im Anschluss Energie aus der Umformierung der Bindungen freigesetzt wird.

Die erstgenannte, fachlich nicht anerkannte Vorstellung konnte in allen Studien festgestellt werden und erwies sich außerdem bei den Lernenden auch längerfristig als stabil (BARKER & MILLAR, 2000). BARKER und MILLAR (2000) stellten fest, dass nach dem Besuch eines spezifischen Kurses etwa die Hälfte der Schülerinnen und Schüler die Freisetzung der Energie bei der Bindungsbildung verstanden hatten. Ein Viertel der Lernenden hielt jedoch an der Vorstellung der Energiespeicherung in den chemischen Bindungen fest. Das Auftreten dieses alternativen Konzeptes führten die Autoren darauf zurück, dass Schülerinnen und Schüler sehr früh lernen, dass in (fossilen) Brennstoffen Energie gespeichert ist. Es wird dabei jedoch teilweise vernachlässigt, dass der Sauerstoff auch in die Energiefreisetzung involviert ist. Eine Möglichkeit wäre es, diese Verbrennungsreaktionen als Brennstoff-Sauerstoff-Systeme (*fuel-oxygen systems*) zu bezeichnen, um so den Blick auf die Energiefreisetzung bei der Bindungsbildung zu lenken (vgl. auch ROSS, 1993).

STACY et al. (2014) sahen das Problem darin, dass die Studierenden annahmen, dass Energie in den Bindungen gespeichert ist. Als möglichen Ausweg zogen STACY et al. (2014) eine Verbindung zur Wärmeverstellung.

„If students can understand that energy describes a process, then it may become natural to think of bond energy as describing a process of breaking or making bonds as opposed to the final state of the bonds that are made. In other words, the energy experienced as transfer of heat during a chemical reaction is a result of the change.“ (STACY et al., 2014, S. 290)

Das stoffbezogene Wärmekonzept (*heat-as-substance*) trägt mit zu der Vorstellung der Energiespeicherung in den Bindungen bei. Erst wenn man einen Konzeptwechsel hin zu einer prozessbezogenen Wärmeverstellung (*heat-as-process*) bei den Lernenden initiiert, lässt sich auch der Prozess der Spaltung von Bindungen energetisch nachvollziehen.

Interdisziplinarität und Bindungsenergie Im Kontext mit Biologie-, Biochemie- und Physiologiestudierenden wurden Untersuchungen zum Verständnis der Hydrolyse von ATP durchgeführt (vgl. GALLEY, 2004). Es stellte sich heraus, dass der Ausdruck *high-energy phosphate bond* im Kontext des ATP bei den Probanden zu Verständnisproblemen führte. 40 % der Befragten gingen davon aus, dass es sich um eine stabile Bindung handele, bei deren Bruch Energie freigesetzt wird. 80 % der Studierenden sahen allgemein den Bindungsbruch als Ursache für die Energiefreisetzung an. GALLEY (2004) sah die Ursache des Auftretens der alternativen Konzepte vor allem im Bereich sprachlicher Ungenauigkeiten. Missinterpretationen von Ausdrücken wie *high-energy phosphate bond* und eine zu starke Vereinfachung chemischer Reaktionen in der Lehre der Biologie wurden dabei genannt. Durch didaktische Reduktion wird teilweise auf ungenaue und missverständliche Formulierungen zurückgegriffen, die dann möglicherweise alternative Konzepte der Lernenden unterstützen.

COOPER und KLYMKOWSKY (2013) sahen den Ursprung der Problematik ebenfalls in einem interdisziplinären Zusammenhang. Als ursächlich machten sie die unterschiedliche Sichtweise der einzelnen Naturwissenschaften auf (Bindungs-) Energie aus makroskopischer und submikroskopischer Perspektive aus. So wurde dargestellt, dass in der Biologie die makroskopische Perspektive geprägt ist von dem Energieinhalt von Lebensmitteln oder der Energieaufnahme und -speicherung von Pflanzen im Rahmen der Fotosynthese. Diese makroskopischen Deutungsweisen werden den Lernenden sehr früh vermittelt. Wenn später die submikroskopische Ebene hinzukommt, wird die vorherrschende (makroskopische) Vorstellung nur noch wenig modifiziert und auf die neuen Bedingungen angepasst. Damit einher geht auch, dass in der Physik fast ausschließlich ein makroskopischer Blick auf Energie geworfen wird. Für die Chemie wurde unter anderem angemerkt, dass die einzelnen energetischen Aspekte, die zu einem umfassenden makroskopischen und submikroskopischen Verständnis energetischer Prozesse bei chemischen Bindungen führen könnten, bruchstückhaft und fragmentiert ohne Bezugnahme aufeinander gelehrt werden.

6.3.2. Ionisierungsenergie und atomare Trends im Periodensystem

TAN et al. (2008) konnten vier verschiedene interkulturelle² Konzepte zur Ionisierungsenergie ausmachen. Zum einen lag ein Schwerpunkt auf der Oktett-Regel: Die Probanden gaben an, dass Atome, bei denen durch Elektronenabgabe die Oktett-Regel erfüllt wird, eine geringere Ionisierungsenergie vorherrscht. Ebenfalls zogen die Probanden das Argument der Stabilität voll gefüllter bzw. halb gefüllter Unterschalen heran. Bei Atomen, die einer solchen Elektronenkonfiguration genügen, war nach Meinung der Lernenden eine höhere Ionisierungsenergie notwendig, um ein Elektron abzuspalten, da diese stabiler sind. Die Probanden zeigten ein Bewusstsein dafür, dass der Prozess der Abspaltung eines Elektrons von einem Atom eine Energiezufuhr benötigt. Dennoch war die Meinung vertreten, dass Atome auch spontan und unter Energiefreisetzung ein Elektron abgeben,

²In die Studie wurden Lernende aus China, Neuseeland, Spanien, Großbritannien, USA und Singapur einbezogen.

6.4. Vorstellung von Lernenden und Studierenden zu thermodynamischen Größen

wenn diese dadurch einen stabileren Zustand erreichen (TABER, 2003). Die Probanden argumentierten in vielerlei Hinsicht mittels dieser beiden Aspekte. Das *Bestreben* der Atome nach einer vollen Außenschale bzw. nach einer Edelgaskonfiguration diente als ein Schlüsselargument. In dem Zusammenhang zeigte sich auch, dass dessen Einsatz und das Anbringen des Arguments der Stabilität im Allgemeinen weit über den eigentlichen Anwendungskontext hinaus stattfanden (TABER, 2009). SALAME et al. (2011) gaben an, dass viele Lernende kein konzeptuelles Verständnis atomarer Trends im Periodensystem aufwiesen. Einschätzungen und Antworten waren vor allem geprägt durch Erfahrungen und der punktuellen Anwendung von oftmals unreflektierten, nicht in einen größeren fachlichen Kontext eingebetteten Fachbegriffen.

6.4. Vorstellung von Lernenden und Studierenden zu thermodynamischen Größen

6.4.1. Wärme und Temperatur

Wärme Die Untersuchungen zu der Entwicklung der Wärmeverstellungen von Schülerinnen und Schülern verschiedener Altersstufen sind umfangreich. Hier werden im Folgenden ausschließlich Ergebnisse wiedergegeben, die sich auf Lerngruppen ab eines Alters von zwölf Jahren fokussieren.

Wärme werden oftmals stoffähnliche Eigenschaften zugewiesen. Zusammenhängend damit wird die Wärme als eine extensive Zustandsgröße angesehen. Die Wärme wird nicht als eine Prozessgröße betrachtet, die nur im Moment der Übertragung existiert, sondern als eine feste Eigenschaft, die den Zustand beispielsweise eines Stoffes oder Körpers charakterisiert. Dazu tragen unter anderem Begrifflichkeiten wie die Wärmekapazität bei, die in der naturwissenschaftlichen Fachsprache genutzt werden (SCHECKER & DUIT, 2018).

In diesem Zusammenhang herrscht bei vielen Lernenden Unverständnis darüber, dass die Wärme, die von einem Körper zu einem anderen übertragen wird, dann nicht mehr in diesem vorhanden ist, sondern in der Änderung der inneren Energie aufgeht, die zusammen mit der Temperatur den Zustand eines Systems kennzeichnet (DUIT, 1999).

Die hier bestehenden Schwierigkeiten finden sich im Spannungsfeld zwischen der makroskopischen Sicht auf Wärme als Maß für einen Energiefluss und der submikroskopischen Deutung der inneren Energie als kinetische und potentielle Energie der Atome und Teilchen, die sich durch die Wärmeübertragung ändern kann (SCHECKER & DUIT, 2018). Außerdem zeigen Studien, dass Wärme mit warmen Körpern gleichgesetzt oder ihr Ursprung in einer Wärmequelle gesehen wird (ERICKSON, 1979). Alltagsvorstellungen von heißen und kalten Objekten werden häufiger mit dem Begriff Wärme assoziiert als mit den im Unterricht vermittelten wissenschaftlichen Vorstellungen (ERICKSON & TIBERGHEN, 1985). DUIT (1999) bemerkt ebenfalls, dass man auch über die Sekundarstufe I hinausgehend damit zu rechnen hat, dass Wärmeerscheinungen nicht aus einer physikalischen Sicht beurteilt werden, sondern immer als Hybriden aus Alltagsvorstellungen

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

und physikalischen Vorstellungen vorliegen.

Neben der stofflichen Vorstellung der Wärme ist ein weiteres weit verbreitetes alternatives Konzept, diese als eine Energieform zu beschreiben. Der Begriff Wärme birgt für die Lernenden immer auch eine energetische Bedeutung (DUIT, 1991). Jedoch ziehen wenige Lernende bei der Beschreibung und Erklärung von Wärmeerscheinungen Vorgänge auf submikroskopischer Ebene hinzu.

Temperatur und thermisches Gleichgewicht Schülerinnen und Schülern ist nicht bewusst, dass es eine thermische Wechselwirkung zwischen Gegenständen bzw. Systemen geben muss, wenn deren Temperatur sinkt oder steigt, die auf dem Ausbilden eines thermischen Gleichgewichts beruht (DUIT, 1999). ERICKSON und TIBERGHEN (1985) stellten fest, dass Lernende vertraut mit der Temperatur und dem Thermometer sind, jedoch limitierte oder keine fachlichen Vorstellungen über die Temperaturskala hinaus aufweisen. Die Nutzung des Temperaturbegriffs ist stark intuitiv geprägt. Außerdem verstehen die Schülerinnen und Schüler die Temperatur als eine extensive Größe. Diese Vorstellung ist eng verwandt mit der Ansicht, dass die Temperatur eines Stoffes oder eines Systems proportional zur zugeführten Wärme ansteigt.

JASIEN und OBEREM (2002) entwickelten einen Fachwissenstest für Studierende der Physik, um deren Verständnis des thermischen Gleichgewichts zu überprüfen. Dabei differenzierten sie zwischen der Anzahl studierter Semester und verglichen diese mit einer Gruppe aktiver Physiklehrkräfte. Bei den Studierenden zeigte sich, dass kaum eine Vorstellung zum thermischen Gleichgewicht sowie dessen Beziehung zur Temperatur vorlag und es auch keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl studierter Semester gab. Einzig in der Gruppe der aktiven Lehrkräfte wurden signifikant bessere Resultate erzielt, die jedoch keine hohe Effektstärke aufwiesen. Außerdem beschrieben die Studierenden nicht die Temperatur, sondern die Wärmekapazität als entscheidenden Faktor bei der Wärmeübertragung.

Verhältnis von Temperatur und Wärme Die Verbindungen, die Schülerinnen und Schüler zwischen Temperatur und Wärme sehen, lassen sich auf drei Argumentationstränge zurückführen (ERICKSON und TIBERGHEN, 1985 und DUIT, 1991):

- Die Begriffe Temperatur und Wärme werden synonym verwendet und es wird inhaltlich kein Unterschied der beiden physikalischen Größen gesehen.
- Die Temperatur dient dazu, die Wärme zu messen. Die Schülerinnen und Schüler vertreten dabei die Meinung, dass man Wärme mittels der Temperatur quantifiziert.
- Die Temperatur wird als Folge oder als ein Effekt von Wärme angesehen. Je mehr Wärme man hat, desto höher ist auch die Temperatur.

Eine weitere Denkstruktur deckte BARKE (2006) auf: In einem Versuchsaufbau sollten Schülerinnen und Schüler beschreiben, welche Temperaturdifferenz sich beim Erwärmen

6.4. Vorstellung von Lernenden und Studierenden zu thermodynamischen Größen

eines Eis-Wasser-Gemisches einstellt, wenn nach dem Erhitzen noch Eis im Wasser verblieben ist. Die Lernenden entschieden sich mehrheitlich für einen zu messenden Temperaturanstieg und wiesen damit die Vorstellung auf, dass sich die Temperatur von Dingen immer erhöht, wenn man ihnen Wärme(-energie) zuführt. Dieses alternative Konzept findet sich auch bei SREENIVASULU und SUBRAMANIAM (2012).

SCHECKER und DUIT (2018) merken an, dass bei Schülerinnen und Schülern sogenannte Begriffscluster der Begriffe Wärme und Temperatur vorliegen und die Bedeutung, die dem jeweiligen Begriff in dem Moment zugewiesen wird, erst im jeweiligen Verwendungskontext erschließbar ist.

6.4.2. Enthalpie und Reaktionsenthalpie

NILSSON und NIEDDERER (2014) befragten Studierende der Chemie nach ihren Vorstellungen zur Enthalpie und zur Enthalpieänderung. Die Autoren konnten neun verschiedene alternative Konzepte im Bereich Enthalpie(-änderung) aufdecken. Auf drei dieser Konzepte wird im Folgenden näher eingegangen (eigene Übersetzung nach NILSSON & NIEDDERER, 2014).

F1 Die Verwendung eines Mantras: Enthalpieänderung als Wärme bei konstantem Druck (*The mantra of enthalpy change as heat at constant pressure.*)

Die Studierenden gaben diesen Satz teilweise mit und teilweise ohne Berücksichtigung des konstanten Drucks wieder. Sollten sie jedoch konkrete Beispiele mittels der Enthalpieänderung erklären, ließen diese den konstanten Druck immer unberücksichtigt.

F4 Enthalpie ist eine Energieform (*Enthalpy is a form of energy.*)

In den Antworten der Studierenden wurden Enthalpie, Wärme und Arbeit in Verbindung zueinander gesetzt und als Energieformen betrachtet. Die Enthalpie und die Enthalpieänderung wurden implizit wie explizit mit der Energie und der Energieänderung gleichgesetzt oder in Energieumwandlungsketten miteinbezogen.

F5 Enthalpie und Enthalpieänderung beschreiben die gleichen Aspekte einer chemischen Reaktion (*Enthalpy and enthalpy change describe similar aspects of a chemical reaction.*)

Enthalpie und Enthalpieänderung wurden synonym verwendet. Auch fanden sich Antworten, in denen die Begriffe als Abkürzungen für die Reaktionsenthalpie genutzt wurden. Die Begriffe Enthalpie und Enthalpieänderung wurden genutzt, um den Vorgang und den Verlauf einer chemischen Reaktion zu beschreiben. Die Enthalpie wurde als Prozessgröße und nicht als Zustandsgröße betrachtet.

CARSON und WATSON (1999) untersuchten das Verständnis zur Enthalpie und zur Enthalpieänderung von Studierenden vor und nach dem Besuch eines Kurses zur Thermodynamik. Insgesamt wurde ein sehr geringes Maß an Qualitätssteigerung der Antworten bemerkt. Es fanden sich kaum Probanden, die nach dem Kurs die Enthalpieänderung korrekt erklären konnten. Außerdem konnte festgestellt werden, dass die Vorstellung

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

von Enthalpie als Energieform konstant blieb. Dadurch, dass die Studierenden ein sehr starkes Konzept von Energie und deren Umwandlung in verschiedene Energieformen aufwiesen, wurde die Enthalpie von den Studierenden in dieses Konzept integriert. Auch das Verständnis thermodynamischer Gleichungen wie $\Delta H = \Delta U - p\Delta V$ war sehr gering ausgeprägt. Die Studierenden konnten die Gleichung zwar teilweise wiedergeben und die Symbole erläutern, jedoch nicht die Bedeutungszusammenhänge erläutern.

6.4.3. Entropie

In verschiedenen Studien konnte festgestellt werden, dass die befragten Lernenden und Studierenden ein sehr geringes Verständnis der Entropie aufwiesen (PINTO, 1991 zitiert nach CARSON und WATSON, 2002; SOZBILIR, 2001 und CARSON und WATSON, 2002). Fast alle Probanden erklärten die Entropie mit dem Begriff der Unordnung. Dabei wurde die Entropie immer auf die visuelle Komponente der Unordnung, auf Unaufgeräumtheit, Chaos oder Instabilität bezogen (SOZBILIR 2001). In der Untersuchung von CARSON & WATSON (2002) konnte dieses Ergebnis bestätigt werden. Zudem zeigten sie, dass die Studierenden selbst nach dem Besuch einer Veranstaltung zur Thermodynamik, in der Entropie auch über die Mikrozustände erklärt wurde, Schwierigkeiten hatten, ihr Verständnis dieser Größe in Worte zu fassen. Sie tendierten weiterhin zu Erklärungsansätzen über die Unordnung. Es zeigte sich kein erweitertes Verständnis der Entropie im Vergleich zum Beginn des Semesters.

PINTO, 1991 zitiert nach CARSON und WATSON (2002) konnte herausstellen, dass die befragten Physikstudierenden die einzelnen Aspekte des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik nicht miteinander verbanden. Ebenfalls stellte er fest, dass die Studierenden den Begriff Entropie sehr selten nutzten, um alltägliche Prozesse zu erklären. In diesem Zusammenhang zeigten CARSON und WATSON (2002), dass diese Problematik auch mit dem Verständnis der Studierenden der Begriffe System und Umgebung zusammenhängt. Da sie zumeist nicht zwischen System und Umgebung differenzierten, konnten sie keine klaren Aussagen zum Entropieanstieg tätigen, der über die Systemgrenzen hinausging. Jedoch erklärten die Studierenden einfache Entropieänderungen über (Aggregat-) Zustandsänderung. CARSON und WATSON (2002) führten dieses Ergebnis auf den Umstand zurück, dass sich die Änderungen des Aggregatzustands und die damit verbundene Erhöhung der Entropie mit der Vorstellung von Entropie als Unordnung vereinbaren lässt. Die involvierten Teilchen können als konkrete Entitäten angesehen werden, deren wahllose Anordnung und damit die Unordnung und das Chaos zunimmt, wenn sich der Zustand eines Stoffes von fest zu flüssig bzw. gasförmig ändert. SOZBILIR (2001) stellte ebenfalls fest, dass Entropiezunahme oftmals mit der erhöhten Bewegung der Partikel in Verbindung gebracht wurde und damit eine Gleichsetzung von Entropie und kinetischer Energie einherging.

CARSON und WATSON (2002) leiteten insgesamt vier Rahmenkonzepte der Studierenden zur freien Enthalpie und zur Entropie ab:

- **Entropie und freie Enthalpie als Energieformen** (*Forms of energy explana-*

6.4. Vorstellung von Lernenden und Studierenden zu thermodynamischen Größen

tions)

Die Entropie und die freie Enthalpie werden als Energieformen angesehen, die sich ineinander umwandeln lassen.

- **Entropie als Unordnung oder Chaos** (*Explanations of entropy in terms of randomness or disorder*)
Entropie wird über die Begriffe Unordnung oder Chaos erklärt. Eine vertiefende Erläuterung der Bedeutung des Begriffs *Unordnung* im Kontext Entropie ist jedoch nicht möglich.
- **Entropieänderungen ausschließlich auf Zustandsänderungen bezogen** (*Entropy changes explained solely in terms of change of state*)
Bei einer Aggregatzustandsänderung wird eine Entropieerhöhung mit dem Wechsel von fest zu flüssig bis gasförmig assoziiert. Jedoch wird dabei nicht die zugrundeliegende Erklärung in Bezug auf die Erhöhung an Mikrozuständen herangezogen.
- **Verwirrung bezüglich der Begriffe System und Umgebung** (*Confusion between system and surroundings*)
Die Studierenden beziehen die Begriffe System und Umgebung nicht in die Energie- und die Entropiebetrachtungen mit ein. Meist wird die Umgebung ignoriert und so ein Energie- bzw. Entropieaustausch mit der Umgebung nicht in Betracht gezogen.

6.4.4. Freie Enthalpie und die Freiwilligkeit einer chemischen Reaktion

Die physikalische Größe freie Enthalpie, teilweise auch als GIBBS-Energie bezeichnet, und die damit verbundene Entscheidung bezüglich der Freiwilligkeit einer chemischen Reaktion bereitete vielen Probanden in verschiedenen Studien Probleme (vgl. u.a. GABRIELA et al., 1990, THOMAS und SCHWENZ, 1998 und CARSON und WATSON, 2002). GABRIELA et al. (1990) nutzten bei der Bewertung der Antworten der Studierenden zwei Kriterien:

1. Die Studierenden argumentieren auf **fachwissenschaftlicher** Basis: Eine chemische Reaktion läuft freiwillig ab, wenn $\Delta G < 0$ ist.
2. Die Studierenden argumentieren aus **alltagspraktischer** Sicht: Eine chemische Reaktion läuft freiwillig ab, wenn man nicht eingreifen muss.

Es stellte sich heraus, dass das Kriterium $\Delta G < 0$ fast allen Studierenden bekannt war. Sie konnten ΔG berechnen und auch von ΔH unterscheiden. Sollten sie jedoch anhand beispielhafter chemischer Reaktionen über deren Freiwilligkeit entscheiden, so bedienten sie sich vor allem des alltagspraktischen Kriteriums. Die Bedeutung der Größe ΔG war den meisten Studierenden nicht bewusst.

Das bestätigt auch die Studien von CARSON und WATSON (2002): Die GIBBS-Energie war den Studierenden vor allem als Formelzeichen bekannt war. Ebenfalls konnten sie die Verbindung zwischen $\Delta G < 0$ und der Freiwilligkeit von chemischen Reaktionen ziehen. Diese Aussage wurde von den Teilnehmenden jedoch nur als ein Statement genutzt.

6. Stand der Forschung: Energievorstellungen von Lehrenden und Lernenden

Die Probanden konnten die Bedeutung hinter diesem Kriterium und dem gesamten Konzept der freien Enthalpie nicht erläutern. Das Verständnis dieser physikalischen Größe war auch im Anschluss an eine thermodynamische Vorlesung nicht gestiegen. Ein weiteres Merkmal für die vorhandenen Schwierigkeiten ist ein, in der Studie detektiertes, alternatives Rahmenkonzept: Die Studierenden sahen die freie Enthalpie als eine Energieform an. THOMAS und SCHWENZ (1998) stellten heraus, dass es bei den Studierenden ihrer Untersuchung zu einer Verwechslung von G und ΔG kam. Außerdem erklärten die Probanden, eine endotherme Reaktion könne nicht ablaufen.

6.5. Vorstellungen von Lernenden und Studierenden zur Elektrizität und Elektrochemie

Elektronen als Energieträger Vielen Lernenden fällt es besonders in der Sekundarstufe I schwer, die Vorgänge in einem elektrischen Stromkreis zu verstehen und die Begriffe Spannung und Widerstand in einen adäquaten Bezug zu stellen (RHÖNECK, 2004). Im Physikunterricht verwendete Modelle wie das Rucksackmodell fördern die Vorstellung, dass Elektronen im Stromkreis Energie transportieren und es energiereiche und energiearme Elektronen gibt (WILHELM, 2017).

Stromverbrauchsvorstellung Eine weit verbreitete Vorstellung in diesem Bereich ist, dass in einer Batterie Strom oder auch Elektrizität gespeichert ist, die beim Anschließen an einen Stromkreis verbraucht wird. Zu deuten ist die Vorstellung des elektrischen Stroms hierbei, ähnlich wie ein Brennstoff, als eine mengenartige Substanz, der im Stromkreis zu der Lampe fließt und dort verbraucht wird (SCHECKER & DUIT, 2018). MAROHN (1999) konnte bei der Untersuchung von Vorstellungen in der Elektrochemie feststellen, dass bei Lernenden auch in einem chemischen Kontext, in denen hintereinandergeschaltete Elektrolysezellen betrachtet wurden, die Vorstellung des Stromverbrauchs auftauchte. So gaben die Schülerinnen und Schüler beispielsweise an, dass die chemische Reaktion in der zweiten Elektrolysezelle schwächer verläuft, da ein Teil des elektrischen Stroms in der ersten Zelle verbraucht wird. Auch N. BURGER (2000) konnte die Stromverbrauchsvorstellungen bei Schülerinnen und Schülern im Chemieunterricht feststellen. In Bezug auf den Elektronenfluss differenzierten die Lernenden zwischen Elektronenbewegungen in der Physik und der Chemie. Aus physikalischer Sicht wurde der Elektronenfluss mit einem Energieaustausch von Quelle und Verbraucher (Quelle-Verbraucher-Modell) und aus chemischer Sicht mit einem Elektronenaustausch zwischen chemischen Teilchen assoziiert. Ebenso konnte bei einigen Teilnehmenden festgestellt werden, dass Elektronen als Energieträger identifiziert wurden.

Teil II.

Methodisches Vorgehen

7. Forschungsziel und Forschungsfragen

Im Hinblick auf gesellschaftliche Teilhabe und Mündigkeit sollen Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzt werden, Energie und die damit zusammenhängenden wissenschaftlichen, politischen, ökonomischen und ökologischen Aspekte gezielt zu reflektieren und verantwortungsvoll zu handeln. Die Vermittlung eines tragfähigen Energieverständnisses im naturwissenschaftlichen Schulunterricht ist stark an die Lehrenden gekoppelt. Es hat sich gezeigt, dass die Vorstellungen von Lernenden und ihren Lehrkräften teilweise sehr ähnlich sind (vgl. DUIT, 1995). Das liegt daran, dass die Lehrerinnen und Lehrer selbst fachwissenschaftliche Herausforderung im Bezug auf die eigene Energiebildung sehen (EULER, 2013b) und die Ausbildungssituation im Hinblick in diesem Bereich als defizitär angesehen werden kann (KAMINSKI et al., 2010).

Um dieser Problemstellung begegnen zu können, bedarf es Maßnahmen, die vor allem in der Phase der Lehrkräfteausbildung an den Hochschulen ansetzen. Dazu sind umfassende Kenntnisse über die Vorstellungen der angehenden Chemielehrkräfte sowie den zugehörigen, schwierigkeiterzeugenden Themenbereichen von Nöten.

Diesen Anforderungen soll in der vorliegenden Arbeit nachgegangen werden, wobei der Fokus auf der qualitativen Beschreibung des Energieverständnisses der zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer in verschiedenen schulrelevanten und lehrplanorientierten Aspekten liegt.

Um das Energieverständnis umfassend zu erfassen, werden die Energievorstellungen der Studierenden auf vier verschiedenen Ebenen betrachtet, die miteinander in Bezug gesetzt werden:

- Mentale Repräsentationen von Energie
- Energie in verschiedenen Fachkontexten
- Energie als fächerübergreifender (Unterrichts-) Gegenstand
- Verschränkung von Sprache und Fachwissen

Zur Ausdifferenzierung dieser Aspekte werden verschiedene Forschungsfragen bearbeitet.

Mentale Repräsentationen von Energie

Forschungsfrage 1

Welche Assoziationen und Erklärungsansätze weisen die angehenden Chemielehrkräfte zum Begriff Energie auf? Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Assoziationen und Erklärungsansätzen und den Differenzierungsmerkmalen Alter, Fachsemester Chemie und Zweitfach?

Assoziationen sind die Verknüpfung zweier oder mehrerer Inhalte miteinander und entstehen durch deren Ähnlichkeit, räumliche oder zeitliche Nähe oder durch deren Kontrast. Dabei können sie immer wieder abgewandelt werden. Es liegen individuelle Unterschiede bei den einzelnen Assoziierenden vor (MEYERS LEXIKONREDAKTION, 2006a). Unter einer *Erklärung* wird die Darlegung eines Zusammenhangs verstanden, bei der Aussagen und Tatsachen auf andere Tatsachen, Gesetze oder Theorien zurückgeführt werden (MEYERS LEXIKONREDAKTION, 2006b). Es wird deutlich, dass Assoziationen und Erklärungen individuell sind und sich ändern können. Die vorangegangene Darstellung der Forschungsliteratur zeigt außerdem, dass sich Assoziationen zur Energie im zeitlichen Verlauf wandeln können (vgl. DUIT, 1986 und CROSSLEY et al., 2009). Die angehenden Lehrkräfte machen im Laufe ihres Lebens verschiedene Erfahrungen mit Energie, die vor allem durch deren Alltag bestimmt sind. Treten bestimmte Ereignisse auf (wie beispielsweise die Nuklearkatastrophe von Fukushima im Jahr 2011) spielt auch das Alter der Probanden zu diesem Zeitpunkt eine Rolle bei der Ausbildung von Assoziationen. Daraus wird die folgende Hypothese abgeleitet:

Hypothese F1.1: Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Alter und den Assoziationen und Erklärungsansätzen der angehenden Chemielehrkräfte.

Des Weiteren ist zu bemerken, dass vor allem in den Naturwissenschaften Biologie und Physik das Energiekonzept als relevantes, lehrplanorientiertes Fachwissen aufgegriffen wird (vgl. KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005a und KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2005c). Energie wird als ein Knotenpunkt der Naturwissenschaften im Fokus des Unterrichts beschrieben (FÖRDERVEREIN MNU, 2003), wobei jedoch verschiedene Schwerpunkte gesetzt und Aspekte akzentuiert werden. Bei Lehramtsstudierenden mit Biologie oder Physik als Zweitfach können weitere Facetten der Assoziationen und Erklärungsansätze erwartet werden. Daraus lässt sich folgende Hypothese ableiten:

Hypothese F1.2: Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Zweitfach und den Assoziationen und Erklärungsansätzen der angehenden Chemielehrkräfte.

Das Chemielehramtsstudium ist modular aufgebaut, wobei neben den fachbezogenen Kompetenzen auch fachdidaktische und unterrichtsbezogene Basis-, Handlungs- und Bewertungskompetenzen vermittelt werden (KULTUSMINISTERKONFERENZ, 2008). Energie

spielt in allen Modulen eine Rolle, da der Themenbereich die verschiedenen Studieninhalte betrifft (anorganische Chemie, organische Chemie, physikalische Chemie) aber auch im Fokus didaktischer Betrachtungen steht (alternative Konzepte, Alltags- und Fachsprache) (BARKE, 2006). Je weiter die angehenden Chemielehrkräfte in ihren Fachsemestern fortschreiten, desto mehr Module absolvieren sie und kommen mit verschiedenen Aspekten des Themenbereichs Energie in Berührung. Daraus lässt sich folgende Hypothese ableiten:

Hypothese F1.3: Es besteht ein Zusammenhang zwischen dem Fachsemester und den Assoziationen und Erklärungsansätzen der angehenden Chemielehrkräfte.

Forschungsfrage 2

Welche zentralen Aspekte nutzen die angehenden Chemielehrkräfte, um energiebezogene Phänomene und Prozesse zu erläutern? In welchen Kontexten werden die einzelnen Aspekte vornehmlich genutzt?

Der Begriff Energie kann durch die zentralen Aspekte Energieumwandlung, Energieerhaltung, Energieübertragung, Energieentwertung und Energieformen charakterisiert werden. Deren Nutzung und Akzeptanz durch die Lehramtsstudierenden stehen im Fokus der Forschungsfrage. Entscheidend ist, welche Aspekte bei der Argumentation und Begründung ablaufender energiebezogener Prozesse und Phänomene aus Fachwissenschaft und Alltag herangezogen werden.

Energie in verschiedenen Fachkontexten

Forschungsfrage 3

Welche alternativen Konzepte zum schulrelevanten, lehrplanorientierten Fachwissen lassen sich bei den angehenden Chemielehrkräften finden?

Der Abgleich wissenschaftlicher und persönlicher Vorstellungen zur Energie in unterschiedlichen Fachbereichen und Fachkontexten ist Gegenstand dieser Forschungsfrage. Im Hinblick auf die zukünftige Profession sind dabei vor allem die fachwissenschaftlichen Konzepte in Bezug auf das schulrelevante und lehrplanorientierte Fachwissen wichtig. Ebenso wird in den Blick genommen, ob das Vorhandensein bestimmter alternativer Konzepte unabhängig voneinander ist.

Forschungsfrage 4

Welche Zusammenhänge lassen sich zwischen dem gleichzeitigen Vorhandensein alternativer Konzepte und den verschiedenen Differenzierungsmerkmalen feststellen?

Neben der separaten Betrachtung der einzelnen Fachkontexte können verschiedene Faktoren Einfluss auf die Energievorstellungen der angehenden Chemielehrkräfte nehmen. Die Variablen Alter, Fachsemester Chemie und Zweitfach müssen auf ihren Zusammenhang mit dem Auftreten der persönlichen Vorstellungen untersucht werden.

Die in den vorangegangenen Abschnitten dargestellten Inhalte des schulrelevanten, lehrplanorientierten Fachwissens und die bekannten alternativen Konzepte aus der Forschungsliteratur zeigen, dass diese fachspezifisch sind. Dennoch finden sich Überschneidungen vor allem mit den naturwissenschaftlichen Disziplinen Biologie und Physik, wie beispielsweise die Fachkontexte Wärme und Temperatur (JASIEN & OBEREM, 2002) oder die interdisziplinären Sichtweisen auf Bindungsenergie (COOPER & KLYMKOWSKY, 2013). Das heißt, die Studierenden werden während ihres Studiums mit diesen Aspekten des Energieverständnisses aus den einzelnen Fachperspektiven konfrontiert.

Hypothese F4.1: Bei alternativen Konzepten, die Überschneidungen zu den Fachdisziplinen Biologie und Physik aufweisen, besteht ein Zusammenhang zum Zweitfach der angehenden Chemielehrkräfte.

Durch den modularen Aufbau des Lehramtsstudiums und die Bezüge der verschiedenen durchgeführten Veranstaltungen ist davon auszugehen, dass auch die Anzahl der studierten Fachsemester einen Einfluss auf die alternativen Konzepte der angehenden Chemielehrkräfte hat.

Hypothese F4.2: Die Anzahl der studierten Semester im Fach Chemie steht in einem Zusammenhang zum Auftreten der fachspezifischen alternativen Konzepte.

Energie als fächerübergreifender (Unterrichts-) Gegenstand

Forschungsfrage 5

Wie verorten die angehenden Chemielehrkräfte Energie im Schulunterricht und insbesondere als fächerübergreifenden Unterrichtsgegenstand?

Energie weist zu verschiedenen Unterrichtsfächern einen direkten oder indirekten Bezug auf. Die einzelnen Fächer bedienen sich dabei unterschiedlicher Perspektiven und Kontexten. Es werden andere Schwerpunkte in den Vordergrund gestellt und auch das

schulrelevante energiebezogene Fachwissen unterscheidet sich stark. Gemeinsam ist ihnen der Rückbezug auf die zentralen Aspekte der Energie. Im Hinblick auf einen fächerverbindenden Unterricht und eines ganzheitlichen naturwissenschaftlichen Denkens ist es von Bedeutung, welche Vorstellungen die angehenden Chemielehrkräfte mit der Energie in den einzelnen Fachrichtungen verbinden.

Verschränkung von Sprache und Fachwissen

Forschungsfrage 6

Welchen sprachlichen Besonderheiten bedienen sich die angehenden Chemielehrkräfte bei der Versprachlichung der energiebezogenen Themen? Welchen Einfluss haben diese auf das Energieverständnis der angehenden Chemielehrkräfte?

Die (Fach-) Sprache ist ein wichtiges Medium bei der Wissensvermittlung im Schulunterricht. Im Kontext des Themenbereichs Energie treten im Vergleich von Alltags- und Fachsprache einige Besonderheiten auf, die (alternative) Konzepte zur Energie prägen können. Aus diesem Grund müssen Äußerungen der angehenden Chemielehrkräfte nicht ausschließlich auf fachwissenschaftlicher Ebene sondern auch auf sprachlicher Ebene analysiert werden.

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

8.1. Datenerhebung und Durchführung der Untersuchung

8.1.1. Qualitative Interviews

Im MDR wird für die Erhebung der persönlichen Vorstellungen ein qualitativer Ansatz gewählt, um die bereichs- und themenspezifischen Denkweisen zu identifizieren (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997). Deren empirische Erhebung erfolgt je nach Forschungsgegenstand mittels offener, problemzentrierter Interviews. Die im MDR geforderte Verallgemeinerung der individuellen Vorstellungen zum Abgleich mit den wissenschaftlichen Vorstellungen wird mittels einer Kategorienbildung bei der Auswertung realisiert (KATTMANN, DUIT, GROPENGIESSER et al., 1997). Diesem Vorgehen wird in der vorliegenden Studie entsprochen.

Das problemzentrierte Interview Ziel der Interviewstudie ist die Erhebung der subjektiven Deutungen des Forschungsgegenstands Energie in den eigenen Formulierungen der Probanden (MAYRING, 2016). Dazu werden die Interviews problemzentriert und halbstrukturiert konzipiert. Wichtig bei diesem Interviewtyp ist, dass die Teilnehmenden mit einem vorher auf Grundlage der theoretischen Analysen erstellten Leitfadens auf die Problemstellung geleitet werden, jedoch ohne Antwortvorgaben offen auf die gestellten Fragen reagieren können (MAYRING, 2016). Durch den Einsatz des Leitfadens und der damit einhergehenden teilweisen Standardisierung können die Inhalte der Interviews besser verglichen werden. Das Material aus diversen Gesprächen kann auf die jeweiligen inhaltlichen Fragen rückbezogen werden. Aus diesem Grund eignet sich die Methode besonders für qualitative Studien mit größeren Fallzahlen. Ebenfalls ermöglicht dieses Vorgehen eine leichtere Verallgemeinerung der Ergebnisse (MAYRING, 2016) und dient somit als Vermittler zwischen qualitativer und quantitativer Forschung (LAMNEK, 2010).

Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews Das adaptierte Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews nach MAYRING (2016) für diese Studie ist in Abbildung 8.1 dargestellt. Zu Beginn der Konzeption wird eine Problemanalyse des Forschungsgegenstandes durchgeführt. Dies geschah im Rahmen der fachlichen und fachdidaktischen

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

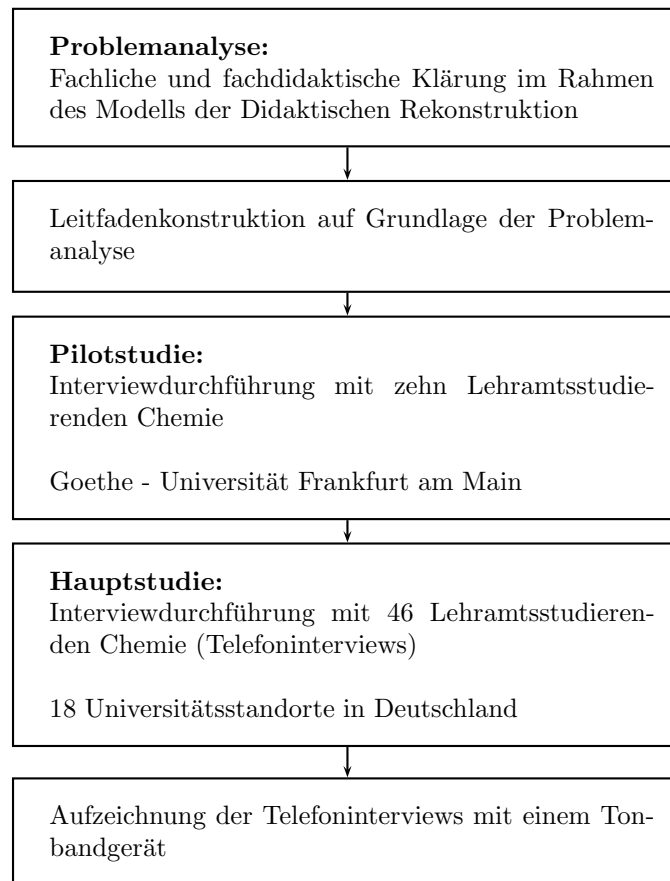


Abbildung 8.1.: Konzeption und Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews nach MAYRING (2016)

8.1. Datenerhebung und Durchführung der Untersuchung

Klärung (vgl. Kapitel 3, 4 und 5). Darauf aufbauend fand eine Festlegung der zentralen Themen- und Fragenblöcke für den Interviewleitfaden statt. Der konstruierte Leitfaden wurde in einer Pilotphase (vgl. Abschnitt 8.1.3) getestet und anschließend ausgeschärft bzw. modifiziert. Im Anschluss daran fand die eigentliche Interviewdurchführung statt. Die Daten wurden für die spätere Auswertung aufgezeichnet. Ergänzend wurde ein Kurzfragebogen eingesetzt, um demografische Daten und Informationen, die über das eigentliche Thema hinaus relevant sind, zu erfassen.

Die Durchführung der Interviews fand in Einzelbefragungen statt. Die eingesetzten Fragen waren alle offener Natur, das heißt, dass den Studierenden zu keiner Zeit Antwortmöglichkeiten vorgegeben wurden. Die Probanden gebrauchten bei den Rückmeldungen ihre eigenen Formulierungen, um die Sachverhalte zu beschreiben, was besonders im Hinblick auf die sprachliche Analyse von großer Bedeutung war. Das Kommunikationsmedium stellte in diesem Fall das Telefon dar. Telefoninterviews waren vor allem im Hinblick auf die Stichprobengröße sowie die örtliche Streuung der Probanden notwendig. Auch wenn Telefoninterviews in der qualitativen Forschung weniger etabliert sind wie persönliche Gespräche (LAMNEK, 2010), bieten sie einige Vorteile. SCHULZ und RUDDAT (2012) kamen zu dem Ergebnis, dass die Qualität der Telefoninterviews teilweise höher ausfiel als die der Face-to-Face-Interviews und die Probanden dabei detailliertere und ehrlichere Einblicke gaben. Auch wenn empirisch nicht genau geklärt werden konnte, worin die Unterschiede lagen, so besteht die Vermutung, dass die Qualitätssteigerung durch die Anonymität des Interviews, die selbstbestimmte Auswahl des Ortes sowie durch den verringerten Einfluss des Interviewenden bedingt ist.

8.1.2. Vorstudie

Problemstellung: Lassen sich Forschungsergebnisse zu den Vorstellungen zur Energie als grundlegendem Konzept von Lehrenden und Lernenden aus einem Zeitraum von über vierzig Jahren miteinander vergleichen?

Vorgehen: Durchführung einer (nicht repräsentativen) Replikationsstudie zu BUCK (1984) und Vergleich der Ergebnisse.

Forschungsergebnisse und deren Replikationen im Bereich der Assoziationen von Schülerinnen und Schülern zur Energie (vgl. DUIT, 1986; CROSSLEY et al., 2009 und BEHLE und WILHELM, 2017) in Abschnitt 6.1) zeigen, dass sich diese im Laufe der Zeit ändern können. Diesen Umstand muss man bei dem Vergleich der heutigen Untersuchungen mit Forschungsergebnissen aus den 80er- und 90er-Jahren berücksichtigen. Im Gegensatz zu den situationsabhängigen Assoziationen sind die zentralen Aspekte der Energie nicht an einzelne Phänomene und Prozesse geknüpft. Aus diesem Grund liegt die Vermutung

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

nahe, dass sich die Energiekonzepte von Lehrenden und Lernenden aus den 80er und 90er Jahren zur Energie als grundlegendem Konzept und zu den zentralen Aspekten der Energie nicht von denjenigen heutiger Befragungen unterscheiden.

BUCK (1984) führte mit Lehramtsstudierenden des 1. Semesters Chemie und Sachunterricht ($N = 57$) an einer Pädagogischen Hochschule einen Test durch, in dem er den Studierenden verschiedene Aussagen zum Energiebegriff vorlegte und diese diejenigen wählen konnten, die ihrer Meinung nach den Energiebegriff kennzeichnen (für die Auswahlmöglichkeiten siehe Abbildung 8.2).

Keine zwei Befragten gaben eine identische Kombination an ausgewählten Aussagen an. Diese Untersuchung von BUCK (1984) zeigte, dass die Möglichkeiten, um den Energiebegriff zu beschreiben, bei den Lehramtsstudierenden im ersten Semester sehr vielseitig und auch vielschichtig waren.

Die in der Studie von BUCK (1984) verwendeten Antwortkategorien auf die Frage *Was ist Energie?* wurden für die Replikationsstudie übernommen und die so erstellten Fragebögen zu Vorlesungsbeginn in zwei Erstsemestervorlesungen an zwei Universitäten (Johannes Gutenberg-Universität Mainz und Johann Goethe-Universität Frankfurt am Main) an die anwesenden Lehramtsstudierenden der Chemie und des Sachunterrichts ($N = 88$) verteilt. Die Ergebnisse der Studie von BUCK (1984) und der Replikationsstudie sind in Abbildung 8.2 gegenübergestellt. Die Tendenzen sind bis auf vier Ausnahmen (A, G, T und S) in beiden Studien vergleichbar. Es lassen sich ähnliche Ergebnisse im Bereich der Energieerhaltung (K), der Energieumwandlung (L), des Energieverbrauchs (M) und der Energiespeicherung (H, I) feststellen.

Die Konzepte und Deutungsmuster der Energie zwischen den Teilnehmenden beider Studien unterschieden sich im Gesamtergebnis weniger. Bis auf die oben genannten Ausnahmen in der Pilotstudie, ließen sich die Tendenzen in den Antwortkategorien vergleichen. Die Studierenden wiesen ebenfalls ein differenziertes und vielschichtiges Bild der Energie auf.

Schlussfolgerung: Es lassen sich Ähnlichkeiten zugrundeliegender Konzepte zu nicht situationsgebundene Aspekten der Energie in Studien finden, die über vierzig Jahre auseinander liegen. Daraus lässt sich ableiten, dass sich Studienergebnisse in diesem Bereich miteinander vergleichen lassen, auch wenn die Erhebungszeitpunkte weit auseinander liegen. Dennoch muss die zeitliche Differenz immer in die Überlegungen miteinbezogen werden.

8.1. Datenerhebung und Durchführung der Untersuchung

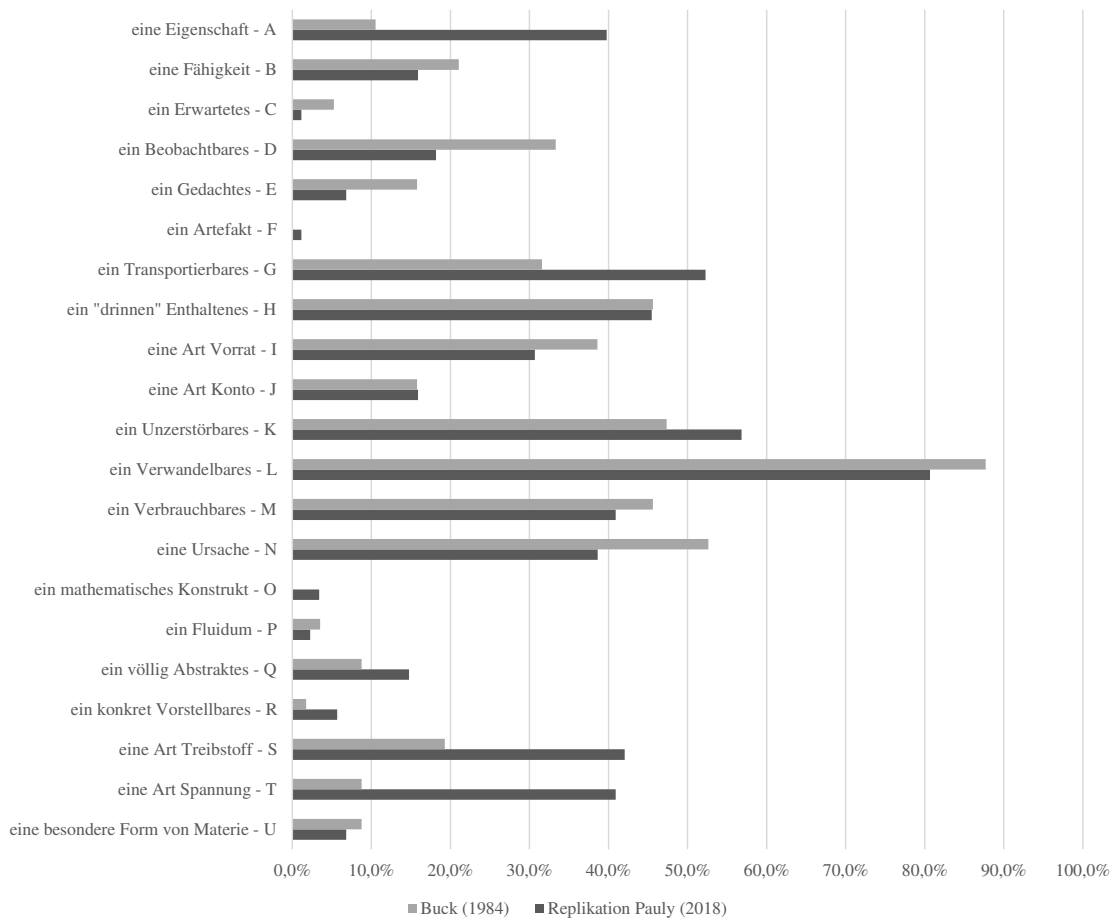


Abbildung 8.2.: Vergleich der prozentualen Nennhäufigkeiten der Antwortmöglichkeiten der Studie von BUCK (1984) und der Replikationsstudie (2018) unter Angabe der auszuwählenden Aussagen (Mehrfachnennungen möglich).

8.1.3. Pilotstudie

Der eigentlichen Hauptuntersuchung ging eine Pilotstudie voraus. An dieser nahmen zehn Studierende (fünf weiblich, fünf männlich) der Goethe-Universität Frankfurt am Main teil. Die Teilnehmenden studierten alle das Lehramt für Gymnasien mit dem Fach Chemie und befanden sich am Ende ihrer universitären Lehramtsausbildung (zwischen dem achten und zehnten Fachsemester Chemie). Das Alter der Studierenden betrug im Mittel 24 Jahre. Das von den Probanden belegte weitere Studienfach spielte bei deren Auswahl für die Pilotstudie keine Rolle. Die gewählten Grundvoraussetzungen entsprachen den für die Hauptstudie festgelegten Auswahlkriterien (vgl. für die Auswahlkriterien Abschnitt 8.1.5). Zudem wurde bei der Auswahl der Probanden darauf geachtet, dass sie in keinem Abhängigkeitsverhältnis zur Forschenden standen. Im Rahmen dieser Voruntersuchung wurde eine erste schriftliche Erhebung zu Grundbegriffen des Themenbereichs Energie - abgeleitet aus dem fachdidaktisch strukturierten energiebezogenem Fachwissen - mittels offener Fragen durchgeführt. Die Studierenden formulierten zu den gefragten Begriffen Definitionen bzw. Merkmale und gaben, soweit möglich, fachchemische und Alltagsbeispiele an. Außerdem wurde ein erster Interviewleitfaden konstruiert und erprobt. Die Interviews wurden aufgrund der Möglichkeit zur direkten Nachfrage, der Anpassung des Leitfadens und der örtlichen Nähe persönlich durchgeführt. Die schriftliche Erhebung hatte den Zweck, einen Überblick über vorhandene Vorstellungen und Bezugskontexte der ausgewählten Energiebegriffe der Lehramtsstudierenden zu erhalten. In den Interviews wurden mögliche Fragenformate getestet und Abbildungen auf ihre Verständlichkeit überprüft. Die Ergebnisse dieser Erhebungen wurden genutzt, um den Interviewleitfaden für die Hauptstudie anzupassen.

8.1.4. Leitfadenkonstruktion Hauptstudie

Bei der Leitfadenkonstruktion wurden die einzelnen Fragen in übergreifenden Fragenblöcken strukturiert, die unterschiedliche Themenschwerpunkte abbilden. Diese wurden aus der fachlichen Klärung (vgl. Kapitel 3, 4 und 5) abgeleitet:

- **Konzeptualisierung**
Unter dem Themenschwerpunkt Konzeptualisierung sind die Definitionen des Begriffs sowie die fachdidaktischen Konzeptualisierungsansätze von Energie zusammengefasst (vgl. Abschnitt 3.1 und Abschnitt 3.3).
- **Zentrale Aspekte**
Die Bezugnahme findet auf die Erweiterung der Energiequadriga statt: Energieformen, Energieumwandlung, Energieerhaltung, Energieübertragung, Energieentwertung (vgl. Abschnitt 3.2).
- **Fachwissen**
Der Themenschwerpunkt bezieht sich auf die schulrelevanten, lehrplanorientierten fachwissenschaftlichen Grundlagen im Chemieunterricht, die unter den Aspekten

Tabelle 8.1.: Vorkommen der Konzeptualisierung und des energiebezogenen schulrelevanten, lehrplanorientierten Fachwissen in den einzelnen Fragenblöcken des Leitfadens

Fragenblöcke	Konzeptualisierung	Zentrale Aspekte					Fachwissen			Alltag	
		Energieformen	Energieumwandlung	Energieerhaltung	Energieübertragung	Energieentwertung	Chem. Bindungen	Thermodynamik	Chem. Reaktionen	Energiemündigkeit	Energieversorgung
Assoziationen	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Explication	x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-
Andere Disziplinen	x	x	x	x	x	x	-	-	-	x	x
Chemieunterricht	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x
Minimalziele	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Begriffsdefinitionen	-	x	-	-	-	-	x	x	x	-	x
Chem. Bindungen	-	x	-	-	x	-	x	x	x	-	-
Thermodynamik	-	x	(x)	x	x	x	-	x	x	-	-
Chem. Reaktionen	-	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x
Energiediagramm	-	x	-	-	x	x	-	x	x	-	-
Aggregatzustand	-	-	-	-	x	-	-	x	-	-	-
Salze	-	-	x	-	x	-	x	x	-	-	-
Energiewirtschaft	-	x	x	x	x	x	-	x	x	x	x

Chemische Bindungen, Thermodynamik und Chemische Reaktionen zusammengefasst sind (vgl. Abschnitt 4.3).

- **Alltag**

Unter dem Themenschwerpunkt werden fachwissenschaftliche und gesellschaftliche Aspekte mit Lebensweltbezug zusammengefasst. Es wird zwischen der Energiemündigkeit im Sinne der Energiebildung und der Energieversorgung unterschieden (vgl. Abschnitt 4.3).

Die Schwerpunkte wurden in verschiedenen Fragen in unterschiedlichen Kontexten mehrfach im Leitfaden thematisiert. Eine genaue Aufschlüsselung zeigt Tabelle 8.1. Im jeweiligen Zeilenkopf finden sich die einzelnen Fragenblöcke. Der Spaltenkopf stellt die zu untersuchenden fachwissenschaftlichen Themenschwerpunkte dar. Die Kreuze (x) bedeuten, dass ein Aspekt in dem zugehörigen Fragenblock thematisiert bzw. aktiv von der Interviewenden angesprochen wurde. Jedoch konnte es in der speziellen Interviewsituation vorkommen, dass die Probanden weitere fachliche Aspekte thematisierten. Darauf wurde dann flexibel reagiert. Ebenso beleuchtete jeder Fragenblock möglichst mehrere Energie-

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

aspekte gleichzeitig. So wurde gewährleistet, dass die Vorstellungen der Studierenden zu einem Themenbereich in verschiedenen Kontexten überprüft sowie in der folgenden Analyse aus verschiedenen Blickwinkeln beurteilt werden konnte.

Die ersten acht Fragenblöcke wurden klassisch mit offenen Fragen gestaltet. Die restlichen Fragenblöcke wurden mit Bildern als visuelles Medium unterstützt. Diese wurden den Studierenden während des Interviews via E-Mail zugeschickt. Die Probanden wurden dann gebeten, die verschiedenen Abbildungen zu beschreiben und diese in Bezug zur Energiethematik zu setzen. Die Bilder waren thematisch an den Frageblöcken ausgerichtet. Im Folgenden werden die Fragenblöcke und deren Intention kurz vorgestellt. Der Interviewleitfaden findet sich in Anhang A.

- **Energieassoziationen Alltag**

Der Fokus der zugehörigen Fragen lag auf den Assoziationen, die die angehenden Chemielehrkräfte zur Energie aufweisen. Der Schwerpunkt lag dabei auf den Alltagsvorstellungen, die explizit außerhalb des fachwissenschaftlichen Umfeldes liegen konnten. Um einer Beeinflussung durch den naturwissenschaftlich-schulischen Fokus im weiteren Interviewverlauf zu entgehen, befand sich der Fragenblock zu Beginn des Interviews. Dieser beinhaltete ebenfalls die Sondierungsfragen zu Beginn des Interviews (MAYRING, 2016).

- **Energieexplikation**

Die angehenden Chemielehrkräfte sollten den Begriff Energie erläutern. Diese Fragen dienten dazu herauszufinden, wie die Studierenden den Begriff Energie erklären bzw. welche Bezugswörter und Beispiele sie anführen. Mit diesen Informationen wurde in der Auswertung auf die zugrundeliegende Konzeptualisierung geschlossen.

- **Energie in anderen Disziplinen**

Der Fragenblock widmete sich der Energie als einem fächerübergreifenden Gegenstand. Mittels der zugehörigen Fragen sollte die Einordnung des Gegenstandes in die einzelnen Unterrichtsfächer durch die Probanden überprüft werden, auch wenn es sich nicht um das studierte Zweitfach handelte.

- **Chemieunterricht Sek. I und II**

Die Studierenden wurden durch die Fragen dieses Fragenblockes angeleitet relevante, energiebezogene Themenbereiche im Chemieunterricht der Sekundarstufen I und II zu nennen und zu beschreiben. Der Fokus lag dabei weniger auf der detaillierten Wiedergabe der Bildungsstandards bzw. Bildungspläne der einzelnen Bundesländer sondern auf der Erhebung der Vorstellungen von inhaltlich relevanten Bereichen.

- **Minimalziele Energiewissen**

Die Studierenden beantworteten die Frage, was Schülerinnen und Schüler ihrer Meinung nach auf jeden Fall über Energie wissen sollten, wenn diese die Schule verlassen und welche Schlüsselaussagen zur Energie sie für wichtig halten.

- **Begriffsdefinitionen**

Über das gesamte Interview verteilt, wurden die Studierenden nach konkreten Definitionen verschiedener Begriffe gefragt. Die Begriffe wurden aus den verschiedenen identifizierten Fachkontexten entnommen.

- **Fachwissenschaftliche Schwerpunkte**

Es wurden Fragen zu den fachwissenschaftlichen Schwerpunkten Chemische Bindungen, Thermodynamik und Chemische Reaktionen gestellt. Die Fragenblöcke *Begriffsdefinitionen* und *Fachwissenschaftliche Schwerpunkte* wurden je nach Interview flexibel gestaltet. Die Reihenfolge der Fragen konnte sich im Verlauf ändern, wenn die angehenden Lehrkräfte einen Aspekt schon früher thematisierten als im Leitfaden angedacht.

- **Energiediagramme**

Im Vordergrund stand die Beschreibung der Merkmale exothermer und endothermer Reaktionen in Bezug auf die grafische Darstellung im Energiediagramm. Vertiefend wurde dabei auch auf freiwillig ablaufende Reaktionen und die Zusammenhänge zur Entropie eingegangen.

- **Aggregatzustände**

Am Beispiel von Wasser und Eis wurden Aggregatzustandsänderungen und die Rolle der Energie angesprochen.

- **Salze** (anhand von Bildern)

Mittels der Bildung von Natriumchlorid aus den Elementen sowie der Auflösung des Salzes fand eine Behandlung von Energieprozessen im submikroskopischen Bereich statt, bei denen besonders auch die Gitterenergie in den Fokus genommen wurde.

- **Energiewirtschaft** (anhand von Bildern)

Dieser Fragenblock widmete sich der Energieversorgung und den fossilen Brennstoffen, regenerativen Energien und der Kernenergie. Neben dem allgemeinen Funktionsprinzip und einem Blick auf technische Aspekte wurden außerdem im Sinne der Energiemündigkeit Vor- und Nachteile sowie Auswirkungen der Nutzung thematisiert. Auch die Energieversorgung im Haushalt wurde in den Interviews erörtert.

Zusätzlich wurde mittels eines Kurzfragebogens folgende Angaben erhoben: Geschlecht, Geburtsjahr, Studiengang, weitere Studienfächer, Fachsemester im jeweiligen Studienfach und ein eventuelles vorheriges Studium oder eine Ausbildung.

8.1.5. Stichprobe Hauptstudie

Die Akquise der Interviewpartnerinnen und Interviewpartner erfolgte nach einer vorab festgelegten Sample-Struktur, die institutionelle und personelle Kriterien berücksichtigte: Die Probanden mussten das Lehramt für Gymnasien mit dem Fach Chemie studieren.

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

Ebenfalls war die Voraussetzung, dass diese sich im 5. Fachsemester oder höher befanden. So konnte bis zu einem gewissen Grad sichergestellt werden, dass die Studierenden über die fachlichen Grundlagen der anorganischen, organischen und physikalischen Chemie verfügen sowie mindestens die basalen Veranstaltungen der Fachdidaktik Chemie besucht hatten. Dies ist insbesondere bei den Bachelor- und Masterstudiengängen der Fall, da nach deren Studienverlaufsplänen das 6. Semester fast ausschließlich für die Anfertigung der Bachelorarbeit vorgesehen ist und alle grundlegenden Veranstaltungen im Voraus besucht werden müssen.

Unter Einbezug der vorgegebenen Aspekte wurde eine Ad-hoc-Stichprobe gezogen. Das heißt, es nahmen diejenigen Personen an der Studie teil, die zum Zeitpunkt der Akquise gerade zur Verfügung standen und verhältnismäßig leicht zugänglich waren (DÖRING & BORTZ, 2016). Bei der Auswahl der Universitätsstandorte wurden ausschließlich chemiedidaktische Institute miteinbezogen, die das Lehramt für das Gymnasium im Fach Chemie anbieten. Auf institutioneller Ebene wurde die Stichprobe durch die zeitlichen und personellen Ressourcen der einzelnen angefragten Institute, der Verfügbarkeit von Studierenden und stattfindenden Veranstaltungen in den benötigten Fachsemestern sowie der freiwilligen Teilnahme der Studierenden limitiert. Insgesamt wurden an 38 Institute in ganz Deutschland Anfragen bezüglich der Möglichkeit einer persönlichen Vorstellung des Projektes vor den Studierenden verschickt (Rücklaufquote 64,9 %). Die jeweiligen Verantwortlichen konnten entscheiden, ob eine persönliche Vorstellung oder ein Informationszettel zur Akquise eingesetzt werden sollte. Bei der Hälfte wurde das Forschungsprojekt den Studierenden persönlich vorgestellt und ein Informationsschreiben ausgegeben. Bei der anderen Hälfte wurde in den jeweiligen Veranstaltungen durch die Leitenden vor Ort das Informationsschreiben mit der Bitte um Kontaktaufnahme übermittelt. Die Zusammenstellung des Samples beruhte demnach auf der Selbstaktivierung der Studierenden und deren freiwilliger Bereitschaft an der Studie teilzunehmen. Ebenfalls wurde mit einem Anreiz in Form eines Büchergutscheins gearbeitet.

Bei keiner der beiden Anwerbemethoden wurden den Studierenden vertiefende inhaltliche Informationen zur Verfügung gestellt, um zu verhindern, dass eine gezielte Vorbereitung auf die Interviews vorgenommen wurde. Außerdem konnte so gewährleistet werden, dass nicht ausschließlich Teilnehmende mit einem verstärkten fachlichen Interesse am konkreten Gegenstand für die Studie gewonnen wurden.

Im Rahmen der Untersuchung wurden 46 Lehramtsstudierende der Chemie von 19 verschiedenen Universitätsstandorten (aus 9 Bundesländern) mit chemiedidaktischen Instituten in Deutschland befragt. Eine Auflistung der genauen Universitätsstandorte mit der Anzahl der teilnehmenden Personen findet sich im Anhang (siehe Tabelle B.1, S. 245). Knapp 50 % der Probanden besuchte eine Hochschule in Nordrhein-Westfalen oder Hessen. Die starke Konzentration auf diese beiden Bundesländer erklärt sich unter anderem dadurch, dass in beiden Bundesländern eine hohe Anzahl an Universitäten zu verzeichnen ist, an denen das Lehramt für Gymnasien im Fach Chemie studiert werden kann. Auf personeller Ebene konnte kein Einfluss auf die Zusammensetzung von Geschlecht und Fächerkombination genommen werden. Von den 46 teilnehmenden Studierenden sind 50 % der Probanden männlich und 50 % weiblich. Die Altersspanne liegt zwischen 20 und 45 Jahren ($M = 27.7$, $Mdn = 26$). Die belegten Fächerkombinationen der Studie-

Tabelle 8.2.: Differenzierungsmerkmale der Stichprobe

Differenzierungsmerkmal	Merkmalsausprägung
Alter	20-24 Jahre: $n = 21$ (45,7 %) 25-29 Jahre: $n = 16$ (34,8 %) 30-45 Jahre: $n = 9$ (19,6 %)
Fachsemester Chemie	5. - 8. Fachsemester: $n = 23$ (50 %) 9.-11. Fachsemester: $n = 23$ (50 %)
Geschlecht	männlich: $n = 23$ (50 %) weiblich: $n = 23$ (50 %)
Zweitfach	Biologie, Physik: $n = 22$ (47,8 %) Übrige Fächer: $n = 24$ (52,2 %)

renden weisen eine große Spannweite auf. Das am häufigsten vertretene Fach zusätzlich zur Chemie ist Biologie mit einem Anteil von 40,0 % ($n = 18$). Mit großem Abstand folgt Mathematik mit 11,1 % ($n = 5$) und Physik mit 8,9 % ($n = 4$). Die übrigen Fächer haben jeweils einen Anteil unter fünf Prozent.

Von den 46 Studierenden beabsichtigen zum Zeitpunkt der Studie 2,2 % ($n = 1$) den Bachelorabschluss zu erlangen. 56,5 % ($n = 26$) streben den Masterabschluss an und 41,3 % ($n = 19$) das erste Staatsexamen.

8.1.6. Differenzierungsmerkmale der Stichprobe

Die Studierenden wurden, um bei der späteren Analyse der Ergebnisse Vergleiche anstellen zu können, nach verschiedenen Merkmalsausprägungen gruppiert. Die Tabelle 8.2 stellt diese dar. Die Stichprobe wurde nach den Merkmalen Alter (Stichtag 31.12.2017), Fachsemester des Chemiestudiums zur Zeit der Befragung, dem Geschlecht und dem zweiten studierten Lehramtsfach differenziert. Einzig bei der Variablen Alter wurden drei Merkmalsausprägungen gebildet. In der Altersstruktur (vgl. Tabelle 8.2) ist ersichtlich, dass knapp ein Fünftel der Studierenden älter als 30 Jahre ist. Diese Gruppe wurde, da sie stark vom Median (26 Jahre) abweicht, in einer gesonderten Ausprägung berücksichtigt. Bei der Betrachtung des studierten zweiten Fachs wurde zwischen den Fächern Biologie und Physik sowie den verbleibenden Fächern unterschieden.

Unabhängigkeit der Differenzierungsmerkmale In der Auswertung und Interpretation der Ergebnisse der Interviewstudie werden die Differenzierungsmerkmale auf ihre (Un-)Abhängigkeit zu den vorgefundenen Assoziationen, Erklärungsansätzen und Vorstellungen hin untersucht. Um dabei ein aussagekräftiges Ergebnis zu erzielen, wurde zunächst die Unabhängigkeit der einzelnen Merkmale voneinander überprüft. Das dient dazu, eine Wechselwirkung der verschiedenen Merkmale bei der Interpretation auszuschließen.

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

Um den Zusammenhang zwischen zwei Differenzierungsmerkmalen zu testen, wurde als Nullhypothese angenommen, dass jeweils zwei untersuchte Merkmale unabhängig sind. Die nominal skalierten Daten wurden mittels Kontingenztabelle dargestellt und mit dem Chi-Quadrat-Test nach PEARSON mit YATES Kontinuitätskorrektur ausgewertet. Erfüllten die Werte die Bedingungen des Tests (maximal 20 % der Zellen haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5) nicht, wurde der exakte Test nach FISHER durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $\alpha = 0.05$ festgelegt. Die statistische Auswertung erfolgte computergestützt mittels R. Eine Auflistung der Kontingenztabelle findet sich im Anhang (siehe Abschnitt B.2, S. 246).

- Die Unabhängigkeit der Merkmale **Zweitfach** und **Fachsemester** wurde auf dem festgelegten Signifikanzniveau bestätigt ($\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.871, p = .768$).
- Die Unabhängigkeit der Merkmale **Zweitfach** und **Geschlecht** wurde auf dem festgelegten Signifikanzniveau bestätigt ($\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.871, p = .768$).
- Die Unabhängigkeit der Merkmale **Fachsemester** und **Geschlecht** wurde auf dem festgelegten Signifikanzniveau bestätigt ($\chi^2(df = 1, N = 46) = 1.391, p = .238$).
- Die Unabhängigkeit der Merkmale **Alter** und **Geschlecht** wurde auf dem festgelegten Signifikanzniveau bestätigt ($\chi^2(df = 2, N = 46) = 3.552, p = .169$). Zwei Zellen (33,3 %) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Aus diesem Grund wurde der exakte Test nach FISHER angewendet ($p = .219$), der die Unabhängigkeit der Merkmale belegte.
- Die Unabhängigkeit der Merkmale **Alter** und **Zweitfach** wurde auf dem festgelegten Signifikanzniveau bestätigt ($\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.034, p = .081$). Zwei Zellen (33,3 %) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Aus diesem Grund wurde der exakte Test nach FISHER angewendet ($p = .090$), der die Unabhängigkeit der Merkmale belegte.
- Die Unabhängigkeit der Merkmale **Alter** und **Zweitfach** wurde auf dem festgelegten Signifikanzniveau bestätigt ($\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.773, p = .056$). Zwei Zellen (33,3 %) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Aus diesem Grund wurde der exakte Test nach FISHER angewendet ($p = .065$), der die Unabhängigkeit der Merkmale belegte.

An den p -Werten ist erkennbar, dass die jeweils gekreuzten Merkmale wechselseitig unabhängig sind.

8.1.7. Durchführung Hauptstudie

Nach der ersten Kontaktaufnahme im Rahmen der Akquise wurde mit den Interessierten ein Termin für die Interviews vereinbart. Dies geschah per E-Mail durch die Interviewende, sofern die E-Mail-Adresse vorlag. Wurde bei der Akquise ausschließlich ein Informationszettel ausgegeben, fand die Kontaktaufnahme auf Eigeninitiative der Studierenden

statt. Die Durchführung der Interviews fand telefonisch statt. Die Teilnehmenden konnten den Interviewtermin und den Interviewort selbstbestimmt wählen.

Zu Beginn des Interviews wurden die Studierenden darüber aufgeklärt, dass die Teilnahme an der Studie auf freiwilliger Basis erfolgt und alle erhobenen Daten vertraulich und anonym behandelt werden. Ebenfalls wurden sie informiert, dass eine Tonbandaufzeichnung des Gesprächs sowie eine Verschriftlichung desselben erfolgen wird. Dazu gaben alle Teilnehmenden ihr Einverständnis. Nach einer kurzen Begrüßungsphase wurde das Aufnahmegerät eingeschaltet. Die Interviewten gaben nochmals ihre Zustimmung zu der Aufzeichnung und Weiterverarbeitung der Interviews. Der Gesprächsverlauf orientierte sich an dem entwickelten Interviewleitfaden. Den Studierenden wurden die Fragen nach dem Energiebezug in den verschiedenen Unterrichtsfächern, den schulrelevanten und lehrplanorientierten Fachkontexten im Chemieunterricht sowie den Mindestkenntnissen zur Energie direkt zu Beginn der Interviews gestellt. So konnte vermieden werden, dass die Probanden anhand der im weiteren Verlauf thematisierten Fachkontexte Rückschlüsse auf deren Schulrelevanz zogen, was die Aussagen hätte verfälschen können. Bei den folgenden Abschnitten konnte es passieren, dass aufgrund der unterschiedlichen Gesprächsverläufe vom Leitfaden bzw. der Fragenreihenfolge abgewichen wurde. Zum Ende des Gesprächs wurden mittels eines Kurzfragebogens weitere personenbezogene Daten erhoben. Die gesamte Interviewdauer variierte je nach Probanden stark und lag im Mittel bei 103 Minuten. Das kürzeste Interview umfasste 64 Minuten, wohingegen das längste Interview 167 Minuten dauerte.

8.2. Datenauswertung

Die Auswertung der in der Studie erhobenen Daten orientierte sich an der Qualitativen Inhaltsanalyse. Das durchgeführte Verfahren wird im Folgenden näher beleuchtet und Gütekriterien sowie zugehörige Maßnahmen der Qualitätssicherung diskutiert.

8.2.1. Aufbereitung der Daten

Um die gewonnenen auditiven und digitalisierten Daten auswerten zu können, wurde zunächst eine wortgetreue und vollständige Transkription des Interviewmaterials vorgenommen. Besonders die wörtliche Transkription bietet die Möglichkeit einer vollständigen und ausführlichen Interpretation des Datenmaterials. Für die inhaltliche Auswertung der Vorstellungen der Studierenden, die in dieser Arbeit im Vordergrund steht, spielten sprachliche Feinheiten wie ein Dialekt oder lautliche Hervorhebungen keine Rolle. Aus diesem Grund wurde bei der Transkription die Technik der Übertragung ins normale Schriftdeutsch gewählt und Sprache, Dialekt und Interpunktion leicht geglättet (MAYRING, 2016). Wiederholungen durch den Befragten wurden mit transkribiert. Nicht in die Verschriftlichung aufgenommen wurden Zustimmungssignale des Zuhörenden ebenso wenig wie emotionale Einfärbungen, Betonungen, Füllwörter oder Lachen. Auch wurden

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

keine Pausenzeiten notiert. Die so vorbereiteten Transkripte bildeten die Grundlage für die Datenauswertung.

8.2.2. Qualitative Inhaltsanalyse

Zur Auswertung der vorliegenden Transkripte wurde auf die von C. SCHMIDT (2017) beschriebene Methode der Analyse von Leitfadeninterviews zurückgegriffen.

Das Leitprinzip ist der Austausch zwischen dem erhobenen Datenmaterial und den theoretischen Merkmalen. Da dieser Prozess zwischen Theorie und der Erkundung des zu untersuchenden Feldes schon während der Felderschließung und der Datenerhebung beginnt, ist es legitim, dass die Forschungsfragen an die gegebenen Umstände angepasst und modifiziert oder auch verworfen werden können C. SCHMIDT (2017).

Die Auseinandersetzung mit dem Interviewmaterial erfolgte in Anlehnung an C. SCHMIDT (2017) in fünf Schritten:

1. Materialorientierte Bildung von Auswertungskategorien

Die Ausbildung der Auswertungskategorien erfolgt mittels des Verfahrens der induktiven Kategorienbildung nach MAYRING (2014). In Abbildung 8.3 wird dargestellt, wie in der Analyse der Interviewdaten im konkreten Fall vorgegangen wurde. Es wurden Analyse Kriterien unter Rückgriff auf die formulierten Forschungsfragen und die Problemanalyse des Gegenstandsbereichs festgelegt, die die induktive Kategorienbildung systematisierten. Die Auswahl der zu analysierenden Materialausschnitte (Selektionskriterium) beschränkte sich auf diejenigen Textstellen mit einem Bezug zur jeweiligen Forschungsfrage und Problemanalyse. Die Vergabe und Benennung der Kategorien für den Kodierleitfaden erfolgte nach einem mittleren Abstraktionsniveau. Kodiert wurden sinngebende Paraphrasen (Kodiereinheit). Die kodierten Textstellen mussten nicht zwangsläufig einen Satz darstellen. Es konnten auch mehrere Sätze oder einzelne Wörter als eine Textstelle kodiert werden. Entscheidend war, dass die ausgewählte Kodiereinheit außerhalb des jeweiligen Interviewkontextes verständlich blieb. Die Interpretation der ausgewählten Materialausschnitte erfolgte dann im Bezug auf das jeweils zugehörige gesamte Interview (Kontexteinheit).

Unter Einbezug der theoretischen Vorüberlegungen wurde das Material bearbeitet und induktive Kategorien gebildet. Die Ableitung der Kategorien fand direkt aus dem Material statt, ohne dass das vorab formulierte Theoriekonzept darüber gelegt wurde. Das bedingte eine möglichst gegenstandsnahe Darstellung des Materials und damit der subjektiven Wahrnehmungen der Probanden. Auch konnte so die Sprache und die eigenen Formulierungen der Untersuchungssubjekte besser in die Analyse miteinbezogen werden. Die Analyse behielt somit ihren explorativen Charakter. Sobald keine neuen Kategorien in den nach dem Selektionskriterium ausgewählten Materialausschnitten auffindbar waren, fand eine Revision der Kategorien zur Qualitätssicherung statt.

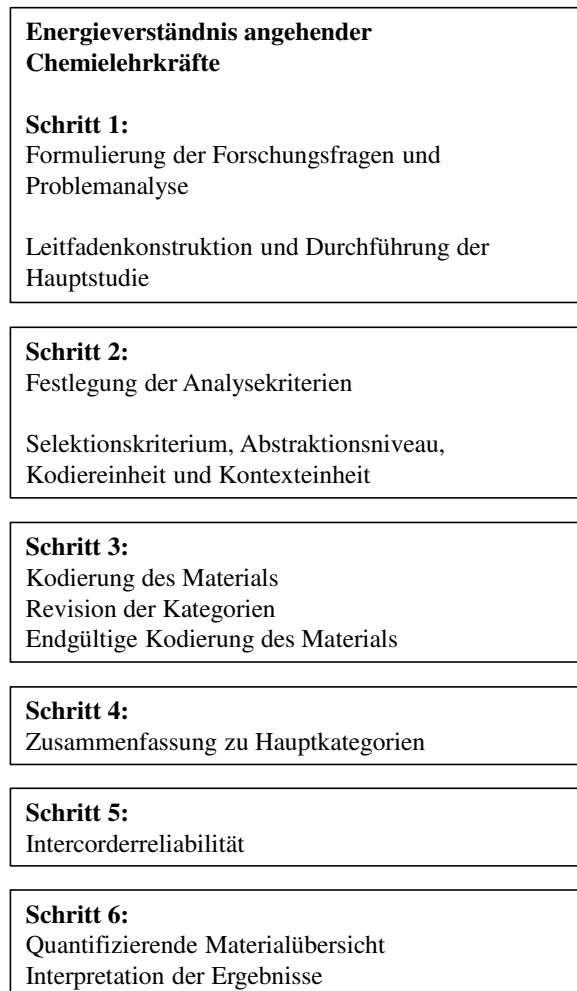


Abbildung 8.3.: Ablaufmodell der induktiven Kategorienbildung nach MAYRING (2014)

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

2. **Zusammenstellen der Auswertungskategorien zu einem Kodierleitfaden**
Vor dem in Abbildung 8.3 dargestellten Schritt des endgültigen Materialdurchgangs fand eine Zusammenstellung der ermittelten Kategorien in verschiedenen Kodierleitfäden statt, die sich an den verschiedenen Forschungsinteressen orientierten.
3. **Endgültige Kodierung des Materials und Bildung von Hauptkategorien**
Die erstellten Teilleitfäden wurden auf die jeweiligen Materialausschnitte angewendet. Im Anschluss an diese endgültige Kodierung erfolgte eine Gruppierung der Kategorien sowie in einigen Fällen eine Zusammenfassung zu Hauptkategorien im Sinne der zusammenfassenden qualitativen Inhaltsanalyse (MAYRING, 2014).
4. **Quantifizierende Materialübersicht**
Um die Komplexität des Materials abzubilden, wurde in Ergänzung zu den qualitativen Auswertungsschritten eine Quantifizierung der gleichen Daten vorgenommen. Dadurch wird die Bandbreite an Informationen aus dem Datensatz erweitert, indem Regelmäßigkeiten oder Besonderheiten in den Daten durch numerische Ratings und statistische Auswertungen bei der Ergebnisdarstellung und Interpretation aufgezeigt werden (VOGL, 2017).
5. **Vertiefende Fallinterpretation**
In diesem Schritt wurden auf Grundlage der qualitativen und quantitativen Auswertungsschritte vertiefende Interpretationen durchgeführt. Die Auswahl, eingehende Betrachtung und Analyse von Einzelfällen auf Grundlage der quantifizierten Materialübersicht charakterisieren diese vertiefende Fallinterpretation. Ebenfalls wurden sprachliche Besonderheiten in die Ergebnisdarstellung und Interpretation miteinbezogen. Bei der vertiefenden Fallinterpretation fand eine Bezugnahme der einzelnen Auswertungsschwerpunkte aufeinander statt.

Die Schritte 1 bis 4 erfolgten für die jeweiligen ausgewählten Themenschwerpunkte separat. Die vertiefende Fallinterpretation wurde im Anschluss nach der Bearbeitung aller Problemanalysen durchgeführt.

8.2.3. Gütekriterien und Maßnahmen zur Qualitätssicherung

Um die Qualität der so erhaltenen Ergebnisse zu garantieren, wurden festgelegte Gütekriterien und Maßstäbe der qualitativen Forschung eingehalten (nach MAYRING, 2016).

Verfahrensdokumentation Das spezifische auf den Unterrichtsgegenstand bezogene Vorgehen wird von der Darstellung der Erhebung, der Leitfadenkonstruktion bis hin zu der Durchführung und der Datenauswertung möglichst präzise beschrieben. So ist der Forschungsprozess nachvollziehbar und transparent.

Argumentative Interpretationsabsicherung Alle Interpretationen werden in der Studie argumentativ und unter Rückgriff auf bestehende Forschungsergebnisse diskutiert und begründet.

Regelgeleitetheit Bei der Auswertung des Datenmaterials wird sich an dem schrittweisen Verfahren der induktiven Kategorienbildung sowie den Regeln zur Quantifizierung orientiert. Dadurch ist der Analyseprozess nachvollziehbar.

Triangulation Bei der Triangulation soll die Qualität der Forschung durch die Verbindung mehrere Analysegänge verbessert werden. Im Rahmen dieser Arbeit findet eine Ergänzung der qualitativen Analyseschritte durch quantitative Verfahren statt. Zum einen wurde dabei auf die deskriptive Statistik zurückgegriffen, mit deren Hilfe die erhobenen empirischen, qualitativen Daten anhand ihrer Ausprägungen beschrieben werden. Im Zuge dessen wurden auch Analysen anhand der verschiedenen Differenzierungsmerkmale (vgl. Abschnitt 8.1.6) durchgeführt. Zum anderen fand an verschiedenen Stellen der Rückgriff auf Unabhängigkeitstests in der Auswertung statt. Mithilfe des Chi-Quadrat-Tests nach PEARSON (Signifikanztest auf Unabhängigkeit zweier kategorieller Merkmale) konnte überprüft werden, ob das Vorhandensein verschiedener alternativer Konzepte bei den Studierenden in einer Abhängigkeit zueinander standen (Nullhypothese H_0 : Merkmale X und Y sind unabhängig). Da für die Gesamtstichprobe $N < 50$ gilt, wurde die YATES-Kontinuitätskorrektur miteinbezogen. Erfüllten die Werte die Bedingungen des Tests (maximal 20 % der Zellen haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5) nicht, wurde der exakte Test nach FISHER durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde für alle Tests auf $\alpha = 0.05$ festgelegt. Bei einem Wert $p > .05$ kann von einer Unabhängigkeit der Merkmale ausgegangen werden; die Nullhypothese wird nicht abgelehnt.

Die statistische Auswertung erfolgte computergestützt mittels R.

Zur Interpretation werden bei dem Chi-Quadrat Test, die Stichprobengröße (N bzw. n), die Anzahl der Freiheitsgrade (df), der χ^2 -Wert sowie der p -Wert (asymptotische Signifikanz) angegeben. Bei dem exakten Test nach FISHER wird zusätzlich zu den Werten des Chi-Quadrat-Test der daraus berechnete p -Wert (exakte Signifikanz) miteinbezogen.

Intercoderreliabilität Als ein weiteres Gütekriterium wurde bei der Anwendung der verschiedenen Kategoriensysteme auf das Datenmaterial in dieser Arbeit jeweils eine Intercoderreliabilität durchgeführt. Um die Unabhängigkeit der Ergebnisse von den Forschenden zu gewährleisten und die Beurteilendenübereinstimmung zu messen, wurde auf COHENS-Kappa (κ) zurückgegriffen. Der Koeffizient wird wie folgt berechnet (nach LANDIS & KOCH, 1977):

$$\kappa = \frac{\pi_0 - \pi_e}{1 - \pi_e} \quad (8.1)$$

π_0 steht dabei für den Anteil der tatsächlichen Übereinstimmungen zwischen den beiden Beurteilenden und π_e für den Anteil der zufällig erwarteten Übereinstimmungen. LANDIS

8. Darstellung der Erhebungs- und Auswertungsmethoden

und KOCH (1977) geben zudem Richtwerte für die Beurteilung der aus der Gleichung erhaltenen Werte an.

< 0.00 : poor

0.00 – 0.20 : slight

0.21 – 0.40 : fair

0.41 – 0.60 : moderate

0.61 – 0.80 : substantial

0.81 – 1.00 : almost perfect

Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Intercoderreliabilität, je komplexer die Analysen werden, immer unzuverlässiger wird (RITSERT, 1972). Die inhaltliche Aussagekraft eines Koeffizienten muss deshalb immer im Kontext der jeweiligen Analyse bewertet werden.

Teil III.

Ergebnisse

9. Mentale Repräsentationen von Energie

Gegenstand dieses Kapitels sind die Aspekte, die die mentalen Repräsentationen von Energie durch die Studierenden charakterisieren. Im Einzelnen handelt es sich um zwei Schwerpunkte: die Alltagsassoziationen zur Energie und die Erklärungsansätze des Energiebegriffs (Energieexplikationen) im naturwissenschaftlichen Kontext. Mittels der Alltagsassoziationen kann das *concept image* in Bezug auf lebensweltliche Prozesse und Phänomene erfasst werden. Die Erklärungsansätze dienen dazu, die fachwissenschaftlichen Grundlagen der angehenden Chemielehrkräfte zur Energie als grundlegendem Konzept zu erheben. Diese Ergebnisse bilden einen Teil des Energieverständnisses der angehenden Chemielehrkräfte ab.

Ebenfalls werden die, von den angehenden Chemielehrkräften selbst thematisierten Schwierigkeiten auf individueller und struktureller Ebene dargestellt, um diese Daten ebenfalls in die Interpretation und die Ableitung von Implikationen für die Lehrkräfteausbildung miteinzubeziehen.

Anmerkungen zum methodischen Vorgehen Im Rahmen der Datenauswertung wurde festgestellt, dass vielfache Assoziationen und Erklärungsansätze bei den einzelnen Probanden vorlagen und diese sich in den Interviews mehrfach vorfanden. Das heißt, zu einer Hauptkategorie bedienten die Studierenden oftmals mehrere Subkategorien. Bei der Auflistung der Subkategorien sind diese Mehrfachnennungen miteinbezogen. Um eine Vergleichbarkeit zu generieren, wurden die jeweiligen zugewiesenen Hauptkategorien jedoch nur einmal pro Person gezählt.

Angestrebt wurde eine Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.9$, die im Teilbereich der Alltagsassoziationen ohne Probleme erreicht werden konnte. Bei den Erklärungsansätzen konnte eine Ungleichbewertung einiger Textstellen festgestellt werden, die jedoch im Sinne des konsensuellen Codierens behoben werden konnte. Es zeigte sich, dass die Hauptkategorien trennscharf zugeordnet werden konnten, jedoch die möglichen Überschneidungen von Subkategorien (wie beispielsweise *Energieumwandlung* und *Energieformen*) eine Herausforderung darstellten.

Hinweise zur Darstellung der Ergebnisse Die aus der induktiven Kategorienbildung zusammengefassten Hauptkategorien sind in verschiedenen Tabellen zusammengefasst. Da die Hauptkategorien ein sehr hohes Abstraktionsniveau aufweisen, ist diesen anstelle eines Ankerbeispiels eine Inhaltsbeschreibung zugefügt worden. Im zugehörigen Textabschnitt wird genauer auf die Ergebnisse eingegangen. Relevante Subkategorien werden nach Bedarf in einer gesonderten Grafik dargestellt.

9.1. Alltagsassoziationen zur Energie

Die angehenden Lehrkräfte nannten in den Interviews im Schnitt 2,8 Assoziationen zur Energie pro Person. Am häufigsten wurden Assoziationen zu verschiedenen Phänomenen, biologischen Vorgängen und der Fortbewegung getätigt (vgl. Tabelle 9.1).

Knapp drei Viertel aller Probanden assoziierte eines der Phänomene Elektrizität, Wärme und Licht mit der Energie (vgl. Tabelle 9.2). Die Elektrizität wurde von 30 Studierenden (65,3 %) genannt und stellte damit den größten Assoziationskontext dar. Dabei standen vor allem technische (Haushalts-) Geräte und deren Nutzung im Vordergrund. Damit eng verbunden war die Nennung des elektrischen Stroms. 18 der angehenden Lehrkräfte (39,1 %) thematisierten die Wärme. Sie nannten oftmals ausschließlich den Begriff ohne diesen weiter zu spezifizieren. Außerdem wurden das Heizen (mittels Heizung oder Ofen) und das (Wasser-) Kochen in Beziehung zur Wärme und damit zur Energie gesetzt. Das Phänomen Licht wurde von neun der Interviewten (19,6 %) assoziiert. Im Zusammenhang mit Wärme und Licht wurde außerdem von neun Probanden die Sonne miteinbezogen. Die von den zukünftigen Lehrenden genannten biologischen Vorgänge bezogen sich alle auf den menschlichen Körper oder wurden in Verbindung zur Nahrung gesetzt. Im Kontext der Fortbewegung standen vor allem die Transportmittel des täglichen Gebrauchs sowie deren Bedarf an Energieressourcen im Vordergrund.

Weniger als ein Viertel der zukünftigen Lehrkräfte assoziierte Energie mit Aspekten der Gesellschaft, wie beispielsweise fossilen bzw. regenerativen Energieträger, der Endlichkeit von verfügbaren Energieressourcen oder der Energiewende. Wurden diese Assoziationen getroffen, so enthielten diese immer eine wertende Komponente. Selten wurde Energie mit einer abstrakten Entität bzw. mit der nicht-naturwissenschaftlichen Deutungsweise der Vitalität oder Lebensenergie verknüpft (vgl. Tabelle 9.3).

Tabelle 9.1.: Hauptkategorien zum Schwerpunkt Alltagsassoziationen zur Energie
(Teil 1)

Hauptkategorie	Inhalt	Ankerbeispiel	n	%
Phänomene	Die Energie wird mit Aspekten, die den Phänomenen Elektrizität, Wärme und Licht zugeordnet werden können, assoziiert. Dabei kann es sich um Gegenstände, Vorgänge oder Prozesse handeln.	„Also ich verbinde erstmal quasi jede Art von technischen Gegenständen, die ich benutze, als Energie. In der Form von Strom, weil das ja etwas ist, was unser Leben heutzutage schon sehr, sehr stark beeinflusst.“ (I1, A5)	33	71,7
Biologische Vorgänge	Energie wird mit dem menschlichen Körper assoziiert, mit Bewegungsabläufen bei sportlicher Aktivität, der Aufnahme und Verdauung von Nahrung in Verbindung mit dem Energieinhalt von Lebensmitteln.	„Dann ja Bewegung auch. Also ich mache zum Beispiel auch selber relativ viel Sport. Da bin ich auf Energie angewiesen, sag ich mal. Oder setze die auch selber ein, je nachdem welche Sportart man da macht.“ (I6, A3)	24	52,2
Fortbewegung	Energie wird mit technischen Fortbewegungsmitteln, Verbrennungsmotoren und den dazu benötigten Rohstoffen assoziiert.	„Und sonst außerhalb des menschlichen Körpers denke ich an Autos. Also die haben ja die Batterie und da generieren sie auch Energie durch diese Lichtmaschine.“ (I24, A2)	13	28,3

9. Mentale Repräsentationen von Energie

Tabelle 9.2.: Zugehörige Subkategorien zu der Hauptkategorie *Phänomene*

Hauptkategorie	Subkategorie	n	%
Phänomene	Elektrizität	30	65,3
	Wärme	18	39,1
	Licht	9	19,6

Tabelle 9.3.: Hauptkategorien zum Schwerpunkt Alltagsassoziationen zur Energie (Teil 2)

Hauptkategorie	Inhalt	Ankerbeispiel	n	%
Gesellschaft	Energie wird mit Aspekten gesellschaftlicher und politischer Relevanz, wie beispielsweise der Energiewende, assoziiert.	„Was verbinde ich noch mit Energie? Natürlich politische Diskussionen über erneuerbare Energien.“ (I29, A3)	12	23,9
Abstraktum	Energie wird mit etwas Abstraktem assoziiert, das immer da aber nur indirekt sichtbar bzw. nicht fassbar ist.	„Naja Energie ist ja quasi alles, was uns umgibt.“ (I23, A5)	10	21,7
Vitalität	Energie wird, ohne Bezug zur naturwissenschaftlichen Deutungsweise, mit Motivation und Lebensenergie verknüpft.	„Aber auch natürlich Energie jetzt im Sinne von Lebensenergie. Also dass man Motivation und sowas alles auch dadrunter nimmt, nicht so chemisch.“ (I33, A3)	6	13,0

9.2. Energieexplikation

Mehr als zwei Drittel der Studierenden griffen bei der Erklärung von Energie entweder auf einen oder mehrere der zentralen Aspekte der Energie zurück oder definierten Energie als eine physikalische Größe mit einer festgelegten Einheit (vgl. Tabelle 9.4 und Tabelle 9.5). Die Probanden erläuterten Energie vor allem über die Aufzählung beispielhafter

Tabelle 9.4.: Hauptkategorien zum Schwerpunkt Energieexplikation (Teil 1)

Hauptkategorie	Inhalt	Ankerbeispiel	n	%
Zentrale Aspekte	Energie wird über die vier zentralen Aspekte der Energie oder über die Aufzählung von verschiedenen Energieformen charakterisiert. Die Energieentwertung wird jedoch umschrieben, der Fachbegriff fällt nicht.	„Diese [Energie] geht aber nicht wirklich verloren, sondern wird dann nicht 100 Prozent umgesetzt, sondern wird dann in die Umwelt freigesetzt zum Beispiel als Wärmeenergie.“ (I35, A2)	36	78,3
Physikalische Termini	Die Energie wird als eine physikalische Größe eingeordnet. Ebenfalls werden die Begriffe Arbeit und Kraft in einen Zusammenhang zur Energie gesetzt.	„Energie ist eine Kraft, also eine messbare Kraft.“ (I21, A7)	19	41,3

Energieformen und durch die Wiedergabe des Energieerhaltungssatzes. Tabelle 9.5 zeigt, dass die Aspekte der Energieumwandlung, Energieübertragung und Energieentwertung isoliert von der Energieerhaltung von weniger als einem Fünftel der Studierenden mitbezogen wurden. Auch wenn Energie als eine physikalische Größe definiert wurde, stellten die Probanden weniger häufig einen Zusammenhang zu den Begriffen Kraft und Arbeit her (vgl. Tabelle 9.5).

Hinweis zur Hauptkategorie *Zentrale Aspekte* Die zentralen Aspekte der Energie sind eng miteinander verbunden. Es wird angenommen, dass ein Verständnis eines der Aspekte ausschließlich im Zusammenhang mit den anderen Aspekten erfolgen kann (vgl. DUIT, 2014). Aus diesem Grund ist es schwierig, die Subkategorien Energieerhaltung, Energieumwandlung, Energieübertragung und Energieentwertung klar voneinander zu trennen. Um jedoch einen Überblick über die verwendeten Erklärungsansätze zu erhalten, mussten die Subkategorien als disjunkte Mengen definiert werden.

Am folgenden Beispiel soll das Vorgehen bei der Zuweisung der Hauptkategorien illustriert werden: Alle Aussagen, die die Energieerhaltung als zentralen Ansatz in den

9. Mentale Repräsentationen von Energie

Vordergrund rückten und dabei beschrieben, dass Energie weder vernichtet noch erzeugt werden kann, sondern Energieformen ineinander umgewandelt werden, wurden ausschließlich der Subkategorie *Energieerhaltung* zugewiesen. Es wurden nur solche Aussagen in die Subkategorie *Energieumwandlung* eingeordnet, die nur die Umwandlung in den Blick nahmen, ohne dabei auf die Erhaltung zu verweisen.

Tabelle 9.5.: Zugehörige Subkategorien zu den Hauptkategorien *Zentrale Aspekte* und *Physikalische Termini*

Hauptkategorie	Subkategorie	n	%
Zentrale Aspekte	Energieform	16	34,8
	Energieerhaltung	14	30,4
	Energieumwandlung	8	17,4
	Energieübertragung	7	15,2
	Energieentwertung	5	10,9
Physikalische Termini	Größe/Einheit	8	17,4
	Kraft	6	13,0
	Arbeit	5	10,9

Neben den zwei meistgenannten Hauptkategorien fanden sich drei weitere Erklärungsansätze, die von den angehenden Chemielehrkräften herangezogen wurden (vgl. Tabelle 9.6).

Energie wurde als Ursache oder Antrieb von ablaufenden biologischen, chemischen oder physikalischen Prozessen beschrieben. Die Interviewten erklärten, dass Energie etwas ist, mit deren Hilfe Veränderungen bewirkt werden können. Die Erläuterung von Energie als einem Abstraktum wurde von den Probanden mit der Modellvorstellung verknüpft, dass Energie keine konkrete Entität ist. Energie wurde als omnipräsent und in allem vorhanden beschrieben.

Keinen der Erklärungsansätze zogen alle angehenden Chemielehrkräfte heran. Aus Tabelle 9.4, Tabelle 9.5 und Tabelle 9.6 lassen sich vier Haupterklärungsansätze herausfiltern, die von mindestens 30 Prozent der Probanden herangezogen wurden.

Energie wurde von den befragten angehenden Chemielehrkräften zumeist erklärt

- ... über die Aufzählung verschiedener Energieformen.
- ... über den Energieerhaltungssatz.
- ... als die Ursache bzw. der Antrieb für bestimmte Phänomene und Prozesse.
- ... als eine abstrakte, nicht fassbare Entität.

9.3. Analyse anhand der Differenzierungsmerkmale

Tabelle 9.6.: Hauptkategorien zum Schwerpunkt Energieexplikation (Teil 2)

Hauptkategorie	Inhalt	Ankerbeispiel	n	%
Ursache	Energie wird als Antrieb für ablaufende biologische, chemische und physikalische Prozesse genannt, die ohne die Energie nicht stattfinden würden.	„Dass man mit Hilfe von Energie bestimmte Vorgänge dazu bringen kann, dass sie starten oder beschleunigen oder Ähnliches.“ (I37, A5)	16	34,8
Abstraktum	Energie wird als eine Modellvorstellung, nicht fassbar und omnipräsent beschrieben.	„Und es [Energie] findet sich halt überall in unserem Leben.“ (I42, A5)	15	32,6
Phänomene	Die Energie wird mit den Phänomenen Elektrizität, Licht und Wärme in einen Zusammenhang gesetzt.	„Es gibt einmal die Energie, die sich zeigt in irgendwelchen Phänomenen. Zum Beispiel in Lichtreaktionen oder irgendwas.“ (I23, A7)	8	17,4

9.3. Analyse anhand der Differenzierungsmerkmale

Es wurden die verschiedenen personenbezogenen Differenzierungsmerkmale (vgl. Abschnitt 8.1.6) in den Analyseprozess miteinbezogen, indem eine Untersuchung deren Zusammenhangs zu den meistgenannten Assoziationen und Erklärungsansätzen statt. Demnach findet eine Betrachtung der Assoziationen *Elektrizität* ($n = 30$), *biologische Vorgänge* ($n = 24$) und *Wärme* ($n = 18$) statt. Bei der Energieexplikation wird der Fokus auf die in Abschnitt 9.2 herausgearbeiteten Haupterklärungsansätze gelegt.

Die Unabhängigkeit der zusammengefassten Kategorien und der untersuchten Differenzierungsmerkmalen wurde mittels des Chi-Quadrat-Tests nach PEARSON untersucht. Bei den Berechnungen im Zusammenhang mit dem Merkmal Alter wurde zusätzlich der exakte Test nach FISHER durchgeführt. Die Ergebnisse dieser statistischen Auswertung werden zusammengefasst wiedergegeben. Die vollständigen Kontingenztafeln und Werte finden sich im Anhang (siehe Abschnitt C, S. 247).

9.3.1. Differenzierung nach dem Zweitfach der Probanden

Assoziationen In Abbildung 9.1 sind die Hauptassoziationen in Abhängigkeit der Zweitfächer aufgeführt. Im Schnitt nannten Studierende mit einem naturwissenschaftlichen Fach mehr Assoziationen. Die Unabhängigkeit der Hauptassoziationen vom studierten Zweitfach der Probanden wurde jeweils mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft und auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt.

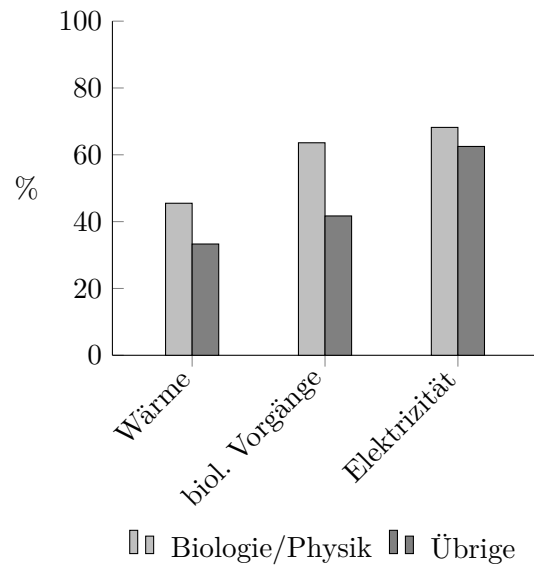


Abbildung 9.1.: Assoziationen in Abhängigkeit vom Zweitfach der Probanden

Energieexplikation Bei den Studierenden mit naturwissenschaftlichem Zweitfach zeigte sich die Tendenz, Energie als ein Abstraktum zu erklären. Bei den übrigen Studierenden standen hingegen die beispielhafteren Ansätze (Energieform, Ursache) im Vordergrund (vgl. Abbildung 9.2).

Für die Nennung des Erklärungsansatzes *Abstraktum* konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Probanden mit Zweitfach Biologie/Physik bzw. einem anderen Zweitfach festgestellt werden ($\chi^2(df = 1, N = 46) = 4.386, p = .036$). Für alle anderen Explikationen wurde die Unabhängigkeit der Merkmale auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt.

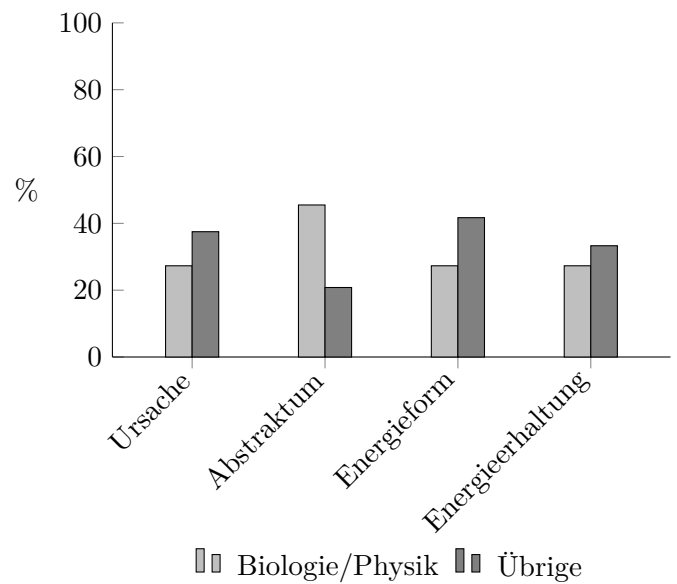


Abbildung 9.2.: Energieexplikationen in Abhängigkeit vom Zweitfach der Probanden

9.3.2. Differenzierung nach dem Fachsemester der Probanden

Assoziationen Die Assoziationen von Elektrizität, biologischen Vorgängen und Wärme differierten im Vergleich von niedrigeren und höheren Fachsemestern kaum (Assoziation Wärme) bzw. gar nicht (Assoziationen biol. Vorgänge und Elektrizität) (vgl. Abbildung 9.3). Die Unabhängigkeit der Merkmale Wärme und Fachsemester wurde mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft und auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt.

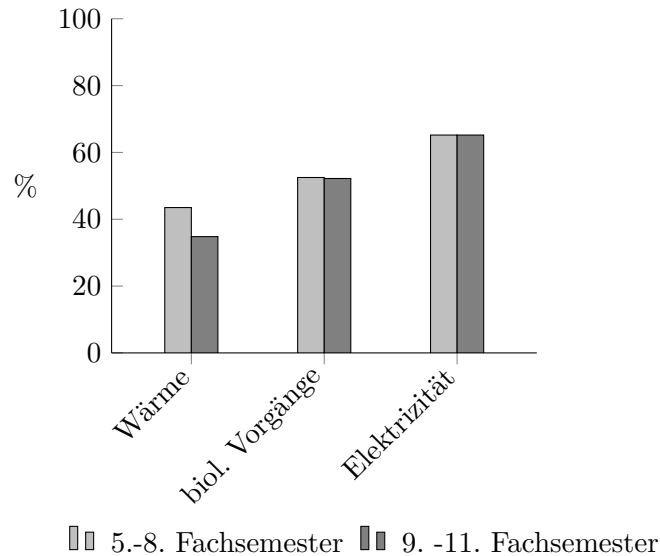


Abbildung 9.3.: Assoziationen in Abhängigkeit vom Fachsemester der Probanden

Energieexplikation In Bezug auf die Aufzählung beispielhafter Energieformen konnten keine Unterschiede zwischen Probanden der verschiedenen Fachsemester ausgemacht werden. Qualitativ betrachtet erklärten die Probanden in den niedrigeren Fachsemestern Energie häufiger als ein Abstraktum sowie als eine Ursache oder Antrieb und weniger oft mittels des Energieerhaltungssatzes als die Studierenden der höheren Semester (vgl. Abbildung 9.4). Jedoch zeigten die durchgeführten Chi-Quadrat-Tests, dass die Erklärungsansätze unabhängig vom Fachsemester der Teilnehmenden sind (Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$).

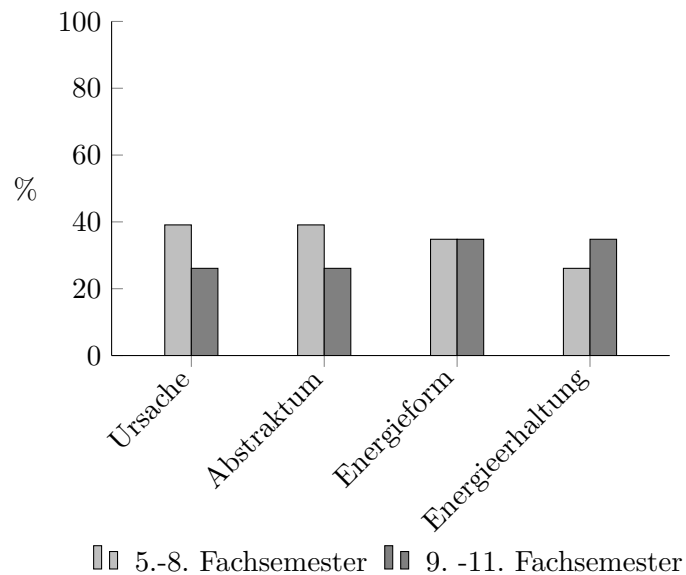


Abbildung 9.4.: Energieexplikationen in Abhängigkeit vom Fachsemester der Probanden

9.3.3. Differenzierung nach dem Alter der Probanden

Assoziationen Der qualitative Vergleich der prozentualen Anteile der genannten Hauptassoziationen zeigt eine unterschiedliche Verteilung auf die einzelnen Altersgruppen (vgl. Abbildung 9.5). Probanden zwischen 30 und 45 Jahren nannten häufiger energetische Phänomene wie Wärme und Elektrizität, wohingegen in den beiden jüngeren Altersgruppen gehäufte Assoziationen zu biologischen Vorgängen vorgefunden wurden. Die Unabhängigkeit der Merkmale wurde mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft und auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt.

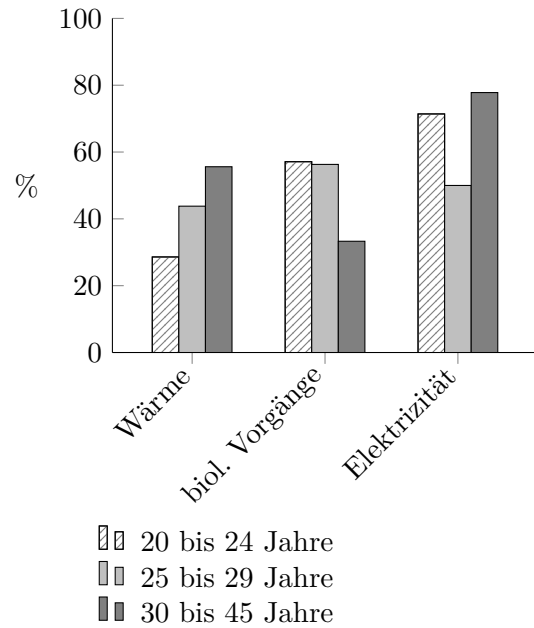


Abbildung 9.5.: Assoziationen in Abhängigkeit vom Alter der Probanden

Energieexplikation Auch bei den Erklärungsansätzen zur Energie zeigten sich vermehrt Unterschiede (vgl. Abbildung 9.6). Für die Nennung des Erklärungsansatzes *Abstraktum* konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Probanden der verschiedenen Altersgruppen festgestellt werden ($\chi^2(df = 2, N = 46) = 7.700, p = .021$). Da zwei Zellen der zugehörigen Kontingenztafel (vgl. Abschnitt C) einen Wert < 5 aufwiesen, wurde der exakte Test nach FISHER ($p = .019$) durchgeführt, der den Zusammenhang der Merkmale bestätigte.

Für die anderen Erklärungsansätze wurde die Unabhängigkeit zum Alter der Probanden auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ gezeigt.

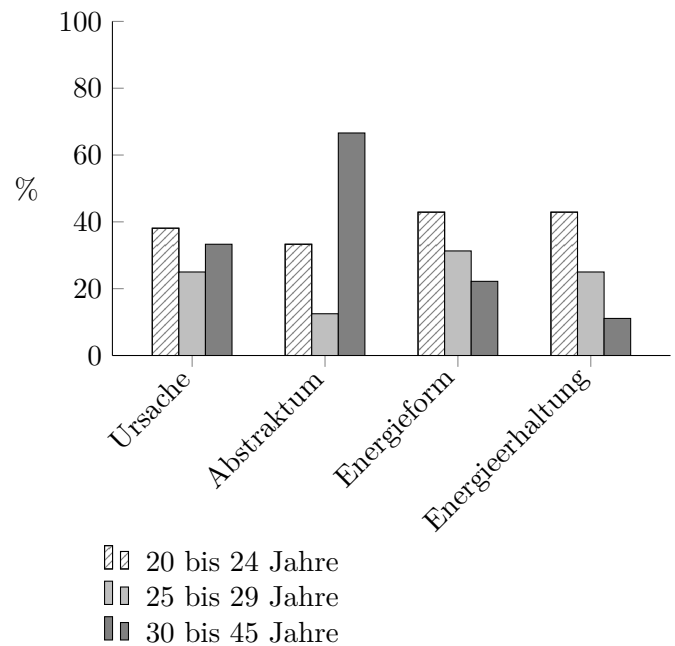


Abbildung 9.6.: Energieexplikationen in Abhängigkeit vom Alter der Probanden

9.4. Selbstreflexion: Herausforderungen des Energiebegriffs

Die angehenden Chemielehrkräfte äußerten sich während des Interviews zum Teil zu Herausforderungen, denen sie sich in Bezug auf den Energiebegriff gegenübersehen und formulierten mögliche Ursachen. Diese Aussagen, die rein qualitativ betrachtet werden, sind aufgeführt, da sie zu einer besseren Deutung und Interpretation der mentalen Repräsentationen von Energie bei den Probanden beitragen können.

Zusammengefasst problematisierten die Studierenden ...

1. ... die Schwierigkeit eine exakte Definition anzugeben aufgrund der Abstraktheit, Vielseitigkeit und Kontextabhängigkeit der Energie,
2. ... die fehlende Diskussion um eine Energiedefinition in Schule und Studium, was dazu führte, dass sich die Probanden erstmals im Moment des Interviews damit auseinandersetzen,
3. ... die Konzentration auf einzelne Teilaspekte bei der Behandlung der Energiethematik ohne Blick auf den Gesamtzusammenhang, was die allgemeine Erklärung von Energie erschwert.

10. Energie im (Chemie-) Unterricht

Bevor die Vorstellungen der angehenden Chemielehrkräfte in den einzelnen Fachkontexten beleuchtet werden, wird deren fächerübergreifende Verortung des Unterrichtsgegenstands Energie in den Vordergrund gestellt. Im folgenden Kapitel wird dazu zum einen darauf eingegangen, in welchen anderen Unterrichtsfächern die Probanden den Unterrichtsgegenstand Energie verankert sehen. Zum anderen werden die Begründungen und Beispiele, die dabei genannt werden, auf qualitativer Ebene beleuchtet. In einem weiteren Schritt wird die Verortung im Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II detailliert in den Blick genommen. Es werden die von den Interviewten konkret genannten Fachkontexte aufgezeigt und deren inhaltliche Dimension beleuchtet. Abschließend wird darauf eingegangen, was Schülerinnen und Schüler aus Sicht der zukünftigen Lehrenden mindestens über Energie wissen sollten (im Folgenden: Mindestkenntnisse), wenn sie die Schule verlassen.

Anmerkungen zum methodischen Vorgehen In Abschnitt 10.1 wurden die Inhalte durch die von den Probanden zugewiesenen Unterrichtsfächer kategorisiert und im Anschluss anhand dieser Kategorien quantifiziert. In Abschnitt 10.2 wurde zunächst im Sinne des Selektionskriteriums zwischen Aussagen zu den Unterrichtsinhalten der Sekundarstufe I und der Sekundarstufe II unterschieden. Die Aussagen der zukünftigen Lehrenden wurden dann inhaltlichen Kategorien zugewiesen. In einem zweiten Schritt fand im Sinne einer zusammenfassenden Inhaltsanalyse eine Zuweisung zu Hauptkategorien statt. Dabei wurde darauf Wert gelegt, möglichst materialorientierte Kategorien zu bilden. Aus diesem Grund findet im Kodierleitfaden für die Unterrichtsinhalte der Sekundarstufe I keine Unterteilung in die Teilbereiche der anorganischen, organischen und physikalischen Chemie statt. Die Studierenden gingen ausschließlich im Bereich Sekundarstufe II auf diese fachwissenschaftliche Unterteilung ein. Auch hier wurden die so erhaltenen Hauptkategorien quantifiziert. Aufgrund des hohen Abstraktionsniveaus sowie der umfangreichen Aspekte, die zu einer Hauptkategorie auch im fachlichen Sinne zu zählen sind, findet sich in der Darstellung der Tabellen anstelle eines Ankerbeispiels eine Inhaltsbeschreibung.

In Abschnitt 10.3 wurde die Auswertung analog zu den obigen Beschreibungen durchgeführt. Die gebildeten Hauptkategorien stellen die Oberbegriffe zu den getätigten Aussagen der Probanden dar. Die Schwierigkeit bei der Auswertung der relevanten Materialausschnitte stellte die hohe Diversität des Abstraktionsniveaus dar. Im Gegensatz zu den Abschnitten 10.1 und 10.2 fand sich ein größerer Fokus auf der Energienutzung im Alltag. Die Hauptkategorie *Energiemündigkeit* ist die daraus resultierende Kategorie.

10. Energie im (Chemie-) Unterricht

Dieser Begriff wurde von den Probanden nicht genutzt und ist der Literatur (FLETCHER & DEUTSCH, 2016) entnommen (vgl. auch Abschnitt 4.3), umschreibt die zugeordneten Inhalte jedoch treffend.

Es wurde eine Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.9$ angestrebt, die mit allen Kodierleitfäden erreicht werden konnte.

10.1. Energie in den verschiedenen Unterrichtsfächern

Gefragt nach der Verortung von Energie innerhalb der verschiedenen Schulfächer wurden von den Studierenden vor allem die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie und Physik in den Blick genommen (vgl. Tabelle 10.1). Zumeist wurde im Kontext von Biologie die Verbindung zum Unterrichtsfach Sport gezogen bzw. gleiche Fachkontexte zugeordnet. Ebenso kombinierten die Befragten die Unterrichtsfächer Geografie und Politik miteinander. Die sprachlich orientierten Unterrichtsfächer sowie die Mathematik fanden selten Erwähnung. Die angehenden Lehrkräfte charakterisierten das Fach Mathematik als eine Hilfswissenschaft zur Berechnung der verschiedenen Umwandlungsprozesse.

Tabelle 10.1.: Angaben der angehenden Chemielehrkräfte zum Energiebezug in Unterrichtsfächern (ohne das Unterrichtsfach Chemie)

Kategorie	n	%
Physik	43	93,5
Biologie	40	87,0
Geografie	12	26,1
Sport	12	26,1
Sozialkunde/Politik	11	23,9
Sprachen	5	10,9
Geschichte	4	8,7
Mathematik	3	6,5
Sonstige Fächer	3	6,5

Physik Die Studierenden stellten Energie als ein zentrales Thema der Physik dar.

„Klar, in der Physik ist die Energie das Größte.“ (Interview 4, Abschnitt 17)

Ebenso sahen sie die physikalischen Erkenntnisse als Grundlage für die Beschreibung der Energie an. Konkret wurden vor allem die verschiedenen Energieformen und deren Umwandlung ineinander thematisiert. Am häufigsten nannten sie die kinetische und die potentielle Energie. Die Probanden illustrierten dies vor allem durch die Beispiele eines Pendels und einer gespannten Feder sowie durch das Hochheben und Fallenlassen eines Balls. Als Themenbereiche wurden vor allem die Elektrizitätslehre in Kombination mit

dem elektrischen Strom (-kreis), die Mechanik sowie die Optik und damit zusammenhängend das Licht thematisiert.

Biologie und Sport Die angehenden Chemielehrkräfte verbanden mit Energie im Kontext des Biologie- und Sportunterrichts den Antrieb von Organismen.

„[...] im Prinzip der ganze Biologiebereich. Ohne Energie ist im Prinzip [...] nichts möglich. Funktioniert halt einfach nicht.“ (Interview 9, Abschnitt 11)

In Verbindung mit dem Unterrichtsfach Biologie wurde als ein großer Themenbereich die Ernährung und in dem Zusammenhang Kohlenhydrate sowie die Maßeinheit Kilokalorie thematisiert. Einen weiteren wichtigen Aspekt sahen die Studierenden in der Energieumwandlung im menschlichen Körper und den Stoffwechselprozessen. In direkter Verbindung dazu wurden ATP und Adenosindiphosphat (ADP) sowie Glucose genannt. Die biochemische Reaktion der Fotosynthese und die damit zusammenhängende Umwandlung von Strahlungsenergie bzw. Licht zu chemischer Energie wurde als dritter Eckpunkt genannt.

Brachten die Studierenden Energie mit Sport in Verbindung, handelte es sich auch um biochemische Prozesse und Abläufe. Vor allem stand dabei die Bewegung und die Energiebereitstellung in den Muskeln sowie die Ernährung im Vordergrund.

Geografie und Politik Die zwei Fächer Geografie und Politik wurden von den Studierenden meist zusammengefasst betrachtet. Sie sahen den Energiebezug beider Fächer vor allem im Bereich der (fossilen) Ressourcen wie Erdöl und Kohle sowie den gesellschaftlichen Auswirkungen deren Nutzung. Auch die sich daraus ergebenden politischen Debatten wurden erwähnt. In diesem Zusammenhang nannten die Probanden den Aspekt der Nachhaltigkeit und thematisierten die Bereiche *Energie verbrauchen* und *Energie sparen* sowie die Gewinnung und den Transport von Strom. Für den Bereich Geografie benannten die angehenden Chemielehrkräfte den Zusammenhang von Energie und der Nahrungsmittelherstellung, dem Wetter sowie dem Vulkanismus.

10.2. Energie im Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II

Für die Sekundarstufe I nannten die angehenden Chemielehrkräfte verschiedene Bereiche und Unterrichtsinhalte, die zu vier Hauptkategorien zusammengefasst wurden (vgl. Tabelle 10.2). Es zeigte sich, dass weniger als die Hälfte aller Studierenden einen gemein-

Tabelle 10.2.: Hauptkategorien zu energiebezogenen Fachkontexten in der Sek. I

Hauptkategorie	Inhalt	n	%
Chemische Reaktionen	Energiediagramme (exotherm, endotherm, Aktivierungsenergie) Energieumsatz Verbrennung	19	41,3
Elektrochemie	Redoxreaktionen Elektronenübertragung galvanische Elemente, Batterien, Akkumulatoren	16	34,8
Submikroskopische Ebene	Atommodelle Licht Aggregatzustände Salzlösungsprozesse	12	26,2
Alltagsbezug	Energiebereitstellung im Alltag Energiewende	7	15,2

samen Fachkontexten für die Sekundarstufe I nannten. Die größte Übereinstimmung fand sich bei den chemischen Reaktionen. Etwas mehr als 40 % der angehenden Chemielehrkräfte identifizierten diese als einen Fachkontext mit Energiebezug im Chemieunterricht. Der Kontext Elektrochemie wurde von einem Drittel der Probanden thematisiert. Im Fokus dieser Betrachtungen standen die Redox-Reaktionen sowie die Funktionsweise von Batterien und Akkumulatoren. Ein Viertel der Probanden nannte Fachkontexte, die sich auf der submikroskopischen Ebene verordnen lassen. Dazu zählten das (Bohr'sche) Atommodell, die Betrachtung von Aggregatzustandsänderungen sowie Salzlösungsprozessen. Unter der Hauptkategorie Alltagsbezug wurden alle Aussagen der Studierenden zusammengefasst, die als schulrelevante Fachkontexte die Gewinnung von Energieressourcen, die politischen und gesellschaftlichen Diskussionen sowie die Energiewende zum Thema hatten.

Für die Sekundarstufe II gaben die zukünftigen Lehrenden eine größere Anzahl an Fachkontexten an (vgl. Tabelle 10.3), die sich in Kategorien in Anlehnung an die Teilbereiche der anorganischen, der organischen und der physikalischen Chemie zuteilen ließen. Im

10.2. Energie im Chemieunterricht der Sekundarstufe I und II

Tabelle 10.3.: Hauptkategorien zu energiebezogenen Fachkontexten in der Sek. II

Hauptkategorie	Inhalt	n	%
Physikalische Chemie: Thermodynamik	Entropie Reaktionsenthalpie Freiwilligkeit chem. Reaktionen	19	41,3
Physikalische Chemie: Elektrochemie	Elektrolyse Batterien, Akkumulatoren	14	30,4
Organische Chemie	Aromaten, Kohlenwasserstoffe Erdöl, Kohle Farbstoffe	10	21,7
Chemische Reaktionen	Reaktionskinetik Gleichgewicht Katalysator	11	23,9
Alltagsbezug	Politische Diskussionen Energiewende	6	13,0
Submikroskopische Ebene	Orbitalmodell Licht Flammenfärbung	6	13,0

Fokus der meisten Studierenden lagen die Aspekte der physikalischen Chemie - insbesondere die Thermodynamik und die Elektrochemie. Den Energiebezug zur organischen Chemie stellten sie über die Fachkontexte Aromaten und Kohlenwasserstoffe her. In Abgrenzung zur Thermodynamik und der Nennung von Entropie und Enthalpie wurden außerdem die chemischen Reaktionen thematisiert. Hier wurde die Reaktionskinetik in den Blick genommen. Weniger als ein Fünftel aller Befragten stellte eine direkte Verbindung zu Alltagsthemen sowie der submikroskopischen Ebene her.

Neben der Nennung der verschiedenen Fachkontexte in der Sekundarstufe II gaben zehn Studierende an, dass in der Oberstufe ausschließlich eine Vertiefung der Fachkontexte aus der Sekundarstufe I stattfindet ohne dass neue Themen eingeführt werden.

10.3. Mindestkenntnisse zur Energie zum Abschluss der schulischen Ausbildung

Tabelle 10.4.: Hauptkategorien zu Mindestkenntnissen zur Energie

Hauptkategorie	Inhalt	n	%
Energieerhaltungssatz	Wiedergabe des Energieerhaltungssatzes (unter Einbezug der Energieumwandlung)	31	67,4
Energieformen	Kenntnis der verschiedenen Erscheinungsformen (potentielle, kinetische, chemische Energie, Licht, Wärme)	21	45,7
Energie im Alltag	Anwendungsbezug im Alltag (elektrischer Strom, Energiebereitstellung im menschlichen Körper, Funktionsweise technischer Geräte)	14	30,4
Chemische Reaktionen	Anwendung der Begriffe exotherm, endotherm und Aktivierungsenergie	13	28,3
Energiemündigkeit	Fachlich fundierte und reflektierte Teilnahme an politischen und gesellschaftlichen Diskussionen, Energiewende, Verfügbarkeit von Energieressourcen	7	15,2
Fachübergreifendes Verständnis	Energie in einen fachübergreifenden Kontext einordnen	5	10,9

Gefragt nach den Mindestkenntnissen zur Energie, über die die Lernenden zum Ende ihrer Schulzeit verfügen sollten, zählten die Probanden verschiedene Schlagwörter auf, die in Tabelle 10.4 aufgeführt sind. Zwei Drittel der Studierenden nannten dabei den Energieerhaltungssatz als fundamentalen Satz. In diesem Kontext wurde ebenfalls die Energieumwandlung miteinbezogen.

„Also was sie auf jeden Fall wissen müssen ist, dass man Energie nicht erzeugen kann, sondern einfach nur umwandelt.“ (Interview 36, Abschnitt 19)

Die Probanden gaben an, dass Schülerinnen und Schüler am Ende ihrer Schulzeit wis-

10.3. Mindestkenntnisse zur Energie zum Abschluss der schulischen Ausbildung

sen sollten, dass Energie in verschiedenen Formen vorliegen kann. Wurden Beispiele genannt, handelte es sich zumeist um potentielle, kinetische und chemische Energie sowie Licht und Wärme. Knapp ein Drittel der Interviewten sahen Kenntnisse über den Alltagsbezug der Energie als eine wichtige Wissensbasis an. Dabei wurden zum einen die Anwendung von Energieumwandlungen und zum anderen die Funktionsweise verschiedener technischer Geräte in den Vordergrund gestellt. Neben dem Wissen um die Nutzung der Energie im Haushalt wurde von sieben Studierenden außerdem das Wissen um und die Teilhabe an den politischen und gesellschaftlichen Diskussionen im Kontext der Energiewende und der Nutzung der verfügbaren Ressourcen in den Fokus gerückt. Im Vordergrund standen die fossile und regenerative Energieversorgung sowie die Atomenergie und die Stromversorgung. Ein Teil der zukünftigen Lehrenden erwähnte, dass zu den Mindestkenntnissen außerdem das Bewusstsein um den fächerübergreifenden Kontext der Energie zu zählen ist. Insbesondere zogen diese Studierenden die Verbindung zu den Unterrichtsfächern Biologie und Physik.

11. Chemische Bindungen

Aus dem Fachkontext der chemischen Bindungen wurden vier Fachbegriffe herausgegriffen, die von den angehenden Chemielehrkräften in den Interviews diskutiert wurden: Bindungsenergie, Gitterenergie, Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität.

Anmerkungen zum methodischen Vorgehen In Abschnitt 11.1 wurden die Aussagen der angehenden Chemielehrkräfte zur Bindungsenergie kategorisiert. 28 Studierende (60,7 % der Probanden) wurden explizit zu ihren Vorstellungen energetischer Prozesse im Kontext chemischer Bindungen im Allgemeinen und der Bindungsenergie im Speziellen befragt¹. Den Studierenden wurde die Reaktionsgleichung der Verbrennung von Methan vorgelegt (in Anlehnung an STACY et al., 2014). Sie wurden gefragt, warum bei der Verbrennung Wärme übertragen wird. Bezog sich die erste Antwort der angehenden Lehrkräfte nicht auf den Kontext chemischer Bindungen und der Bindungsenergie, so wurde in diesem Bereich nochmals explizit nachgefragt und der Fachbegriff Bindungsenergie vorgegeben. In diesem Sinne finden sich in Tabelle 11.1 die ersten Antworten kategorisiert und in Tabelle 11.2 die genutzten Definitionen bei vorgegebenem Fachbegriff Bindungsenergie.

Durch den Aufbau dieses Fragenblocks ergab sich, dass die Interviewten zunächst eine Vermutung äußerten, die nicht unbedingt einen expliziten Bezug zur Bindungsenergie aufwies. Diese Antworten wurden zu Hauptkategorien zusammengefasst.

In Abschnitt 11.2 finden sich die ausgewerteten Aussagen zur Gitterenergie, die anhand der Bildung eines Ionenkristalls aus den Elementen am Beispiel von Natriumchlorid thematisiert wurde. Im Zusammenhang mit den Teilschritten des Born-Haber-Kreisprozesses wurde der Fokus ebenfalls auf die Fachbegriffe Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität gelenkt (vgl. Abschnitt 11.3 und Abschnitt 11.4).

Die Inhalte in den Abschnitten 11.2, 11.3 und 11.4 beziehen sich auf die gesamte Stichprobe ($N = 46$)². Die angestrebte Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.9$ wurde bei fast allen Kodierleitfaden erreicht. Kleiner Unstimmigkeiten wurden im Sinne des konsensualen Kodierens behoben.

¹Alle prozentualen Angaben in Abschnitt 11.1 beziehen sich ausschließlich auf die die Teilstichprobe.

²Zur besseren Übersicht wird in allen Tabellen in diesem Kapitel der zugrundeliegende Stichprobenumfang angegeben

11.1. Bindungsenergie

Zur Bindungsenergie konnten fünf Hauptkategorien gebildet werden (vgl. Tabelle 11.1). Etwa die Hälfte der angehenden Chemielehrkräfte sah die Wärmeübertragung bei der

Tabelle 11.1.: Hauptkategorien zur ersten Antwort zur Wärmeübertragung bei der Verbrennung von Methan ($N = 28$)

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Chemische Bindungen	„Ja es muss ja irgendwie eine exotherme Reaktion sein, dass mehr Energie frei wird als man reinsteckt. Und ich schätze mal, das hängt mit den Bindungen, die dabei entstehen zusammen.“ (I19,A165)	15	53,6
Energieniveaus	„Und ja wenn bei einer Reaktion Energie freigegeben wird, dann liegt das ja daran, dass das Endprodukt viel stabiler ist; heißt ein viel niedrigeres Energieniveau hat als die Edukte.“ (I13, A187)	5	17,9
Chemische Energie	„Ich denke, weil Methan an sich [...] chemische Energie enthält, die bei einer Reaktion zu einer anderen Energieform umgewandelt wird.“ (I1, A154)	3	10,7
Entropie	„Und außerdem muss es natürlich miteinbezogen werden halt die Entropie. Und zum Beispiel in dem Fall haben wir auch eine Entropiezunahme, weil halt so bilanzmäßig mehr Teilchen rauskommen.“ (I27, A171)	2	7,1
Keine Angabe	-	3	10,7

Verbrennung mit Methan in Verbindung zu den chemischen Bindungen³, wobei ausschließlich fünf Studierende den Begriff Bindungsenergie verwendeten.

³Eine genauere Untergliederung der Hauptkategorie *Chemische Bindungen* findet sich in Tabelle 11.2.

Zehn Studierende bezogen sich in der ersten Antwort nicht explizit auf chemische Bindungen. Sie argumentierten unter anderem über die unterschiedlichen Energieniveaus der Edukte und Produkte. Hier wurde direkt bzw. indirekt ein Bezug zu dem Energiediagramm einer exothermen Reaktion hergestellt. Sie beschrieben, dass die Energieniveaus der Produkte deutlich niedriger als die der Edukte liegen und dadurch Wärmeenergie frei wird. Ein weiterer Argumentationsstrang richtete sich an der chemischen Energie aus. Die Probanden gaben an, dass sich die chemische Energie der Edukte und der Produkte bei der Reaktion unterscheidet und der Überschuss an chemischer Energie der Edukte in die freigesetzte Wärmeenergie umgewandelt wird. In Einzelnennungen wurde auf die Entropiezunahme bei der Reaktion hingewiesen.

Wurden die Studierenden speziell auf die Bindungsenergie angesprochen, so konnten alle Teilnehmenden einen Bezug zu der Problemstellung herstellen und ergänzten ihre Antworten. Diese ließen sich in zwei verschiedene Subkategorien zu der Hauptkategorie *Chemische Bindungen* gliedern (vgl. Tabelle 11.2). Die Probanden, die angaben, dass

Tabelle 11.2.: Subkategorien zur Definition der Bindungsenergie (BE) ($N = 28$)

Subkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Energiefreisetzung durch Bindungsspaltung	„Weil im Zweifelsfall die Energie vorher in Bindungen gespeichert war und dann eben frei wird.“ (I3, A157)	17	60,7
Energiefreisetzung durch Bindungsbildung	„Entweder man muss sie [die Energie] aufbringen, wenn die Bindung gebrochen wird oder sie wird eben frei, wenn die Bindung entsteht. Und wenn es exotherm ist, muss ja mehr Energie frei werden, als man vorher aufbringt. Das heißt, die Bindungsenergie der entstehenden Produkte muss größer sein als die der vorliegenden Edukte.“ (I19, A169)	11	39,3

die Energiefreisetzung aus dem Bindungsbruch resultiert, vertraten die Ansicht, dass die Energie in den Bindungen gespeichert ist. Sie interpretierten den Term Bindungsenergie in dem Sinne, dass der bindungsspezifische Energiebetrag bei der Bildung der Bindungen benötigt und beim Brechen der Bindungen frei wird. Energiereiche Bindungen wurden von diesen angehenden Lehrkräften mit der Stabilität und der Bindungsstärke gleichgesetzt: Sie beschrieben, dass eine Bindung umso stärker ist, je energiereicher sie ist und als Resultat mehr Energie bei der Bindungsspaltung freigesetzt wird.

Erfolgte die Interpretation über den Argumentationsstrang *Energiefreisetzung durch Bindungsbildung*, standen die Begriffe Stabilität und Stärke nicht im Fokus der Erläuterungen. Die Interviewten diskutierten ausschließlich die unterschiedliche Bindungsenergie

gie von Edukten und Produkten.

11.2. Gitterenergie

Bei den Probanden ließen sich zwei gegensätzliche Definitionsansätze der Gitterenergie von Ionenkristallen feststellen (vgl. Tabelle 11.3). Ein Teil der angehenden Lehrkräfte gab an, dass die Gitterenergie diejenige Energie ist, die bei der Bildung eines Ionengitters frei wird. Der andere Teil der Befragten argumentierte, dass die Gitterenergie diejenige Energie ist, die zur Bildung des Ionengitters benötigt wird. Ein Drittel der Studierenden

Tabelle 11.3.: Hauptkategorien zur Definition der Gitterenergie (GE) ($N = 46$)

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
GE wird bei der Bildung des Ionengitters frei	„Gitterenergie wäre die Energie, die eben frei wird, wenn sich dieses Gitter bildet aus den verschiedenen Ionen.“ (I19, A99)	24	52,2
GE wird zur Bildung des Ionengitters benötigt	„In dem Gitter ist die Gitterenergie gespeichert. Das zeigt sich vor allem an dem geordneten System. Das heißt, um das Gitter herzustellen, müsste eigentlich auch erst die Gitterenergie bereitgestellt werden. Sodass wenn wir das Gitter wieder auflösen, die Gitterenergie wieder frei werden kann.“ (I5, A96)	16	34,8
GE hält den Salzkristall zusammen	„Die [Natrium- und Chlor-Ionen] bilden ein sehr fest zusammengehaltenes Gitter. Dieses Gitter wird durch die Gitterenergie zusammengehalten.“ (I9, A98)	15	32,6

sprach zusätzlich an, dass die Gitterenergie ein Ionengitter zusammenhält. Diese Aussage fand sich unabhängig von den beiden Definitionsansätzen der Gitterenergie.

11.3. Ionisierungsenergie

Tabelle 11.4.: Hauptkategorien zur Definition der Ionisierungsenergie (IE) im Kontext der Salzbildung aus den Elementen ($N = 46$)

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
IE als Energie, die zur Elektronenübertragung aufgewendet werden muss	„Die Ionisierungsenergie [...] ist ja eine Energie, die einfach aufgebracht werden muss, damit eben die Elektronen von in diesem Fall Natrium zum Chlor übergehen [...].“ (I3, A83)	16	34,8
IE als Energie, die zur Abspaltung eines Elektrons aus einem Atom aufgewendet werden muss	„Das Natrium hat ein Elektron abgegeben, um zum Natriumkation zu werden. Das heißt, beim Natrium musste zuerst die Ionisierungsenergie aufgewendet werden, damit das Elektron abgegeben werden konnte“ (I5, A96)	14	30,4
IE als Energieumsatz bei der Ionisierung eines Atoms	„Also die Ionisierungsenergie ist quasi die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron zu entfernen oder hinzuzufügen.“ (I21, A84)	12	26,3
IE als Energie, die zur Ionisierung eines Salzkristalls aufgewendet werden muss	„Sozusagen Ionen zu bilden und das Gitter aufzuspalten und die Ionen daraus zu machen.“ (I12, A89)	5	10,9
IE als Energie, die zur Ionisierung eines Salzkristalls aufgewendet werden muss	„Die Ionisierungsenergie, das ist auf jeden Fall die Energie, die benötigt wird, um dafür zu sorgen, dass man eine volle Schale hat.“ (I13, A88)	4	8,7
Keine Angabe	-	11	23,9

Am häufigsten wendeten die Befragten den Begriff Ionisierungsenergie allgemein auf die Elektronenübertragung an. Es wurde nicht zwischen der Elektronenaufnahme und der Elektronenabgabe differenziert. Insbesondere wurde ein Bezug zu dem sich formenden

11. Chemische Bindungen

Salzgitter gezogen:

„Durch diese gleichzeitige Aufnahme und Abgabe [der Elektronen] bilden die beiden ein Gitter. Die bilden ein sehr fest zusammengehaltenes Gitter.“
(Interview 9, Abschnitt 98)

Etwas weniger als ein Drittel der angehenden Chemielehrkräfte bezog die Ionisierungsenergie ausschließlich auf die Elektronenabgabe. Konkret beschrieben sie die Ionisierungsenergie als die Energie, die benötigt wird, um ein Elektron aus einem (Natrium-) Atom abzuspalten. In einem weiteren Ansatz stellten die Probanden die Ionisierungsenergie als diejenige Energie dar, die zur Ionisierung eines Salzkristalls notwendig ist. Der Fokus lag ausschließlich auf der Zerlegung des gesamten Salzkristalls in Ionen. Über alle drei Hauptkategorien hinweg fand sich der Konsens unter den Befragten, dass die Ionisierungsenergie aufgewendet werden muss und nicht frei wird.

11.4. Elektronenaffinität

Bei der Beschreibung der Elektronenaffinität durch die Studierenden fanden sich zwei stark ausgeprägte Ansätze. Zum einen wurde die Elektronenaffinität mit einer Elektronenaufnahme in Verbindung gebracht und zum anderen der Fokus auf die Anziehung von Elektronen gelegt (vgl. Tabelle 11.5). Vier der befragten Lehramtsstudierenden stell-

Tabelle 11.5.: Hauptkategorien zur Definition der Elektronenaffinität (EA) ($N = 46$)

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
EA als Fähigkeit, Elektronen aufzunehmen	„Also Elektronenaffinität ist ja die Fähigkeit, Elektronen sozusagen aufzunehmen bzw. das Streben dazu, Elektronen aufzunehmen.“ (I34, A95)	20	43,5
EA als Fähigkeit, Elektronen anzuziehen	„Also die Elektronenaffinität die sagt aus, wie sehr das Atom bestrebt ist sozusagen noch ein Elektron mehr an sich zu ziehen.“ (I4, A92)	16	34,8
Keine Angabe	-	10	21,7

ten eine Verbindung der Begriffe Elektronenaffinität und Energie her. Diese beschrieben sie dann als den Gegenpart zur Ionisierungsenergie. Die 16 anderen Studierenden, deren Aussagen die Elektronenaffinität mit der Aufnahme von Elektronen in Verbindung brachten, nutzten den Begriff Energie nicht. Sie sprachen ausschließlich von der *Fähigkeit*, Elektronen aufzunehmen.

„Also Elektronenaffinität ist ja die Elektronenliebe sozusagen, also wie viel man aufwenden muss, um ein Elektron aufzunehmen.“ (Interview 24, Abschnitt 93)

Die angehenden Lehrkräfte deklarierten die Elektronenaffinität als eine Eigenschaft eines Atoms, die *Elektronenliebe*.

Im zweiten Erklärungsansatz beschrieben die Probanden die Elektronenaffinität als die Fähigkeit, Elektronen anzuziehen. Dabei setzten sie die Elektronenaffinität direkt oder indirekt mit der Elektronegativität gleich. Auch in diesem Fall wurde keine Verbindung zum Begriff *Energie* gezogen.

12. Thermodynamik

Für den Fachkontext Thermodynamik wurden die Fachbegriffe Temperatur, Wärme und Wärmekapazität herausgegriffen, weil diese neben ihrem Alltagsbezug vor allem in der Sekundarstufe I eine große Rolle spielen. Da in der Sekundarstufe II vor allem der fachwissenschaftliche Bezug im Vordergrund steht, fand eine Betrachtung der Fachbegriffe Enthalpie, Entropie und freie Enthalpie statt. Die Ergebnisse der Interviews werden im folgenden Kapitel zusammengefasst.

Anmerkungen zum methodischen Vorgehen Um die Vorstellungen der Begriffe Temperatur und Wärme in einem praktischen Kontext zu erheben, wurden die Studierenden mit einem Gedankenexperiment zu Aggregatzustandsänderungen konfrontiert (in Anlehnung an BARKE, 2006). Dabei sollten sie argumentieren, inwiefern sich die Temperatur eines Eis-Wasser-Gemisches nach einminütigem Erhitzen ändert, wenn nach diesem Vorgang immer noch Eis und Wasser im Becherglas verblieben sind. Den Probanden wurden dabei keine Antwortmöglichkeiten vorgegeben. Da sich die Antwortmöglichkeiten als vielschichtig erwiesen, wurde bei der Auswertung mit einer Antwortmatrix gearbeitet (vgl. Abschnitt 12.1).

Enthalpie hat als Fachbegriff eine Sonderstellung, da dessen Bedeutung vor allem an die Bedingungen des zugrundeliegenden Systems geknüpft ist. Um zu erfassen, inwiefern die Studierenden diese Bedingungen in ihr Konzept der Enthalpie miteinbeziehen bzw. diese verbalisieren, wurde der Begriff nur allgemein genannt, ohne weitere einschränkende Bedingungen zu nennen. In Abschnitt 12.3 sind die Ergebnisse tabellarisch dargestellt. Aus den Definitionen der Enthalpie durch die angehenden Chemielehrkräfte, auch geprägt durch deren Vorstellungen zum Wärmebegriff, wurde ersichtlich, dass viele Studierende die Enthalpie und die Energie in einen direkten Zusammenhang brachten. Einer Teilstichprobe ($N = 28$) wurde vertiefend die Frage nach dem Zusammenhang der beiden Begriffe gestellt¹. Die Ergebnisse werden in Abschnitt 12.5 beleuchtet. Es findet eine Überschneidung zum Themenbereich *Chemische Reaktionen* statt.

In Abschnitt 12.5 wird der Begriff freie Enthalpie betrachtet. Es wurde festgestellt, dass nicht alle Teilnehmenden mit dem Ausdruck *freie Enthalpie* vertraut waren. Einige Studierende kannten ausschließlich den synonymen Begriff *GIBBS-Energie* und andere gaben an, dass sie beide Begriffe noch nicht gehört hatten. Die Auswertung der Materialausschnitte zum Fachbegriff der freien Enthalpie spiegelt diese Problematik wieder. Es wurden induktiv viele Subkategorien gebildet, die ausschließlich Einzelnennungen

¹ Alle prozentualen Angaben in diesem Abschnitt beziehen sich ausschließlich auf die die Teilstichprobe.

12. Thermodynamik

darstellen. Die Zusammenfassung in Hauptkategorien stellte demnach eine größere Verallgemeinerung dar.

Bei den Definitionen der thermodynamischen Begriffe kam es vermehrt zu Einzelnennungen innerhalb der Definitionsansätze. Auf diese wird im Folgenden nicht weiter eingegangen, um eine bessere Übersicht zu schaffen und nicht zu kleinschrittig zu agieren. In den tabellarischen Darstellungen sind diese Ansätze unter der Hauptkategorie *Sonstige* zusammengefasst.

Des Weiteren ist zu bemerken, dass Mehrfachkodierungen einer Textstelle bei der Analyse zugelassen wurden. Die Studierenden konnten zu einem thermodynamischen Begriff mehrere Definitionsansätze (jeweils dargestellt durch eine inhaltliche Kategorie) aufweisen, was sich besonders in der Betrachtung der prozentualen Häufigkeit der Nennungen zeigt, die teilweise bei über 100 % liegen. Jedoch wurde jede Kategorie pro Teilnehmenden nur einmal vergeben.

Bei der Analyse des Interviewmaterials wurde eine Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.9$ angestrebt. Diese konnte in den meisten Fällen erreicht werden. Eine Intercoderreliabilität im Bereich $\kappa = 0.6-0.8$ wurde jedoch für die Kategoriensysteme zur Enthalpie und freier Enthalpie erzielt. Das lag darin begründet, dass die Abgrenzung der einzelnen Begriffe durch die Studierenden nicht trennscharf war. Außerdem musste Zustand und Prozess unterschieden werden. Kritische Stellen wurden im Sinne des konsensuellen Kodierens analysiert.

12.1. Temperatur und Wärme

Temperatur Es fanden sich in den Interviews vielseitige Definitionsansätze für den Begriff Temperatur (vgl. Tabelle 12.1).

Mit einer hohen Übereinstimmung beschrieben die Studierenden die Temperatur als einen Messwert. Dabei ließen sich zwei Gruppen differenzieren. Zum einen sahen die Studierenden die Temperatur als eine messbare Größe an, die unter Einbezug von Hilfsmitteln (zumeist Thermometer) bestimmt werden kann. Zum anderen beschrieben die Studierenden die Temperatur selbst als eine Methode, um etwas (zumeist Wärme) zu messen. In diesem Zusammenhang thematisierten sie ebenfalls die zugehörigen Einheiten und Skalen (Grad Celsius und Kelvin). 14 der angehenden Lehrkräfte (30,4 %) verbanden in ihren Aussagen Temperatur als Messwert und als Einheit miteinander. Insgesamt nutzten 37 Studierende (80,4 %) mindestens eines der beiden Konzepte.

Ein Sechstel der Befragten setzte die Temperatur mit der Teilchenbewegung gleich. Neben dieser Gleichsetzung nannten sie außerdem eine Korrelation zwischen der Geschwindigkeit der Bewegungen, der Höhe der kinetischen Energie sowie der Höhe der Temperatur.

Ebenfalls fanden sich einige Aussagen zur Temperatur, die einen direkten Zusammenhang zum Begriff Wärme herstellten. Dabei konnten zwei verschiedene Ansichten festgestellt werden: Zum einen verknüpften die Studierenden die Temperatur mit dem Wärmeempfinden im Alltag. Hohe Temperaturen wurden dabei mit warmen Bedingungen sowie Wärme und niedrige Temperaturen mit kalten Bedingungen verknüpft. Zum anderen bezeichneten Probanden die Temperatur als einen wissenschaftlichen Begriff für Wärme. Sie argumentierten vor allem damit, dass man Wärme nicht messen kann und dementsprechend die zu messende Temperatur den wissenschaftlichen Zugang darstellt. In beiden Ansätzen stand das Wärmeempfinden im Vordergrund.

Neben diesen von jeweils mehr als zehn Prozent der Studierenden genannten Aspekten wurde außerdem das thermische Gleichgewicht in Zusammenhang mit der Temperatur gebracht sowie diese als eine physikalische Größe betitelt.

Wärme Alle angehenden Chemielehrkräfte äußerten sich zu dem Begriff Wärme (vgl. Tabelle 12.2). Knapp 40 % der Befragten beschrieben die Wärme als eine Energieform und setzten diese explizit bzw. implizit mit dem Begriff der Wärmeenergie gleich.

Ebenso wie in Tabelle 12.1 dargestellt, wurde auch im Kontext des Fachbegriffs Wärme das Wärmeempfinden zum Thema gemacht. Die angehenden Chemielehrkräfte charakterisierten die Wärme dabei als subjektiv, alltagsbezogen, spürbar und schwammig. Wobei sich der Ausdruck *schwammig* vor allem auf das subjektive Wärmeempfinden des einzelnen Menschen bezog und mit Unwissenschaftlichkeit in Verbindung gebracht wurde.

Neben dieser alltagsbezogenen Sichtweise assoziierten die Probanden außerdem die Wärmeübertragung, auch wenn der Term nicht immer explizit genutzt wurde. Auch die Wörter *zuführen* und *abführen*, *transportieren* sowie *aufnehmen* und *abgeben* wurden genutzt.

Tabelle 12.1.: Hauptkategorien zur Definition der Temperatur

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Messwert	„Temperatur ist einfach eine Messgröße. Man misst die Temperatur mit einem Thermometer zum Beispiel.“ (I3, A57)	33	71,7
Einheit	„Temperatur [...] ist die Einheit, mit der ich die Wärme messe.“ (I41, A56)	16	34,8
Teilchenbewegung	„Temperatur ist die mittlere kinetische Energie der Teilchen.“ (I29, A57)	7	15,2
Wärmeempfinden	„Und für uns Menschen sagt die Temperatur immer so ein bisschen aus, wie warm oder wie kalt empfinden wir es.“ (I3, A57)	6	13,0
Wissenschaftlicher Begriff für Wärme	„Aber Temperatur ist für mich deutlich wissenschaftlicher als Wärme. Wärme kann ich, würde ich sagen, nicht messen.“ (I26, A65)	5	10,9
Thermisches Gleichgewicht	„Also alle Stoffe im thermischen Gleichgewicht haben die gleiche Temperatur. Sind zwei Systeme nicht im thermischen Gleichgewicht, haben wir in Form von Wärmeübertragung im Grunde diesen Temperatúrausgleich.“ (I17, A59)	3	6,5
Physikalische Größe	„Es [Temperatur] ist eine physikalische Größe, die in Abhängigkeit von anderen physikalischen Größen wie zum Beispiel der Wärmekapazität eine Aussage über ein Energieniveau trifft.“ (I31, A69)	3	6,5
Sonstige	-	7	15,2

Tabelle 12.2.: Hauptkategorien zur Definition der Wärme

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Energieform	„Wärme ist eine Energieform.“ (I31, A69)	18	39,1
Wärmeempfinden	„Anders dann eher, dass es das Problem ist, dass Wärme an sich zwar jeder etwas mit anfangen kann, was Wärme ist, wie man es fühlt. Aber dadurch, dass Wärme eher subjektiv ist und man eigentlich das gar nicht einschätzen kann. Der eine kann sagen, dass es warm ist, der andere sagt, es ist nicht warm.“ (I27, A63)	17	37,0
Wärmeübertragung	„Wärme ist wie gesagt ein energetischer Begriff, der in Joule angegeben wird und die Übertragung von Wärme vom einen auf den anderen Körper irgendwie so zur Beschreibung dient.“ (I12, A63)	13	28,3
Wärmeinhalt	„Weil eine Wärmemenge ist ja in Stoffen enthalten [...]. Das ist für mich Wärme.“ (I40, A69)	7	15,2
Zustandsgröße	„Wärme ist zum Beispiel eine Zustandsgröße.“ (I44, A67)	4	8,7
Teilchenbewegung	„Temperatur ist die kinetische Bewegung von Teilchen. Wärme ist dann, ich würde Wärme vielleicht einfach als das Resultat der kinetischen Bewegung ansehen.“ (I45, A51)	3	6,5
Sonstige	-	5	10,9

Die Nennung von Aufnahme oder Abgabe von Wärme ging oft einher mit der Verbindung von Wärme als einer Energieform. Ebenfalls thematisierten die Probanden den Wärmeinhalt eines Systems oder eines Körpers. Die Wärme wurde als etwas angesehen, das in einem System oder einem Körper gespeichert werden kann bzw. beinhaltet ist.

12. Thermodynamik

Weniger als ein Zehntel der Probanden bezeichnete Wärme als eine Zustandsgröße bzw. assoziierte die Teilchenbewegung.

Temperatur und Wärme bei Aggregatzustandsänderungen Gefragt nach der Temperaturdifferenz $\Delta T = T_1 - T_0$ eines Eis-Wasser-Gemisches, wenn nach kurzem Erhitzen noch Eis im Gemisch verblieben ist, gaben die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer drei verschiedene Antworten:

1. $\Delta T < 0$
2. $\Delta T = 0$
3. $\Delta T > 0$

In Kombination mit diesen Antwortmöglichkeiten wurden inhaltlich vier Argumentationslinien genutzt (**A**, **B**, **C**, **D**), um den Ausgang des Gedankenexperimentes zu benennen und zu begründen (vgl. Tabelle 12.3).

- A** Aggregatzustandsänderung.
- B** *Mischtemperatur* aus dem erhitzten Wasser und dem Schmelzwasser der Eiswürfel
- C** Wärmekapazität des Wassers
- D** „Je mehr Wärme dem Gemisch zugeführt wird, desto höher steigt die Temperatur.“

Tabelle 12.3.: Antwortkategorien der Studierenden (absolute Häufigkeit)

	$\Delta T < 0$	$\Delta T = 0$	$\Delta T > 0$
A	-	21	5
B	2	10	5
C	-	4	-
D	-	-	5

Im Rahmen der Auswertung werden zwei Bereiche näher beleuchtet:

1. Insgesamt 31 Studierende (67,4 %) gaben die Antwort $\Delta T = 0$ als Ausgang des Gedankenexperimentes an, nutzten jedoch drei verschiedene Argumentationslinien.
2. 17 Studierende (37,0 %) argumentierten über das Einstellen einer Mischtemperatur und kamen mit dieser Argumentationslinie auf drei verschiedene Ausgänge des Gedankenexperimentes.

Antwort $\Delta T = 0$ Vier Studierende (8,7 %) argumentierten über die Wärmekapazität des Wassers (**C**). Sie sahen das Wasser als eine Art Zwischenspeicher für die Wärme und die Wärmekapazität als stoffspezifischen Indikator für die Größe dieses Speicherplatzes. Erst wenn dessen Wärmekapazität ausgereizt ist, wird die Wärme an die Umgebung abgegeben und das Eis geschmolzen. Insgesamt 21 Studierende (45,7 %) verbanden die Antwort $\Delta T = 0$ mit der Begründung **A**. Die Studierenden argumentierten dabei,

dass die übertragene Energie zunächst für die Aggregatzustandsänderung aufgewendet werden muss. Erst nachdem diese abgeschlossen ist und dennoch eine weitere Erwärmung stattfindet, kann eine Temperaturänderung mittels des Thermometers gemessen werden. Vier Probanden (8,7 %), die diese Begründung angaben, waren sich dessen jedoch nicht sicher. Ein Student beschrieb seinen Gedankengang wie folgt:

„Das ist eine gute Frage. Es gibt irgendwo finde ich ein Argument dafür, dass es wärmer wird, aber auch für ein Argument, dass es gleich bleibt. Also erstmal für das Argument, dass die Temperatur gleich bleibt: Also da denke ich jetzt an das Schmelzen eines Reinstoffes. Und bei diesem Schmelzvorgang verändert sich eben die Temperatur nicht über die ganze Zeit, bis dieser Reinstoff vollständig geschmolzen ist. Und dann kommt es erst wieder zum Temperaturanstieg. Das heißt, aufgrund dieses Wissens, würde ich erstmal sagen, es kommt zu keiner Temperaturveränderung. Allerdings weiß man ja auch: Man kann auch 30 °C warmes Wasser haben und hat immer noch Eisbrocken drin, weil es eben einfach dauert, bis das Eis schmilzt. Von daher könnte ich mir auch vorstellen, dass sich das Wasser im Becherglas durchaus erwärmt. Allerdings nur kurz, weil durch diesen Schmelzvorgang mit dem Eis noch darin, die Temperatur irgendwann wieder auf diese Schmelztemperatur abkühlen wird. Aber ich bin mir da nicht sicher, aber ich würde wahrscheinlich aufs Erste argumentieren.“ (Interview 26, Abschnitt 73)

Der Proband erläuterte zunächst einen korrekten Lösungsvorschlag mit einer adäquaten Begründung über die Aggregatzustandsänderung. Im Anschluss betrachtete er jedoch eine weitere Lösungsmöglichkeit. Hier begründete er die Antwort $\Delta T = 0$ mit dem Temperaturunterschied des warmen Wassers und des geschmolzenen Eiswassers. Dieser Argumentationslinie folgten insgesamt zehn der angehenden Chemielehrkräfte (21,7 %). Die Probanden gingen davon aus, dass sich eine *Mischtemperatur* einstellt (**B**). Fünf Studierende (10,9 %) verwendeten die gleiche Argumentation (Mischtemperatur), kamen jedoch zu dem Ergebnis $\Delta T > 0$ und zwei zu dem Ergebnis $\Delta T < 0$.

Argumentationslinie Mischtemperatur Alle angehenden Chemielehrkräfte, die die Mischtemperatur in ihrer Antwort verwendeten, bauten ihre Argumentation wie folgt auf:

1. Die Temperatur des Eis-Wasser-Gemisches steigt (kontinuierlich) während des Erhitzens.
2. Neben dem Anstieg der Temperatur des Gemisches findet außerdem der unvollständige Schmelzvorgang von Eis in Wasser statt.
3. Das geschmolzene ‚Eiswasser‘ ist kälter als das erwärmte Eis-Wasser-Gemisch.
4. Durch eine Durchmischung stellt sich eine Mischtemperatur des Eis-Wasser-Gemisches ein.

12. Thermodynamik

- 5a. Die Mischtemperatur entspricht der ursprünglichen Temperatur des Eis-Wasser-Gemisches und aus diesem Grund gilt $\Delta T = 0$.
- 5b. Die Mischtemperatur ist höher als die ursprüngliche Temperatur des Eis-Wasser-Gemisches und aus diesem Grund gilt $\Delta T > 0$.
- 5c. Die Mischtemperatur ist niedriger als die ursprüngliche Temperatur des Eis-Wasser-Gemisches und aus diesem Grund gilt $\Delta T < 0$.

Die Argumentation über die Temperaturdifferenz der angehenden Chemielehrkräfte - egal ob sie zu dem Ergebnis $\Delta T = 0$, $\Delta T > 0$ oder $\Delta T < 0$ kamen - orientierte sich an den Schritten der obigen Darstellung. Erst in Schritt 5a, Schritt 5b bzw. Schritt 5c unterschieden sich die drei Gruppen.

Oftmals argumentierten die Studierenden bei ihren Überlegungen auch über lokale Phänomene. Sie beschrieben, dass zunächst eine Temperaturerhöhung lokal messbar ist, bis es zu einer Durchmischung der verschiedenen warmen Wasserschichten kommt.

12.2. Wärmekapazität

Der Begriff Wärmekapazität war allen Studierenden bekannt, jedoch konnten zwei Studierende (4,3 %) keine Definition angeben. Die Vorstellungen der restlichen 44 angehenden Chemielehrkräfte ließen sich zu vier verschiedenen Hauptkategorien zusammenfassen, wobei alle die Wärmekapazität als eine stoffspezifische Eigenschaft beschrieben. Drei der Probanden (6,5 %) tätigten ausschließlich diese Aussage. Die Aussagen der anderen Studierenden ließen sich noch weiter differenzieren (vgl. Tabelle 12.4). Die Wärmekapazität wurde zum einen in Verbindung mit einer Wärmeübertragung gesehen. Zwölf angehende Chemielehrkräfte (26,1 %) bezogen ebenfalls die Temperatur mit ein und verwiesen auf das Verhältnis von zugeführter Wärme und daraus resultierender Temperaturänderung. Die restlichen 15 Studierenden (32,6 %) definierten die Wärmekapazität ausschließlich als das Vermögen eines Stoffes, Wärme aufzunehmen. In Kombination mit der Wärmespeicherung wurde der Begriff Wärmehalt genutzt. Die gespeicherte Wärme wurde dabei mit der inneren Energie gleichgesetzt. Verbänden die Studierenden die Wärmekapazität mit einem Beispiel, so wurde stets die Wärmekapazität des Wassers hinzugezogen. Die Wärmespeicherung stellte bei den Interviewten eine Erweiterung der Wärmeaufnahme dar.

Tabelle 12.4.: Hauptkategorien zur Definition der Wärmekapazität

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Stoffspezifische Eigenschaft	„Die Wärmekapazität würde ich spontan erstmal als Stoffeigenschaft sehen.“ (I13, A74)	44	95,7
Fähigkeit eines Stoffes, Wärme aufzunehmen	„Und durch die Wärmekapazität wird ausgedrückt, wie viel Energie oder wie viel Wärmeenergie eine bestimmte Menge eines bestimmten Stoffes aufnehmen kann und dadurch ein Grad heißer wird. Ich glaube, man nimmt das in Bezug auf Wasser.“ (I3, A61)	25	54,3
Wärmespeicherung	„Die Wärmekapazität also die beschreibt sozusagen das Speichervermögen eines Systems. Egal ob gasförmig, fest oder flüssig. Die Energiespeicherfähigkeit eines Systems. Wie viel Wärmeenergie oder thermische Energie pro einer Einheit [...] speichern kann.“ (I12, A67)	15	32,6

12.3. Enthalpie

Der Begriff Enthalpie wurde von knapp der Hälfte der Studierenden in einen direkten Kontext zu chemischen Reaktionen gesetzt (vgl. Tabelle 12.5). Dabei definierten die Interviewten die Enthalpie als den Energieunterschied von Edukten und Produkten. Auch wurde die Enthalpie als die bei einer chemischen Reaktion freiwerdende Energie bzw. Wärme definiert. Die Probanden machten keinen Unterschied zwischen den Wörtern Enthalpie und Enthalpieänderung, sondern nutzten diese synonym. Dies geschah auch außerhalb des Kontextes chemischer Reaktionen. Insgesamt 22 Studierende nutzten den Begriff Enthalpie für Inhalte der Enthalpieänderung.

Neun Studierende verwiesen auf die definierenden physikalischen Größen der Enthalpie und die damit zusammenhängende Formel. Vier dieser Studierenden konnten dabei die innere Energie, den Druck und das Volumen korrekt zuordnen, jedoch keinen Zusammenhang zwischen diesen mittels einer Gleichung herstellen. Die anderen Probanden erwähnten die Temperatur, die Wärme oder die Entropie als definierende Bestandteile. Auch hier gaben sie keine Gleichung an. Vier angehende Chemielehrkräfte (8,7 %) definierten die Energie allgemein als physikalische Größe bzw. ordneten diese explizit dem

Tabelle 12.5.: Hauptkategorien zur Definition der Enthalpie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Reaktionsenthalpie	„Die Enthalpie ist eine Differenz im Prinzip. Also die Enthalpie lässt sich nur durch die Differenz vor und nach der Reaktion feststellen.“ (I21, A74)	20	43,5
Wärme	„Wärme würde ich sogar dann eher mit als Enthalpie beschreiben.“ (I6, A65)	13	28,3
Nennung definierender physikalischer Größen	„Die Enthalpie berechnet sich aus der inneren Energie und der kinetischen Energie. Wenn ich mich recht entsinne. Also es ist die Addition von kinetischer und innerer Energie.“ (I34, A71)	9	19,6
Innere Energie	„Enthalpie ist ja wie viel Energie sich in etwas befindet in einem System. Ja da hätten wir dann die innere Energie [...]“ (I42, A67)	6	13,0
Physikalische Größe	„Ich würde sagen, Enthalpie ist halt eine physikalische Größe, die Energie beschreibt.“ (I40, A77)	4	8,7
Energieform	„Insofern ist es [Enthalpie] eine Energieform, die aus verschiedenen Energieformen zusammengesetzt ist.“ (I23, A73)	3	6,5
Keine Angabe	-	4	8,7

Fachkontext Thermodynamik zu. Die Aussagen der Studierenden in diesem Bereich waren sehr vage, allgemein und unpräzise. Die genannten Stichworte wurden nicht weiter vertieft.

Unterscheidung von Enthalpie und Energie Drei Studierende² (10,7 %) gaben an, dass sie die beiden Begriffe synonym verwenden. Von 14 Probanden (50,0 %) wurde die

²Bezogen auf die Teilstichprobe von $N = 28$ Studierenden

Energie als Oberbegriff der Enthalpie aufgefasst. Die Begründungen zu dieser Auffassung waren sehr variabel und umfassten folgende Argumente:

- Energie umfasst alle Energieformen und die Reaktionsenthalpie ist die Wärme (-energie).
- Energie ist die Summe aus Enthalpie und Entropie.
- Energie kann in jedem Kontext verwendet werden. Die Enthalpie ersetzt den Begriff Energie bei thermodynamischen Betrachtungen.
- Die Enthalpie ersetzt nur bei chemischen Reaktionen den Energiebegriff, wenn entschieden werden muss, ob diese exotherm oder endotherm verläuft.

Im Zusammenhang mit den chemischen Reaktionen erläuterten drei Studierende, dass die Enthalpie als eine Energiedifferenz zu sehen ist. Weitere drei Probanden verwiesen bei der Unterscheidung auf einen Systembezug. Sie beschrieben die Enthalpie als Energie innerhalb eines Systems und die Energie als eine Energieübertragung über Systemgrenzen hinweg. Vier Probanden (14,3 %) beschrieben bestimmte Voraussetzungen, unter denen Enthalpie und Energie gleichgesetzt werden können. Sie nannten den konstanten Druck als zugrundeliegende Bedingung.

12.4. Entropie

Insgesamt 38 Studierende (82,6 %) gaben in den Interviews eine Definition des Begriffs Entropie mit einem inhaltlichen Bezug an. Die restlichen acht Probanden konnten den Begriff nicht definieren und beschrieben ihre Schwierigkeiten bzw. nannten Gründe. Da die Studierenden die Probleme oftmals im Kontext mit der freien Enthalpie formulierten, wird auf diese am Ende des Abschnitts 12.5 gemeinsam eingegangen.

Hauptsächlich charakterisierten die angehenden Chemielehrkräfte Entropie über das Maß an Unordnung. 19 Probanden (41,3 %) nutzten ausschließlich diese Definition. Bei der Nennung fielen außerdem Ausdrücke wie *der Zustand der Unordnung* oder *das Chaosprinzip*. Die Entropie wurde in dem Sinne als eine Messgröße definiert. Ebenso wurde in Verbindung mit der Entropie von 16 Studierenden (34,8 %) das Statement abgegeben, dass das Chaos und die Unordnung (und damit die Entropie) immer zunehmen. Die Probanden bezeichneten diesen Vorgang als ein Streben nach Unordnung. Entropie und Energie wurden als Gegengewichte aufgefasst, da man mit Energie der Unordnung entgegenwirken kann.

Im Gegensatz zu diesen häufig getätigten Aussagen zur Entropie, beschränkten sich die Nennungen anderer Definitionsansätze auf Anteile von weniger als 15 %. So verbanden sechs Studierende die Entropie mit der Gibbs-Helmholtz-Gleichung, ohne auf diese genauer einzugehen. Die Probanden beschränkten sich auf die Nennung der zugehörigen physikalischen Größen. Wobei auch hier (ähnlich wie in Abschnitt 12.3) festgestellt werden konnte, dass kein Unterschied zwischen der Entropie und der Entropieänderung gemacht wurde.

Tabelle 12.6.: Hauptkategorien zur Definition der Entropie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
(Un-) Ordnung	„Die Entropie ist im Prinzip das Maß an Unordnung, was im System vorliegt.“ (I9, A55)	33	71,7
Gibbs-Helmholtz-Gleichung	„Also für mich ist das vor allem erstmal einfach dieser Zahlenwert, den es in der Gibbs-Helmholtz-Gleichung gibt, dass man da halt die Enthalpie hat und die Entropie.“ (I13, A52)	6	13,0
2. Hauptsatz der Thermodynamik	„Aber im Prinzip, wenn man sich auf die Hauptsätze der Thermodynamik zurückbezieht, ist der erste Hauptsatz ja verbunden eben oder assoziiert mit der Energie. der zweite Hauptsatz mit dem Begriff der Entropie.“ (I10, A47)	3	6,5
Anzahl der möglichen Zustände	„Ich würde sagen, dass die Entropie die Anzahl an Möglichkeiten angibt, die ein System einnehmen kann.“ (I17, A43)	3	6,5
Energieform	„Dass das [Entropie] das innere Chaos ist, was dann letztendlich umgewandelt wird in verschiedene Energieformen [...]“ (I34, A53)	2	4,3
Keine Angabe	-	8	17,4

„Also Entropie ist glaube ich dieser Delta S-Wert und Enthalpie ist der Delta-H-Wert.“ (Interview 26, Abschnitt 55)

Neben dieser Beschreibung der Entropie unter Zuhilfenahme von Formelzeichen, bemühten drei Studierende die Aussage des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik. Es wurde entweder nur das Schlagwort *2. Hauptsatz* genutzt oder noch zusätzlich darauf eingegangen, dass die Entropie nicht kleiner als Null werden kann.

Bei der Beschreibung der Entropie über die Anzahl der möglichen Zustände und der daraus resultierenden größeren Unordnung nutzten die angehenden Chemielehrkräfte die Fachbegriffe Makro- und Mikrozustände nicht.

In direkter Verbindung zu diesen Betrachtungen standen Aussagen zur Entropieänderung. Die Probanden definierten die Möglichkeiten einer Entropieänderung durch drei mögliche Geschehnisse:

- Eine Erhöhung der Teilchenzahl im Vergleich von Edukten und Produkten innerhalb einer chemischen Reaktion ist verantwortlich für den Anstieg der Unordnung und damit der Entropie ($n = 4$).
- Eine Aggregatzustandsänderung von fest über flüssig zu gasförmig erhöht die Unordnung, da sich die zugehörigen Teilchen stärker bewegen und damit das Chaos größer ist ($n = 2$).
- Mischungsprozesse können sich nicht mehr von alleine entmischen, da beim Mischvorgang das Chaos und damit die Entropie gestiegen ist ($n = 2$).

12.5. Freie Enthalpie

Der Großteil der Studierenden schrieb dem Wort freie Enthalpie die gleiche Bedeutung zu wie dem Wort Reaktionsenthalpie. Das geschah über die Thematisierung der chemischen Reaktion und der zugehörigen Energieübertragung: Die freie Enthalpie wurde als die Energie beschrieben, die bei einer chemischen Reaktion frei wird. Die für eine chemische Reaktion benötigte Energie wurde in diesem Zusammenhang nicht genannt. Knapp ein Fünftel der Befragten nahm Bezug auf die Spontanität und Freiwilligkeit einer chemischen Reaktion. Es stand das Vorzeichen der freien Enthalpie im Vordergrund. Neben dieser Einbettung in einen fachlichen Kontext wurde die freie Enthalpie außerdem über definierende Größen erklärt. Die angehenden Chemielehrkräfte nannten zumeist die Temperatur und die Entropie und sprachen von *einer Gleichung*, mit deren Hilfe die freie Enthalpie bestimmt wird. Jedoch wurde diese Gleichung nicht in ihrer Gänze aufgestellt. Zehn % der Probanden nutzten in ihren Aussagen das Formelzeichen. Zwei Interviewte bezogen die freie Enthalpie auf den Anteil der für den Menschen nutzbaren Energie.

Probleme der Studierenden mit den Begriffen Entropie und freier Enthalpie Dominiert bei den genannten Schwierigkeiten war die lange Zeitspanne zwischen der letzten Nutzung der Begriffe im Studium und des Interviews in dieser Studie. Die Studierenden gaben an, diese Größen ausschließlich in Veranstaltungen zur physikalischen Chemie genutzt zu haben. Sie bemängelten, dass sie sich nur einmal mit den Begriffen im Rahmen einer Vorlesung beschäftigt hätten und diese dann kaum noch thematisiert wurden. In Verbindung damit stand auch, dass der Fachbereich Physikalische Chemie nicht sehr positiv konnotiert war. Die Studierenden beschrieben, die zugehörigen Inhalte nicht verstanden zu haben und machten ihr aus diesem Grund nur oberflächlich vorhandenes Verständnis für ihr fehlendes oder fehlerhaftes Wissen verantwortlich.

Tabelle 12.7.: Hauptkategorien zur Definition der freien Enthalpie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Energiefreisetzung bei chem. Reaktionen	„Freie Enthalpie wäre eben die Energie, die bei einer Reaktion frei wird [...].“ (I19, A53)	18	39,1
Freiwilligkeit einer chemischen Reaktion	„Also die freie Enthalpie gibt ja quasi an, ob eine Reaktion je nachdem wie das Ergebnis daraus ist, ob die freiwillig verläuft oder unfreiwillig.“ (I25, A57)	9	19,6
Nennung definierender Größen	„Das [freie Enthalpie] ergibt sich dann aus der Formel die Temperatur besitzt, die Entropie und die Enthalpie.“ (I3, A49)	8	17,4
Formelzeichen	„Die Gibbs-Energie ist dieses Delta G.“ (I3, A49)	5	10,9
Nutzbare Energie	„Die Gibbs'sche freie Enthalpie ist für mich quasi die Energie, die man nutzen kann oder die nutzbar wird bei einem Umwandlungsprozess, bei einem energetischen Umwandlungsprozess.“ (I10, A49)	2	4,3
Keine Angabe	-	10	21,7

„Ich kann mich ja jetzt outen: Ich habe die PC1-Vorlesung von drei verschiedenen Dozenten und die haben sich wirklich bemüht. Ich habe es immer noch nicht begriffen. Es tut mir leid. Ich komme mir auch ein bisschen schlecht vor aber es ändert nichts. Ich bin da lieber ehrlich. Also bestimmte Begrifflichkeiten kann ich erklären und bei anderen würde ich immer andere Begrifflichkeiten, die vorher zu erklären sind, als Hilfsmittel benutzen. Und dann auch einfach stupide.“ (Interview 2, Abschnitt 75)

Außerdem wurde die Physikalische Chemie in dem Zusammenhang als ein *Angstfach* gesehen und die Thermodynamik als ein unbeliebter Themenbereich dargestellt. Neben diesen allgemeinen Schwierigkeiten kam noch hinzu, dass die Studierenden angaben, formal die zugehörigen Formelzeichen und Gleichungen wiedergeben zu können, jedoch

den tieferen Sinn nicht verstanden hätten.

„Den mag ich nicht erklären, weil ich den, glaube ich, immer noch nicht richtig begriffen habe. Also ich tue mich damit wirklich schwer, weil ich ihn zwar formal, also ich kann die Worte wiedergeben. Aber ich glaube, ich habe es immer noch nicht so verstanden, dass ich es einem Laien erklären kann.“

(Interview 2, Abschnitt 71)

Damit einhergehend beschrieben die angehenden Lehrkräfte, dass sie die Formeln ausschließlich für die Klausuren gelernt und danach wieder vergessen hätten. Im Bedarfsfall, so gaben sie an, könnte man sich diese vor dem Unterricht wieder anlesen.

In Bezug auf den Begriff freie Enthalpie sahen die Probanden vor allem die Abstraktheit des Konstruktes als eine Herausforderung an. Die Fachinhalte empfanden sie als unnötig für den weiteren beruflichen Werdegang in der Schulchemie. Die Studierenden kennzeichneten das Wissen um diese Größe als nachrangig. Diese schwierigkeiterzeugenden Aspekte werden für den Begriff Entropie nicht zum Thema gemacht.

13. Chemische Reaktionen

Im Rahmen der chemischen Reaktionen wird in diesem Kapitel zunächst betrachtet, wie Studierende Energiediagramme exothermer und endothermer Reaktionen beschreiben, welche Aspekte sie dabei in den Vordergrund stellen und welche eher als Randerscheinungen betrachtet werden. In diesem Kontext wird ein Blick auf die Reaktionsenthalpie sowie exergone bzw. endergone Reaktionen geworfen. Im Rahmen der Kinetik steht vor allem der Begriff Aktivierungsenergie im Vordergrund.

Anmerkungen zum methodischen Vorgehen Die Studierenden beschrieben die Energiediagramme in den Interviews mündlich, ohne dass sie auf eine vorgefertigte Abbildung (beispielsweise eine Schulbuchdarstellung) zurückgreifen konnten. Im Vordergrund standen die spontanen Verknüpfungen und die bildliche Vorstellung, die die Probanden von diesen Energiediagrammen hatten. Die Beschreibungen der Studierenden wurden dann kategorisiert (vgl. Abschnitt 13.1). Bemerkenswert ist hierbei, dass jede der Kategorien sowohl einen inhaltlich fachlichen als auch einen grafischen Anteil besitzt. Der Fachbegriff Reaktionsenthalpie wurde von den angehenden Chemielehrkräften im Interview kaum selbstständig genannt. Aus diesem Grund wurde der Begriff den Interviewten im Anschluss an die Beschreibung der Energiediagrammen vorgegeben.

Zu einer besseren Übersicht und einer leichteren Zuordnung der Theorieabschnitte wurden diese nach thermodynamischen (exotherm und endotherm, Reaktionsenthalpie, exergon und endergon) sowie nach kinetischen (Aktivierungsenergie, Übergangszustand) Aspekten geordnet (vgl. Abschnitt 13.3).

Bei den thermodynamischen Betrachtungen standen vor allem die Vorstellungen und Konzepte der Probanden zu exothermen und endothermen Reaktionen sowie deren Freiwilligkeit im Vordergrund. Aus diesem Grund liegt der Fokus der im Folgenden vorgestellten Ergebnisse neben der begrifflichen Definition auch auf der Abgrenzung der zwei Begriffspaare exotherm/endotherm und exergon/endergon gegeneinander. Um den Ausdruck Freiwilligkeit aus einer weiteren Perspektive zu betrachten, wurden die Probanden nach dem Zusammenhang von endothermen Reaktionen und Freiwilligkeit befragt (vgl. Abschnitt 13.2).

Es wurde eine Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.9$ angestrebt und für alle Kategoriensysteme erreicht.

13.1. Energiediagramme

Die zusammengefassten Aussagen der angehenden Lehrkräfte zu Energiediagrammen im Allgemeinen finden sich in Tabelle 13.1. Die Probanden, die sich bei der Darstellung eines

Tabelle 13.1.: Hauptkategorien zum Energiediagramm

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Koordinatenachsen	„Auf der y-Achse ist die Energie, auf der x-Achse Reaktionsweg oder Zeit oder sowas.“ (I1, A51)	17	37,0
Reaktionsverlauf	Gegenbeispiel zur Abgrenzung: „Ich kenne das Energiediagramm gerade nicht [...]. Aber auf jeden Fall ist das Vorzeichen positiv. Und bei dem exothermen Vorgang ist das Vorzeichen halt negativ. [...] Nein keine Ahnung, kann ich nichts zu sagen.“ (I18, A45)	42	91,3
Energiedifferenz	„Bei einer exothermen Reaktion wird ja Energie frei [...]. Also es fällt quasi in einen Bereich unterhalb des Anfangsniveaus, den der Stoff hatte. Und bei einer endothermen Reaktion ist es dann eben so, dass [...] das Niveau fällt dann nicht bis unter das Ausgangsniveau sondern bleibt halt dadrüber.“ (I29, A45)	46	100
Aktivierungsenergie	„Erstmal ist es bei beiden Reaktionen so, dass man eine Aktivierungsenergie braucht [...]. Also da hat man quasi so einen kleinen Berg.“ (I29, A45)	41	89,1
Übergangszustand	„Die Kurve würde nach oben erstmal verlaufen. Da haben wir dann den Übergangszustand, wo die quasi zueinander kommen. Und dann geht es den Energieberg wieder runter [...].“ (I10, A41)	8	17,4

Energiediagrammes auf die Koordinatenachsen bezogen, wiesen der Abszisse die Einheit der Zeit zu. Ebenso betitelten sie diese als Darstellung des Reaktionsverlaufs bzw. als Reaktionskoordinate. Ausschließlich bei den Studierenden, die die Koordinatenachsen in die Beschreibung miteinbezogen, fand sich dieser Verweis auf den zeitlichen Verlauf einer chemischen Reaktion. Auch wenn in mehr als 90 % der Interviews die Hauptkategorie Reaktionsverlauf identifiziert werden konnte, so handelte es sich eher um eine Charakterisierung einer chemischen Reaktion durch einen Anfangs- und einen Endzustand ohne weitere Bezugnahme auf die zeitliche Komponente. Hier wurden zumeist die Fachbegriffe Edukt und Produkt angebracht. Ausschließlich zehn Probanden nutzen diese Ausdrücke im Interviewverlauf nicht. Vier der angehenden Lehrkräfte konnten spontan keine Aussagen zu einem Energiediagramm tätigen. Diese beschränkten sich auf die Darstellung der Energiedifferenz. Diese Hauptkategorie konnte in ausnahmslos allen Interviews detektiert werden.

Die Aktivierungsenergie wurde von mehr als 80 % der Studierenden explizit (durch Nennung des Fachbegriffs) oder implizit (durch Umschreibung) thematisiert. Häufig verwendete, synonym gebrauchte Ausdrücke waren *Energiehügel* bzw. *Energieberg*. Acht Probanden bedienten sich ausschließlich der Umschreibung ohne Nennung des Fachbegriffs. Im Gegensatz dazu wurde der Fachbegriff Übergangszustand von weniger als einem Fünftel der Probanden hinzugezogen.

Energiediagramme exothermer und endothermer Reaktionen Alle Studierenden definierten die Begriffe *exotherm* und *endotherm* fachlich adäquat. Zum einen wurden die Energieniveaus der Edukte und Produkte thematisiert, die den Energieinhalt in den Vordergrund stellten. Zum anderen lenkten die Interviewten den Blick auf die Energieübertragung, indem sie die Energieaufnahme bzw. -abgabe bei der Reaktion beschrieben. Bei der Beschreibung des (grafischen) Verlaufs einer chemischen Reaktion fanden sich folgende Unterschiede:

1. Beschreibung ohne Berücksichtigung der Aktivierungsenergie ($n = 9$)

„Und bei einer exothermen Reaktion wird auch die Edukte vom Energieniveau her höher als die Produkte, aber das Gefälle geht direkt runter, glaube ich.“ (Interview 41, Abschnitt 42)

In diesem Textbeispiel ist zu erkennen, dass die Studierenden die Aktivierungsenergie vernachlässigen und den Reaktionsverlauf bildlich mit einer monoton fallenden (exotherm) oder einer monoton steigenden (endotherm) linearen Funktion vergleichen (vgl. auch als Beispiel Abbildung 13.1 für eine endotherme Reaktion).

2. Fokussierung auf exotherme Reaktionen

Die angehenden Chemielehrkräfte begannen ihre Beschreibung zumeist mit dem Energiediagramm einer exothermen Reaktion. Diese deckte sich mit dem Verlauf, wie in Abbildung 13.2 dargestellt. Die endotherme Reaktion wurde als die Umkehrreaktion definiert.

13. Chemische Reaktionen

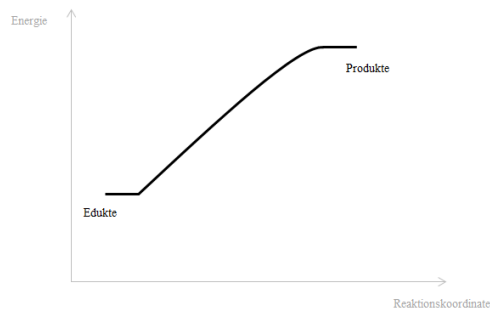


Abbildung 13.1.: Kurvenverlauf einer beschriebenen endothermen Reaktion

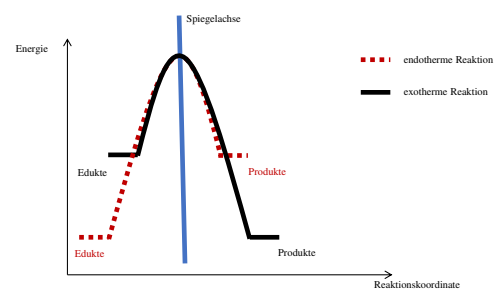


Abbildung 13.2.: Prototyp eines Energiediagramms der angehenden Chemielehrkräfte

Sie verdeutlichten dies, indem sie Ausdrücke wie *umgekehrt*, *Gegenteil* oder *spiegelverkehrt* verwendeten bzw. eine Spiegelachse erwähnten. Die angehenden Lehrkräfte setzten die Energiediagramme exothermer und endothermer Reaktionen in ein Verhältnis zueinander: Zehn Studierende (21,7 %) beschrieben die Lage der Edukte einer endothermen Reaktion in Abhängigkeit zu der exothermen Reaktion. Dabei stellten sie folgende Beziehungen her:

- **Edukte**
Die Edukte einer endothermen Reaktion wurden als niedriger liegend als die Edukte einer exothermen Reaktion klassifiziert.
- **Aktivierungsenergie**
Die Aktivierungsenergie einer endothermen Reaktion wurde als deutlich höher als diejenige einer exothermen Reaktion eingeschätzt.
- **Produkte**
Die Produkte einer endothermen Reaktion lagen nach Angabe der Probanden höher als die Produkte einer exothermen Reaktion.

„Bei der endothermen Reaktion ist, ja das ist eine gute Frage, ich stelle mir das prototypisch jetzt so vor, dass das Produkt energetisch höher liegt [...]“ (Interview 26, Abschnitt 49)

Reaktionsenthalpie Im Kontext der Beschreibung chemischer Reaktionen verwendeten ausschließlich zwei Studierende den Fachbegriff Reaktionsenthalpie. Wurden die restlichen angehenden Chemielehrkräfte konkret auf den Begriff angesprochen, so beschrieben diese die Reaktionsenthalpie zumeist als eine energetische Differenz zwischen den Energieniveaus der Edukte und Produkte. Die zusammengefasste Hauptkategorien sind in Tabelle 13.2 aufgeführt. Neben der meistgenannten Hauptkategorie wurde von acht In-

Tabelle 13.2.: Hauptkategorien zur Definition der Reaktionsenthalpie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Energiedifferenz	„Dass es [die Reaktionsenthalpie] halt quasi die Differenz zwischen Edukte und Produkte ist. Also energetisch gesehen. Und wenn ich sehe, dass die Produkte tiefer liegen als die Edukte, dann sehe ich ja Energie wird frei.“ (I1, A63)	29	63,0
Vorzeichen der Reaktionsenthalpie	„Delta H [...] wenn es [Reaktionsenthalpie] positiv ist, ist es ja endotherm. Und wenn es negativ ist, ist es exotherm.“ (I24, A61)	8	17,4
Reaktionswärme	„Und Reaktionsenthalpie kann man vielleicht mit Wärme, Reaktionswärme übersetzen.“ (I12, A53)	3	6,5
Keine Angabe	-	6	13,0

terviewten die Energiedifferenz mit dem Vorzeichen des zugehörigen Formelzeichens in Verbindung gebracht. Es wurde keine Differenzierung zwischen der Reaktionsenthalpie und deren Änderung durch die Befragten vorgenommen.

13.2. Exergone und endergone Reaktionen

Tabelle 13.3.: Hauptkategorien zur Definition von exergon und endergon

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Freiwilligkeit	„Das weist halt daraufhin, dass es einmal freiwillig abläuft und einmal nicht freiwillig abläuft oder überhaupt abläuft.“ (I14, A28)	20	43,5
Vorzeichen der Gibbs-Energie	„Bei einer exergonischen Reaktion und einer endergonischen Reaktion einmal Delta G größer und einmal Delta G kleiner null ist. Und ich weiß gerade nicht mehr, wie rum das war. Ich glaube, das war Delta G ist größer null bei endergonischen und kleiner null bei exergonischen.“ (I37, A60)	15	32,6
Energieaufnahme/-abgabe	„Exergon war für mich genauso wie exotherm so Energie abgebend, freiwerdend. Und endergon entsprechend umgekehrt.“ (I36, A53)	7	15,2
Veränderung der Entropie	„Exo Erhöhung der Entropie und endo Erniedrigung der Entropie.“ (I2, A79)	3	6,5
Keine Angabe	-	10	21,7

Die angehenden Chemielehrkräfte wiesen den Begriff exergon einer freiwillig ablaufenden und den Begriff endergon einer nicht freiwillig ablaufenden Reaktion zu. Die Begriffe Freiwilligkeit und Spontanität wurden synonym genutzt.

„Eine exergonische Reaktion ist letztlich eine freiwillig ablaufende Reaktion. Da muss ich jetzt kurz überlegen. Es muss quasi keine Aktivierungsenergie aufgewendet werden, weil sie eben spontan abläuft. Und eine endergonische Reaktion, die ist eine unfreiwillige Reaktion. Da muss in irgendeiner Form Energie erstmal aufgewendet werden, damit sie überhaupt erst abläuft.“ (Interview 16, Abschnitt 57)

Das spontane Ablauen einer chemischen Reaktion wurde mit der Aktivierungsenergie in Verbindung gebracht.

Der zweite Definitionsansatz, den ein Drittel aller Probanden verwendeten, stellte das

Vorzeichen der freien Enthalpie bzw. der Gibbs-Energie in den Vordergrund. Von den 20 Probanden, die die Freiwilligkeit als Definition nutzten, erwähnten sechs außerdem das Vorzeichen der Gibbs-Energie. Alle anderen Studierenden bedienten sich nur eines Ansatzes. Oftmals gaben sie ausschließlich Schlagwörter an, ohne die Bedeutung der Freiwilligkeit weiter auszuführen.

exotherm/endothrm vs. exergon/endergon In den Antworten der Studierenden kam es immer wieder vor, dass die Ausdrücke exotherm/endothrm und exergon/endergon miteinander in Verbindung gebracht wurden. Dabei konnten zwei Argumentationsansätze ausgemacht werden:

- **exergon/endergon als Verallgemeinerung zu exotherm/endothrm**

Die Fachbegriffe exotherm bzw. endotherm wurden als Wärmeabgabe bzw. Wärmeaufnahme und exergon bzw. endergon entsprechend allgemeiner als Energieabgabe bzw. Energieaufnahme definiert.

„Endergon, exergon ist allgemeiner gefasst als endotherm und exotherm. [...] Exotherm: Energie wird frei. Endotherm: Wärme wird in Form von thermischer Energie ins System hineingesteckt. Während endergon und exergon eben allgemein sich auf Energie bezieht. Also es kann auch zum Beispiel Lichtenergie sein, die frei wird bei einem exergonen Prozess.“
(Interview 10, Abschnitt 45)

- **exergon/endergon als Synonyme zu exotherm/endothrm**

Es fand eine synonyme Verwendung der Ausdrücke *freiwillig ablaufen* und *Energie freisetzen* statt. Die Probanden beschrieben, dass exergone Reaktionen exotherm sind und endergone Reaktionen nicht exotherm verlaufen können. Sie bestimmten als Kriterium für eine endergone Reaktion, dass die Produkte nach Abschluss der Reaktion auf einem energetisch höheren Niveau liegen als die Edukte.

Freiwilligkeit und endotherme Reaktionen Mehr als die Hälfte aller Befragten ($n = 25$) begründeten das Zustandekommen endothermer Reaktionen über das dabei entstehende Produkt (vgl. Tabelle 13.4). Dabei verwendeten sie folgende Argumentationsmuster:

- Die Menschen benötigen das Produkt, das sich bei einer endothermen Reaktion bildet.
- Die Energie, die für die endotherme Reaktion aufgewendet werden muss, wird im Stoff gespeichert und ist dann an anderer Stelle für den Menschen verfügbar.
- Der entstandene Stoff ist stabiler obwohl oder gerade weil er ein höheres Energieniveau und damit einen höheren Energieinhalt hat als das Edukt.

13. Chemische Reaktionen

Tabelle 13.4.: Hauptkategorien zur Freiwilligkeit endothermer Reaktionen

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Benötigtes Produkt	„Naja es ist ja nicht unbedingt immer das energetische entscheidend, sondern man will ja die Produkte haben. Und da muss man auch eben wenn das energetisch ungünstiger ist, mehr reinstecken an Energie in die Edukte und dass man dann eben die Produkte rauskriegt sozusagen.“ (I12, A51)	25	54,3
Gibbs-Energie	„Allerdings kann man dann über die Gibbs-Energie kann man ja erklären, warum endotherme Reaktionen trotzdem ablaufen. Und zwar weil ja dann am Ende die Entropie, glaube ich anstreben. Da ist Unordnung. Ja glaube ich schon. Das ist sozusagen ein Abwägen, ob der energetische Aspekt mehr Vorteile bringt oder der Ordnungsaspekt.“ (I3, A45)	15	32,6
Ständige Energiezufuhr	„Aber man kann quasi die Reaktion erzwingen, indem man Energie zuführt und dafür sorgt, dass die Reaktion trotzdem abläuft. Aber sie wird halt nicht von selbst ablaufen.“ (I19, A51)	6	13,0
Gleichgewichtsreaktion	„Weil da kommt noch das chemische Gleichgewicht mit rein. Weil es ist ja gewissermaßen immer Hinreaktion und Rückreaktion da. Es ist ja bloß, du verschiebst ja das Gleichgewicht bloß durch die Energiezufuhr in diese Richtung.“ (I44, A55)	5	10,9

-
- Der entstandene Stoff ist nur ein Zwischenprodukt und ist an eine exotherme Reaktion gekoppelt. In der Summe wird dann mehr Energie frei als aufgewendet werden musste.

Neben der Fokussierung auf das benötigte Produkt zog ein Drittel der Befragten eine

Verbindung zur freien Enthalpie und zur Entropie. Sie wogen den energetischen gegen den entropischen Aspekt ab. Ein Teil der angehenden Lehrkräfte erläuterte, dass die endothermen Reaktionen durch eine ständige Energiezufuhr erzwungen werde. Das Hauptaugenmerk lag auf der Unfreiwilligkeit einer endothermen Reaktion.

Zogen die Studierenden in den Interviews das Argument der Gleichgewichtsreaktion hinzu, stand die Verrechnung der endothermen Hinreaktion mit der zugehörigen exothermen Rückreaktion im Vordergrund.

13.3. Die Aktivierungsenergie

Die Aktivierungsenergie wurde von knapp 90 % der Studierenden bei der Beschreibung der Energiediagramme exothermer und endothermer Reaktionen implizit oder explizit berücksichtigt. 32 Studierende (69,6 %) nutzen den Fachbegriff Aktivierungsenergie in den Interviews. Davon gaben zwölf ausschließlich den Fachbegriff an. Die restlichen 20 Studierenden beschrieben neben der Nennung der Aktivierungsenergie auch den Kurvenverlauf des Energiediagramms in diesem Bereich. Weitere neun Probanden (19,6 %) umschrieben den Kurvenverlauf mittels verschiedener Begriffe ohne die Aktivierungsenergie direkt zu nennen. In Summe bezogen 29 der Befragten die Gestalt des Graphen im Bereich der Aktivierungsenergie in ihre Beschreibung der Energiediagramme mit ein, wozu sie zwei verschiedene Möglichkeiten nutzten. Eine Möglichkeit bestand im Rückgriff auf mathematische Fachausdrücke. Genannt wurden dabei

- der Hochpunkt,
- das Maximum,
- der Scheitelpunkt.

Insgesamt fünf Studierende (10,9 %) nutzten diese Begriffe bei der Beschreibung des Kurvenverlaufs. Etwa die Hälfte der Probanden hingegen nutzten die Begriffe

- Berg ($n = 11$),
- Hügel ($n = 7$),
- weitere nicht mathematische Ausdrücke ($n = 6$)

„Und du musst diesen Hügel halt überwinden, bevor die Reaktion stattfindet. Also man muss halt Energie hinzugeben, also diese Aktivierungsenergie überwinden, damit die Reaktion stattfindet.“ (Interview 41, Abschnitt 42)

Dabei wurden bei den sonstigen nicht-mathematischen Umschreibungen Begriffe wie Bogen, Kuppel oder Hubbel verwendet. Die Studierenden nannten immer nur einen der Begriffe, um den Kurvenverlauf zu beschreiben.

13.4. Der Übergangszustand

Der Übergangszustand wurde insgesamt von acht Studierenden (17,4 %) implizit oder explizit erwähnt. Eine implizit Erwähnung bedeutet, dass die Interviewten eine Annäherung der an der Reaktion beteiligten Teilchen oder einen instabilen Zustand beschrieben, ohne den Fachbegriff direkt zu nennen. Es fanden sich bei der Beschreibung des Übergangszustandes zwei voneinander zu trennende Betrachtungsweisen:

- **Der Übergangszustand als Energiemaximum**

Die Studierenden beschrieben, dass im Übergangszustand ein Stoff bzw. das Edukt auf einem höheren Energieniveau vorliegt. In diesem Zustand ist dieses so instabil bzw. energetisch ungünstig, dass es auf ein niedrigeres Energieniveau (zurück-)fällt. Anstelle des Begriffs Energieniveau wurden auch der Begriff Energiemaximum und der Ausdruck *auf dem Energieberg* von den Studierenden verwendet. Die Edukte an sich, die stattfindende Stoffumwandlung, die (Re-)Organisation der Teilchen oder die Produkte thematisierten die Probanden nicht.

„Das heißt, es geht erstmal hoch [...]. Und wenn es dieses höhere Energieniveau erreicht hat, ist es dort instabil und fällt wieder in ein niedriges Energieniveau herunter.“ (Interview 42, Abschnitt 47)

- **Der Übergangszustand als Zwischenprodukt**

Die andere Hälfte der Studierenden legte bei der Beschreibung des Übergangszustandes den Fokus auf die stattfindende Stoffumwandlung. Sie gaben an, dass die Edukte im Übergangszustand zusammenfinden und so zu den Produkten reagieren.

„Die haben noch nicht reagiert, haben ein bestimmtes Energielevel, die [Energie] ihnen innewohnt. Wandern hoch über diesen Aktivierungsberg [...], wo sie zueinander finden und reagieren. Wandern ein Stück weit runter, kommen auf ein Energieniveau nachdem sie reagiert haben aber jetzt auf ein Energieniveau, das höher liegt als das ursprüngliche Niveau der Edukte.“ (Interview 10, Abschnitt 41)

14. Energie in Natur, Technik und Gesellschaft

Neben den behandelten fachlichen Themenbereichen in den vorangegangenen Kapiteln nehmen Aspekte rund um Energie in Natur, Technik und Gesellschaft eine wichtige Rolle im Chemieunterricht der Sekundarstufen I und II ein (vgl. Abschnitt 4.3). Dieser Bereich ist geprägt durch einen starken Alltagsbezug. Aus diesem Grund wird in diesem Kapitel vor allem diese Dimension der behandelten Fachinhalte beleuchtet und weniger die ablaufenden (Redox-)Prozesse in den Vordergrund gestellt. In Ergänzung zu der Beschreibung der fachchemischen Inhalte wird ebenfalls ein Blick auf die Meinungen der angehenden Chemielehrkräfte zur Energienutzung sowie den von ihnen betrachteten Vor- und Nachteilen geworfen.

Anmerkungen zum methodischen Vorgehen In Abschnitt 14.1 wird der Begriff chemische Energie betrachtet, der auffällig häufig in den Materialausschnitten zu diesem Fachkontext zu finden war, im Zusammenhang der anderen Fachkontexte jedoch kaum von den Interviewten verwendet wurde. Zur Auswertung wurden zwei Vorgehensweisen gewählt: Zum einen wurde über das gesamte Interviewmaterial die Nutzung des Begriffes analysiert (implizite Nutzung). Zum anderen wurden die Probanden direkt auf dessen Definitionsstruktur angesprochen (explizite Definition).

Auch in Abschnitt 14.2 wurde bei der Auswertung zwischen impliziter Nutzung und expliziter Definition unterschieden, da auffiel, dass dieser in den Interviews omnipräsent ist. Ebenfalls wurden elektrischer Strom und elektrische Energie voneinander abgegrenzt. Es zeigt sich, dass sich durchaus gegensätzliche Definitionen der Begriffe finden, die jedoch auf einer ähnlichen Argumentation aufbauen. Um diesen Umstand näher zu beleuchten, wurde in einem zweiten Auswertungsschritt die implizite Nutzung des Begriffs elektrischer Strom im gesamten Interviewverlauf analysiert. Das Selektionskriterium wurde somit ausgeweitet.

Unter dem Themenbereich Energiewirtschaft wurden die Teilnehmenden nach Vor- und Nachteilen fossiler und regenerativer Energie befragt. In der Auswertung werden die genannten Vor- und Nachteile dargestellt ohne dass eine Wertung der thematisierten Aspekte erfolgt (vgl. Abschnitt 14.3).

In den Interviews wurden zu dem Themenbereich keine weiteren Fragen gestellt. Jedoch fiel während der Interviews auf, dass vor allem im Kontext dieses Erhebungsteils die Begriffe *Energie verlieren*, *verbrauchen*, *vernichten* und *Energie erzeugen* gehäuft auftraten. Erste Analysen dieser Nutzung in den Interviews zeigten, dass jedem Begriff

ein spezifischer Kontext zugeordnet werden konnte und dass die Aspekte System und Umgebung explizit keine Rolle einnahmen. Aus diesem Grund wurde eine Teilstichprobe ($n = 27$) nach den beiden Fachbegriffen direkt befragt. Diese Interviewten sollten außerdem die Ausdrücke Energie verbrauchen, verlieren und vernichten in einen direkten Zusammenhang zum System und der Umgebung einordnen. Die durchgeführte Analyse der impliziten Nutzung sowie die expliziten Antworten der Studierenden aus der Teilstichprobe wurden in der Auswertung ergänzend qualitativ analysiert. So konnte ein umfassender Überblick über die Nutzung der Ausdrücke und deren Bedeutungszuschreibung durch die angehenden Chemielehrkräfte erhoben werden (vgl. Abschnitte 14.4, 14.5 und 14.6).

Es wurde eine Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.9$ angestrebt. Da die zu zusammenfassenden Materialausschnitte in diesem Kapitel jedoch stark meinungsgeprägt waren und bei vielen Aspekten die implizite Nutzung analysiert wurde, kam zunächst ausschließlich eine Intercoderreliabilität von $\kappa = 0.7$ zustande. Kritische Stellen wurden im Sinne des konsensuellen Kodierens diskutiert und analysiert.

14.1. Chemische Energie

Implizite Verwendung des Begriffs der chemischen Energie Insgesamt thematisierten 40 Probanden (87,0%) die chemische Energie in den Interviews, ohne dass sie in dem von ihnen verwendeten Kontext darauf angesprochen wurden. Die Aussagen wurden zu drei großen Kontexten zusammengefasst:

- Die chemische Energie ist in fossilen und regenerativen Energieträgern, wie Holz, Kohle oder Erdöl, enthalten.
- Die chemische Energie wird in Kraftwerken in elektrische Energie umgewandelt.
- Die chemische Energie ist in Batterien und Akkumulatoren enthalten und wird (beispielsweise im Auto) in elektrische oder kinetische Energie umgewandelt.

Der Begriff fand bei den Probanden ausschließlich in einem alltagsbezogenen Fachkontext Verwendung.

Explizite Definition der chemischen Energie Die chemische Energie wurde von den angehenden Chemielehrkräften in einen Zusammenhang mit chemischen Reaktionen gebracht. Für die Probanden stand der Umsatz der chemischen Energie im Vordergrund. Einige Studierende stellten die chemische Energie in einen Kontext mit den Bindungen, in dem sie diese als in den Bindungen gespeichert erläuterten. Acht Interviewte definierten die chemische Energie als den Energieinhalt von Stoffen, Teilchen bzw. Atomen.

„Das ist die Energie, die einem Stoff inne wohnt und die bei der Reaktion frei werden kann.“ (Interview 11, Abschnitt 34)

Fünf Probanden verbanden in ihren Aussagen zur chemischen Energie den Energieinhalt von Stoffen mit der chemischen Reaktion.

Tabelle 14.1.: Hauptkategorien zur Definition der chemischen Energie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Energieumsatz bei chemischen Reaktionen	„Chemische Energie ist eine Energieform, die auf Grund einer Reaktion entstehen kann oder verbraucht werden kann [...].“ (I20, A42)	26	56,5
Bindungsenergie	„Chemische Energie ist für mich Energie, die in Form von Bindungen wie gesagt enthalten ist. Die entweder frei wird dadurch dass Bindungen entstehen oder dadurch, dass Bindungen gebrochen werden. Dadurch wird in dieser Form dann Energie gespeichert.“ (I27, A37)	14	30,4
Energieinhalt von Stoffen	„Chemische Energie ist für mich Energie, die in den Teilchen selber gespeichert ist also in den Molekülen oder in den Atomen. Und das ist für mich chemische Energie.“ (I3, A35)	8	17,4
Oberbegriff für alle Energieformen in der Chemie	„Also chemische Energie ist für mich das mehr ein Oberbegriff für die Enthalpie und die Entropie und die Gitterenergie und diese ganzen Energien, die halt in der molekularen Ebene da mit reinstecken. Die wir dann später vermutlich nur als Wärme oder als Temperaturänderung wahrnehmen können aber das Ganze steckt so für mich hinter dem Begriff chemischer Energie.“ (I13, A38)	3	4,5

14.2. Elektrischer Strom

Definition elektrischer Strom Der Großteil der Studierenden setzte den elektrischen Strom mit der Bewegung von Ladungsträgern gleich (vgl. Tabelle 14.2). Unter der Zusammenfassung *Ladungsträger* fanden sich vor allem Aussagen zu Elektronen. Die Art

Tabelle 14.2.: Hauptkategorien zur Definition des Begriffs elektrischer Strom

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Bewegung von Ladungsträgern	„Das sind, glaube ich, die Elektronen, die da fließen. Irgendwie die Geschwindigkeit, mit der die Energie fließt.“ (I41, A138)	31	67,4
Nutzbarmachen von Energie	„Strom ist für mich die Art der Energie, die wir halt am einfachsten für uns im Haushalt nutzbar machen können. Wodurch man halt mittlerweile alle Geräte antreiben kann, die wir haben.“ (I36, A139)	4	8,7
Spannung	„Elektrischer Strom ist ja eine Zusammensetzung aus 'Wie viele Energieteilchen gehen durch?' aber auch 'Wie viel Spannung ist drauf?' Da hätten wir dann Spannung und Ampere.“ (I42, A129)	4	8,7
Form der elektrischen Energie	„Für mich ist Strom, also ich versteh unter Strom eine Form von elektrischer Energie.“ (I28, A160)	3	4,5
Keine Angaben	-	4	8,7

deren Bewegung wurde als Wanderung, als Fluss oder auch als Transport beschrieben. In diesem Ansatz setzten die Probanden elektrischen Strom nicht mit Energie gleich. Eher wurde der elektrische Strom für den Transport von Energie herangezogen. Alle weiteren Definitionsansätze wurden bei weniger als zehn Prozent der Interviewten in den Materialausschnitten detektiert.

Probleme der Studierenden mit dem Begriff elektrischer Strom Im Kontext der Interviewsituation, in der der elektrische Strom thematisiert wurde, beschrieben 17 Probanden (37,0 %) Schwierigkeiten und Herausforderungen in Bezug auf das fachliche Verständnis des elektrischen Stroms. Alle thematisierten Probleme nahmen in Bezug auf die Häufigkeit der Nennungen eine ähnliche Relevanz ein. Die Probanden ordneten den Begriff dem Fachbereich Physik zu und stuften ihn aus diesem Grund als schwierigkeits-erzeugend ein. Als angehende Lehrkräfte für das Fach Chemie grenzten sie sich ab und

argumentierten, dass sie aus diesem Grund den Begriff nicht fachlich adäquat definieren müssen. In Verbindung damit wurde der elektrische Strom als ein unspezifischer Begriff beschrieben, der zwar häufig genutzt aber nicht definiert wird. Der Begriff Spannung wurde außerdem als herausfordernd angesehen. Die Problematik einer fehlenden Definition stand bei der Beschreibung der Studierenden im Vordergrund. Als größtes Problem wurde die Abgrenzung von elektrischem Strom und elektrischer Energie angesehen.

Tabelle 14.3.: Hauptkategorien zur Abgrenzung zwischen elektrischem Strom und elektrischer Energie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Synonyme	„Elektrischer Strom, elektrische Energie? Das ist für mich synonym würde ich sagen. [...] Strom fließen, Energie fließt, elektrischer Strom ist elektrische Energie, die fließt. Also für mich ist das dasselbe, ja.“ (I32, A142)	10	21,7
Elektrische Energie dem elektrischen Strom übergeordnet	„Ich würde sagen, der elektrische Strom ist ein Teil der elektrischen Energie. Es gibt ja noch andere Arten von elektrischer Energie, wie zum Beispiel die Spannung.“ (I11, A137)	10	21,7
Elektrischer Strom der elektrischen Energie übergeordnet	„Ja, vielleicht macht der Strom uns die Energie zugänglich. Die elektrischen Energie können wir also nur durch die Nutzung des elektrischen Stroms nutzen.“ (I5, A138)	7	15,2
Elektrischer Strom zum Energietransport	„Elektrischer Strom sind Ladungsträger, die sich bewegen und elektrische Energie ist halt dann die Energie, die sie dabei haben. Also die zum Umwandeln genutzt werden kann, sagen wir es mal so.“ (I29, A135)	4	8,7

Elektrischer Strom und elektrische Energie Die angehenden Chemielehrkräfte stellten verschiedene Zusammenhänge zwischen den beiden Begriffen her, die in Tabelle 14.3 aufgeschlüsselt sind. Etwas mehr als ein Fünftel der Befragten erläuterte, die Begriffe synonym zu verwenden. Ein weiteres Fünftel beschrieb den elektrischen Strom als der elektrischen Energie untergeordnet. Sie präzisierten, dass der elektrische Strom ein Teil

der elektrischen Energie ist bzw. die elektrische Energie dafür sorgt, dass elektrischer Strom entsteht.

„Also elektrische Energie ist, sag ich mal, der Oberbegriff. Und Strom ist wenn der tatsächlich abgenommen wird und genutzt wird. Aber es ist halt schon ein und dasselbe. Elektrische Energie ist halt da und Strom ist halt schon in Bezug auf Nutzen.“ (Interview 18, Abschnitt 141)

Fünf der angehenden Lehrkräfte (10,9 %) betonten, dass der elektrische Strom der nutzbare Teil der elektrischen Energie ist. Erläuterten die Interviewten den elektrischen Strom als der elektrischen Energie übergeordnet, nutzten sie ähnliche Argumentationsmuster. Auch hier lag der Fokus auf der Nutzbarkeit, wobei der elektrische Strom als Ausgangspunkt angesehen wurde, um die elektrische Energie zugänglich zu machen.

Implizite Nutzung des Begriffs elektrischer Strom In allen Interviews wurde der Begriff elektrischer Strom von den angehenden Chemielehrkräften implizit thematisiert. Es konnten über die gesamten Transkripte hinweg insgesamt 131 relevante Materialausschnitte identifiziert werden. Materialausschnitte, deren Aussagen unter der Hauptka-

Tabelle 14.4.: Hauptkategorien der impliziten Nutzung des Begriffs elektrischer Strom

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Energieform	„Und dadurch wird dann auch wieder elektrische, also die Lichtenergie in elektrischen Strom umgewandelt.“ (I5, A114)	29	63,0
Elektrischen Strom erzeugen	„Also bei den Windkraftanlagen ist es halt so, dass der Wind diese Räder in Bewegung setzt und dadurch Strom erzeugt wird.“ (I1, A112)	29	63,0
Elektrischer Strom fließt	„Ok, wir haben jetzt unseren elektrischen Strom, der da [Steckdose] raus kommt. Und der fließt halt durch den Draht.“ (I40, A155)	12	26,1

tegorie *Energieform* zusammengefasst wurden, hatten zum Inhalt, dass der elektrische Strom als eine Energieform behandelt wurde. Das wurde vor allem dadurch deutlich, dass die Probanden beschrieben, wie Energieformen ineinander umgewandelt werden und der elektrische Strom mit eingebunden wurde. Andere zählten den elektrischen Strom explizit als eine Energieform auf oder setzten den Fachbegriff als synonym für die elektrische

Energie ein. Ebenso häufig sprachen die Studierenden in den Interviews von den verschiedenen Möglichkeiten, elektrischen Strom zu erzeugen. Hier stand nicht die Erzeugung des Stromflusses, sondern explizit des elektrischen Stroms im Vordergrund. Ebenfalls thematisierten die Probanden den Stromfluss im Kontext von Alltagsprozessen.

Elektronen und Elektrizität Zehn der Probanden (30,3 %) brachten den elektrischen Strom mit der Beziehung von Energie und Elektronen in Verbindung. Demnach gibt es beim elektrischen Strom einen Fluss von Ladungsträgern bzw. Elektronen, die Energie besitzen, also Energieträger sind. Der Begriff Energieträger fiel ausschließlich im Zusammenhang mit dem elektrischen Strom und bezog sich nicht auf die Beschreibung des Energiezustands eines Elektrons.

Bereitstellung der elektrischen Energie im Kraftwerk Im Kontext der Betrachtung von Energie in Natur, Technik und Gesellschaft wurde vor allem die elektrische Energie in den Blick genommen, da diese das alltägliche Leben maßgeblich mitbestimmt. Ebenso wurde die Frage thematisiert, aus welchem Grund zumeist die elektrische Energie in den verschiedenen Kraftwerken bereitgestellt wird und nicht eine der anderen Energieformen. Die in Tabelle 14.5 abgebildeten Hauptkategorien zeigen zusammengefasst die Antworten der Probanden auf diese Frage. Der häufigste Argumentationsansatz setzte den Transport von Energieformen in den Vordergrund. Die Interviewten argumentierten, dass die elektrische Energie annähernd verlustfrei bzw. verlustärmer als andere Energieformen transportiert werden kann. Die Energieentwertung als Fachbegriff wurde von den Probanden nicht genannt. Einer ähnlichen Argumentation folgten diejenigen ($n = 10$), die die einfache (auch hier: verlustarme) Umwandlung von elektrischer Energie in andere Energieformen in den Vordergrund rückten. Der Begriff des Wirkungsgrades wurde vereinzelt genannt. Mehr als ein Drittel der befragten Studierenden begründete die Bereitstellung von elektrischer Energie aus der Perspektive der Nutzung: Da der Mensch zumeist auf die elektrische Energie angewiesen ist, wird diese Energieform benötigt. Ein Zehntel der Befragten stellte dar, dass die elektrische Energie gut speicherbar ist.

Energiespeicher Der Begriff Energiespeicher wurde von den Studierenden in drei verschiedenen Bereichen angesiedelt. So betrachteten sie Batterien und Akkumulatoren als Energiespeicher. Dabei argumentierten sie, dass diese chemische Energie speichern, tragbar und frei verfügbar machen. Die Freisetzung dieser Energie erfolgt dann zu einem vom Menschen bestimmten Zeitpunkt.

„Aber wenn mir jemand sagen würde, es gibt eine Batterie, einen Energiespeicher. Dann würde ich wahrscheinlich auch erstmal sagen 'ja'. Das würde ich, ja im Grunde hat es ja genau diese Funktion für den Menschen. Dass da chemische Energie drin ist und ich daraus elektrische Energie machen kann. Und in dem Moment benutze ich es als Speicher.“ (Interview 15, Abschnitt 37)

Tabelle 14.5.: Hauptkategorien zur Bereitstellung von elektrischer Energie im Kraftwerk

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Verlustfreier Transport	„Die elektrische Energie ist in dem Fall die am einfachsten zu handhabende Energie. Weil die Wärme sich ja nach allen Seiten sich kontinuierlich an die Umgebung abgibt und dort die Umgebung erwärmt und dadurch halt es zu einem Energieverlust kommt, ist das bei der elektrischen Energie im Grunde nur der Fall, wenn die Leitung geerdet wird, dass die dann in die Erde fließt und dadurch verloren geht.“ (I36, A119)	25	54,3
Mensch braucht elektrische Energie	„Naja, es wird, glaube ich, nicht in andere Energieformen umgesetzt, weil wir ja die meisten Sachen, Geräte, die unseren Alltag verschönern, wie Licht oder sonst was alles ja auf elektrischer Energie basiert.“ (I27, A127)	19	41,3
Einfache Umwandlung in andere Energieformen	„Und [die elektrische Energie] für unsere optimalsten Anwendung sehr flexibel wieder umwandeln kann. Man kann die elektrische Energie in Wärme umwandeln, man kann die in kinetische Energie wieder umwandeln und auch in chemische Energie relativ einfach. Deshalb hat sich die elektrische Energie sozusagen durchgesetzt.“ (I11, A115)	10	21,7
Gut speicherbar	„Es wird auch Wärmeenergie dabei erzeugt. Das ist die Sache bei elektrischer Energie ist, dass sie extrem gut speicherbar ist.“ (I8, A118)	5	10,9

Neben Batterien und Akkumulatoren wurden auch Gerätschaften wie der Boiler, der Generator, der Trafo und der Kondensator genannt. Bei diesen technischen Gerätschaften handelte es sich jedoch nur um Einzelnennungen. Batterien und Akkumulatoren als

14. Energie in Natur, Technik und Gesellschaft

Beispiele für Energiespeicher wurden von insgesamt 31 angehenden Lehrkräften (67,4 %) angesprochen.

Des Weiteren wurden Energiespeicher als Staudämme und Wasserkraftwerke gekennzeichnet. Der Fokus lag hier auf einer Speicherung und Konservierung überschüssiger Energie und einer verlustfreien Aufbewahrung. Ebenso stand die Lagerung von Energie im Vordergrund. Die direkte Nutzbarmachung für den Menschen wurde bei der Beschreibung nicht erwähnt.

„Und wenn der Bedarf gerade nicht so hoch ist, dann kann diese Energie, diese quasi überschüssige Energie, nutzbar gemacht werden, um beispielsweise wie diese Kraftwerke heißen, wo Wasser dann halt eben hochgepumpt wird auf einen erhöhten Punkt und dieses Wasser dann sozusagen wieder ins Tal abfließen kann und dort dann wieder die kinetische Energie, die bei dem herunterfließen sozusagen kann dann wieder nutzbar gemacht werden.“
(Interview 16, Abschnitt 37)

Neben Staudämmen und Wasserkraftwerken wurden auch Solarmodule und Fotovoltaikanlagen in diesem Kontext als Energiespeicher bezeichnet.

„Ein Energiespeicher? Hätte ich gesagt so wie die Solarzelle, dass da die Energie drauf trifft und dann kann die Solarzelle die erstmal speichern. Und dann kann man nach Bedarf halt quasi die Energie halt absetzen.“ (Interview 22, Abschnitt 29)

11 Probanden (23,9 %) bedienten sich dieses Definitionsansatzes.

Neben der Betrachtung technischer Erzeugnisse wurde auch der organische Bereich der (unbelebten) Natur in den Kontext der Energiespeicherung durch die Studierenden einbezogen. Dabei nannten diese allgemein chemische Verbindungen, die chemische Energie beinhalten bzw. konkretisierten dies als Biomasse sowie Kohle. Sie bezogen auch die Fett- und Kohlenhydratspeicherung des menschlichen Körpers mit in die Betrachtungen ein. Von den 46 Befragten bezogen sich sechs (13,0 %) auf diesen Bereich.

Neben diesen drei Aspekten wurden Energiespeicher von einigen Probanden mit einer (tragbaren) Energiequelle oder einem Energieträger gleichgesetzt. Sechs der angehenden Chemielehrkräfte (13,0 %) tätigten Aussagen, die in diesem Bereich zu verorten sind.

14.3. Energiewirtschaft

Der Fokus im Bereich Energiewirtschaft lag vor allem auf der Darstellung der jeweiligen Vor- und Nachteile im Sinne der Energiemündigkeit. Eine genaue Darstellung der Hauptkategorien zu den Vor- und Nachteilen von fossiler und regenerativer Energieressourcen sowie der Kernenergie inklusive Ankerbeispielen findet sich im Anhang (siehe Abschnitt D).

Fossile Energie Die Charakterisierung fossiler Energie erfolgte bei allen Probanden auf die Energie, die in Stoffen wie Kohle und Erdöl beinhaltet ist. 29 Studierende (63,0 %) spezifizierten zusätzlich die Verbrennungsprozesse und die daraus resultierende (Wärme-) Energie. Sprachlich verwendeten 15 angehende Lehrkräfte (32,6 %) die Verben *gewinnen* und *liefern*, sieben (15,2 %) *umwandeln* und weitere sieben Studierende charakterisierten die Prozesse als *Erzeugung* von Energie.

Gefragt nach Vorteilen fossiler Energie nannten 19 der Probanden (41,3 %) Argumente (vgl. Tabelle D.1). Die restlichen Interviewten gaben keine Vorteile an.

Tabelle 14.6.: Vorteile fossiler Energie

Kategorie	n	%
Hoher Wirkungsgrad	19	41,3
Sicherheit	2	4,3
Sonstige	2	4,3

Tabelle 14.7.: Nachteile fossiler Energie

Kategorie	n	%
Emissionen	26	56,5
Begrenzte Ressourcen	26	56,5
Ausbeutung Umwelt	16	34,8

Der Fokus der positiven Argumentation lag vor allem auf der Effektivität der Energieumwandlung im Hinblick auf fossile Energieträger. Diese Effektivität wurde an der Menge der freigesetzten Energie pro Stoffmengeneinheit festgemacht. Alle Studierende äußerten sich zu Nachteilen, die ihrer Meinung mit der Nutzung fossiler Energie einhergehen (vgl. Tabelle D.2). Als ein Hauptkriterium wurden die bei der Verbrennung entstehenden Emissionen aufgeführt und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Klimawandel in den Vordergrund gerückt. Als zweites Hauptargument verwendeten die Lernenden die Begrenztheit der Ressourcen. In Kombination mit diesen beiden Aspekten führten sie aus, inwiefern die Nutzung fossiler Energie zur Belastung und Ausbeutung der Umwelt beiträgt. Als Stichwort fiel in diesem Kontext der Begriff der Nachhaltigkeit.

Regenerative Energie Bei der Thematisierung regenerativer Energie fanden viele Synonyme, wie beispielsweise alternativ, grün, modern, nachhaltig, umweltverträglich und unerschöpflich Anwendung. Die damit verbundene Wind-, Wasser-, und Sonnen- bzw. Solarenergie wurde von den Studierenden als eigenständige Energieform angesehen.

Tabelle 14.8.: Vorteile regenerativer Energie

Kategorie	n	%
Unerschöpflich	30	65,2
Umweltfreundlich	2	4,3
Sonstige	3	6,5

Als Vorteile wurden vor allem die unerschöpflichen Ressourcen Wind und Wasser genannt (vgl. Tabelle D.3). Das Hauptaugenmerk der Probanden lag vor allem auf den Nachteilen dieser Ressourcen. Für mehr als die Hälfte der Studierenden war der Eingriff in die Natur erwähnenswert. Insbesondere die Windkraftwerke standen im Fokus. Ebenso wurde der geringe Wirkungsgrad und die Abhängigkeit von Wetterbedingungen thematisiert (vgl. Tabelle D.4).

Kernenergie Die angehenden Chemielehrkräfte brachten mit der Kernenergie die Kernspaltung sowie die Freisetzung der Energie in Verbindung. Von den befragten Studierenden nannten 28 (60,7 %) Vor- und Nachteile. Die restlichen Probanden konnten ausschließlich Nachteile der Kernenergie darlegen.

Die genannten Vorteile ließen sich in drei Hauptkategorien zusammenfassen (vgl. Tabelle D.5).

Tabelle 14.10.: Vorteile Kernenergie

Kategorie	n	%
Hoher Wirkungsgrad	20	43,5
keine CO ₂ -Emissionen	6	13,0
Ressourcenverfügbarkeit	4	8,7

Tabelle 14.9.: Nachteile regenerativer Energie

Kategorie	n	%
Eingriff in die Natur	28	60,9
Geringer Wirkungsgrad	18	39,1
Produktionsprozess	16	34,8
Abhängigkeit	13	28,3
Speicher- und Transportproblematik	4	8,7

Tabelle 14.11.: Nachteile Kernenergie

Kategorie	n	%
Endlagersuche	32	69,6
Strahlung	30	65,2
Unfälle/Krieg/Terror	24	52,2
Abhängigkeit	13	28,3
Begrenzte Ressourcen	3	6,5

Es wurde vor allem die hohe Energiedichte der Kernbrennstoffe (Uran (235)) und damit einhergehend der geringe Mengeneinsatz in den Vordergrund gestellt. In Verbindung mit dem Argument der geringen CO₂-Emissionen stand vor allem die Umweltverträglichkeit. Demgegenüber nannten alle Befragten verschiedene Nachteile der Kernenergie (vgl. Tabelle D.6).

14.4. Energie verbrauchen, verlieren und vernichten

Im Kontext der vorangegangenen Analysen konnte in den Aussagen der Studierenden festgestellt werden, dass vielfach eine Nutzung der Verben verbrauchen, verlieren und vernichten in direkter Konkurrenz zueinander erfolgte. In Tabelle 14.12 ist aufgeführt, in wie vielen Interviews die einzelnen Ausdrücke auftraten.

Tabelle 14.12.: Auftreten der untersuchten Terme in den Interviews

Hauptkategorie	n	%
Energie verbrauchen	36	78,3
Energie verlieren	35	76,1
Energie vernichten	12	26,1

Die Sätze und Kontexte, in denen die Probanden die Begriffe nutzten, wurden in vier Kategorien zusammengefasst (vgl. Abbildung 14.1). Die Verben verbrauchen und verlieren wurden in unterschiedlichen Kontexten genutzt und ausschließlich als Antonym zur Energieerhaltung synonym verwendet. Die Hauptkategorie *Antonym zur Energieerhaltung* umfasst alle getätigten Aussagen, dass die Verwendung der Ausdrücke Energie verbrauchen, verlieren oder vernichten im Hinblick auf den Energieerhaltungssatz nicht angebracht ist.

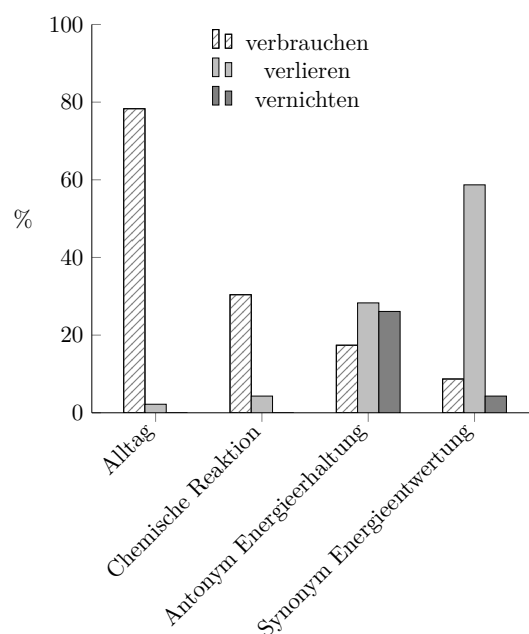


Abbildung 14.1.: Kontexte zur Nutzung von Energie verbrauchen, verlieren, vernichten

Tabelle 14.13.: Subkategorien zur Hauptkategorie *Alltag* in Bezug auf den Term *Energie verbrauchen*

Subkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Verbrauch von Ressourcen	„[...] dass Energie halt auch in vielen Produkten steckt. Dass man sich darüber Gedanken machen muss: Wie viel Energie wird jetzt dafür aufgebraucht?“ (I32, A19)	22	47,8
Verbrauch bei Alltagsprozessen	„Weil man allgemein im Alltag, sag ich jetzt mal, viel elektrische Energie verbraucht. Es geht ja nicht immer nur ums Heizen sondern allgemein: In einem Haushalt braucht man elektrische Energie.“ (I20, A145)	21	45,7
Verbrauch im menschlichen Körper	„[...] was man eben in Form von Essen als Energieformen aufnehmen, die dann beim Sport machen sozusagen wieder verbraucht wird.“ (I13, A164)	9	19,6

14.4.1. Energie verbrauchen

Hauptkategorie Alltag Zu der Hauptkategorie *Alltag* wurden drei Subkategorien zusammengefasst, die im Folgenden betrachtet werden (vgl. Tabelle 14.13). Sprachen die angehenden Chemielehrkräfte von Energie verbrauchen, so geschah das oftmals im Kontext des Verbrauches von Ressourcen wie Erdöl, Kohle oder Uran. Das Verb verbrauchen wurde synonym zum Verb aufbrauchen verwendet. Ergänzend nutzten die Probanden die Adjektive erschöpflich und endlich.

„Bei der Windenergie in weiten Teilen wird die ja nicht aufgebraucht, weil die ist ja immer da.“ (Interview 23, Abschnitt 117)

Sie stellten fossile und regenerative Energie gegenüber.

Der Ausdruck Energie verbrauchen wurde in mehr als der Hälfte der Interviews im Kontext verschiedener Alltagsprozesse, wie dem Stromverbrauch oder dem Energiesparen, verwendet. Diese wurden als (End-) Verbraucher bezeichnet. Auch das Heizen wurde als Energieverbrauch angesehen.

Neun der Interviewten betrachteten den Energieverbrauch des menschlichen Körpers, beispielsweise bei sportlicher Betätigung, ins Gespräch. Spezifischer fokussierten sie sich auf den Energieverbrauch in den Zellen.

Hauptkategorie Chemische Reaktionen In Abbildung 14.1 ist dargestellt, dass neben der Kategorie Alltag der Ausdruck Energie verbrauchen vor allem im Zusammenhang mit chemischen Reaktionen verwendet wurde.

„Naja man braucht natürlich für jede Reaktion eine Aktivierungsenergie. [...] Also Energie ist immer notwendig. Und es gibt dann am Ende der Reaktion zwei Möglichkeiten: Entweder ist Energie übrig, meistens in Form von Wärme oder Licht, dann ist es eine exotherme Reaktion. Oder es wird am Ende der Reaktion Energie verbraucht und dann ist es eine endotherme Reaktion.“
(Interview 29, Abschnitt 35)

Die Studierenden assoziierten den Verbrauch von Energie mit endothermen Reaktionen. Sie stellten dar, dass bei einer endothermen Reaktion Energie verbraucht wird, da mehr Energie benötigt als am Ende freigesetzt wird. Die Interviewten nutzten synonym die Verben brauchen, benötigen und hinzufügen.

14.4.2. Energie verlieren

Insgesamt wurde der Term Energie verlieren von drei Viertel der Probanden ($n = 35$) in den Interviews verwendet. Aus Abbildung 14.1 ist ersichtlich, dass der Hauptanteil der angehenden Lehrkräfte ($n = 27$) den Ausdruck im Kontext einer Energieentwertung nutzte. Sprachen die Befragten von verlorener Energie, so geschah das meist in einem inhaltlichen Zusammenhang zur Abgabe thermischer Energie eines Systems an die Umgebung.

„Es ist nur ein ganz kleiner Teil der abgegebenen Energie wirklich auch Lichtenergie. Der andere Teil geht in Form von Wärmeenergie verloren, also die umgebende Luft wird erwärmt.“ (Interview 21, Abschnitt 138)

Neben dieser Verwendung wurde von 13 Studierenden außerdem Bezug auf die Energieerhaltung genommen. Es fanden sich lediglich Einzelnennungen im Kontext von chemischen Reaktionen und Alltagsprozessen.

14.4.3. Energie vernichten

Der Ausdruck Energie vernichten wurde ausschließlich von zwölf Studierenden verwendet. Das heißt knapp zwei Drittel der Studierenden nutzten den Term gar nicht. Wie in Abbildung 14.1 ersichtlich, ließ sich der Hauptanteil der Nennungen in den Kontext der Energieerhaltung einordnen. In über 90 % des Gebrauchs wird die Energievernichtung negiert und die Energieerhaltung attestiert:

„Also zum Beispiel eine Eigenschaft wäre, dass Energie nicht vernichtet oder erzeugt werden kann, sondern dass man eben nur Energie in verschiedene Formen umformen kann.“ (Interview 19, Abschnitt 7)

In zwei Fällen wurde die Energievernichtung synonym zum Ausdruck Energieentwertung verwendet.

14.5. Energie verbrauchen, verlieren und vernichten im Kontext System und Umgebung

Die zukünftigen Lehrkräfte differenzierten zwischen offenen, geschlossenen und abgeschlossenen Systemen und argumentierten über den Energie- und Materieaustausch sowie allgemein über bestehende Wechselwirkungen. Die Probanden beschrieben das System als eine Art Mittelpunkt und in Bezug auf chemische Reaktionen als den Ort, an dem diese stattfinden. Als Umgebung wurde alles Außenstehende bezeichnet und die Relevanz der Umgebung von der Art des Systems abhängig gemacht.

Energie verbrauchen im Kontext System Die Interviewten sahen den Ausdruck Energie verbrauchen in Bezug auf ein System in der sprachlichen Verwendung als angebracht an. Sie charakterisierten dessen Bedeutung über drei Aspekte:

1. Der Energieverbrauch wurde als der Umwandlungsanteil einer Energieform in eine andere angesehen.

„Aber Energieverbrauch kann man ja auch in dem Sinne sehen, dass es eine bestimmte Energie braucht, sodass er eine andere rausgibt quasi.“
(Interview 29, Abschnitt 171)

2. Der Energieverbrauch wurde mit endothermen Reaktionen assoziiert. Es wurde erläutert, dass das System Energie aus der Umgebung verbraucht, damit die Reaktion ablaufen kann.

„[Das] klingt für mich jetzt, wie wenn das System Energie verbraucht. Also die Reaktion, die im System abläuft, ist eine endotherme Reaktion. Braucht Energiezufuhr von außen aus der Umgebung, um sich umzusetzen, um die Reaktion am Gang zu halten. Da wird halt Energie verbraucht. Verbraucht klingt für mich immer so zielgerichtet.“ (Interview 32, Abschnitt 176)

3. Allgemein wurde ein Verbrauch von Energie dadurch beschrieben, dass durch einen Energietransfer von Umgebung an System die Energie der Umgebung verbraucht wird. Dazu wurde ergänzt, dass die Energie der Umgebung nicht weg sei, sondern im System in einer anderen Form umgewandelt vorliegt.

Energie verlieren im Kontext System Die Verwendung des Ausdruckes Energie verlieren wurde nicht von allen Befragten als adäquat angesehen. Diejenigen Studierenden, die eine Verwendung für möglich sahen, argumentierten auf drei Ebenen:

1. Der Ausdruck Energie verlieren wurde mit der Wechselwirkung von System und Umgebung im Sinne einer Energieentwertung in Verbindung gebracht. Als Beispiele wurden der Energieverlust von Wärme an die Umgebung sowie derjenige beim Transport elektrischer Energie aufgeführt.
2. Spezifischer wurde der Energieverlust mit exothermen Reaktionen in Verbindung gebracht. Die erfolgende Energiefreisetzung wurde mit dem Verlust assoziiert:

„Und Energieverlust wäre dann jetzt vielleicht der umgekehrte Prozess. Wenn es eine exotherme Reaktion im System ist und Energie quasi an die Umgebung abgegeben wird, quasi verliert wird. Die wird auch nicht weiter gebraucht, weil ja mehr Energie produziert wird oder mehr Energie überschüssig ist. Aber dort tritt Energie aus aus dem System. So würde ich jetzt Verbrauch Richtung System nach Verbrauch und Verlust Richtung aus dem System in die Umgebung.“ (Interview 32, Abschnitt 176)

3. Ein Energieverlust wurde als die Energieübertragung von einem System an die Umgebung und als Gegenteil des Energieverbrauchs dargestellt.

„Verlust hat ja immer eine negative Konnotation dann eher. Und da würde man dann eher sagen, dass es vielleicht auch unbeabsichtigt ist, dass diese Energie verloren geht und Verbrauch eher auch auf eine Nutzung bezogen ist.“ (Interview 6, Abschnitt 172)

Der Verbrauch von Energie wurde dabei als beabsichtigt, notwendig und zielgerichtet beschrieben. Wohingegen der Verlust von Energie als ein Versehen und als unbeabsichtigt ausgemacht wurde.

Energie vernichten im Kontext System Der Ausdruck Energie vernichten wurde von allen angehenden Chemielehrkräften unter Verweis auf den Energieerhaltungssatz explizit abgelehnt.

„Das würde ich nicht verwenden. Weil das hört sich ja so an, als wäre es für immer weg.“ (Interview 38, Abschnitt 188)

Es bestand kein Unterschied zwischen dem Einbezug von System und Umgebung bzw. deren Auslassung.

14.6. Energie erzeugen

Energie wird erzeugt Insgesamt 33 Studierende (71,7 %) sagten während des Interviews, dass Energie erzeugt wird. Darunter fassten sie auch die Licht- und die Wärmeerzeugung. Mehr als die Hälfte der angehenden Lehrkräfte ($n = 25$) verwendeten diesen Ausdruck im Zusammenhang mit der Beschreibung eines Energiewandlers. Vor allem bei der Betrachtung der Funktionsweise von Glühfadenlampe, Otto-Motor und Kraftwerken sowie der Batterien fand sich diese Ausdrucksweise. Bei der Glühfadenlampe standen Wärme(energie)- und Lichterzeugung im Vordergrund. Im Kontext der Kraftwerke merkten die Studierenden an, dass in den Turbinen elektrische Energie erzeugt wird. Bei der Betrachtung der Batterien stand die Energieerzeugung durch chemische Reaktionen im Fokus.

„Und durch eine Redoxreaktion im Inneren des Akkus oder der Batterie kann eben Energie in Form von elektrischer Energie erzeugt werden [...].“
(Interview 26, Abschnitt 133)

13 Befragte (28,3 %) stellten einen Bezug von Energieerzeugung und verschiedenen Energieträgern her. Dabei beschrieben sie, dass durch die Verbrennung von fossilen Energieträgern Energie erzeugt wird. Ebenso gingen sie teilweise auf Uran und die Energieerzeugung bei der Kernspaltung ein.

„Wenn ich das erhitze, dann bringe ich die Teilchen mehr in Bewegung, was ja wiederum Wärme erzeugt.“ (Interview 25, Abschnitt 88)

Jeweils ein Fünftel der angehenden Lehrkräfte erläuterten im biologischen Kontext die Energieerzeugung im menschlichen Körper bzw. erwähnte den Ausdruck im Rahmen von Erläuterungen auf Teilchenebene.

Energie kann nicht erzeugt werden Von den 46 Befragten machten 21 (45,7 %) im Verlauf des Interviews in irgendeiner Weise deutlich, dass der Ausdruck Energie erzeugen nicht benutzt werden sollte. Sie begründeten diese Aussagen mit dem Energieerhaltungssatz.

„Versuchen wir das nochmal mit dem Atomkraftwerk, wo wir halt die Energie aus den Brennstäben nutzbar machen, um Wasser zu verdampfen und damit eine Turbine antreiben. Daraus wird dann halt schon wieder Energie erzeugt. Nicht erzeugt - ist ja schon wieder das falsche Wort. Erzeugt ja eigentlich nicht mal wirklich, sondern umgewandelt. Also wäre das für mich eine Form des Energiewandlers, also eine Turbine zum Beispiel.“ (Interview 17, Abschnitt 35)

In insgesamt 12 der ausgewählten 21 Interviews fanden sich solche Verbesserungen wie im vorangehenden Zitat. Die Studierenden begannen einen Satz mit der Nutzung des Verbs erzeugen und korrigierten diesen dann unter der Verwendung einer Konjugation des Verbs umwandeln.

Im Vergleich der Probanden, die im Interviewverlauf den Ausdruck Energie erzeugen nutzten und denjenigen, die angaben, dass dieser Ausdruck nicht genutzt werden soll, konnten Überschneidungen festgestellt werden. 16 der 21 angehenden Chemielehrkräfte nutzten trotz eines Verweises auf die Energieerhaltung den Ausdruck im Verlauf des Gesprächs in mindestens einem der thematisierten Kontexte.

Strom wird erzeugt In der Hälfte aller Interviews ($n = 23$) fand sich der Ausdruck Strom erzeugen. Vor allem in Bezug auf die Funktionsweise von Kraftwerken, Batterien und Akkumulatoren wurde dieser benannt.

„Und natürlich über Wasser, dass halt über einen Damm Energie erzeugt werden kann, also Strom.“ (Interview 27, Abschnitt 109)

Von den 23 Studierenden, die die Erzeugung von Strom in den Vordergrund stellten, setzten zehn diesen direkt oder indirekt mit der (elektrischen) Energie gleich.

15. Alternative Konzepte zur Energie in den Fachkontexten

Um von den herausgestellten Vorstellungen auf das Energieverständnis zu schließen, erfolgt im folgenden Kapitel als weiterer Schritt der Abgleich von *personal concept definition* und *formal concept definition* statt. Es werden auch solche Aussagen betrachtet, die teilweise ungenau sind bzw. in denen die notwendigen Rahmenbedingungen nicht berücksichtigt werden.

Die abgeleiteten alternativen Konzepte wurden zur besseren Übersicht mit einem eindeutigen Buchstaben- und Zahlencode versehen. Im Folgenden wird die Hauptaussage eines jeden Konzeptes präsentiert, näher erläutert und verallgemeinert.

Zu Beginn jedes Abschnittes ist eine Tabelle aufgeführt, in der der Code der jeweiligen alternativen Konzepte, deren Zuordnung zu den Ergebniskapiteln sowie die absolute und relative Häufigkeit in Bezug auf die untersuchte Stichprobe aufgeführt werden. Die alternativen Konzepte wurden den einzelnen Studierenden zugeordnet. Hier ist anzumerken, dass jeder Code pro Proband nur einmal vergeben wurde, auch wenn mehrere Aussagen zu einem alternativen Konzept in einem Interview detektiert werden konnten.

Die Festlegung alternativer Konzepte bezieht sich ausschließlich auf die Erhebungen im Bereich *Energie in verschiedenen Fachbereichen und -kontexten* (Kapitel 11 bis Kapitel 13). Dabei werden explizit die Bereiche zu *Mentale Repräsentationen von Energie* (vgl. Kapitel 9), *Energie im Chemieunterricht* (vgl. Kapitel 10) sowie *Energie in Natur, Technik und Gesellschaft* (vgl. Kapitel 14) von der Festlegung alternativer Konzepte ausgeschlossen. Begründet ist diese Entscheidung in der Tatsache, dass diese Bereiche sehr stark von subjektiven Bedeutungszuschreibungen und fachübergreifenden, eher peripher erhobenen Aspekten geprägt sind. Eine verallgemeinerte Formulierung alternativer Konzepte ist somit nicht möglich und wäre nicht aussagekräftig.

15.1. Alternative Konzepte zu chemischen Bindungen

Aus den dargestellten Ergebnissen ließen sich verschiedene alternative Konzepte der Studierenden im Bereich chemischer Bindungen ableiten. In Tabelle 15.1 finden sich die vergebenen Codes für die alternativen Konzepte, eine Verbindung zum jeweiligen Ergebniskapitel sowie die absolute und relative Häufigkeit deren Auftretens im Interviewmaterial.

Tabelle 15.1.: Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Bindungen und deren Auftreten in den Interviews

Code	Zugehöriges Ergebniskapitel	Vorgefunden bei n Studierenden	Relative Häufigkeit [%]
BE	11.1 Bindungsenergie	17 [$N = 28$]	60,7
GE	11.2 Gitterenergie	16	34,8
IE1	11.3 Ionisierungsenergie	12	26,1
IE2	11.3 Ionisierungsenergie	4	8,7
IE3	11.3 Ionisierungsenergie	5	10,9
IE4	11.3 Ionisierungsenergie	16	34,8
EA1	11.4 Elektronenaffinität	20	43,5
EA2	11.4 Ionisierungsenergie	16	34,8

BE Bindungsenergie ist die in den Bindungen gespeicherte Energie und wird bei der Spaltung freigesetzt.

Charakteristisch für dieses Konzept ist die Vorstellung, dass die Bindungsenergie in den Bindungen gespeichert ist und bei einem Bindungsbruch freigesetzt wird. Im direkten Zusammenhang können Aussagen auftreten, die die Energie in Zusammenhang mit der Stabilität und der Stärke von Bindungen in Verbindung bringen. Zugehörig ist außerdem die Formulierung der entsprechenden Gegenposition: Die Bindungsenergie muss zur Bildung einer Bindung aufgebracht werden.

GE Gitterenergie ist die im (Ionenkristall-) Gitter gespeicherte Energie und wird bei dessen Spaltung freigesetzt.

Indikatoren für dieses alternative Konzept sind Aussagen, in denen die Stabilität des Gitters und die Energiespeicherung miteinander verbunden werden. Die Energie wird als Ursache für den Zusammenhalt eines (Ionenkristall-) Gitters angegeben. Außerdem weisen Bemerkungen, dass die Gitterenergie zur Bildung eines Gitters aufgewendet werden muss, auf das Vorhandensein des Konzeptes hin.

IE1 Ionisierungsenergie ist der Energieumsatz bei der Ionisierung eines Atoms.

Der Fachbegriff Ionisierungsenergie wird für den Vorgang der Entfernung bzw. der Aufnahme eines oder mehrerer Elektronen aus bzw. von einem Atom benutzt. Der Energieumsatz wird dabei nicht auf Energieaufnahme bzw. -abgabe festgesetzt, sondern als kontextabhängig beschrieben.

IE2 Ionisierungsenergie ist der Energieumsatz zum Erreichen einer vollbesetzten Schale eines Atoms.

Die Ionisierungsenergie wird in den Kontext des Erreichens der Edelgaskonfiguration bzw. des Erfüllens der Oktett-Regel gestellt. Dabei wird mit der Ionisierungsenergie eine Energieaufnahme verbunden, wenn zum Erreichen des vorausgesetzten Zieles ein oder mehrere Elektronen aus dem Atom entfernt werden müssen. Die Ionisierungsenergie wird als eine Energieabgabe charakterisiert, wenn ein oder mehrere Elektronen dem Atom zugefügt werden müssen.

IE3 Ionisierungsenergie ist die zur Ionisierung von Gitter- und Molekülstrukturen benötigte Energie.

Bei diesem alternativen Konzept wird der Zusammenhang der Ionisierungsenergie und der verschiedenen Gitter- bzw. Molekülstrukturen in den Vordergrund gestellt. Charakteristisch in diesem Bereich ist die Fokussierung auf die Zufuhr von Energie, um die Ionisierung zu bewirken.

IE4 Ionisierungsenergie ist der Energieumsatz bei dem Elektronenübergang zwischen zwei Atomen.

Die Ionisierungsenergie wird als der Elektronenübergang zwischen zwei Atomen beschrieben. Entscheidend ist, dass allgemein der Energieumsatz im Fokus steht: Die Ionisierungsenergie ist die Energie, die aufgenommen werden muss oder frei wird. Dies geschieht in Abhängigkeit der beteiligten Atome.

EA1 Die Elektronenaffinität kennzeichnet das Bestreben eines Stoffes, ein Elektron aufzunehmen.

Kennzeichnend für dieses alternative Konzept ist, dass bei der Beschreibung der Elektronenaffinität kein direkter Zusammenhang zur Energie hergestellt wird. Die Deutungsweise ist animistisch geprägt. Es wird beispielsweise von einer Elektronenliebe der Atome gesprochen.

EA2 Die Elektronenaffinität ist die Fähigkeit eines Atoms, die Elektronen in einer Bindung an sich zu ziehen.

Die Elektronenaffinität wird beim Vorhandensein dieses Konzeptes in Verbindung mit der Elektronegativität gebracht oder mit dieser gleichgesetzt. Charakteristisch ist der Bezug zu zwei Atomen und der Bindung zwischen diesen. Zudem wird sprachlich weniger die Aufnahme eines Elektrons in den Vordergrund gestellt, sondern eher der Ausdruck des An-sich-Ziehens verwendet.

15.2. Alternative Konzepte der Thermodynamik

In der Thermodynamik konnten aus den verschiedenen Materialausschnitten der Probanden insgesamt 16 alternative Konzepte aufgedeckt und verallgemeinert werden. Um eine Übersicht zu generieren, sind die Konzepte in verschiedene Themenbereiche gegliedert, die sich an der Struktur des Kapitels 12 *Thermodynamik* orientieren.

Es findet sich in dieser Aufzählung kein Konzept, das den fehlenden Einbezug der Begriffe System und Umgebung in die Definitionen und Erklärung explizit miteinbezieht, wie man es beispielsweise bei CARSON & WATSON (2002) findet. Das hat den Grund, dass die angehenden Chemielehrkräfte in den gesamten Interviews weder einen Systembezug herstellten noch die Grenzen zwischen System und Umgebung bei ihren Betrachtungen festlegten. Daher wird der fehlende Systembezug als Hintergrund der jeweiligen Konzepte mitdiskutiert.

Tabelle 15.2.: Alternatives Konzept zum Einbezug von Systemgrenzen bei thermodynamischen Betrachtungen

Code	Zugehöriges Ergebniskapitel	Vorgefunden bei n Studierenden	Relative Häufigkeit [%]
SU0	12 Thermodynamik	46	100

SU0 Thermodynamische Betrachtungen sind unabhängig von Systemgrenzen. Die Umgebung wird nicht miteinbezogen.

Dieses alternative Konzept ist dadurch gekennzeichnet, dass die thermodynamischen Betrachtungen sowie der Energietransfer ohne Einbezug von System und Umgebung interpretiert werden.

Das alternative Konzept *SU0* liegt allen anderen alternativen Konzepten der thermodynamischen Betrachtungen zugrunde und kann mit diesen kombiniert werden.

15.2.1. Temperatur und Wärme

Tabelle 15.3.: Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Bindungen und deren Auftreten in den Interviews.

Code	Zugehöriges Ergebniskapitel	Vorgefunden bei n Studierenden	Relative Häufigkeit [%]
TW1	12.1 Temperatur und Wärme	18	39,1
TW2	12.1 Temperatur und Wärme	6	13,0
TW3	12.1 Temperatur und Wärme	17	37,0
TW4a	12.1 Temperatur und Wärme	4	8,7
TW4b	12.1 Temperatur und Wärme	7	15,2
TW5	12.2 Wärmekapazität	15	32,6

TW1 Temperatur quantifiziert Wärme und ist eine Folge aus einer Wärmeübertragung.

Die Temperatur wird ausschließlich als eine Maßangabe [$^{\circ}\text{C}$ oder K] für die Wärme angesehen und nicht als eine eigenständige physikalische Größe oder als eine Eigenschaft eines Systems oder eines Körpers. Unterstützt wird diese Sichtweise durch die Nichtberücksichtigung des thermischen Gleichgewichts. Die Temperatur wird als etwas aufgefasst, das in Folge einer Wärmeübertragung zustande gekommen ist. Des Weiteren liegt die Vorstellung vor, dass sich die Temperatur proportional zur übertragenen Wärmemenge erhöht.

TW2 Temperatur gibt an, ob etwas warm oder kalt ist.

Der Begriff Temperatur wird mit dem alltäglichen Wärme- und Kälteempfinden in Verbindung gebracht. Die obere Temperaturskala symbolisiert dabei die Wärme und die untere Temperaturskala die Kälte. Dabei wird sich auf die im Alltag gebräuchlichen Thermometer bezogen.

TW3 Wärme ist spürbar und zeigt im Alltag an, dass ein Körper warm ist.

Die Wärme wird mit der alltäglichen Lebenswelt und nicht mit der Fachwissen-

schaft in Verbindung gebracht. Die Wärme gilt als ein Indikator für das Wärme- und Kälteempfinden. Die Wärme wird als etwas subjektiv Spürbares betrachtet. Es wird kein fachlicher Bezug zum thermischen Gleichgewicht oder der Wärmeübertragung hergestellt.

TW4a Wärme ist eine Zustandsgröße.

Wärme wird als eine (intensive) Größe charakterisiert, die den energetischen Zustand eines Systems beschreibt und dabei nicht von der Größe dieses Systems abhängig ist.

TW4b Wärme ist in einem System oder einem Körper gespeichert bzw. enthalten.

Sie wird als etwas angesehen, das einem System oder einem Körper innewohnt. Die Wärme wird mit der inneren Energie gleichgesetzt. Als synonyme Begriff findet der Wärmehalt Verwendung.

TW5 Die Wärmekapazität gibt an, wie viel Wärme in einem Stoff gespeichert werden kann.

Die Wärmekapazität, verstanden als ein Fassungsvermögen, wird als die Möglichkeit zur Wärmespeicherung beschrieben. Sie kennzeichnet die Menge an Wärme, die in einem spezifischen Stoff gespeichert werden kann. Die dazu stattfindende Wärmeübertragung findet als ein Nebenaspekt Beachtung und wird nicht mit den Begriffen System und Umgebung verknüpft.

15.2.2. Enthalpie

Tabelle 15.4.: Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Bindungen und deren Auftreten in den Interviews.

Code	Zugehöriges Ergebniskapitel	Vorgefunden bei n Studierenden	Relative Häufigkeit [%]
EH1	12.3 Enthalpie	22	47,8
EH2	12.3 Enthalpie	6	13,0
EH3	12.3 Enthalpie	13	28,3
EH4	12.3 Enthalpie	3	6,5
EH5	12.3 Enthalpie	20	43,5

15. Alternative Konzepte zur Energie in den Fachkontexten

EH1 Enthalpie und Enthalpieänderung bezeichnen dieselben Aspekte.

Für Prozesse mit einer Enthalpieänderung wird der Begriff Enthalpie verwendet. Auch das Formelzeichen ΔH wird als Enthalpie bezeichnet. Die Zustandsgröße Enthalpie wird zur Beschreibung von Prozessen herangezogen.

EH2 Die Enthalpie ist die innere Energie eines Stoffes.

Enthalpie wird als die Energie beschrieben, die in einem System beinhaltet ist. Dabei wird der Begriff inhaltlich und sprachlich mit der inneren Energie gleichgesetzt.

EH3 Die Enthalpie ist gleichzusetzen mit der Wärme.

Die Enthalpie wird mit der Wärme gleichgesetzt. Weder werden die Enthalpieänderung noch einschränkende Bedingungen genannt.

EH4 Enthalpie ist eine Energieform.

Das Vorhandensein dieses alternativen Konzeptes drückt sich durch die konkrete Kategorisierung der Enthalpie als eine Energieform aus. Enthalpie wird zusammen mit anderen Erscheinungsformen aufgezählt.

EH5 Die Enthalpie ist gleichzusetzen mit der Energieänderung einer chemischen Reaktion.

Die Enthalpie wird ausschließlich im Kontext mit chemischen Reaktionen definiert und deren Energieänderung beschrieben. Es wird kein Unterschied zwischen der Energieaufnahme bzw. -abgabe gemacht. Die Begriffe Enthalpie und Reaktionsenthalpie werden synonym verwendet.

15.2.3. Entropie und freie Enthalpie

Tabelle 15.5.: Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext der Entropie und der freien Enthalpie.

Code	Zugehöriges Ergebniskapitel	Vorgefunden bei n Studierenden	Relative Häufigkeit [%]
ES1	12.4 Entropie	2	4,3
ES2	12.4 Entropie	33	71,7
EG1	12.5 Freie Enthalpie	2	4,3
EG2	12.5 Freie Enthalpie	18	39,1
EG3	12.5 Freie Enthalpie	2	4,3

ES1 Entropie ist eine Energieform

Die Entropie wird als Energieform bezeichnet und als etwas angesehen, dass in eine andere Energieform umgewandelt werden kann.

ES2 Entropie ist die Unordnung eines Systems.

Die Entropie wird mittels der Begriffe Unordnung und Chaos beschrieben, ohne dass die Erklärung weiter vertieft wird. Es werden dabei keine weiteren Angaben im Bereich der phänomenologischen oder der kinetisch-statistischen Deutung der Entropie gemacht.

EG1 Freie Enthalpie ist eine Energieform.

Es wird ein Energiebezug von freier Enthalpie und Energie hergestellt. Das geschieht, wenn die freie Enthalpie direkt als Energieform definiert wird.

EG2 Freie Enthalpie bezeichnet den Energieumsatz bei einer chemischen Reaktion.

Die freie Enthalpie wird allgemein als Energie oder speziell als Wärme(-energie), die bei einer chemischen Reaktion freigesetzt oder aufgenommen wird, bezeichnet.

EG3 Freie Enthalpie ist die nutzbare Energie bei Umwandlungsprozessen.

Freie Enthalpie wird mit der bei einem Umwandlungsprozess freiwerdende Energie gleichgesetzt. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der Nutzbarkeit der Energie für den Menschen.

15.3. Alternative Konzepte zu chemischen Reaktionen

ER1a Die Begriffe exotherm und endotherm beschreiben die Energieabgabe bzw. die Energieaufnahme bei einer chemischen Reaktion.

Die Begriffe exotherm und endotherm werden allgemein auf den Energieumsatz bei chemischen Reaktionen bezogen. Exotherm wird mit einer Energieabgabe und endotherm mit einer Energieaufnahme verbunden. Es finden keine weiteren Eingrenzungen im Hinblick auf eine Wärmeübertragung oder andere energetischen Erscheinungen statt.

ER1b Die Reaktionsenthalpie beschreibt die bei einer chemischen Reaktion auftretende Energiedifferenz von Edukten und Produkten.

Die Reaktionsenthalpie wird mit einer allgemeinen Energieübertragung erläutert ohne dass Einschränkungen im Hinblick auf die energetischen Erscheinungen stattfinden.

ER1c Die Begriffe exergon und endergon sind Synonyme zu den Begriffen exotherm und endotherm.

Die Begriffe exotherm und exergon sowie die Begriffe endotherm und endergon

15. Alternative Konzepte zur Energie in den Fachkontexten

Tabelle 15.6.: Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Reaktionen

Code	Zugehöriges Ergebniskapitel	Vorgefunden bei n Studierenden	Relative Häufigkeit [%]
ER1a	13.1 Energiediagramme	43	93,5
ER1b	13.1 Energiediagramme	21	45,7
ER1c	13.1 Energiediagramme 13.2 Exergone und endergone Reaktionen	7	15,2
ER1d	13.1 Energiediagramme 13.2 Exergone und endergone Reaktionen	7	15,2
ER2	13.2 Exergone und endergone Reaktionen	3	6,5
ER3	13.2 Exergone und endergone Reaktionen	2	4,3

werden synonym verwendet. Dies geschieht zum einen explizit, indem die gleichartige Anwendung direkt angesprochen wird oder implizit, indem die jeweiligen Wörter im Wechsel für gleiche Prozesse verwendet werden.

ER1d Die Begriffe exergon und energon sind die verallgemeinerten Begriffe zu exotherm und endotherm.

Den Begriffen exergon und endergon wird eine allgemeinere Bedeutung als den Begriffen exotherm und endotherm zugeschrieben. Voraussetzung für dieses alternative Konzept ist die Vorstellung, dass die Begriffe exotherm und endotherm ausschließlich auf eine Wärmeübertragung bei einer chemischen Reaktion angewendet werden. Mit exergon und endergon wird dann allgemein auf die Energieübertragung bei chemischen Reaktionen abstrahiert.

ER2 Exergone und endergone Reaktionen sind definiert über die Entropieänderung.

Analog zu der Beschreibung exothermer und endothermer Reaktionen mittels Energieaufnahme und Energieabgabe werden exergone und endergone chemische Reaktionen über die Entropieerhöhung und die Entropieerniedrigung definiert. Die Begründung stützt sich dabei auf die ähnlichen Vorsilben der vier Wörter und

die daraus erfolgende Ableitung von Energieaufnahme (exo) und Energieabgabe (endo).

ER3 Eine chemische Reaktion läuft freiwillig bzw. spontan ab, wenn man nicht eingreifen muss.

Die Begriffe freiwillig bzw. spontan werden bei diesem alternativen Konzept aus der Alltagssprache heraus gedeutet, indem die Bedeutungszuschreibung *aus eigenem Willen und ohne äußeren Zwang* zugrunde gelegt wird. Der Einbezug der Aktivierungsenergie kann als ein Indikator für dieses alternative Konzept herangezogen werden: Als freiwillig ablaufende chemische Reaktionen werden in diesem Kontext diejenigen chemischen Reaktionen charakterisiert, die keine Aktivierungsenergie benötigen.

15.4. Zusammenhänge der alternativen Konzepte

15.4.1. Analyse anhand der Differenzierungsmerkmale

Mit den alternativen Konzepten, die bei etwa einem Drittel ($n \geq 15$) der Befragten detektiert wurden, fand eine weitergehende Analyse im Hinblick auf die Differenzierungsmerkmale Zweitfach, Fachsemester und Alter und deren Merkmalsausprägungen statt. In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse kurz wiedergegeben. Die zugehörigen Kontingenztafeln sowie alle berechneten Werte finden sich im Anhang (siehe Abschnitt E).

Zweitfach In Abbildung 15.1 finden sich die auftretenden alternativen Konzepte aufgefächert nach dem Differenzierungsmerkmal Zweitfach. Das Säulendiagramm weist Unterschiede innerhalb der Merkmalsausprägungen besonders für die Konzepte *IE4* sowie *EA2* auf. Die Unabhängigkeit aller aufgeführten alternativen Konzepte vom Differenzierungsmerkmal Zweitfach wurde jeweils mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft und auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ bestätigt.

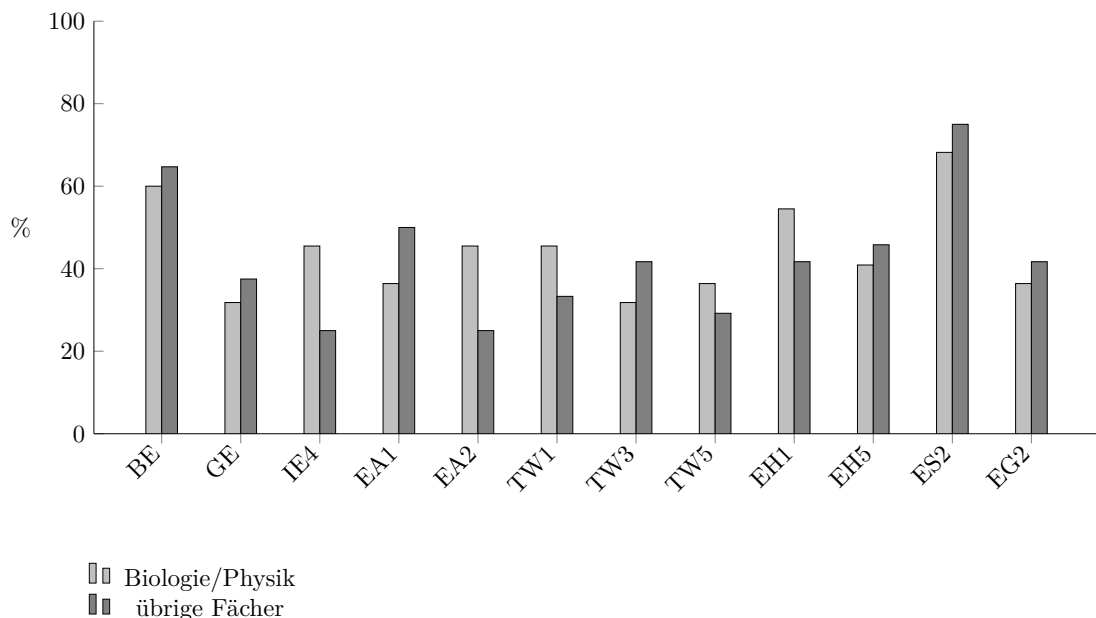


Abbildung 15.1.: Alternative Konzepte in Abhängigkeit vom Zweitfach der Probanden

Fachsemester Für die unterschiedlichen Fachsemester sind in Abbildung 15.2 die hauptsächlich auftretenden alternativen Konzepte dargestellt. Auf qualitativer Ebene lassen sich Unterschiede zwischen den Studierenden der Fachsemester 5-8 bzw. 9-11 feststellen. Die alternativen Konzepte *IE4*, *TW3*, *EH1* sowie *EH5* finden sich deutlich häufiger bei Probanden aus den niedrigeren Semestern.

Die Unabhängigkeit der aufgeführten alternativen Konzepte vom Differenzierungsmerkmal Fachsemester wurde jeweils mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft und auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ bestätigt. Einzig bei dem alternativen Konzept *EH1* konnte ein signifikanter Zusammenhang zur Fachsemesteranzahl hergestellt werden ($\chi^2(df = 1, N = 46) = 4.269, p = .039$).

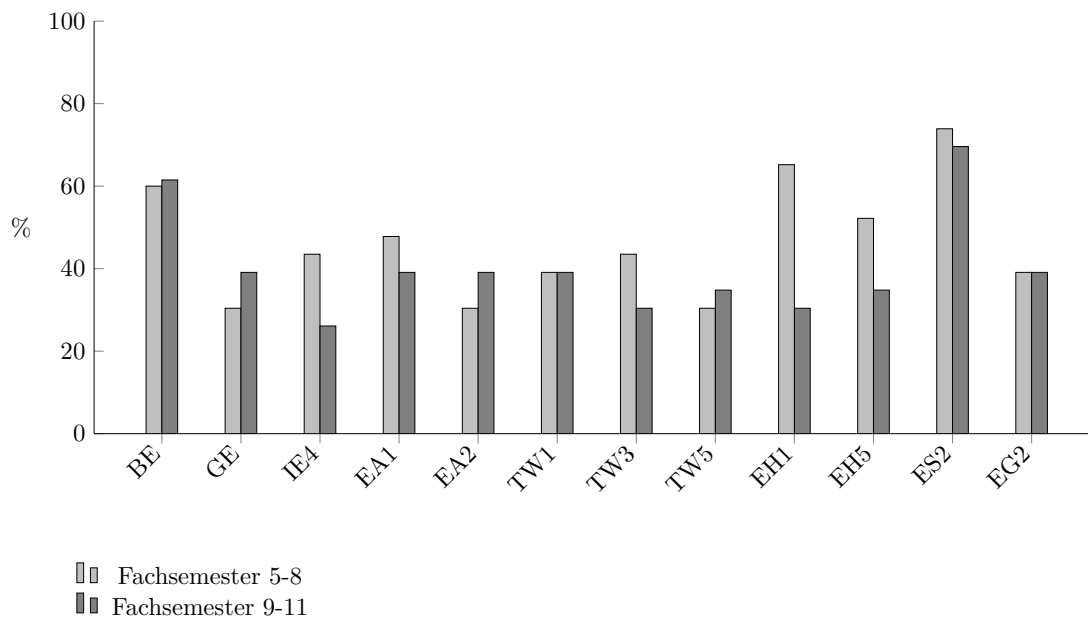


Abbildung 15.2.: Alternative Konzepte in Abhängigkeit vom Fachsemester Chemie der Probanden

15. Alternative Konzepte zur Energie in den Fachkontexten

Alter In Abbildung 15.3 ist zu sehen, dass sich die alternativen Konzepte unterschiedlich auf die einzelnen Altersgruppen verteilen. Für die aufgeführten alternativen Konzepte wurde die Unabhängigkeit von den eingeteilten Altersgruppen jeweils mit dem Chi-Quadrat-Test überprüft. Diese wurde für neun von 12 Konzepten auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ bestätigt.

Für die Konzepte *IE4* ($\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.818, p = .055, Fisher : p = .048$) und *ES2* ($\chi^2(df = 2, N = 46) = 7.480, p = .024, Fisher : p = .021$) konnte ein signifikanter Zusammenhang zu den Merkmalsausprägungen festgestellt werden.

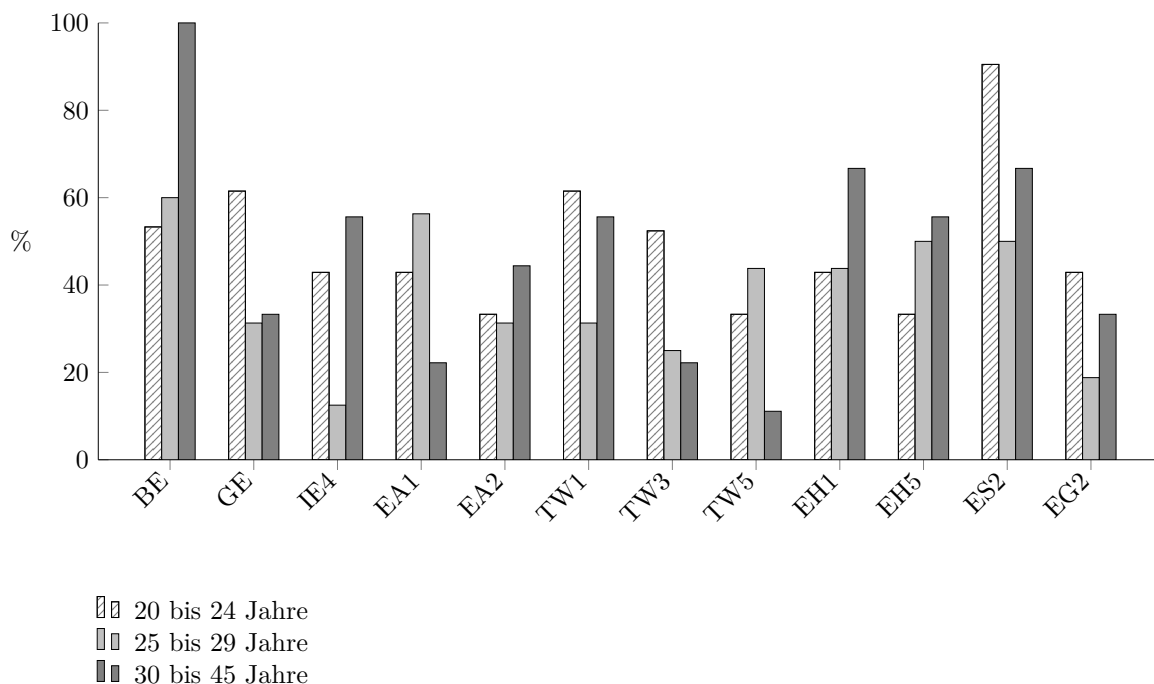


Abbildung 15.3.: Alternativen Konzepte in Abhängigkeit vom Alter der Probanden

15.4.2. Abhängigkeit der vorhandenen alternativen Konzepte

Die in Abschnitt 15.4 ausgewählten alternativen Konzepte lassen sich noch weiter gliedern. Zum einen sind es singuläre Aspekte, die die zugrundeliegenden Vorstellungen prägen, wie beispielsweise bei den unterschiedlichen Definitionsansätzen zur Ionisierungsenergie und Elektronenaffinität (*IE4*, *EA1*, *EA2*) oder den Vorstellungen von Wärme und Temperatur (*TW1*, *TW3*, *TW5*).

Zum anderen finden sich aber auch Vorstellungen, die in unterschiedlichen Kontexten bzw. im Zusammenhang verschiedener Fachbegriffe ähnlich formuliert werden. Im Fall der ausgewählten alternativen Konzepte steht die Vorstellung der gespeicherten Energie im Kontext von Bindungsenergie (*BE*) und Gitterenergie (*GE*) sowie die Gleichsetzung

von Enthalpie und Enthalpieänderung im Kontext allgemeiner thermodynamischer Betrachtungen (*EH1*), chemischer Reaktionen (*EH5*) und der freien Enthalpie (*EG2*) im Vordergrund.

Mithilfe des Chi-Quadrat-Tests nach PEARSON können diese auf ihre Unabhängigkeit überprüft werden. Die zugehörigen Kontingenztabellen finden sich im Anhang (siehe Abschnitt F).

Bindungsenergie und Gitterenergie STACY et al. (2014) beschreiben, dass das Konzept der in den Bindungen gespeicherten Energie bei Lernenden häufig vorliegt (*stored energy*). Da die Gitterenergie als die auf ein Mol bezogene Bindungsenergie eines Ionenkristalls definiert ist, stehen beide Fachbegriffe in einem direkten Zusammenhang. Es wurde daher die Hypothese aufgestellt, dass die alternativen Konzepte *BE* und *GE* in Abhängigkeit zueinander auftreten.

Mit dem Chi-Quadrat-Test wurden die beiden Merkmale auf ihre Unabhängigkeit überprüft ($\chi^2(df = 1, N = 28) = 2.844, p = .092$). Da eine Zelle eine erwartete Häufigkeit kleiner 5 aufweist, wurde der exakte Test nach FISHER angewendet ($p = .049$). Es zeigte sich, dass das Auftreten der alternativen Konzepte *BE* und *GE* in einem signifikanten Zusammenhang steht.

Enthalpie und Enthalpieänderung In verschiedenen Studien von NILSSON und NIEDERER (2014) und CARSON und WATSON (1999) wurde gezeigt, dass Studierende nicht oder nur unzureichend zwischen Enthalpie und Enthalpieänderung unterscheiden. In der vorliegenden Studie konnten diese Ergebnisse ebenfalls vorgefunden werden. Die Studierenden setzen Enthalpie und Enthalpieänderung gleich (*EH1*), beziehen diese auf gleiche Aspekte einer chemischen Reaktion (*EH5*) bzw. identifizieren Reaktionsenthalpie und freie Enthalpie (*EG2*) miteinander. Aufgrund der Ergebnisse der verschiedenen Studien wurde die Hypothese aufgestellt, dass diese drei alternativen Konzepte in einem wechselseitigen Zusammenhang stehen.

Mit dem Chi-Quadrat-Test wurden die jeweiligen Konzepte auf ihre Unabhängigkeit überprüft. Es zeigte sich, dass einzig das Vorhandensein der alternativen Konzepte *EH1* und *EH5* in einem signifikanten Zusammenhang steht ($\chi^2(df = 1, N = 46) = 22.321, p = .000$).

Die Unabhängigkeit der anderen Konzepte wurde auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$ bestätigt.

Teil IV.

Schlussbetrachtungen

16. Zusammenführung der Ergebnisse

Forschungsfrage 1:

Welche Assoziationen und Erklärungsansätze weisen die angehenden Chemielehrkräfte zum Begriff Energie auf? Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Assoziationen und Erklärungsansätzen und den Differenzierungsmerkmalen Alter, Fachsemester Chemie und Zweitfach?

Alltagsassoziationen Die angehenden Lehrkräfte assoziierten mit dem Begriff Energie die Phänomene Elektrizität, Licht und Wärme, wobei der Bezug zur Elektrizität dominierte. Auch die Beschreibung biologischer Vorgänge und Bewegungsabläufen beispielsweise bei sportlicher Aktivität des Menschen wurde in einen direkten Zusammenhang mit dem Begriff Energie gesetzt. Weniger häufig standen Fortbewegungsmittel oder gesellschaftliche Aspekte im Vordergrund. Als Hauptassoziationen wurden Wärme, Elektrizität und biologische Vorgänge identifiziert.

Erklärungsansätze zur Energie Die angehenden Chemielehrkräfte wiesen vier Haupterklärungsansätze auf.

- **Energie erklärt über beispielhafte Energieformen**
Energie wurde durch die Nennung beispielhafter Energieformen verdeutlicht. Dabei stand die Wandelbarkeit der Energie im Vordergrund.
- **Energie erklärt als eine Ursache von Prozessen und Phänomenen**
Energie wurde als Antrieb für ablaufende biologische, chemische und physikalische Prozesse genannt. Die Energie stellt deren Ursache dar.
- **Energie erklärt als ein Abstraktum**
Energie wurde als eine Modellvorstellung, nicht fassbar und omnipräsent beschrieben. Im Vordergrund stand die Energie als eine abstrakte und nicht definierbare Größe.
- **Energie erklärt über die Energieerhaltung**
Energie wurde über die folgenden Sätze charakterisiert:

Energie kann nicht vernichtet werden, sie bleibt erhalten. Sie kann ausschließlich umgewandelt werden.

Differenzierungsmerkmale Deutlich zu verzeichnen war die Assoziations- und Erklärungsvielfalt. Auch wenn Hauptansätze ausgemacht werden konnten, so fand sich kein Konsens in den Assoziationen und Erklärungsansätzen über alle angehenden Chemielehrkräfte hinweg.

Im Hinblick auf die Differenzierungsmerkmale Zweitfach, Fachsemester und Alter der Stichprobe ließen sich nur geringe Unterschiede erkennen. Die untersuchten Hauptassoziationen und Erklärungsansätze stellten sich bis auf eine Ausnahme als unabhängig von den Differenzierungsmerkmalen heraus. Lediglich der Rückgriff auf den Erklärungsansatz *Abstraktum* stand in einem signifikanten Zusammenhang zum Zweitfach und zum Alter der Probanden. Die Hypothesen *F1.1*, *F1.2* und *F1.3* können nicht bestätigt werden.

Forschungsfrage 2:

Welche zentralen Aspekte nutzen die angehenden Chemielehrkräfte, um energiebezogene Phänomene und Prozesse zu beschreiben und zu erklären? In welchen Kontexten werden die einzelnen Aspekte vornehmlich genutzt?

Energieformen Der Begriff Energieformen wurde von den angehenden Chemielehrkräften häufig und vielfältig verwendet. Neben der Aufzählung verschiedener Energieformen im Rahmen der Alltagsassoziationen (vor allem Wärmeenergie, Lichtenergie und elektrische Energie) und den Erklärungsansätzen fanden diese auch als Teil der betrachteten Fachbereiche und Fachkontexte Erwähnung. Dabei wurden bestimmte Energieformen von den Studierenden konkret einzelnen Fachbereichen zugewiesen. Kinetische und mechanische Energie wurden einheitlich der Physik zugeordnet, wohingegen Wärmeenergie, Lichtenergie und elektrische Energie in einem ganzheitlich naturwissenschaftlichen Kontext gesehen wurden. Die Zuordnung bestimmter Größen als Energieformen wie beispielsweise Enthalpie, Entropie und freie Enthalpie wurde dabei speziell dem Fachbereich Chemie vorbehalten. Im Alltagskontext wurde die Wärme und teilweise auch die Temperatur als Energieform diskutiert.

Energieerhaltung Der Fundamentalsatz der Energieerhaltung stand im Vordergrund. Der Aspekt nahm vor allem bei den Erklärungsansätzen zur Energie eine tragende Rolle ein. Auch im Kontext der Mindestkenntnisse wurde die Energieerhaltung in den Vordergrund gerückt. Die Studierenden gaben an, dass die Kenntnisse um den Energieerhaltungssatz für alle Schülerinnen und Schüler als Mindestkenntnisse verlangt werden muss. Kam es jedoch zur Erläuterung spezieller energiebezogener Phänomene oder Prozesse, bezogen die zukünftigen Lehrkräfte den Aspekt der Energieerhaltung nicht in ihre Antworten mit ein. Sie bedienten sich den zentralen Aspekten Energieformen, Energieumwandlung und Energieübertragung.

Energieumwandlung Der Fachbegriff Energieumwandlung fand innerhalb der Erklärungsansätze deutlich seltener Erwähnung als die Energieerhaltung. Die Energieumwandlung wurde zwar im Kontext des Fundamentalsatzes der Energieerhaltung mit berücksichtigt, war dabei jedoch ausschließlich Teil des Satzes und galt dazu, die Energieerhaltung zu begründen. Auch im Kontext der genannten Mindestkenntnisse für Schülerinnen und Schüler spielte dieser Begriff ausschließlich im Rahmen der Energieerhaltung eine Rolle. Bei der Erläuterung der energiebezogenen Phänomene und Prozesse (mit Lebensweltbezug) nutzten die Probanden jedoch vor allem die Energieumwandlung.

Energieübertragung Der Begriff der Energieübertragung wurden von den angehenden Chemielehrkräften explizit selten genannt. Vor allem im Bereich der Erklärungsansätze sowie bei der Aufzählung der Mindestkenntnissen für Schülerinnen und Schülern spielte der Begriff und die implizierte Bedeutungszuschreibung keine Rolle. Anders sah dies bei der Erläuterung energiebezogener Phänomene und Prozesse (mit Lebensweltbezug) sowie chemischer Reaktionen aus. Auffällig war jedoch, dass der Fachbegriff selbst von den Probanden wenig genutzt wurde. Es fand oftmals eine Umschreibung desselben statt. Auch wenn bei den Probanden eine adäquate Nutzung des Begriffes vorgefunden wurde, so stellten sie keinen Bezug zu den Begriffen System und Umgebung her.

Energieentwertung Der Begriff Energieentwertung spielte für die Probanden keine Rolle. Das Konzept der Energieentwertung war den angehenden Chemielehrkräften bekannt und wurde außerdem von diesen akzeptiert. Erkennbar war eine fehlende Verbindung zum Wort Energieentwertung. Der zugehörige Prozess wurde oftmals mit dem Wort Energieverlust umschrieben. Das Wort Energieentwertung wurde von ihnen hingegen abgelehnt, da sie damit eine Energievernichtung verbanden und als Antonym zur Energieerhaltung deuteten.

Forschungsfrage 3:

Welche alternativen Konzepte zum schulrelevanten, lehrplanorientierten Fachwissen lassen sich bei den angehenden Chemielehrkräften finden?

In der Studie wurden verschiedene alternative Konzepte vorgefunden, die in Kapitel 15 aufgeführt sind. Es handelt sich teilweise um Vorstellungen, die bei vielen Studierenden vorgefunden wurden und teilweise um Einzelnennungen. Es gab jedoch alternative Konzepte, die sich bei mehr als 30 % der angehenden Chemielehrkräfte detektieren ließen.

Häufige alternative Konzepte im Fachkontext *Chemische Bindungen* Im Fachkontext der chemischen Bindungen fehlte bei nahezu allen Probanden die Verknüpfung der einzelnen Fachbegriffe zu den an das System gestellten Bedingungen, was sich vor allem bei der Ionisierungsenergie und dem fehlenden Einbezug des Aggregatzustands feststellen ließ. Im Kontext der Ionisierungsenergie wurde von den Interviewten geäußert, dass die Ionisierungsenergie die Energieübertragung zwischen zwei Atomen darstellt. Das bedeutete im Umkehrschluss, dass die Studierenden die Art der Energieübertragung als Energieaufnahme bzw. -abgabe von den vorhandenen Atomen und somit situationsabhängig darstellten. Die Elektronenaffinität wurde zum einen mit der Elektronegativität verwechselt und zum anderen von den Probanden in keine direkte Beziehung zur Energie gesetzt. Bei weiteren häufig auftretenden alternativen Konzepten handelte es sich vor allem um die Vorstellungen, dass die Energie in Bindungen bzw. im (Kristall-) Gitter gespeichert ist und bei einem Bindungsbruch freigesetzt wird. Zwischen dem alternativen Konzepten von Bindungsenergie und Gitterenergie wurde ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen.

Häufige alternative Konzepte im Fachkontext *Thermodynamik* Der Fachkontext Thermodynamik war geprägt durch verschiedene alternative Konzepte, die zum Teil einen hohen Alltagsbezug aufwiesen. Im Bereich Wärme und Temperatur lagen bei den zukünftigen Lehrkräften verschiedene alternative Konzepte teilweise nebeneinander vor. Die Begriffe Wärme und Temperatur wurden in einen direkten Zusammenhang gesetzt: Die Temperatur wurde als eine Maßeinheit für die Wärme angesehen, die zur Quantifizierung der Wärme nützlich ist. Zusammenhängend damit wurde die Wärme als etwas Subjektives, Spürbares und Alltagsbezogenes ohne fachwissenschaftliche Bedeutung dargestellt. Die Temperatur wurde als der chemische Fachbegriff und die Wärme als Alltagsbegriff klassifiziert. Die Wärmekapazität beschrieben die Probanden als das Maß zur Energiespeicherung in einem Stoff.

Bezugnehmend auf den Fachbegriff Enthalpie und in dessen direktem Umfeld konnten einige alternative Konzepte festgestellt werden. Zum einen fand keine Differenzierung zwischen der Enthalpie und der Enthalpieänderung statt. Zum anderen traten Überschneidungen der Bedeutungszuschreibung zu den Wörtern Enthalpie, Reaktionsenthalpie und freie Enthalpie auf. Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der fehlenden Differenzierung von Enthalpie und Enthalpieänderung und der Gleichsetzung mit Reaktionsenthalpie nachgewiesen. Für die Studierenden stellte die Abgrenzung der verschiedenen Fachbegriffe auch zur Wärme bzw. Wärmeenergie ein Problem dar. Somit wurde vor allem die Enthalpie häufig als eine Energieform betitelt. Ein alternatives Konzept, das sich -weniger stark ausgeprägt- auch bei der Entropie und der freien Enthalpie fand. Auffällig war ebenfalls, dass die Befragten selten auf definierende physikalische Größen bzw. Formeln zurückgriffen. Die Entropie wurde beispielsweise ausschließlich durch die Unordnung eines Systems charakterisiert. Lediglich in dieser Vorstellung fand das Konzept System Einsatz. Es fiel auf, dass die angehenden Lehrkräfte kaum auf die Konzepte System und Umgebung zurückgriffen und diese in die Definitionen miteinbezogen.

Häufige alternative Konzepte im Fachkontext *Chemische Reaktionen* Im Bereich der chemischen Reaktionen wurden vor allem alternative Konzepte im Kontext der Begriffe exotherm/endotharm und exergon/endergon festgestellt. Eine Einigkeit, inwiefern exotherm die Energieabgabe allgemein bei einer chemischen Reaktion beschreibt und inwiefern es sich ausschließlich um die Beschreibung einer Wärmeübertragung handelt, war nicht erkennbar. Bei einem weiteren alternativen Konzept wurden die Begriffe exergon und endergon eine Verallgemeinerung der Begriffe exotherm und endotherm aufgefasst. Außerdem verstanden die Studierenden unter einer freiwillig ablaufenden chemischen Reaktion eine chemische Reaktion, bei der keine Aktivierungsenergie notwendig ist und die unter einer Energieabgabe verläuft.

Forschungsfrage 4:

Welche Zusammenhänge lassen sich zwischen dem gleichzeitigen Vorhandensein alternativer Konzepte und den verschiedenen Differenzierungsmerkmalen feststellen?

Es wurden verschiedene Zusammenhänge zwischen einzelnen alternativen Konzepten betrachtet. Dabei stellte sich heraus, dass die Vorstellungen der angehenden Chemielehrkräfte in dieser Studie zu großen Teilen unabhängig von den Differenzierungsmerkmalen Zweitfach, Fachsemester und Alter auftraten. Für das Differenzierungsmerkmal Zweitfach wurden alle detektierten alternativen Konzepte als unabhängig identifiziert. Damit konnte die Hypothese *F4.1* nicht bestätigt werden. Jedoch wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der studierten Fachsemester sowie der Gleichsetzung der Wortbedeutungen von Enthalpie und Enthalpieänderung. Studierende der niedrigeren Fachsemester verwendeten die beiden Fachbegriffe deutlich häufiger synonym als diejenigen der höheren Semester. Für alle anderen Konzepte konnte die Hypothese *F4.2* nicht bestätigt werden. Auch bei den Ausprägungen des Merkmals Alter konnten Abhängigkeiten von zwei alternativen Konzepten ausgemacht werden. Bei den angehenden Chemielehrkräfte im Alter zwischen 20 und 24 Jahren traten die Vorstellungen, dass die Entropie die Unordnung des Systems und die freie Enthalpie mit der Reaktionsenthalpie gleichzusetzen ist, gehäuft auf.

Forschungsfrage 5:

Wie verorten die angehenden Chemielehrkräfte Energie im Schulunterricht und insbesondere als fächerübergreifenden Unterrichtsgegenstand?

Durch die geringe Kenntnis der energiebezogenen Inhalte der Bildungsstandards und Rahmenlehrpläne der einzelnen Bundesländer argumentierten die Befragten intuitiv, wel-

16. Zusammenführung der Ergebnisse

che energiebezogenen Themen sie dem jeweiligen Fachunterricht zuordnen würden. Dabei wiesen sie ein stark domänenspezifisches Denken auf. So wurde der Chemie chemische Reaktionen, Thermodynamik und der Bereich Elektrochemie zugewiesen. Ein Bezug zur submikroskopischen Ebene oder zur Energie in Natur, Technik und Gesellschaft wurde nicht gezogen. Die biochemischen Vorgänge im menschlichen Körper hingegen wurden ausschließlich der Biologie und dem Sport zugeordnet. Eine Betrachtung der chemischen Aspekte fehlte beispielsweise. Auch die Nahrungsaufnahme und der Energieinhalt verschiedener Lebensmittel wurde dem biologischen Energiebegriff zugeordnet. Im Bereich Sport standen vor allem Bewegungsabläufe im Vordergrund. Auch hier wurde kein Bezug zu dem physikalischen Energiebegriff hergestellt. Für den Bereich Physik wurde der Energiebegriff als zentral angesehen. Vor allem die Elektrizitätslehre, die Optik und die Mechanik wurden als große Bereiche genannt. Der Geografie und Politik wurden vor allem die Betrachtung und Diskussion der Energiewende zugewiesen.

Die Kompartimentalisierung manifestierte sich außerdem in der Zuweisung bestimmter fachwissenschaftlicher Fragen in den Zuständigkeitsbereich anderer Fachrichtungen. Die angehenden Chemielehrkräfte bewegten sich in ihrer Argumentation anhand der jeweiligen Zugriffsmodi der Naturwissenschaften.

Forschungsfrage 6:

Welchen sprachlichen Besonderheiten bedienen sich die angehenden Chemielehrkräfte bei der Versprachlichung der energiebezogenen Themen? Welchen Einfluss haben diese auf das Energieverständnis der angehenden Chemielehrkräfte?

Über alle energiebezogenen themenspezifischen Betrachtungen, die im Rahmen der Untersuchung erfolgten, konnten sprachliche Besonderheiten abgeleitet werden.

- **Gelegentliche Nutzung von Fachbegriffen**

Die angehenden Chemielehrkräfte umschrieben viele fachspezifische Aspekte eher umständlich, ohne den direkten Fachbegriff zu nennen. Das wurde vor allem in den fachbezogenen Kontexten deutlich. Wurden sie jedoch in der Interviewsituation konkret auf diese Begriffe angesprochen, so konnte ein Großteil der Probanden diese nutzen und zuordnen. Der adäquate Einsatz der Fachbegriffe stellte weniger ein Problem dar als deren exakte Versprachlichung. Für die angehenden Chemielehrkräfte stellte insbesondere diese geforderte Genauigkeit ein Problem dar. Es fiel auf, dass sie in ihrem intuitiven Sprachgebrauch in der Interviewsituation sehr vage blieben.

- **Ableitung der fachwissenschaftlichen Bedeutung von Fachbegriffen aus den einzelnen Wortbestandteilen**

Die angehenden Chemielehrkräfte leiteten die Bedeutungszuschreibung einzelner

Fachbegriffe aus deren Wortbestandteilen ab. So wurden beispielsweise Komposita, bei denen Energie keinen Wortbestandteil darstellte, zumeist nicht mit einem energetischen Phänomen in Verbindung gebracht.

- **Nutzung von Metaphern**

Bei der Beschreibung und Umschreibung von Begriffen griffen die Probanden gehäuft auf bestimmte Metaphern zurück. Der Energiefluss, das unordentliche Zimmer zur Beschreibung der Entropie sowie die Berg-Metapher zur Erläuterung der Aktivierungsenergie konnten als allgemeine Metaphern identifiziert werden.

- **Der fehlende inhaltliche Bezug zu System, Umgebung und anderen Randbedingungen und der daraus folgenden formalen sprachlichen Ungenauigkeit**

Die zukünftigen Lehrenden nahmen selten einen inhaltlichen Bezug auf die Begriffe System, Umgebung bzw. auf notwendige und zu beachtende Randbedingungen. Es handelte sich hierbei auch um ein Phänomen aus sprachlicher Sicht, da beispielsweise die Begriffe System und Umgebung den Studierenden bekannt waren und auf genauere Rückfrage gedeutet werden konnten.

- **Energie verbrauchen und verlieren aus sprachlicher Sicht**

Es konnte bei allen angehenden Chemielehrkräften eine adäquate Vorstellung zur Energieerhaltung festgestellt werden. Dennoch fanden sich bei der Durchsicht des Interviewmaterials gehäuft Ausdrücke, die den Verbrauch und den Verlust von Energie in den Vordergrund rückten. Bei der Analyse konnte jedoch festgestellt werden, dass es sich hierbei nicht um ein alternatives Konzept, sondern um eine sprachliche Besonderheit handelte. Es konnten zwei sprachliche Muster festgestellt werden: Der Ausdruck Energie verbrauchen wurde fast ausschließlich im Kontext einer Energieübertragung an die Umgebung bei chemischen Reaktionen und im Kontext eines Verbrauchs von Ressourcen zur Energienutzung, wie beispielsweise Erdöl oder Kohle verwendet. Der Energieverlust wurde von den Probanden als Energieübertragung an die Umgebung klassifiziert. Die Studierenden bedienten sich dieser sprachlichen Ausdrücke, die ohne den Einbezug des sprachlichen Kontextes als nicht adäquat gewertet werden können.

- **Deutung von Phänomenen und Prozessen auf makroskopischer Ebene ohne Einbezug anderer Darstellungsebenen**

Die angehenden Chemielehrkräfte bedienten sich bei der Beschreibung der energiebezogenen Prozesse und Phänomene fast ausschließlich der makroskopischen Ebene ohne die Teilchenebene miteinzubeziehen. Ihre gesamte Ausdrucksweise zeugte von einer Fokussierung auf diese eine Darstellungsebene.

17. Interpretation der Ergebnisse

Die Paradigmen der qualitativen Forschung besagen, dass die gewonnen und im vorherigen Teil dargestellten Ergebnisse zunächst nur für den Einzelfall bzw. die konkrete Stichprobe gelten. Zur Verallgemeinerung der Ergebnisse über den Einzelfall hinaus wurden in der Erhebung und Analyse des Datenmaterials verschiedene Aspekte miteinbezogen:

1. großer Stichprobenumfang
2. quantifizierende Elemente und Rückbezug auf die Differenzierungsmerkmale
3. Einbezug weiterer unabhängiger Studien in die Interpretation der Ergebnisse

Dieser dritte Punkt wird im Folgenden ausgeführt. Bei der Interpretation der Ergebnisse wurden diese mit schon bestehenden Studien verglichen, analysiert und in einen größeren Zusammenhang eingeordnet. Daraus ergibt sich dann ein Bild zum *concept image* zur Energie der Studierenden.

17.1. Mentale Repräsentationen von Energie

Zu den mentalen Repräsentationen von Energie der Lernenden wurden im Laufe der Jahre verschiedene Studien durchgeführt (vgl. bspw. DUIT, 1986; CROSSLEY et al., 2009). Assoziationen und Vorstellungen zum Energiebegriff haben sich im Laufe der Zeit gewandelt. CROSSLEY et al. (2009) argumentiert in diesem Rahmen, dass der Energiebegriff immer mehr Einzug in die Alltagssprache genommen hat und vor allem die Energieversorgung zu einem öffentlich diskutierten Thema geworden ist. Durch die mediale Berichterstattung werden außerdem die mentalen Repräsentationen beeinflusst.

Diese Argumentation ist vor allem in Bezug auf Alltagsassoziationen schlüssig, da diese immer in einem Zusammenhang mit einer sich stetig wandelnden Lebenswelt stehen. Die Vorstellungen von Energie bzw. die Energieexplikation ist diesem steten Wandel nicht in solchem Maße unterworfen, was die durchgeführte Vorstudie (vgl. Abschnitt 8.1.2) gezeigt hat. Bei der Interpretation der Ergebnisse sind diese Annahmen miteinzubeziehen.

17.1.1. Alltagsassoziationen

Im Vergleich zu Ergebnissen von DUIT (1981, 1986) und TRUMPER (1990) sowie in Anlehnung an CROSSLEY (2009) legen die Studierenden bei den Assoziationen einen größeren Wert auf die Elektrizität. Insbesondere steht die elektrische Energie im Kontext der Nutzung technischer Gerätschaften sowie auf die im Körper ablaufenden Prozesse im Fokus. Die Ergebnisse bilden die festgestellten Schwerpunkte der deutsch- (Stichpunkte: Treibstoff, Kraft, Strom) und englischsprachigen (Stichpunkte: Lebendiges) Studien nicht einseitig ab, sondern bedienen sich beider Bereiche. Der starke Bezug auf Energie im biologischen Kontext kann auch durch die hohe Anzahl an Teilnehmenden erklärt werden, die Biologie als zweites Lehramtsfach studierten. Die Analyse nach dem Differenzierungsmerkmal Zweitfach zeigt, dass die Nennung von Assoziationen aus dem Bereich Körper bei Studierenden mit dem Zweitfach Biologie oder Physik höher lag als bei den übrigen (vgl. Abschnitt 9.3), auch wenn sich keine signifikanten Unterschiede zeigen ließen.

Insgesamt lag der Fokus weniger auf physikalischen Konzepten oder Termini, wie es beispielsweise TRUMPER (1990) feststellte. Das hat vor allem den Grund, dass die Studierenden explizit nach ihren Assoziationen im Alltag befragt wurden. Die Probanden können sehr exakt zwischen den Aspekten, die sie im Alltag mit Energie verbinden und den naturwissenschaftlichen Konzepten und Prozessen, die dahinterstehen, differenzieren. Dies zeugt davon, dass bei den zukünftigen Lehrenden ein Bewusstsein bezüglich der Differenzen zwischen Alltagskonzept und naturwissenschaftlichem Konzept der Energie vorherrscht. Biologische Aspekte werden von den angehenden Chemielehrkräften oftmals dem Alltag zugeordnet und somit häufiger genannt. Besonders die Energievorgänge in Bezug auf Lebewesen bereiten auf fachlicher Ebene weniger Schwierigkeiten und stellen einen gut verständlichen Energiekontext dar (PARK & LIU, 2016).

Daneben spielt besonders die Omnipräsenz der Energie sowie deren Lebensnotwendigkeit für die Menschen im Alltag eine wichtige Rolle. Assoziiert wird insbesondere der eigene, direkte Lebensweltbezug, in dem Elektrizität vor allem als elektrischer Strom zur Nutzung von mobilen Endgeräten und des Computers Relevanz hat. Anders als noch in vorherigen Studien (vgl. bspw. CROSSLEY et al., 2009) taucht Wärme als eine der meistgenannten inhaltlichen Grundideen in den Interviews auf. Dies kann unter anderem darauf zurückgeführt werden, dass in chemischen Kontexten Wärmeübertragung und thermische Energie vielfach thematisiert wird, wohingegen sie in biologischen und physikalischen Kontexten als ein Nebenprodukt angesehen wird (STACY et al., 2014). Die angehenden Chemielehrkräfte sind demnach wesentlich fokussierter auf diesen Bereich als Lernende und Lehrende in Studien, die nicht ausschließlich die Chemie in den Blick nahmen. Hinzu kommt, dass die Interviews in den Wintermonaten (November - Januar) durchgeführt wurden. Da die Assoziationen auch situationsabhängig sind, wurde die Wärme, das Heizen und die Heizung dementsprechend oft hinzugezogen. Aus diesem Grund lässt sich die Kategorie *Wärme* mit diesem hohen Anteil in den Interviews abbilden.

Bei der Betrachtung der inhaltlichen Grundideen fällt auf, dass besonders die gesell-

schaftlichen Aspekte, Themen der Energiemündigkeit aber auch die Fortbewegung bei den Studierenden keine hervortretende Rolle einnehmen. Denkbar ist, dass in der aktuellen Lebenssituation der Studierenden die Fortbewegung mit Autos nicht zu den meistgenutzten Arten des Transportes zählt bzw. diese sich noch nicht in hohem Maße mit der Energieversorgung (im eigenen Haus) beschäftigen.

Die Alltagsassoziationen stellen mit ihrer Situations- und Kontextabhängigkeit einen Aspekt des *concept image* zum Begriff Energie dar.

17.1.2. Energieexplikation und zentrale Aspekte der Energie

Die Energieexplikation und die zentralen Aspekte der Energie stellen einen Übergang zwischen der lebensweltlichen und der fachwissenschaftlichen Ebene dar. Man kann von einem Verständnis ausgehen, wenn zwischen den beiden Domänen gewechselt werden kann (vgl. SOLOMON, 1983). Die Energieexplikation der angehenden Chemielehrkräfte erfolgte über vier Hauptansätze:

- Energie wird beispielhaft über eine Energieform erklärt.
- Energie wird als eine Ursache von Prozessen und Phänomenen erklärt.
- Energie wird als ein Abstraktum erklärt.
- Energie wird über die Energieerhaltung erklärt.

Die Erläuterung des Begriffs Energie mittels beispielhafter Energieformen findet sich auch in der Studie von PAHL (2012). Auch dort wurden diverse Energieformen durch die Probanden genannt. Insbesondere sicht- und spürbare Erscheinungsformen werden zur Veranschaulichung herangezogen. Diese Betrachtung der Auswirkungen von Energie findet sich auch im Erklärungsansatz *Ursache*, in dem Energie als Ursache von Prozessen und Phänomenen beschrieben wird bzw. deren Auswirkungen in den Blick genommen werden. Dieser Ansatz wird ebenfalls in der fachdidaktischen Konzeptualisierung *Energie als Fähigkeit, Veränderungen zu bewirken* (vgl. Abschnitt 3.3) sowie als Vorstellung von Schülerinnen und Schülern (vgl. BEHLE & WILHELM, 2017) aufgegriffen. Diese Deutungsweise des Begriffs Energie ist jedoch umstritten (vgl. u.a. OGBORN, 1990). Der Erklärungsansatz tritt zumeist in Kombination mit einer anthropozentrischen Sichtweise auf: Der Mensch benötigt etwas bzw. ein Prozess soll zu einem gewünschten Ergebnis führen. Energie ist die Ursache, damit etwas funktioniert. Die angehenden Chemielehrkräfte nutzen die Erklärungsansätze über beispielhafte Energieformen bzw. die Ursache von Prozessen und Phänomenen, um den Begriff zu veranschaulichen, da dieser als abstrakt angesehen wird. Dies wird durch den Erklärungsansatz *Abstraktum* verdeutlicht. Wenn die Studierenden keine Möglichkeit sehen, die Wortbedeutung auszuführen, beziehen sie sich auf die Abstraktheit. Diese Sichtweise auf Energie findet sich ebenfalls in den Erklärungen von Physiklehrkräften (PAHL, 2012). Bei PAHL (2012) wird dieser Ansatz als *Quidditas* bezeichnet. Im Gegensatz zu dem fachdidaktischen Konzeptualisierungsansatz *Energie als eine abstrakte Bilanzierungsgröße* liegt der Fokus der (angehenden)

17. Interpretation der Ergebnisse

Lehrkräfte in den Studien jedoch nicht auf der mathematischen Ebene. Einheiten, Zahlenwerte und anderweitige numerische Beschreibungen werden selten miteinbezogen. Energie wird eher als etwas Allgegenwärtiges, nicht Greifbares und Gegenstandsloses erläutert. Durch den fehlenden mathematischen Bezug existieren die Erklärungsansätze *Ursache* und *Abstraktum* kohärent nebeneinander. Der kognitive Konflikt von einer abstrakten Bilanzierungsgröße, die einen Prozess verursacht (vgl. Abschnitt 3.3), wird nicht aufgeworfen.

In diesem anwendungsbezogenen Kontext wird die Energieerhaltung nicht explizit thematisiert: Die angehenden Chemielehrkräfte wissen um die Energieerhaltung und setzen diese als wichtigste Erkenntnis im Bereich Energie voraus. Die Erklärung von Energie über die Energieerhaltung findet in Form eines Statements bzw. eines Fundamentalsatzes statt. Die Energieerhaltung wird formal angenommen aber bei konkreten Phänomenen und Prozessen stützt sich die Argumentation auf die Aspekte der Energieumwandlung und vor allem der Energieübertragung (vgl. auch DRIVER & WARRINGTON, 1985). Der Begriff Energieentwertung ist vielen Studierenden nicht bekannt und stößt in seiner Bedeutung auf Ablehnung (vgl. auch TRUMPER 1996, 1997, 1998). Die zukünftigen Lehrenden verbinden mit einer Entwertung einen Verbrauch an Energie, den sie ablehnen. Der faktische Prozess der Energieentwertung durch die Umwandlung verschiedener Energieformen in Wärme ist den angehenden Lehrkräften jedoch bekannt und wird von ihnen mit dem Ausdruck *Energie verlieren* umschrieben (LANCOR 2014a, LANCOR 2014b). Die Studierenden bedienen sich in diesem Fall der *energy loss*-Metapher, um den zentralen Aspekt der Energie zu umschreiben (vgl. Abschnitt 5.1).

Im Vergleich zu PAHL (2012) und der Energieexplikation von Physiklehrkräften zeigten sich in den hier vorgefundenen Ergebnissen deutliche Unterschiede. So definierten die angehenden Chemielehrkräfte Energie kaum bis gar nicht über physikalische Termini wie Kraft oder Spannung. Auch der Konzeptualisierungsansatz der Energie als die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten, war wenig präsent. Dafür können zwei Gründe angeführt werden: Zum einen war den Studierenden bewusst, dass es sich um eine Befragung mit deutlichem Fokus auf den chemischen Aspekten der Energie handelte. Aus diesem Grund stand dieser Aspekt im Vordergrund und nicht der physikalische Zugang. Die Studierenden führten an verschiedenen Stellen in den Interviews aus, dass sie bestimmte Aspekte nicht beherrschen, weil sie der Physik zugeschrieben werden und es sich bei dieser Fachwissenschaft nicht um ihr Zweitfach handelt. Das liefert einen weiteren Hinweis auf die ermittelte Kompartimentalisierung. Die angehenden Chemielehrkräfte differenzieren deutlich zwischen Aspekten der Chemie, anderen naturwissenschaftlichen Disziplinen und der Lebenswelt.

Auch die von WATTS (1983b) und BEHLE und WILHELM (2017) gefundenen alternativen Rahmenkonzepte bei Schülerinnen und Schülern ließen sich - mit Ausnahme der Konzeptualisierung von Energie als Ursache - bei den Interviewten nicht finden.

17.1.3. Vielfalt der Assoziationen und Erklärungsansätze

Betrachtet man die Ergebnisse über alle Aspekte und Differenzierungsmerkmale hinweg, so lässt sich ein großes Repertoire an Assoziationen und Erklärungsansätzen finden. Es hat sich gezeigt, dass Lernende einen Gegenstand eher durch Vielfalt als durch Eindeutigkeit beschreiben (HARTMANN, 2004). Diese Befunde decken sich mit Ergebnissen von Studien, die bei Schülerinnen und Schülern durchgeführt wurden. Demnach müssen Energiekonzepte nicht exklusiv vorliegen, sondern es existieren verschiedene Überlappungen (BOYES & STANISSTREET, 1990). Energie hat verschiedene Wortbedeutungen im Alltag und diversen fachlichen Kontexten und wird als Oberbegriff für verschiedene Themenbereiche herangezogen. Assoziationen können dementsprechend diversen Kontexten entnommen werden und sind auf diesem Grund vielfältig. Im Bereich der Energieexplikation ist diese Argumentation jedoch nicht ausreichend, da eine Definition des konkreten Begriffs Energie nicht ausschließlich situations- und kontextabhängig ist und einheitlicher ausfallen müsste. Ursachen für die Heterogenität sind individuelle und strukturelle Schwierigkeiten. Energie als ein Konzept ist abstrakt und nur in verschiedenen, kontextabhängigen Erscheinungsformen sichtbar. Allgemeine Veranschaulichungen und damit auch Erklärungsansätze beruhen immer auf Teilaspekten, die der persönlichen mentalen Repräsentation entsprechen. Diese Aspekte erschweren es den Studierenden, adäquate Erklärungsansätze zu finden. Auf struktureller Ebene kritisieren die angehenden Lehrenden, dass die Vor- und Nachteile einer Energiedefinition bzw. die Möglichkeit zu einer Energieexplikation zu gelangen weder im fachwissenschaftlichen noch im fachdidaktischen Studium intensiv diskutiert wurden bzw. werden. Ebenfalls fehlt ihnen ein Gesamtüberblick über Themen mit Energiebezug und sie bemängeln eine zu starke Konzentration auf einzelne separat betrachtete Teilaspekte. Vor dem Hintergrund dieser genannten Schwierigkeiten lassen sich die unterschiedlichen Erklärungsansätze deuten. Für die angehenden Chemielehrkräfte bereitet der Umstand, dass das Wort Energie im Alltag auch mit Bedeutungen außerhalb des naturwissenschaftlichen Kontextes versehen ist, keine sichtlichen Probleme. Sie können in dieser Hinsicht klar zwischen Alltags- und Fachsprache unterscheiden.

17.1.4. Struktur der mentalen Repräsentationen von Energie

Unter Annahme des Pluralismus der Konzepte liegen bei den angehenden Chemielehrkräften für den eigenständigen Begriff Energie vor allem zwei Konzeptstrukturen zugrunde:

- **Beispiele:**

Energie wird anhand von Beispielen visualisiert, in der sie für den Menschen wahrnehmbar auftritt bzw. eine Wirkung hervorruft. Das sind zum einen die verschiedenen Energieerscheinungsformen, die aufgezählt werden und zum anderen unterschiedliche Prozesse und Phänomene, bei denen die Energie als Ursache gesehen wird.

17. Interpretation der Ergebnisse

- **Eigenschaften:**

Die zentralen Aspekte der Energie werden als gemeinsame Unterscheidungsmerkmale aller Manifestationen von Energie angesehen. Die Energieerhaltung bildet das Fundament, anhand derer die Eigenschaften von Energie in einen kausalen Zusammenhang gesetzt werden (Fundamentalsatz).

Die zugrundeliegenden Konzepte sind nicht nach Prototypen oder Idealen strukturiert, da Energie nicht als etwas Gegenständliches verstanden wird. Das Fehlen einer einheitlichen Definition von Energie (vgl. FEYNMAN et al., 2015) verhindert ebenfalls die Ausbildung von Definitionsstrukturen und Theorien. Das manifestiert sich in der Beschreibung von Energie als ein Abstraktum.

17.2. Energie in verschiedenen Fachbereichen und -kontexten

Die Struktur der mentalen Repräsentationen von Energie zeigt, dass die angehenden Chemielehrkräfte ein grundlegendes Verständnis von Energie in einem von konkreten naturwissenschaftlichen Disziplinen und Kontexten losgelöstem Setting aufweisen. Jedoch weisen Ergebnisse aus anderen Untersuchungen darauf hin, dass das Energieverständnis von den einzelnen wissenschaftlichen Kontexten beeinflusst wird (LANCOR, 2015; PARK und LIU, 2016).

17.2.1. Energie im naturwissenschaftlichen Unterricht

In Bezug auf die Energie in den verschiedenen Naturwissenschaften kann bei den angehenden Lehrkräften ein kategoriales und eindimensionales Denken identifiziert werden. Den jeweiligen Unterrichtsfächern werden charakteristische Aspekte und Begriffe zugewiesen, die dann exklusiv verwendet werden. Das wird vor allem dann deutlich, wenn Energieaspekte einem anderen Fachgebiet mit den Worten „Das gehört nicht zu einem meiner Fächer“ zugewiesen werden. Die fachübergreifende Komponente bzw. ein disziplinenübergreifendes Verständnis der Energie findet sich selten. Dieser Aspekt muss besonders im Hinblick auf die Forderung nach einem Energiebezug im naturwissenschaftlichen Unterricht über die Disziplinengrenzen hinweg (vgl. OPITZ et al., 2019) diskutiert werden. Die Ergebnisse der Energiebildungsstudie, die in den Lehrplänen einen Fokus auf der Fachsystematik feststellte, lässt sich hier fortführen. Die Studierenden verbleiben in ihrer Fachsystematik und haben keinen fächerübergreifenden Überblick über Fachkontexte mit einem Energiebezug.

Die Hälfte der Teilnehmenden dieser Studie studierte zwei naturwissenschaftliche Fächer. Von den übrigen finden sich nur zwei Studierende mit Politik- oder Sozialwissenschaften. Das Studienfach Geografie war in der Stichprobe nicht vertreten. Auf Grundlage des gezeigten Fächerdenkens der Studierenden kann so auch die insgesamt seltene Thematisierung von Energiewende und Energiemündigkeit im Kontext der Energie erklärt werden. Die angehenden Chemielehrkräfte sehen dieses Thema nicht als ihrer Domäne zugehörig

an und erwähnen es nicht bzw. weisen weniger Assoziationen dazu auf. Die nicht vorhandene Zuordnung gesellschaftlicher Energieaspekte zum Chemieunterricht kann weiter damit erklärt werden, dass die Inhalte der Bildungspläne den Studierenden nicht konkret bekannt sind. So ordnen sie ausschließlich Themenbereiche zu, die sie intuitiv mit dem Bereich Chemie verbinden. Im Vordergrund stehen die klassischen Bereiche chemische Reaktionen, Elektrochemie und Thermodynamik. In den Hintergrund rückten Verknüpfungen zur submikroskopischen Ebene in allen Bereichen sowie die gesellschaftlichen Aspekte mit Alltagsbezug.

17.2.2. Energie und chemische Bindungen

Betrachtet man Energie in Bezug auf chemische Bindungen, bewegt man sich zumeist auf atomarer Ebene. Im fachlichen Kontext des Verständnisses von Energie erzeugt dieser die größten Schwierigkeiten (PARK & LIU, 2016). Dementsprechend finden sich in diesem Fachkontext oftmals Prozesse, Phänomene und zugehörige Fachbegriffe, bei denen *personal concept definition* und *formal concept definition* nicht übereinstimmen.

Bindungsenergie Die in dieser Untersuchung gefundenen Ergebnisse zur Bindungsenergie lassen sich mit Ergebnissen aus diversen anderen Studien (vgl. u.a. BARKER und MILLAR, 2000, STACY et al., 2014) in Verbindung bringen. Die angehenden Lehrkräfte nehmen zwei gegensätzliche Positionen ein. Sie argumentieren entweder, dass die Bindungsenergie bei der Bindungsbildung oder beim Bindungsbruch freigesetzt wird. In Kombination mit dieser zweiten Argumentation wird die Aussage getroffen, dass Energie in der Bindung gespeichert ist (*BE*). Die Aussagen weisen darauf hin, dass diese Studierenden die Bindungsenergie als eine Größe betrachten, die den (energetischen) Zustand einer Bindung beschreibt. Bindungsenergie wird nicht als die Energieänderung betrachtet, die mit der Bindungsbildung bzw. -spaltung einhergeht. In diesem Zusammenhang fokussieren sich die zukünftigen Lehrenden vor allem auf eine statische Beschreibung, anstatt die Zustandsänderung in den Blick zu nehmen (vgl. auch STACY et al., 2014). STACY et al. (2014) vermuten, dass ein Wechsel von einem *heat-as-substance*-Modell hin zu einem *heat-as-process*-Modell Einfluss auf das Verständnis der Bindungsenergie hat. Eine stoffliche und somit zustandsorientierte Wärmeverstellung korrespondiert demnach mit der zustandsorientierten Vorstellung zur Bindungsenergie.

Gitterenergie Bei der Betrachtung der Gitterenergie finden sich ähnliche alternative Konzepte wie bei der Bindungsenergie. Es treten gegensätzliche Positionen auf, die entweder eine Energiefreisetzung bei der Bildung eines Ionengitters oder beim Aufbrechen des Gitters definieren. Die letztgenannte Argumentation geht immer mit dem Verständnis von Gitterenergie als im Ionengitter gespeicherte Energie einher (*GE*). Diese Argumentation findet sich auch für die Bindungsenergie (*BE*). Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Auftreten dieser alternativen Konzepte (vgl. Abschnitt 15.4).

17. Interpretation der Ergebnisse

Es werden von den Studierenden aber weder explizit noch implizit Verbindungen zwischen den beiden Begriffen gezogen. Es ist denkbar, dass die Definitionsansätze aus den Fachbegriffen selbst erfolgen bzw. auf einem intuitiven Verständnis beruhen. Bei allen betrachteten Fachbegriffen handelt es sich um Komposita bestehend aus zwei Wortteilen. Jedes der Glieder hat eine eigene Bedeutung, auf die zurückgegriffen werden kann. Betrachtet man sich die Begriffe Bindungsenergie und Gitterenergie, so kann man übersetzen:

- Bindungsenergie $\hat{=}$ Energie (in) der Bindung
- Gitterenergie $\hat{=}$ Energie in dem Gitter bzw. Energie des Gitters

Bindung und Gitter symbolisieren einen Gegenstand, Energie hingegen wird zur Beschreibung deren Zustandes herangezogen. Diese gegenständliche Konzeptualisierung steht jedoch im Kontrast zu dem Prozesscharakter, den die Fachbegriffe eigentlich aufweisen.

Die Studierenden sind sich oftmals nicht sicher, ob Bindungsenergie bzw. Gitterenergie bei der Bindungsbildung freigesetzt oder benötigt wird. Sie beziehen in den gedanklichen Prozess ausschließlich die makroskopische Ebene mit ein. Auffällig war dies insbesondere bei der Betrachtung der Salzlösungsprozesse. Die zukünftigen Lehrenden gaben an, dass es je nach Salz unterschiedlich ist, ob die Gitterenergie freigesetzt oder aufgewendet wird. Die Unterschiede gelte es dann durch die jeweilige Wärmeübertragung zu beobachten. Den angehenden Chemielehrkräften ist nicht bewusst, dass das auf makroskopischer Ebene zu beobachtende Phänomen Wärme aus einer Kombination bzw. einem Zusammenspiel verschiedener Prozesse auf submikroskopischer Ebene resultiert. Diese Darstellungsebene wird bei der Definition und Erläuterung der Fachbegriffe nicht in den Blick genommen. Diese Ergebnisse werden durch Untersuchungen untermauert, in denen gezeigt wurde, dass Lernende vor allem Probleme in den Bereichen der Chemie aufweisen, in denen die an chemischen Phänomenen beteiligten Entitäten nicht wahrnehmbar sind und deren Interaktionen sich auf submikroskopischer Ebene abspielen (nach TAN et al., 2008).

Ionisierungsenergie Das fachlich adäquate Verständnis von Ionisierungsenergie als diejenige Energie, die mindestens benötigt wird, um ein Elektron aus dem Atom zu entfernen, liegt bei vielen angehenden Lehrkräften vor. Es existiert eine starke Fokussierung auf die äußere Schale der Atome und damit auf das BOHR'sche Atommodell. Diesen Umstand konnte TABER (2003) ebenfalls bei Lernenden nachweisen. Er stellte jedoch fest, dass neben diesem adäquaten Statement weitere Aussagen zur Ionisierungsenergie von den Befragten ausgewählt wurden, die dem fachlich anerkannten Konzept widersprachen. Auch in dieser Studie konnte die Koexistenz von fachlich anerkannten sowie alternativen Konzepten nachgewiesen werden: Zum einen tauschen die Studierenden die Begriffe Atom, Molekül und Gitter bei der Definition der Ionisierungsenergie aus (*IE3*). Zum anderen finden sich wie bei den *personal concept definitions* von Bindungs- und Gitterenergie bei der Ionisierungsenergie die Betrachtungsweise, dass es situationsabhängig

ist, ob Energie bei der Entfernung des Elektrons aus dem Atom benötigt oder freigesetzt wird (*IE1*). Die Ionisierungsenergie wird als benötigte Energie bei der Aufnahme eines Elektrons angegeben, wenn die Studierenden vermuten, dass dies nur *schwer* zu erreichen ist. Im Gegensatz dazu wird die Ionisierungsenergie als die abgegebene Energie bei der Aufnahme eines Elektrons angesehen, wenn die Aufnahme des Elektrons *leicht* fällt. Der Ausdruck *leicht fallen* bezieht sich dabei auf das Erfüllen der Oktett-Regel bzw. das Erreichen der Edelgaskonfiguration, was mit Stabilität gleichgesetzt wird. Auch wenn sich die zukünftigen Lehrenden des endothermen Prozesses bei der Ionisierung bewusst sind, nehmen sie bei einem besonders *stabilen* Produkt einen exothermen Prozess an (vgl. auch TABER, 2003). Dass das Konzept der chemischen Stabilität auf einen bestimmten Kontext bezogen werden muss, wird von den Studierenden nicht erkannt. Ein Ergebnis, das auch TABER (2003) feststellen konnte. Anders als bei der Definition von Bindungs- und Gitterenergie wird der Begriff Ionisierung nicht zur Zustandsbeschreibung genutzt, sondern wird mit einem Prozess in Verbindung gebracht.

Ebenso beschreiben die angehenden Chemielehrkräfte die Ionisierungsenergie als den Energieumsatz, der zum Erreichen einer vollbesetzten äußeren Schale bzw. zur Erfüllung der Oktett-Regel genutzt wird (*IE2*). TABER (2001) bezeichnete die Oktett-Regel als eine *rule of thumb*, eine Erfahrungsregel oder Faustformel, die die Lernenden oftmals zu stark verallgemeinern. Sie ist ein leitendes Motiv in den Erklärungsansätzen der Studierenden und wird als eine allgemeine Begründung verwendet, dass eine chemische Reaktion stattfindet bzw. freiwillig abläuft.

COLL und TREAGUST (2002) zeigten, dass fortgeschrittenen Studentinnen und Studenten klare Vorstellungen der Oktett-Regel besitzen und die von ihnen bevorzugten mentalen Modelle stabil sind.

Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse können die oben genannten Erkenntnisse gedeutet werden. Da die Oktett-Regel ein dominierendes und stabiles mentales Konzept der angehenden Chemielehrkräfte darstellt, wird diese übergeneralisiert und als Grundlage der Erklärungsansätze zu chemischen Bindungen hinzugezogen.

Elektronenaffinität Elektronenaffinität und Ionisierungsenergie werden mit atomaren Trends im Periodensystem in Verbindung gebracht. SALAME et al. (2011). stellten in einer Studie fest, dass die Studierenden kein konzeptuelles Verständnis von Trends im Periodensystem besitzen. Auch fachlich adäquate Aussagen zeugten eher von Auswendiglernen als von einem wissenschaftlichen Verständnis des chemischen Hintergrundes. Ähnliches konnte in dieser Studie festgestellt werden. Die angehenden Chemielehrkräfte vergleichen die Elektronenaffinität mit der Elektronegativität, setzen die Ausdrücke in eine direkte Abhängigkeit zueinander und nutzen diese teilweise synonym (*EA2*). Sie betrachten dabei nicht den größeren Kontext und vermischen die Betrachtung von einzelnen Atomen, Molekülen und Atomverbänden.

Zur Interpretation der Antworten der Studierenden werden ebenfalls die Fachbegriffe als Komposita in den Blick genommen:

- Ionisierungsenergie $\hat{=}$ Energie (bei) der Ionisierung

17. Interpretation der Ergebnisse

- Elektronenaffinität $\hat{=}$ Affinität (Anziehung) zu Elektronen

Anders als bei der Bindungs- und Gitterenergie wird dem Wort Ionisierung ein Prozess zugeschrieben. Demnach wird auch der Ionisierung als Kompositum ein prozesshafter Charakter beigemessen: Ein Vorgang - die Ionisierung -, bei dem etwas (Aufnahme oder Abgabe) mit der Energie passiert. Auch hier kann von einem teilweise intuitiv geprägten Verständnis der Ionisierungsenergie, abgeleitet aus den Wortbestandteilen, ausgegangen werden.

Ebenso finden sich bei der Elektronenaffinität Hinweise auf eine Funktionsableitung aus deren Wortbestandteilen. Das liegt insbesondere daran, dass die Elektronenaffinität fast ausschließlich als eine Eigenschaft bzw. ein Bestreben betrachtet und nicht mit der Energie in Verbindung gebracht wurde (*EA1*). Es stand eine animistische Deutungsweise im Vordergrund: Die Atome *wollen* ein Elektron aufnehmen oder haben eine *Elektronenliebe*. Sie *streben* nach einem weiteren Elektron, weil sie die Elektronenkonfiguration erreichen *wollen*. Eine Ableitung dessen erfolgt durch den Wortteil der Affinität. Da in den Wortbestandteilen des Fachbegriffes das Wort Energie nicht vorhanden ist, wird keine Verbindung hergestellt.

Verständnisprägende Aspekte zu Energie und chemischen Bindungen

Aus den Interpretationen der einzelnen Aspekte zu chemischen Bindungen lassen sich vier allgemeine Aussagen ableiten:

- Für die angehenden Chemielehrkräfte ist der Energiebezug auf submikroskopischer Ebene schwerer zu konzeptualisieren als auf makroskopischer Ebene. Problematisch ist vor allem der Aspekt der fehlenden Beobachtbarkeit. Aus diesem Grund werden makroskopisch, erfassbare Phänomene auf einzelne Größen zurückgeführt und nicht als Zusammenspiel verschiedener Prozesse und Größen auf submikroskopischer Ebene erfasst.
- Die Bedeutung von Fachbegriffen mit Energiebezug, die zumeist Komposita darstellen, wird aus der Bedeutungszuschreibung der einzelnen Wortteile abgeleitet. Dies ist ein Indikator für ein intuitiv geprägtes Verständnis der einzelnen Aspekte.
- Es existiert kein grundlegendes Konzept zum Energiebezug bei chemischen Bindungen. Allgemeine Regeln (Energiefreisetzung bei Bindungsbildung, Energiezuführung zum Bindungsbruch) sind nicht bekannt und forcieren alternative Konzepte zu einzelnen Größen. Damit einher geht der Konflikt zwischen Zustands- und Prozessorientierung, der bei den angehenden Chemielehrkräften nicht gelöst ist.
- Das Konzept der Stabilität ist den angehenden Chemielehrkräften nicht vollumfänglich bekannt. Die Nutzung als Faustregel führt zu einer (unzulässigen) Verallgemeinerung auf verschiedene Phänomene, die auch die Energie betreffen.

Diese grundlegenden, prägenden Aspekte führen zu Konzeptualisierungen im Bereich der chemischen Bindungen, die sich in den gefundenen alternativen Konzepten zu einzelnen Größen und Aspekten verfeinert ausdrücken.

17.2.3. Energie in der Thermodynamik

Temperatur Der Rückgriff auf Alltagserfahrungen ist der klar dominierende Aspekt innerhalb der Definitionsansätze. Die Temperatur wird als eine Maßeinheit bzw. als ein Messwert klassifiziert, der auf dem Thermometer abgelesen werden kann und Wärme quantifiziert (DUIT, 1991) (*TW1*). Die angehenden Lehrkräfte zeigen sich mit dem Temperaturbegriff aus dem Alltag vertraut und nutzen diesen intuitiv (*TW2*). Sie weisen dabei jedoch teilweise sehr eingeschränkte fachlich adäquate Vorstellungen auf (vgl. auch ERICKSON & TIBERGHEN, 1985) und sind auf die Probleme und Schwierigkeiten, die in diesem Bereich auftreten können, wenig sensibilisiert. Das wurde vor allem durch die fehlende Metakommunikation bei der Temperaturdefinition deutlich: Es besteht bei den Studierenden eine Sicherheit, alles Notwendige zu dem Begriff zu wissen. Das steht im Gegensatz zu den vorhandenen alternativen Konzepten. Auf makroskopischer Ebene fehlt oftmals die Betrachtung der thermodynamischen Interaktion sowie der Einbezug des thermischen Gleichgewichtes. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen die Untersuchungen, die bei Schülerinnen und Schülern (DUIT, 1999) aber auch bei Studierenden verschiedener Studienjahre (JASIEN & OBEREM, 2002) durchgeführt wurden. Die angehenden Chemielehrkräfte verweisen bei ihren Erklärungen der Temperatur weder auf die submikroskopische Ebene noch nutzten sie das Teilchenmodell zur Erklärung des Fachbegriffs (DUIT, 1991, BARKE, 2006). Das zeigte sich auch bei einem Gedankenexperiment im Zusammenhang des Eis-Wasser-Gemisches (vgl. Abschnitt 12.1). BARKE (2006) beschrieb die Ergebnisse bei der Befragung von Schülerinnen und Schülern und stellte fest, dass diese das Experiment auf Grundlage der Vorstellung ‚Je mehr Wärmezufuhr desto höher die Temperatur‘ betrachteten. Dieser Umstand ist bei den Studierenden kaum zu beobachten, denn die Temperaturkonstanz bei einer Aggregatzustandsänderung ist bekannt. Die Schwierigkeit liegt eher in der adäquaten Begründung dieses Phänomens. Als Ursache kann auch hier die fehlende Vorstellung zum thermischen Gleichgewicht aufgeführt werden.

Wärme Der Begriff Wärme wird von den zukünftigen Lehrenden als ein Alltagsbegriff mit Deutungsschwerpunkt auf dem subjektiven Wärmeempfinden angesehen (*TW3*). DUIT (1999) stellte fest, dass sich die Temperatur- und Wärmedefinition von Schülerinnen und Schülern immer in einem Spannungsfeld zwischen naturwissenschaftlichem Konzept und Alltagsvorstellung bewegen. Gleiches kann bei den angehenden Chemielehrkräften beobachtet werden: Die Wärme wird zum einen als subjektiv empfunden und die Temperatur als zugehöriger wissenschaftlicher Begriff gedeutet. Im fachlichen Kontext wird die Wärme zum anderen von einer Vielzahl der Probanden als eine Energieform

17. Interpretation der Ergebnisse

angesehen und als eine der Energieformen benannt, die bei chemischen Reaktionen aufgenommen oder abgegeben wird.

Im Gegensatz zu der Temperaturdefinition sind sich die Studierenden bei der Wärmedefinition durchaus bewusst, dass es Unterschiede zwischen der alltäglichen Nutzung und derjenigen im Fachkontext geben könnte; das zeigt auch die Metakommunikation in diesem Bereich. Sie rücken bei der Problematisierung vor allem die Unterschiede zwischen den Begriffen Wärme, Wärmeenergie und thermischer Energie in den Vordergrund. Neben dieser Erkenntnis ist das Verständnis der Studierenden von der Vorstellung geprägt, dass die Wärme in Körpern gespeichert werden kann (*TW4b*). SCHECKER ET AL. (2018) machen dafür unter anderem missverständliche naturwissenschaftliche Begriffe, wie die Wärmekapazität verantwortlich.

Wärmekapazität Tatsächlich zeigt sich in dieser Studie, dass die Studierenden unter der Wärmekapazität das Fassungsvermögen eines Stoffes verstehen (*TW5*) und somit zu der Vorstellung von Wärme als Zustandsgröße gelangen (*TW4a*). Wie auch im vorangehenden Abschnitt kommt diese Deutungsweise durch den Wortbestandteil Kapazität zustande. Am Ende der Schulzeit können Schülerinnen und Schüler nicht zwischen den angesprochenen Begrifflichkeiten differenzieren (DUI, 1991, DUI, 1999, BARKE, 2006, SCHECKER und DUI, 2018) (vgl. auch Abschnitt 6.4). Wie JASIEN und OBEREM (2002) feststellen konnten, zieht sich diese Problematik bis in die späten Studienjahre hinein, obwohl die Probanden Studienfächer belegten, für die ein Verständnis der thermodynamischen Größen eigentlich unumgänglich ist. Die Analysen in dieser Studie zeigen korrespondierende Ergebnisse.

Enthalpie Des Weiteren wurde die physikalische Größe Enthalpie näher beleuchtet. Die angehenden Chemielehrkräfte nutzen ausschließlich einen Definitionsansatz, ohne die verschiedenen Bedingungen an das System zu berücksichtigen. Daraus lässt sich folgern, dass ein exklusiver Enthalpiebegriff vorliegt. KAMEN NILSSON und NIEDDERER (2014) zu der Erkenntnis, dass die Studierenden mantraartig die Enthalpieänderung als Wärme bei konstantem Druck beschrieben, so ließ sich in dieser Studie ein anderes Mantra auffinden: Enthalpie ist die (Wärme-) Energie, die bei einer chemischen Reaktion aufgenommen bzw. abgegeben wird. In diesem Satz sind die verschiedenen Schwierigkeiten der angehenden Lehrkräfte, die sich in alternativen Konzepten ausdrücken, zusammengefasst.

- Die Definition der Enthalpie orientiert sich an der Definition der Reaktionsenthalpie (*EH5*).
- Es wird kein Bezug zu System und Umgebung sowie zu den zugehörigen Bedingungen und Zustandsgrößen genommen.
- Es findet eine Gleichsetzung von Enthalpie und Enthalpieänderung statt (*EH1*, *EH3*).

- In die Definition wird die Wärme und die Energie miteinbezogen.

Eines der größten Probleme der Studierenden im Bereich der Enthalpie ist die fehlende Differenzierung zwischen der Enthalpie und der Enthalpieänderung. Erschwerend kommt hinzu, dass den angehenden Lehrkräften diese Problematik nicht bewusst ist. In den Interviews fehlte jedwede Art von Metakommunikation. Ähnliche Schwierigkeiten konnten auch in anderen Studien bei Studierenden festgestellt werden (vgl. u.a. CARSON und WATSON, 1999 und NILSSON und NIEDDERER, 2014). Dort traten unvollständige Definitionen der Enthalpieänderung als häufigste alternative Konzepte auf. Die Studierenden verstehen die Enthalpieänderung nicht als einen eigenständigen Fachbegriff, sondern weisen entsprechende Prozesse dem Fachbegriff Enthalpie zu. Eine Differenzierung zwischen beiden Ausdrücken findet nicht statt.

Dieses alternative Konzept kann mit dem Verständnis von Wärme verknüpft werden. Die Wärme wird als eine Zustandsgröße und nicht als eine Prozessgröße definiert (*TW4a*). Aus diesem Grund wird die Wärmefreisetzung mit der Enthalpie (Zustand) und nicht mit der Enthalpieänderung (Prozess) gleichgesetzt. Ebenso kann die vorhandene Vorstellung von Wärme als Energieform mit dafür verantwortlich sein, dass die Enthalpie als Energieform betrachtet wird. Die angehenden Chemielehrkräfte folgen der Argumentationskette: Enthalpie ist die (Reaktions-)Wärme und die Wärme ist Energie (vgl. auch NILSSON & NIEDDERER, 2014) (*EH3*, *EH4*).

CARSON & WATSON (1999) stellten außerdem heraus, dass diese Konzepte bei den Studierenden stabil sind und selbst nach dem Besuch einer spezifischen Vorlesung zur Thermodynamik noch nachgewiesen werden konnten. Dies kann als Begründung dafür herangezogen werden, dass die angehenden Chemielehrkräfte gegen Ende ihrer universitären Ausbildung immer noch diese Vorstellungen der Enthalpie vertreten.

Entropie In Bezug auf die Definition des Begriffs Entropie konnte bei den angehenden Chemielehrkräften ein Konsens ausgemacht werden. Die meisten Studierenden nutzen eine Metapher (vgl. u.a. LAMBERT, 2002; CARSON und WATSON, 2002; HAGLUND, 2017): Entropie ist die Unordnung (eines Systems) (*ES2*). Dabei beschreiben die Studierenden die Entropie mittels der Metapher, bleiben aber sonst sehr vage in ihren Antworten. Auch die Bezugnahme zu den Begriffen System und Umgebung findet selten statt. Kommt es zu einer näheren Erläuterung, dann wird die Entropieänderung als Zustandsänderung in den Blick genommen. Auch bei diesem fachwissenschaftlichen Erklärungsansatz findet ein Rückbezug auf die Begriffe Unordnung und Chaos statt. Die kinetisch-statistische Deutungsweise in Form von Mikro- und Makrozuständen ist nicht im Fokus. Es wird deutlich, dass die zukünftigen Lehrenden nicht zwischen den verschiedenen Darstellungsebenen der chemischen Inhalte wechseln, was das Verständnis von Entropie stark prägt. Die Studierenden verbinden mit dem Fachbegriff und deren Deutungsweise als Unordnung etwas Alltagsnahes und Gegenständliches. Durch diese Assoziation ist das *concept image* geprägt. Wichtige Aspekte wie die Differenzierung von offenem und abgeschlossenem System, submikroskopischer sowie statistischer Deutung, den Formelzeichen und (SI-) Einheiten, die Teil der *formal concept definition* sind, werden nicht in den Blick

17. Interpretation der Ergebnisse

genommen. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch CARSON und WATSON (2002). Im Gegensatz zu deren Studie ordneten die angehenden Chemielehrkräfte in der hier vorliegenden Arbeit die Entropie jedoch selten als eine Energieform ein (*ES1*).

Freie Enthalpie Die freie Enthalpie wird von den Studierenden als eine Form der Energie angesehen, insbesondere wenn eine Gleichsetzung mit der (Reaktions-) Enthalpie und somit mit der (Reaktions-) Wärme erfolgt. Die angehenden Chemielehrkräfte leiten die Bedeutung des Begriffs aus den einzelnen Bestandteilen ab. Mit dem Wortbestandteil Enthalpie bringen sie wie oben beschrieben, den Energieumsatz bei einer chemischen Reaktion in Verbindung. Dementsprechend argumentieren sie, dass die freie Enthalpie, die bei einer chemischen Reaktion frei werdende Energie ist (*EG2*). Weder bei GABRIELA et al. (1990) noch bei CARSON und WATSON (2002) findet sich dieser Zusammenhang zu chemischen Reaktionen. Auch die freie Enthalpie wird als eine Energieform eingeordnet, was auf die gleiche Beweisführung zurückzuführen ist (vgl. NILSSON & NIEDDERER, 2014) (*EG1*). Neben den inhaltlichen Schwierigkeiten besteht eine weitere Problematik in der Kenntnis des Fachbegriffs. Teilweise war der Begriff nicht oder nur unter dem Begriff GIBBS-Energie bekannt.

Verständnisprägende Aspekte zu Energie und Thermodynamik

Die Thermodynamik bei der Betrachtung der Energie im Chemieunterricht ein wichtiges Themenfeld. Die angehenden Chemielehrkräfte müssen sich mit verschiedenen thermodynamischen Begrifflichkeiten, deren formalen Definitionen und deren Verhältnis zur Energie auskennen. Schwierigkeiten bereiten dabei, das zeigten verschiedene Studien (vgl. u.a. NILSSON und NIEDDERER, 2014; CARSON und WATSON, 1999; CARSON und WATSON, 2002; THOMAS und SCHWENZ, 1998), vor allem zwei Aspekte:

1. Viele der thermodynamischen Begrifflichkeiten sind unanschaulich und sehr abstrakt. Die Studierenden versuchen, diese mit vorhandenen, bekannten Konzepten zu verbinden.
2. Einige Begriffe werden sowohl im naturwissenschaftlich fachlichen Kontext als auch in der Alltagssprache (mit einer anderen Bedeutungszuschreibung) genutzt. Aus diesem Grund steht die naturwissenschaftliche Deutungsweise oftmals im Hintergrund und führt zu alternativen Vorstellungen.

Die verständnisprägenden Merkmale der einzelnen Fachbegriffe gestalten sich wie folgt:

- **Wärme und Temperatur**

Beide Begriffe sind den zukünftigen Lehrenden aus dem Alltag bekannt und vertraut. Dadurch werden Alltags- und Fachkonzept nicht voneinander abgegrenzt. Es kommt zu Überschneidungen der mentalen Repräsentationen beider Sachverhalte.

Des Weiteren beeinflussen die fehlenden Vorstellungen zum thermischen Gleichgewicht die Konzeptualisierung der Temperatur und Wärme.

- **Enthalpie**

Es existieren verschiedene fachliche Konzepte in Verbindung mit Wörtern ähnlicher Bedeutung, die ausschließlich von den Bedingungen an das zugehörige System abhängig sind. Durch die Nichtberücksichtigung der Bedingungen durch die Studierenden werden verschiedene fachliche Aspekte gleich konzeptualisiert. Ebenso findet durch die Gleichsetzung der Begriffe Enthalpie und Enthalpieänderung keine Unterscheidung der Begriffe statt.

- **Entropie**

Die mentale Repräsentation zum Wort Entropie ist nicht fachlich geprägt, sondern baut sich fast ausschließlich auf der Unordnungs-Metapher und den damit verbundenen Alltagsvorstellungen auf. Die Nennung der Metapher als ein Beispiel für Entropie stellt die einzige Konzeptstruktur dar und kann von den angehenden Lehrkräften nicht durch Definitionsstrukturen, Theorien oder Eigenschaften ergänzt werden.

- **Freie Enthalpie**

Freie Enthalpie wird von den Studierenden über die Bedeutung und den Assoziationen zu den einzelnen Wortbestandteilen konzeptualisiert und mit dem Energieumsatz bei chemischen Reaktionen in Verbindung gebracht.

17.2.4. Energie und chemische Reaktionen

Energiediagramme allgemein Die Betrachtung der Vorstellungen und Konzepte angehender Chemielehrkräfte zu Energie bei chemischen Reaktionen erfolgte auf Grundlage von Energiediagrammen. Allgemein konnte dabei festgestellt werden, dass bei der Beschreibung eines Energiediagrammes vor allem die Koordinatenachsen, der gesamte zeitliche Verlauf der chemischen Reaktion sowie der sich einstellende Übergangszustand vernachlässigt werden. Der Fokus der Studierenden liegt vor allem auf der charakteristischen Energiedifferenz von Edukten und Produkten, der Aktivierungsenergie sowie auf dem grafischen Reaktionsverlauf, dem keine zeitliche Komponente zugesprochen wird. Ähnliche Problematiken in diesem Zusammenhang fanden sich auch in verschiedenen Studien (vgl. CAKMAKCI und LEACH, 2005, CAKMAKCI et al., 2006, CAKMAKCI, 2010). Besonders auffällig ist der Unterschied in der Häufigkeit der Thematisierung von Aktivierungsenergie und Übergangszustand. Beide Aspekte sind inhaltlich miteinander verknüpft und weisen eine energetische Komponente auf. Dennoch ist fast ausschließlich die Aktivierungsenergie bei den Probanden präsent.

Bei dem theoretischen Konzept Übergangszustand zeigt sich ein Phänomen, das auch schon im Zusammenhang mit der Elektronenaffinität identifiziert werden konnte: Der dem theoretischen Konzept zugeordnete Begriff Übergangszustand enthält nicht den

Wortbestandteil Energie. Dadurch lässt sich der energetische Zusammenhang nicht sprachlich ableiten, sondern kann ausschließlich auf fachlicher Basis erfolgen. Dies findet bei den angehenden Chemielehrkräften jedoch seltener statt.

Energiediagramme exothermer und endothermer Reaktionen Die Beschreibung der Energiediagramme von exothermen und endothermen Reaktionen durch die Studierenden erfolgt auf zwei Ebenen. Zum einen wird der Fokus auf den Anfangs- und Endzustand des jeweiligen Reaktionstyps und die zugehörigen Energieniveaus bzw. die daraus resultierende Energiedifferenz gelegt. Bei dieser Charakterisierung treten keine Schwierigkeiten auf. Zum anderen illustrieren die Studierenden den grafischen Reaktionsverlauf, der in Energiediagrammen dargestellt wird. Bei der Darstellung exothermer Reaktionen treten dabei deutlich weniger Probleme als bei derjenigen von endothermen Reaktionen auf. Die Fehlerquelle liegt vor allem im Bereich der Steigung der Energiekurve sowie der Rolle der Aktivierungsenergie. Der Grund für diese Problematik spiegelt sich in den Erfahrungen des Alltags und des Schulunterrichts wider. In beiden Gebieten treten exotherme Reaktionen wesentlich häufiger auf und werden dementsprechend eher wahrgenommen und thematisiert. Aus diesem Grund haben die zukünftigen Lehrenden ein passendes Bild vor Augen, sodass die Beschreibung eines Energiediagramms - ohne eine zugehörige Abbildung aus der Vorstellung heraus - keine größere Herausforderung darstellt. Anders verhält es sich bei der Beschreibung eines Energiediagramms einer endothermen Reaktion. Diese charakterisieren die angehenden Lehrkräfte häufig ausschließlich als die Umkehr- bzw. Rückreaktion einer exothermen Reaktion. Da sie in Alltag und in der Schulchemie seltener vorkommt, ist dieser Reaktionsverlauf für die Studierenden weniger präsent. Die angehenden Chemielehrkräfte können zwar den Anfangs- und Endzustand korrekt wiedergeben, aber den Reaktionsverlauf nicht visualisieren und beschreiben (vgl. Abbildung 13.1). In diesem Zusammenhang wird deutlich, dass die angehenden Chemielehrkräfte klare prototypische Vorstellungen der Energiediagramme besitzen: Endotherme Reaktionen werden gehäuft in Abhängigkeit einer exothermen Reaktion beschrieben. Diese angenommene Abhängigkeit führt außerdem dazu, dass endothermen Reaktionen eine höhere Aktivierungsenergie zugeschrieben wird (vgl. Abbildung 13.2) (vgl. auch VALÇINKAYA et al., 2012).

In der *personal concept definition* der Begriffe exotherm und endotherm spielt die Energieabgabe respektive die Energieaufnahme bei einer chemischen Reaktion eine wichtige Rolle. Wenige Probanden schränken das zu beobachtende energetische Phänomen auf die Wärme ein (*ER1a*). Diese Aussagen der angehenden Lehrkräfte müssen nicht unbedingt als alternatives Konzept gewertet werden. Zwar erfolgen die gängigen Definitionen der beiden Begriffe über das Vorzeichen der Reaktionsenthalpie einer chemischen Reaktion bei konstantem Druck und in diesem Zusammenhang über die Wärmeübertragung (vgl. u.a. ATKINS und DE PAULA, 2013; RIEDEL und JANIÁK, 2007), doch lassen sich neben diesen auch andere Definitionsvorschläge finden. WAGNER & FLINT (2018) schlagen beispielsweise vor, exotherme und endotherme Reaktionen über die Energie zu definieren, die an die Umgebung abgegeben bzw. von der Umgebung aufgenommen wird und diese nicht auf die Wärmeübertragung einzuschränken. Diese Argumentation wird auch

durch die Ausführungen der Probanden gestützt, die chemische Reaktionen nicht nur mit Wärme- sondern beispielsweise auch mit Lichterscheinungen in Verbindung bringen.

Reaktionsenthalpie Reaktionsenthalpie ist den Studierenden als ein Begriff bekannt, der die Energiedifferenz zwischen Edukten und Produkten bei einer chemischen Reaktion beschreibt. Weder werden die Bedingungen an das Reaktionssystem, wie der konstante Druck betrachtet noch wird das beobachtbare Phänomen auf die Wärmeübertragung eingegrenzt (*ER1b*). Auch das formale Vorzeichen der Reaktionsenthalpie spielt keine Rolle. Das Verständnis des Begriffs stützt sich auf Assoziationen zu bekannten Phänomenen und der bildlichen Darstellung in einem Energiediagramm.

Das Begriffspaar exergon und endergon Im Gegensatz zu dem Begriffspaar exotherm und endotherm ist die Charakterisierung der Begriffe exergon und endergon häufiger durch alternative Vorstellungen geprägt. Es finden sich Aussagen, die die beiden Begriffe als eine Verallgemeinerung oder synonym zu gebrauchende Ausdrücke zu exotherm und endotherm beschreiben (*ER1c*, *ER1d*). Ebenfalls wird exergon mit einer Entropiezunahme und endergon mit einer Entropieabnahme gleichgesetzt (*ER2*). Die Begründung stützt sich dabei auf die Vorsilben der Adjektive. Zwar werden die Begriffe häufig auch mit Freiwilligkeit, Spontanität und dem Vorzeichen der GIBBS-Energie in Verbindung gebracht, jedoch können die angehenden Chemielehrkräfte diese Aussagen nicht weiter spezifizieren. Aus diesem Grund ist es alleine aus den Antworten der Studierenden nicht deutlich abzulesen, ob es sich dabei um eine Argumentation der Freiwilligkeit auf fachwissenschaftlicher oder auf alltagspraktischer Basis handelt (vgl. GABRIELA et al., 1990). Die Antworten auf die Frage, warum endotherme Reaktionen - obwohl energetisch ungünstig - überhaupt stattfinden, kann jedoch als ein Indikator für die alltagspraktische Sicht der angehenden Chemielehrkräfte auf die Freiwilligkeit einer chemischen Reaktion angesehen werden: Sie argumentieren, dass auch die Produkte endothermer Reaktionen für den Menschen wichtig sind, diese einen höheren Sinn erfüllen und man die Reaktion erzwingen muss, auch wenn dies unfreiwillig geschieht. Nur aus diesem Grund sehen die Studierenden endotherme Reaktionen als möglich an. Im Umkehrschluss verbinden sie mit der Freiwilligkeit eine exotherme Reaktion, bei der man nicht beispielsweise durch ständige Energiezufuhr nachhilft. Es wird deutlich, dass die Studierenden eine Reaktion als freiwillig charakterisierten, wenn man nicht eingreifen muss (*ER3*) (GABRIELA et al., 1990).

Auch hier lässt sich ein Verweis auf das Denken in Prototypen ableiten. Die Studierenden konzeptualisieren die thermodynamische Sicht auf chemische Reaktionen mittels eines Prototypen. Dieser Prototyp beschreibt die freiwillig ablaufende chemische Reaktion, bei der viel Energie an die Umgebung übertragen wird. Die Reaktion, bei der viel Energie aus der Umgebung zugeführt werden muss, stellt für die Studierenden folglich das Gegenteil, also die Rückreaktion dar. Diese Zuführung erfolgt, damit die Reaktion ablaufen kann. Daraus folgern die Studierenden die Unfreiwilligkeit.

Dieser Argumentation steht die Argumentation unter Einbezug der thermodynamischen

17. Interpretation der Ergebnisse

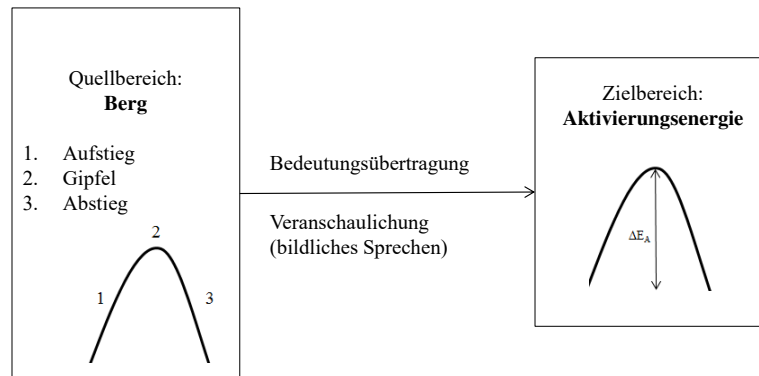


Abbildung 17.1.: Berg als Metapher für die Aktivierungsenergie

Größen Entropie und freie Enthalpie entgegen. Die Lernenden wägen dabei die energetischen Aspekte gegen den sogenannten Ordnungsaspekt ab. Formale Betrachtungen finden nicht statt. Die Unordnungsmetapher überwiegt. Somit bleiben die Begründungen auf einer anschaulichen Ebene.

Aktivierungsenergie Die Studierenden nutzen die Begriffe Berg oder Hügel zur Beschreibung der Aktivierungsenergie. Diese bildhafte Sprache deutet auf die Verwendung einer Metapher hin.

1. Beschreibung der Metapher

Die Aktivierungsenergie wird als ein Hindernis angesehen, das es zu überwinden gilt. Damit kann man als Quellbereich den Berg und als Zielbereich die Aktivierungsenergie betrachten (vgl. Abbildung 17.1).

Quellbereich: Berg Wie in Abbildung 17.1 zweidimensional angedeutet, kann man die Besteigung eines Berges in drei Phasen gliedern. Zunächst findet der Aufstieg auf den Berg am linken Steilhang (1) statt. Dieser ist mit Anstrengung verbunden. Der/die Bergsteiger/in muss viel „Energie“ in den Aufstieg investieren. Ist der Aufstieg geschafft, befindet man sich auf dem Gipfel (2). Je nachdem, welches Ziel vor Antritt gesetzt wurde, kann dieser unterschiedlich gedeutet werden. Ist die Besteigung und somit das Erreichen der Bergspitze das Ziel, so ist man an diesem Ort bereits am Endpunkt angelangt. Der Abstieg wird eher als notwendiges Übel angesehen und ist nicht unbedingt mit Leichtigkeit verbunden. Er kann an beiden Steilhängen erfolgen. Liegt der Fokus jedoch auf der Überquerung des Berges, so stellt der Berg an sich eine natürliche Barriere bzw. ein Hindernis und das Erreichen des Gipfels einen Zwischenschritt dar. Dieser ist bedeutend, symbolisiert er doch den höchsten Punkt des Aufstiegs und leitet den Abstieg ein. Dieser Abstieg (3) kann ausschließlich am gegenüberliegenden, rechten Steilhang geschehen. Er ist mit einer Leichtigkeit verbunden. Nach dem anstrengenden Bergaufgehen ist das

Bergabgehen leicht, unbeschwert und schneller.

Übertragen auf den Zielbereich ist die Aktivierungsenergie eine natürliche Barriere. Erst wenn der Energiehügel überwunden ist, kann eine chemische Reaktion ablaufen. Das Ziel liegt auf der Überquerung des Berges und dementsprechend auf der Überwindung der Aktivierungsenergie. Auf dem Weg nach oben auf den Hügel oder den Berg wird Energie benötigt, es muss Energie eingesetzt werden. Der Weg nach unten verläuft unter Energieabgabe, was von den Studierenden als leichter angesehen wird. Deutlich wird dies vor allem durch die Betonung, dass die Reaktion fortan alleine ablaufen kann. Der Fokus der Metapher liegt auf den energetischen Aspekten der chemischen Reaktion. Im Vordergrund stehen die Energieaufnahme bzw. die Energieabgabe bei der Reaktion (veranschaulicht durch den anstrengenden Aufstieg und den leichten Abstieg) sowie die zu überwindende Energiebarriere (veranschaulicht durch den Berg als Hindernis). Einige Studierende erweitern die Metapher noch um die Betrachtung der Energieniveaus des Anfangs- und Endzustands (veranschaulicht durch die Höhe des Anfangs- und des Zielorts der Bergwanderung). Vernachlässigt werden bei dieser Metapher die stattfindende Stoffumwandlung und (Re-)Organisation der an der Reaktion beteiligten Teilchen sowie der Übergangszustand.

2. Vor- und Nachteile der Metapher

Zunächst ist die Metapher von Vorteil, da sie anschaulich ist und einen hohen Lebensweltbezug aufweist. Es herrscht bei der Nutzung der Metapher ein Konsens bei den angehenden Chemielehrkräften. Die Probanden greifen kaum auf eine andere Beschreibung und auf keine weitere Metapher zurück. Außerdem veranschaulicht diese Metapher den Bereich der Aktivierungsenergie im Energiediagramm. Durch die bildliche Darstellung lassen sich die energetisch relevanten Aspekte nachvollziehen.

Jedoch birgt diese Metapher auch Nachteile. Auf sprachlicher Ebene verleitet die Metapher die Studierenden dazu, zur Beschreibung eines Energiediagramms, was letzten Endes einen mathematischen Graphen innerhalb kartesischer Koordinaten darstellt, mit nicht-mathematischen Ausdrücken zu umschreiben. Ein *Hubbel* oder ein *Berg* sind alltagssprachliche Begriffe, die sich leichter nutzen lassen bzw. eher im Wortschatz vorhanden sind als beispielsweise der Begriff *Hochpunkt*. Ebenfalls verleitet die Berg-Metapher die Studierenden teilweise zu einer stark anthropozentrisch geprägten Denkweise:

„Die [Edukte] haben noch nicht reagiert, haben ein bestimmtes Energielevel, die [Energie] ihnen innewohnt. Wandern hoch über diesen Aktivierungsberg [...] wo sie zueinander finden und reagieren.“

Fachlich liegt der Fokus der Berg-Metapher auf der Energie, was bei den Studierenden bei der Beschreibung der Energiediagramme zu einer Vernachlässigung der stattfindenden Stoffumwandlung und des Übergangszustandes führt. Auch für die

17. Interpretation der Ergebnisse

Sichtweise auf den zeitlichen Verlauf einer chemischen Reaktion finden sich bei der Verwendung der Metapher Stolpersteine. Aus dem Alltag wissen die Studierenden, dass ein Berg, wenn man diesen besteigen möchte, schon da ist - ebenso wie der Weg, den man sich für den Aufstieg ausgesucht hat. Bei einer chemischen Reaktion ist das anders. Durch die starke Fokussierung auf die Berg-Metapher rückt der zeitliche Verlauf einer chemischen Reaktion in den Hintergrund. Die Studierenden agieren so, als sei der Weg schon gegeben und die Edukte müssten diesen nur noch „ablaufen“.

3. Ursprung der Metapher

Bei der Nennung von Beispielen von Energie wird immer wieder eine Situation beschrieben, in der ein Ball über einen Hügel rollt. Das Beispiel lässt sich auf die Vermittlung der Aktivierungsenergie in der Schule zurückführen. In verschiedenen Schulbüchern wird diese Darstellung verwendet

Übergangszustand Der Blickwinkel der angehenden Lehrerinnen und Lehrer auf den Übergangszustand war stark von der Berg-Metapher der Aktivierungsenergie geprägt. Besonders durch die Fokussierung auf den Auf- und Abstieg bzw. auf das Erreichen des niedrigeren Energieniveaus wurde dem Übergangszustand als Zwischenschritt wenig Beachtung geschenkt.

Verständnisprägende Aspekte zu Energie und chemischen Reaktionen

Die Vorstellungen zu den relevanten Fachbegriffen im Bereich der chemischen Reaktionen sind durch verschiedene Aspekte geprägt und hängen miteinander zusammen.

- Energiediagramme werden anhand von Prototypen exothermer und endothermer Reaktionen konzeptualisiert, wobei grafische und fachliche Komponenten miteinander vermischt werden.
- Die Reaktionsbedingungen sowie die Begriffe System und Umgebung werden nicht in die energetischen Betrachtungen zu chemischen Reaktionen miteinbezogen.
- Die mentalen Repräsentationen hinter den einzelnen Fachbegriffen überschneiden sich. Daraus ergibt sich folgende Argumentationskette:
 1. Aus dem Vorhandensein der Prototypen von Energiediagrammen werden die Begriffe exotherm und endotherm in einen direkten Zusammenhang gesetzt.
 2. Für exotherme Reaktionen wird weniger Aktivierungsenergie benötigt und in der Gesamtbilanz wird Energie abgegeben. Das steht bei den angehenden Chemielehrkräften für eine freiwillig ablaufende Reaktion.

Für endotherme Reaktionen wird im Zuge der Abhängigkeit mehr Aktivierungsenergie benötigt und in der Gesamtbilanz muss Energie aufgenommen werden. Da die endotherme Reaktion als Rückreaktion der exothermen Reaktion konzeptualisiert wird, wird diese mit einer unfreiwillig ablaufenden Reaktion assoziiert.

3. Es findet eine Überlappung der Konzepte von exotherm/endotherm und exergon/endergon statt. Da der Aspekt der Freiwilligkeit mental durch das Begriffspaar exotherm/endotherm mit abgedeckt wird, existiert zu dem Begriffspaar exergon/endergon keine weitere Konzeptualisierung.
- Die Aktivierungsenergie wird über eine Berg-Metapher konzeptualisiert, wohingegen der Übergangszustand keine Rolle spielt.

17.2.5. Energie in Natur, Technik und Gesellschaft

Chemische Energie Im Kontext von Energie in Natur, Technik und Gesellschaft taucht der Begriff chemische Energie im Wortschatz der angehenden Chemielehrkräfte gehäuft auf, während er in den anderen Fachkontexten kaum Verwendung findet. Konkret verwenden sie den Term chemische Energie ausschließlich dann, wenn oberflächlich über Aspekte der Energiespeicherung und des Energietransfers gesprochen wird, die den Alltagskontext betreffen. So geschieht dies beispielsweise im Zusammenhang mit der Beschreibung von Batterien, dem Verbrennungsmotor oder der Bereitstellung elektrischer Energie in einem Kraftwerk. Am konkreten Beispiel Kraftwerk lässt sich das verdeutlichen. Studierende, die die chemische Energie in diesem Zusammenhang nutzen, nehmen zumeist die Transferperspektive *Energie(erscheinungs)form* ein:

chemische Energie \rightarrow thermische Energie \rightarrow elektrische Energie
(vgl. SCHECKER et al. 2018)

Studierende, die die chemische Energie nicht thematisieren, beschreiben die Vorgänge in einem Kraftwerk vor allem aus der Transferperspektive *Energie(form)wandler*:

Kohle \rightarrow Kohlekraftwerk \rightarrow Turbine \rightarrow Strommast
(vgl. SCHECKER et al. 2018)

Der Verzicht auf den Begriff chemische Energie ist bei den angehenden Lehrkräften also nicht bedingt durch eine stärkere chemisch bindungsorientierte Sichtweise (vgl. QUINN 2014), sondern durch eine andere Perspektive auf den Energietransfer in alltagsnahen Kontexten. Diesem intuitiven Gebrauch des Ausdrucks sind die konkreten Definitionsansätze, die *personal concept definition*, entgegengesetzt. Chemische Energie ist aufgrund der Abstraktheit des Begriffs schwierigkeiterzeugend (vgl. BARKE, 2006). Studierende beschreiben zumeist betrachten sie die chemische Energie als die Energie, die bei einer chemischen Reaktion freigesetzt werden kann und verwiesen damit indirekt auf

17. Interpretation der Ergebnisse

die Energieänderung. Die Energieform wird ebenfalls als der Energieinhalt von Stoffen, der bei einer chemischen Reaktion umgesetzt wird, beschrieben. Beide Sichtweisen auf die Energieform entsprechen einem fachlich diskutierten, anerkannten Konzept der chemischen Energie (vgl. QUINN 2014, SCHLÖSSER 1993). Als eindeutig nicht adäquates Konzept muss die Gleichsetzung der chemischen Energie mit der Bindungsenergie bzw. der Energiespeicherung in Bindungen gesehen werden.

Elektrischer Strom Der elektrische Strom wird von den Studierenden zumeist als Bewegung, Fluss bzw. Transport von Ladungsträgern definiert. Die Ausdrücke Spannung und Widerstand werden von den angehenden Chemielehrkräften nicht verwendet. Das zeigt, dass die Elektronenbewegung ohne Blick auf die physikalischen Aspekte erfolgt. Eine solche Trennung konnte auch N. BURGER (2000) feststellen. Dies ist ein weiteres Beispiel für die Kompartimentalisierung der Energie in einzelne Fachbereiche durch die Studierenden.

Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass sich bei den Studierenden die Konzepte zur elektrischen Energie und zum elektrischen Strom überlagern (vgl. auch SCHECKER et al. 2018). Dies wird besonders deutlich, wenn man die implizite Nutzung des Begriffs elektrische Energie in den Interviews betrachtet. Die angehenden Chemielehrkräfte sprechen häufig vom Verbrauch sowie der Umwandlung von Strom. Bei der Betrachtung der Batterien und Akkumulatoren thematisieren die Studierenden die Umwandlung chemischer in elektrische Energie. Angesprochen auf den darauf folgenden Prozess wird häufig von der Umwandlung des elektrischen Stroms in Licht oder Wärmeenergie gesprochen bzw. der Verbrauch des elektrischen Stroms (im Sinne einer Energieentwertung) in den Blick genommen.

Die Sicht der Studierenden auf die elektrische Energie und den elektrischen Strom ist zum Teil anthropozentrisch geprägt. Die Umwandlung im Kraftwerk in elektrische Energie wird zumeist mit deren objektiven Eigenschaften wie der Transportfähigkeit erklärt. Dennoch verweisen die zukünftigen Lehrenden darauf, dass im Alltag elektrischer Strom benötigt wird und aus diesem Grund eine Umwandlung in elektrische Energie erfolgen muss. Die Sichtweise geht somit von den eigenen Bedürfnissen aus.

Elektronen Im Kontext des elektrischen Stroms sprechen die Studierenden häufig von Elektronen. Allgemein fällt es ihnen schwer, Elektronen in einen Zusammenhang mit der Energie zu setzen. Im Kontext der Elektrizität kommt häufig die Zuschreibung von Elektronen als Energieträger auf (vgl. auch BURGER 2000). Es ist zu vermuten, dass dieser ähnlich dem Begriff Ladungsträger von den angehenden Lehrkräften genutzt wird. Es zeigt sich das Vorhandensein eines ebenfalls verbreiteten alternativen Konzeptes, in dem der elektrische Strom und die sich bewegenden Elektronen als das Medium der Energieübertragung angesehen werden (vgl. WILHELM 2017).

Energiewirtschaft Die angehenden Chemielehrkräfte bewerten die verschiedenen Aspekte der Energiewirtschaft in Vor- und Nachteilen sehr differenziert. Die Studierenden

weisen in ihren Antworten ein ausgeprägtes Umweltbewusstsein auf. Diese Erkenntnisse decken sich mit den Studien des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit und des Umweltbundesamtes (2014, 2016) sowie mit dem Greenpeace Nachhaltigkeitsbarometer 2015 (MICHELSEN et al., 2016). Auch in dieser Untersuchung wurde deutlich, dass die angehenden Lehrkräfte die notwendige Energiewende nicht in Zweifel ziehen (GREENPEACE, 2015).

Jedoch zeigen die verstärkten Nennungen der Nachteile, Schwächen und Probleme in allen drei untersuchten Bereichen, dass die Probanden Schwierigkeiten in der Lösung der umweltbezogenen Aufgaben sehen. So stellen junge Erwachsene die vereinzelt erzielten Verbesserungen durch den Einsatz erneuerbarer Energien und zugehöriger Technik immer den dabei aufkommenden Problemen gegenüber und ziehen ein eher pessimistisches Fazit (UBA(UMWELTBUNDESAMT), 2015). Inhaltlich gehen die Studierenden vor allem auf die Umweltaspekte bei der Bewertung der Energieversorgung ein. Besonders die Nennung der Nachteile ist geprägt durch die Werthaltung der Studierenden. Fachliche Argumente und persönliches Empfinden werden dabei vermischt. Im Fall der erneuerbaren Energien wird die Windkraft am schlechtesten bewertet, da die Studierenden fast täglich mit Windkraftanlagen konfrontiert sind. Das Argument des optischen Makels als Eingriff in die Natur ist führend. Die Wasserkraft wird am besten bewertet, da kein direkter negativer Eingriff in die Natur festgestellt wird und Stauseen sogar als einen positiven Punkt vermerkt werden. Das kann unter anderem der weniger starken Präsenz und der weniger offensichtlichen Dezentralität der Wasserkraftanlagen geschuldet sein. Eine ähnliche Argumentation ist auch bei der Nutzung von Fotovoltaik zu erkennen. Die angehenden Lehrkräfte, zumeist noch junge Erwachsene - vermeintlich ohne eigenes Haus oder die Möglichkeit eigener Solaranlagen auf dem Dach - sind sich der Funktionsweise nicht bewusst. In diesem Zusammenhang wird beispielsweise die Meinung vertreten, dass die Fotovoltaikanlagen die Sonnenenergie speichern und diese bei Bedarf nutzbar zu machen. Besonders in diesen Aspekten ist das Bewertungswissen der angehenden Chemielehrkräfte vor allem durch die eigenen Erfahrungen in der jeweiligen Lebenswelt geprägt.

Energie verbrauchen, verlieren, vernichten und erzeugen Energieverbrauch, -verlust und -vernichtung werden von den angehenden Chemielehrkräften als nicht adäquat in der Verwendung bzw. als widersprüchlich zur Energieerhaltung klassifiziert und damit explizit abgelehnt. Dennoch sind die Ausdrücke Energie verbrauchen bzw. verlieren intuitiv in ihrem Sprachgebrauch vorhanden und werden vor allem in alltagsbezogenen Kontexten häufig verwendet. Diese Kontexte lassen sich klar voneinander unterscheiden. Energieverbrauch wird synonym zu dem Ausdruck „aufbrauchen“ verwendet. Es steht das Aufbrauchen von Ressourcen bzw. der nutzbaren Energie im Vordergrund. Energieverlust ist im Gebrauch der Studierenden mit der Energieentwertung gleichzusetzen. Das Konzept der Energieentwertung ist oftmals mit dem Wort Energieverlust versehen. Beide Ausdrücke werden demnach in einem fachlich adäquaten Rahmen verwendet und sind auch nicht als alternative Konzepte anzusehen (vgl. NORDINE, 2016a). Energievernichtung wird von den zukünftigen Lehrenden ebenso wie die Energieerzeugung

abgelehnt.

Verständnisprägende Aspekte zu Energie in Natur, Technik und Gesellschaft

Das Verständnis der angehenden Chemielehrkräfte ist im Bereich der Energie in Natur, Technik und Gesellschaft unter anderem durch deren starken Alltagsbezug und die damit zusammenhängenden Assoziationen sowie die fachrichtungsübergreifenden Aspekte beeinflusst:

- Durch die Integration vieler Fachbegriffe in die Alltagssprache (z.B. elektrischer Strom) werden diese wie selbstverständlich in bestimmten Kontexten genutzt, ohne dass fachlich vollständig anerkannte Konzepte existieren.
- Durch die fachliche Überschneidung mit dem Fachbereich Physik wird das zugehörige Fachwissen für die eigene Profession als nicht relevant eingeordnet. Es fehlen inhaltliche Bezüge und es kommt zu einer nicht adäquaten Anwendung der Fachbegriffe.
- Chemische Energie wird als zentrale Energieform und als Ausgangspunkt der Umwandlungsketten im Bereich der Elektrochemie angesehen.
- Die Fachbegriffe elektrischer Strom und elektrische Energie werden durch ein gleichartiges Konzept repräsentiert. Unterstützt wird die synonyme Verwendung durch die Vorstellung von Elektronen als Energieträger.
- Bei der Bewertung der Energieversorgung spielen die persönlichen Erfahrungen und das selbst Erlebte eine entscheidende Rolle. Die subjektive Sicht überwiegt und objektive Kriterien treten eher in den Hintergrund.
- Fachwissenschaftliche Aspekte der im Alltag eingesetzten Technologien sind zum großen Teil nur oberflächlich bekannt.
- Die Ausdrücke Energie verbrauchen und verlieren werden in einem fachwissenschaftlich adäquaten Sinne einer Energieentwertung genutzt. Die Ausdrücke Energie vernichten und Energie erzeugen werden mit Verweis auf den Energieerhaltungssatz abgelehnt.

17.3. Sprache in Bezug auf das Energieverständnis

Die Ergebnisse zeigen, dass sich durch den Sprachgebrauch der Studierenden ebenfalls Herausforderungen ergeben.

Formen der chemischen Fachsprache Die Studierenden wechseln in den Interviews zwischen chemischer Umgangssprache, der Lehrsprache im Sinne einer Experten-Laien-Kommunikation sowie der Alltagssprache. Das ist vor allem der besonderen Situation geschuldet, in der sich angehende Lehrkräfte in der Ausbildung befinden. Eigentlich liegt der Fokus auf einer Annäherung an die fachlich adäquate *formal concept definition*. Dazu ist es notwendig, die fachlichen Konzepte möglichst exakt zu verbalisieren. Das geschieht jedoch nicht immer. Das liegt unter anderem daran, dass die zukünftigen Lehrenden oftmals die spätere Lehrsituation miteinbeziehen. Das heißt, die *personal concept definition* ist bei den Lehramtsstudierenden schon auf den Schulgebrauch ausgerichtet. Daran erkennt man, dass das *concept image* des Begriffs Energie nicht nur durch fachliche Komponenten und konkrete Assoziationen gekennzeichnet ist, sondern auch die spätere Profession miteinbezieht bzw. sehr stark durch diese geprägt wird.

Die Anschaulichkeit wird der Exaktheit vorgezogen Mit der Nutzung verschiedener Formen der chemischen Fachsprache geht auch der Vergleich von Anschaulichkeit und Exaktheit einher. Die Studierenden ziehen bei der Beschreibung der verschiedenen Konzepte die Anschaulichkeit der Exaktheit vor. Im Sprachgebrauch geschieht dies vor allem durch die Nutzung von Metaphern. Diejenigen Konzepte, von denen Teile durch eine Metapher visualisiert und verbalisiert werden können, sind bei den angehenden Lehrkräften präsenter. Mit der Übertragung fachlicher Inhalte in einen alltagsnahen Kontext nimmt die Exaktheit der Sprache ab und die Probanden bedienen sich vermehrt der Alltagssprache. Dadurch fällt der Abgleich von *personal concept definition* und *formal concept definition* defizitär aus. Der Vorteil der Nutzung der Metaphern ist deren Einprägsamkeit. Das sieht man beispielsweise an den Ausführungen zur Entropie und zur freien Enthalpie. Die anschauliche Unordnungsmetapher ist den Studierenden präsent und kann wiedergegeben werden. Die Verbalisierung des Begriffs freie Enthalpie fällt den angehenden Chemielehrkräften deutlich schwerer. Nachteilig ist dabei zu sehen, dass die Metaphern als persönliche Konzeptdefinitionen übernommen sind. Ein Wechsel von der Nutzung der metaphernbasierten Umgangssprache hin zu einem naturwissenschaftlich exakten Sprachgebrauch findet nicht statt (vgl. VOLLMER, 1980). Ebenso sind die von den Metaphern nicht beachteten Aspekte auch bei der *personal concept definition* ausgespart.

Mehrdeutigkeit des (Fach-)Begriffs Energie Der Begriff Energie wird in der Alltagssprache mehrdeutig genutzt und ist auch mit einer subjektiven Bedeutung versehen. In den Aussagen der zukünftigen Lehrenden kommt es zu Überschneidungen von Alltagsvorstellungen und fachlichen Aspekten. Durch diese vielen verschiedenen Definitionsansätze und die damit einhergehenden sprachlichen Möglichkeiten, besteht kein Konsens in den Definitionsansätzen.

Darstellungsebenen chemischer Inhalte Die angehenden Chemielehrkräfte nutzen zur Darstellung der Inhalte vor allem die makroskopische Ebene. Der zusätzliche Einbezug

der submikroskopischen Ebene findet selten statt. Aus diesem Grund werden beobachtbare Energiephänomene, wie beispielsweise die Wärmeübertragung bei Lösungsvorgängen, auf die makroskopische Ebene reduziert, was zu alternativen Konzepten führt.

Die symbolische Ebene wird von den Studierenden immer wieder in ihre *formal concept definition* einbezogen. Dies erfolgt jedoch punktuell und mit großen Ungenauigkeiten. Formelzeichen, Variablen und mathematische Beziehungen sind nur teilweise bekannt. Sie werden zwar zitiert, es fehlt den angehenden Lehrkräften jedoch an einem quantitativen und qualitativen Verständnis der Aussagen solcher Gleichungen. Das liegt auch daran, dass die Studierenden die Gleichungen vor allem als ein Relikt aus Klausuren ansehen und diese ausschließlich für dortige Berechnungen nutzen und im Anschluss wieder vergessen. Sie werden nicht als Teil der *personal concept definition* übernommen. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von denen anderer Studien, wo häufiger die symbolische Ebene der Konzepte im Vordergrund steht (vgl. u.a. CARSON und WATSON, 1999, CARSON und WATSON, 2002, NILSSON und NIEDDERER, 2014).

Verknüpfung von Fachwissen und Fachsprache Eine weitere Besonderheit liegt in der Unterscheidung, welche Ausdrücke der zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer einer sprachlichen Ungenauigkeit geschuldet sind und welche auf ein defizitäres Fachwissen hinweisen. Hier lassen sich zwei Tendenzen nachweisen:

- **Fehlende fachliche Bedingungen führen zu sprachlichen Ungenauigkeiten.**

Im Themenbereich der chemischen Reaktionen und der Thermodynamik findet man vor allem diese Kombination von Fachwissen und Fachsprache. Die Randbedingungen chemischer Reaktionen werden zumeist als standardmäßig vorausgesetzt. Jedoch ist nicht allen Studierenden bewusst, was dieser Standard ist bzw. können sie diesen auf Nachfrage nicht angeben. Besonders deutlich wird das bei der Einführung des Begriffs Enthalpie, die an die Randbedingung konstanter Druck geknüpft ist. Durch dieses fachwissenschaftliche Defizit ist es ihnen nicht ohne Weiteres möglich, die Ausdrücke sprachlich einwandfrei zu gebrauchen. Deshalb werden Ausdrücke wie Enthalpie, Reaktionsenthalpie und freie Enthalpie synonym verwendet. Die Wörter sind nur mit einem Konzept verknüpft. Ähnlich verhält es sich mit der Unterscheidung von Enthalpie und Enthalpieänderung.

- **Ableitung von fachlichen Bedeutungen aus den Wortbestandteilen (und damit unter Rückgriff auf die zugrundeliegenden Konzepte) führt zu falschen fachlichen Interpretationen.**

Die angehenden Chemielehrkräfte weisen Defizite in der Darstellung von Inhalten auf atomarer Ebene auf. Da sie vor allem auf makroskopischer Ebene agieren und argumentieren, ist der submikroskopische Bereich sprachlich nicht einfach zugänglich. Fachbegriffe sind weniger bekannt bzw. werden seltener genutzt. Aus diesem Grund treten bei den Definitionen der zugehörigen Sachverhalte Schwierigkeiten auf. Die zukünftigen Lehrenden umgehen diese Probleme, indem sie die Fachbegriffe in ihre Wortbestandteile zerlegen. Sie die zugrundeliegenden Konzepte beider

17.3. Sprache in Bezug auf das Energieverständnis

Begriffe und kombinieren sie miteinander. So schließen sie auf den zusammengesetzten Fachbegriff. Das kann jedoch zu fachwissenschaftlich nicht anerkannten Konzepten sowie einer anthropozentrischen Deutungsweise, wie beispielsweise bei der Erläuterung des Begriffs Elektronenaffinität, führen.

18. Diskussion der Ergebnisse

Stichprobe und Forschungsdesign Die gewählte Stichprobe war für eine qualitative Forschungsarbeit groß und bot so die Möglichkeit zu einer Verallgemeinerung und zum Einsatz deskriptiver Statistik und Quantifizierung. Auch die Befragung von angehenden Chemielehrkräften über ganz Deutschland hinweg erwies sich als ein Vorteil der Studie. So konnte der Einfluss der jeweiligen Hochschulen und der internen Curricula in den Untersuchungsergebnissen abgemildert werden. Andererseits kann somit das *concept image*, das in speziellen Veranstaltungen an den verschiedenen Institutionen gelehrt wird, nicht in die Analyse miteinbezogen werden. Ein Abgleich des *concept image* der Probanden kann somit ausschließlich anhand der fachwissenschaftlichen Standards erfolgen. Es wurden für die Teilnahme angehende Chemielehrkräfte von allen Universitäten mit der Möglichkeit zur chemiedidaktischen Ausbildung für das Gymnasium angefragt, jedoch konnte kein Einfluss darauf genommen werden, welchen Universitäten die Befragten angehörten. So sind Studierende von Hochschulen aus Nordrhein-Westfalen deutlich überrepräsentierter.

Im Hinblick auf die Differenzierungsmerkmale Zweitfach und Alter wurden bei der Stichprobenauswahl keine Einschränkungen gemacht. Dementsprechend überwiegt das Zweitfach Biologie. Ebenfalls findet sich eine große Altersspanne der Interviewten. Um den Einfluss dieser Variablen in den Ergebnissen in Teilen abbilden zu können, wurden die mentalen Repräsentationen und die identifizierten alternativen Konzepte unter anderem auf ihre Unabhängigkeit zu den Differenzierungsmerkmalen untersucht.

Unterteilung der Differenzierungsmerkmale Die Unterteilung der Stichprobe in die Differenzierungsmerkmale ist, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, sinnvoll. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die Einteilung nicht gleichwertig erfolgen kann. Bei der Unterteilung der Zweifächer in Biologie/Physik und die übrigen Fächer, ist in der ersten Gruppe das Zweitfach Biologie weitaus stärker vertreten als das Zweitfach Physik. Über einzelne Fachwissenschaften lassen sich keine Aussagen tätigen. Auch die Unterscheidung verschiedener Altersgruppen fasst unterschiedlich viele Probanden zusammen. Die Altersgruppe 31-45 Jahre beinhaltet nur fünf angehende Chemielehrkräfte. Diese geringe Anzahl wurde in den Analysen berücksichtigt.

Forschungsgegenstand Energie als Forschungsgegenstand bringt einige Spezifika mit sich, die die Untersuchung begleitet und beeinflusst haben. Durch die Präsenz von Energie in der Lebenswelt und in verschiedenen fachwissenschaftlichen Kontexten existieren

18. Diskussion der Ergebnisse

unterschiedliche, nebeneinanderstehende Bedeutungen und damit mentale Repräsentationen des Begriffs, die die fachwissenschaftliche Sicht der angehenden Chemielehrkräfte beeinflussen. Um diesen Umstand mit zu berücksichtigen, wurde die Unterteilung in mentale Repräsentationen und fachwissenschaftliche Kontexte gewählt. Somit werden die Erfahrungen aus dem Alltag, die das dynamische *concept image* mit beeinflussen. Die Vielschichtigkeit des Konzeptes Energie und der damit verknüpften Konzepte machen eine vollständige Darstellung nahezu unmöglich.

Die Formen der chemischen Fachsprache Die festgestellten sprachlichen Besonderheiten der angehenden Chemielehrkräfte lassen darauf schließen, dass sich die Studierenden einer Mischung aus Wissenschaftssprache, chemischer Umgangssprache und Alltagssprache bedienen. Als weitere Besonderheit ist in den verschiedenen Situationen ein Rückgriff auf die Lehrsprache zu verzeichnen, wenn die zukünftigen Lehrenden beschreiben, inwiefern sie einen Aspekt für Lernende erklären würden, anstatt in der Exaktheit der Fachsprache zu bleiben. Dies muss vor allem bei Probanden eines Lehrberufes miteinbezogen werden (vgl. auch PAHL, 2012). Auch wenn die Interviewten aus eigener Sicht einem anderen Experten antworten sollten, wichen sie trotz eindeutiger Hinweise immer wieder von dieser Form der chemischen Fachsprache ab und nutzten die Experten-Laien-Kommunikation. Das konnte in der Untersuchung nicht vermieden werden. Um Aussagen, die vermeintlich in chemischer Umgangssprache getätigt wurden von denjenigen unterscheiden zu können, die fehlendes fachwissenschaftliches Verständnis ausdrückten, wurde sich an ein Kennzeichen des Laborjargons gehalten: Direkt auf eine sprachliche Unsauberkeit angesprochen, können Sachverhalte, die in der chemischen Umgangssprache formuliert wurden, im Sinne der Wissenschaftssprache präzisiert werden (STRIPPEL & BOHRMANN-LINDE, 2018). Bei den anderen Aussagen ist dies nicht möglich. So wurden die Interviewten während der Befragung in kritischen Situationen um eine Präzisierung gebeten. Jedoch konnten diese Stellen nicht in allen Interviewsituationen extrahiert werden. Auch im Sinne eines dynamischen Gesprächsflusses wurden die Studierenden nicht bei jeder unklaren Aussage unterbrochen. Es muss auch berücksichtigt werden, dass die angehenden Chemielehrkräfte während der Interviewsituation spontan reagieren mussten und wenig Zeit hatten, ihre Worte zu wählen. In der Vorbereitung auf den Schulunterricht, so formulierten es die Probanden selbst auch deutlich, würden sie besonders auf sprachlicher Ebene besser vorbereitet sein. Auch wenn aus Gründen der Anonymität und der Schaffung eines möglichst privaten Raumes für die Befragten die Interviews telefonisch durchgeführt wurden, konnte nicht in allen Fällen eine Stresssituation verhindert werden. Diese stellte sich beispielsweise ein, wenn Fragen vermeintlich nicht adäquat beantwortet werden konnten. Auch dieser Gemütszustand spielt in die Betrachtung und Interpretation vor allem der sprachlichen Aspekte eine Rolle.

Analyse der Interviews Es wurde sich bei der Analyse der Interviews dazu entschieden, anhand der festgelegten Kriterien Materialausschnitte aus verschiedenen Interviews miteinander zu vergleichen. Bei der Anzahl an Interviews bietet diese Methode die Mög-

lichkeit, verschiedene vorhandene Konzepte durch eine Fülle an Daten aus den Interviews darzustellen und zu verallgemeinern. Eine andere Möglichkeit, die in dieser Forschungsarbeit nicht durchgeführt wurde, wären Einzelfallanalysen gewesen. Im Gegensatz zu dem durchgeführten Vorgehen, hätte man dadurch innerhalb eines Interviews Zusammenhänge und Bedingungen exakt analysieren können. Das bietet die Möglichkeit, exemplarisch angehende Chemielehrkräfte auszuwählen, die spezifische Differenzierungsmerkmale besitzen. Da der Fokus der Arbeit jedoch auf eine argumentative Verallgemeinerung ausgelegt war, wurden die individuellen Zusammenhänge nicht spezifisch in den Blick genommen.

19. Implikationen für die Lehrkräfteausbildung

Für die universitäre Lehre ist es wichtig, dass Dozierende mögliche alternative Konzepte der Studierenden kennen, diese für die Lernenden selbst sichtbar machen und so ein bewusstes Umdenken in Gang setzen. Das Vorwissen der Lehrenden muss in der Organisation des Lernprozesses berücksichtigt werden (HANK, 2018). Aus den Ergebnissen dieser Studie lassen sich verschiedene Rückschlüsse auf die Lehre an der Hochschule ziehen.

Energie als grundlegendes Konzept Die Vielschichtigkeit des Konzeptes Energie stellt die Studierenden vor große Herausforderungen. Die mentalen Repräsentationen sind vielfältig. Verschiedene Erklärungsansätze existieren nebeneinander. Es ist wichtig, die angehenden Lehrkräfte in ihrem Verständnis zu unterstützen, indem die persönlichen Assoziationen in die Lehre miteinbezogen werden. Ebenso ist eine gemeinsame, erweiterbare Arbeitsdefinition von Energie über die Fächergrenzen einer Hochschule hinweg, erstrebenswert. So können die zukünftigen Lehrkräfte anhand dieses Lehrgegenstandes ein ganzheitliches *concept image* entwickeln und in den jeweiligen Lehrveranstaltungen konsistent erweitern. Verschiedene Konzeptualisierungsansätze von Energie sowie deren Schwerpunkte sollten mit den Studierenden gemeinsam diskutiert werden. Das ist auch im Hinblick auf den Chemieunterricht sinnvoll, da sie dort diese Ansätze und ihre verschiedenen Facetten auswählen und vermitteln müssen.

Verständnis grundlegender Fachbegriffe Aus den Bildungsplänen der Länder geht hervor, dass in den naturwissenschaftlichen Fächern der Themenbereich Energie in weiten Teilen abgedeckt wird. Die in der Studie aufgeführten Fachbereiche und -kontexte sollten zu großen Teilen in der Schule vermittelt werden. An der Hochschule werden dann Begriffe wie Temperatur, Wärme oder auch Energie als bekannt vorausgesetzt. Es sollte jedoch von den Dozierenden überprüft werden, welches Verständnis die Studierenden wirklich von grundlegenden Begriffen aufweisen. Ist es auf dem geforderten Niveau? Werden auswendig gelernte Sätze wiedergegeben? Liegen alternative Konzepte vor? Die Grundbegriffe, auf denen das schulrelevante, lehrplanorientierte Fachwissen aufbaut, sind nicht immer verstanden.

Diese schwierigkeiterzeugenden Aspekte wurden von den Teilnehmenden der vorliegenden Studie genannt. So ist eine Problematisierung der Definitionen und eine Abgrenzung der als bekannt vorausgesetzten Größen nicht nur zu Beginn, sondern auch im Verlauf

19. Implikationen für die Lehrkräfteausbildung

des Studiums immer wieder zu thematisieren. Es ist besonders in der Arbeit mit angehenden Lehrkräften wichtig, dass vermeintlich basale und einfache Fachbegriffe präzisiert werden, sodass die zukünftigen Lehrenden in die Lage versetzt werden, diese an Kinder und Jugendliche zu vermitteln.

Energie als fächerübergreifender (Unterrichts-) Gegenstand Der Blick auf Energie in anderen Fachrichtungen sollte für die angehenden Lehrkräfte selbstverständlicher werden. Die Kompartimentalisierung in die einzelnen Unterrichtsfächer sowie die daraus resultierende Zuweisung fachwissenschaftlicher Zuständigkeiten führt zu hingenommenen alternativen Konzepten. Dies kann reduziert werden, wenn die Vernetzung der einzelnen Aspekte wie beispielsweise im Bereich der physikalischen Chemie und der Elektrochemie zur Physik in den fachwissenschaftlichen wie auch in den fachdidaktischen Veranstaltungen betont und deutlich gemacht wird. Der Abgrenzung der einzelnen Naturwissenschaften sollte immer auch eine Betrachtung der Gemeinsamkeiten energiebezogener Prozesse und Phänomene folgen.

Energie in den verschiedenen Fachkontexten In den verschiedenen Fachkontexten sollten die vorgefundenen alternativen Konzepte berücksichtigt werden. Die häufig auftretenden Unterschiede von *personal concept definition* und *formal concept definition* geben Aufschluss über grundlegende Zusammenhänge, die aus fachlicher Sicht beachtet werden müssten. Hinzu kommt der Einbezug des Spannungsverhältnisses von makroskopischer und submikroskopischer Ebene. Beobachtbare Energiephänomene auf atomarer Ebene und die zugehörigen Prozesse müssen stärker in den Blick genommen und ein Darstellungswechsel angeregt werden.

Die Untersuchung zeigte auch, dass sich die angehenden Chemielehrkräfte Faustregeln bedienen und diese über das fachlich adäquate Maß hinaus verallgemeinern. So spielen die Aspekte *Stabilität* und *energetisch günstig* eine größere Rolle in den Argumentationsstrukturen der Studierenden, als sie eigentlich sollten. In der Lehre müsste deutlich intensiver auf diese vermeintlich einfach anzuwendenden Regeln eingegangen und deren Anwendungsbereich deutlich abgegrenzt werden.

Besonders im Bereich der Thermodynamik und der Energie in Natur, Technik und Gesellschaft ist es wichtig, bei den angehenden Chemielehrkräften eine Sensibilisierung in Bezug auf diejenigen Fachbegriffe zu erwirken, die in der Fach- als auch in der Alltagssprache eine Bedeutung haben. Durch den vorhandenen Lebensweltbezug von Begriffen wie Wärme, Temperatur, elektrischer Strom oder elektrische Energie ist die Verwendung auch im fachwissenschaftlichen Kontext automatisiert. Die jeweilige Bedeutung wird jedoch wenig hinterfragt. Die genaue Abgrenzung der Begriffe ist den angehenden Chemielehrkräften nicht möglich. Diese Präzisierung sollte in der Hochschule stärker thematisiert werden.

Qualitative Diskussionen anregen Ein wichtiger Aspekt, der sich aus der Analyse des Energieverständnisses angehender Chemielehrkräfte ergibt, ist die Anschaulichkeit. Der

Themenbereich Energie ist sehr weit gefasst. Der Fachbegriff Energie ist für die Studierenden schwer darstellbar - die Struktur ihrer mentalen Repräsentation ist geprägt durch Beispiele bzw. Eigenschaften. Es wird deutlich, dass die zukünftigen Lehrenden in ihrer Rolle als Studentinnen und Studenten des Fachs Chemie ebenso wie in ihrer Rolle als (zukünftige) Pädagoginnen und Pädagogen versuchen, den abstrakten Charakter des Themas zu veranschaulichen. Besonders im Bereich der Thermodynamik fanden sich verschiedene alternative Konzepte. Wie auch (NILSSON & NIEDDERER, 2014) und (CARSON & WATSON, 2002) vorschlagen, könnte hier zunächst ein Blick auf das Verständnis der Größen, deren Zusammenhänge sowie auftretende alternative Konzepte gelegt werden. Die angewendeten Formeln müssen zunächst qualitativ betrachtet werden, bevor diese ausschließlich zur quantitativen, mathematischen Bestimmung der interessierenden Größen verwendet werden. In den Interviews wurde von den angehenden Chemielehrkräften immer wieder thematisiert, dass sie Formeln ausschließlich für Klausuren lernen und dann wieder vergessen. Gerade im Bereich Lehramt sollte hier in einer Zusammenarbeit aus Fachwissenschaft und Fachdidaktik außerdem der Fokus auf mögliche Hindernisse und Herausforderungen gelenkt werden.

Kommunikation fördern Die Studie hat gezeigt, dass die Verbalisierung der *personal concept definition* mit verschiedenen Schwierigkeiten verbunden ist. Die Nutzung verschiedener Spracharten ist besonders im Lehramt ausgeprägt. Die angehenden Chemielehrkräfte sollten mehr Möglichkeiten erhalten, über diese Themen zu sprechen. Durch diese Kommunikation setzen sie sich automatisch mit den Konzepten auseinander und können diese auch sprachlich ausschärfen. Lehrveranstaltungsformate sollten nicht nur im didaktischen Bereich auf die Lehrsprache ausgerichtet werden. Die zukünftigen Lehrenden benötigen auch in den Fachveranstaltungen die Möglichkeit, fachliche Konzepte sprachlich zu erwerben.

Konkretisieren und Visualisieren Die Studierenden prägen sich Definitionen, zu denen sie einen Lebensweltbezug herstellen bzw. eine Metapher bemühen können, besser ein. Die Konkretisierung und Visualisierung ist ein wichtiger Bestandteil der späteren Schulpraxis. In der Hochschuldidaktik sollte auch in den Fachvorlesungen die Konkretisierung und Visualisierung gefördert werden. Das muss jedoch immer im Hinblick auf die fachliche Richtigkeit geschehen. Grenzen von Metaphern müssen deutlich gemacht werden.

20. Zusammenfassung und Ausblick

20.1. Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Energieverständnis angehender Chemielehrkräfte aus verschiedenen Perspektiven in den Blick genommen und die Herausforderungen, vor denen sie stehen, in vier Kategorien eingeteilt. Die Darstellung der Forschungsergebnisse orientiert sich an dieser Gliederung.

Mentale Repräsentationen von Energie Die angehenden Chemielehrkräfte assoziieren Energie in ihrer Lebenswelt zumeist mit Elektrizität, den biologischen Vorgängen im menschlichen Körper sowie Wärme. Die Energieexplikation verläuft hauptsächlich über die Nennung beispielhafter Energieformen, die Darstellung von Energie als einer Ursache für Prozesse und Phänomene, die Betonung der Abstraktheit der physikalischen Größe und über den Fundamentalsatz der Energieerhaltung. Assoziationen und Erklärungsansätze zeichnen sich eher durch eine große Vielfalt als durch Eindeutigkeit aus. Die Konzeptualisierung erfolgt vor allem über Beispiele und Eigenschaften. Eine eindeutige, nicht zirkuläre Definition wird nicht verwendet.

Die Studierenden erkennen die zentralen Aspekte der Energie an. Das Konzept der Energieentwertung ist ihnen bekannt, der zugehörige Fachbegriff jedoch nicht. Energievernichtung und Energieerzeugung werden im Sinne des Energieerhaltungssatzes abgelehnt. Auch wenn die Energieerhaltung zur Erklärung der Energie herangezogen wird, findet sie in der Begründung von chemischen und physikalischen Prozessen keine Anwendung. Die zukünftigen Lehrenden argumentieren in anwendungsbezogenen Kontexten ausschließlich mittels der Energieumwandlung und Energieübertragung verschiedener Energieformen.

Die Assoziationen und Erklärungsansätze der angehenden Chemielehrkräfte sind weitestgehend unabhängig von den untersuchten Differenzierungsmerkmalen Zweitfach, Fachsemester und Alter.

Energie in verschiedenen Fachkontexten Bei den angehenden Chemielehrkräften wurden in den Bereichen chemische Bindung, Thermodynamik und chemische Reaktionen alternative Konzepte vorgefunden. Diese sind in ihrem Auftreten voneinander unabhängig. Ebenfalls besteht bis auf einzelne Ausnahmen kein signifikanter Zusammenhang der alternativen Konzepte zum Zweitfach, Fachsemester bzw. Alter der Studierenden.

20. Zusammenfassung und Ausblick

- **Chemische Bindungen**

Die Deutung von Phänomenen und Prozessen findet auf makroskopischer Ebene statt. Ein Wechsel der Darstellungsebene fällt den Studierenden schwer. Ebenfalls wird die Bedeutung von Wortkomposita, wie beispielsweise Elektronenaffinität, aus den Bedeutungen der einzelnen Wortbestandteile abgeleitet. So wird Elektronenaffinität als Liebe, Elektronen aufzunehmen, beschrieben. Es wird kein Energiebezug hergestellt, da diese kein Bestandteil des Wortes ist.

Die angehenden Lehrkräfte beschreiben häufig, dass die Energie in Bindungen bzw. im Ionengitter gespeichert ist. Diese wird beim Bindungsbruch freigesetzt.
- **Thermodynamik**

Die Studierenden versuchen, thermodynamische Größen mit bekannten (Alltags-) Konzepten zu verknüpfen, um diese so zu veranschaulichen. Durch die Nutzung von Begriffen im Alltag und im Fachkontext (beispielsweise Temperatur und Wärme) mit unterschiedlicher Bedeutung kommt es zu alternativen Konzepten. Ebenso fällt es den Studierenden schwer, zwischen Zustands- und Prozessgrößen zu unterscheiden.

Die zukünftigen Lehrenden setzen Enthalpie und Enthalpieänderung gleich. Die Konzepte von Enthalpie, Reaktionsenthalpie und freier Enthalpie überschneiden sich. Alle Fachbegriffe werden auf den Energieumsatz bei chemischen Reaktionen bezogen. Die Entropie wird ausschließlich über die Unordnungsmetapher definiert.
- **Chemische Reaktionen**

Energiediagramme exothermer und endothermer Reaktionen werden über Prototypen konzeptualisiert. Es kommt zur Vermischung von grafischen und fachlichen Komponenten bei der Beschreibung von exothermen und endothermen Reaktionen. Die Aktivierungsenergie wird von den Studierenden mittels einer Bergmetapher veranschaulicht und der Übergangszustand nicht berücksichtigt. Ebenfalls kommt es zur Überlappung der Konzepte zu den Begriffspaaren exotherm/endotherm und exergon/endergon.
- **Energie in Natur, Technik und Gesellschaft**

Aspekte der Energiewirtschaft sind den Studierenden oberflächlich bekannt. Bei der Bewertung der Energieversorgung spielen vor allem subjektive Eindrücke eine Rolle. Chemische Energie, die in den anderen Fachkontexten für die angehenden Lehrkräfte keine Relevanz hat, wird als Ausgangspunkt für Umwandlungsketten verschiedener Energiewandler genutzt.
- **Übergreifende Aspekte**

Die zukünftigen Chemielehrkräfte beziehen in ihre Argumentationen weder den Begriff System noch den Begriff Umgebung mit ein. Dadurch werden Energieübertragungsprozesse nicht fachlich adäquat wiedergegeben. Das fällt vor allem bei der Nutzung der Ausdrücke Energie verbrauchen und Energie verlieren auf. Auch im Hinblick auf Entropie ist dies relevant. Des Weiteren ziehen die angehenden Chemielehrkräfte die Anschaulichkeit der Exaktheit vor. Wo immer es möglich ist,

nutzen sie Metaphern und Alltagsbezüge. Dadurch kommt es zu einer anthropozentrischen Sichtweise auf Energie.

Energie als fächerübergreifender (Unterrichts-) Gegenstand Die angehenden Chemielehrkräften unterscheiden zwischen dem Energiebezug in den einzelnen Fachrichtungen. Bestimmte Prozesse und Phänomene werden von ihnen in den Zuständigkeitsbereich eines Unterrichtsfaches verwiesen. Diese Kompartimentalisierung manifestiert sich in Aussagen wie „Das ist nicht mein Studienfach. Das kann ich nicht beantworten.“ oder „Das ist jetzt zu viel Physik.“ Die fächerübergreifenden Aspekte finden wenig Beachtung und die Studierenden bewegen sich in ihrer Argumentation anhand des Zugriffsmodus ihres Studienfaches.

Verschränkung von Sprache und Fachwissen Bei der Verbalisierung ihrer Konzepte nutzen die Studierenden verschiedene Formen der chemischen Fachsprache. Sie bewegen sich zwischen chemischer Umgangssprache, Lehrsprache und Alltagssprache. Oftmals können die angehenden Lehrkräfte getätigte Aussagen nicht im Sinne einer Wissenschaftssprache präzisieren. Die unterschiedliche Verwendung von Begriffen wie Energie, Temperatur und Wärme in Fach- und Alltagssprache führt dann zu Überschneidungen in den Konzepten der Studierenden. Sie nutzen häufiger die anschauliche Alltagsbedeutung, was zu fachlich nicht adäquaten Konzepten führt. Die fehlende Exaktheit lässt sich im Sprachgebrauch der angehenden Chemielehrkräfte deutlich erkennen. Es muss zwischen sprachlichen Ungenauigkeiten und defizitärem Fachwissen unterschieden werden. Durch die mangelnde Exaktheit geben die Studierenden selten einschränkende Bedingungen, wie die Einflüsse von Druck, Volumen und Temperatur an, die beispielsweise einen großen Einfluss auf das Enthalpiekonzept haben. Durch eine Ausschärfung mit Blick auf die einzelnen Teilaspekte würden sich die Konzepte höchstwahrscheinlich fachlich adäquat erweitern lassen. Leiten die Studierenden jedoch fachliche Bedeutungen aus den Wortbestandteilen her, führt dies zu fachlich nicht anerkannten Interpretationen einzelner Größen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zwischen den mentalen Repräsentationen zur Energie und den verschiedenen Fachkontexten unterschieden werden muss. Die angehenden Chemielehrkräfte haben ein grundlegendes Verständnis der zentralen Aspekte von Energie und nutzen diese adäquat. Die Kenntnis und das Verständnis der einzelnen Fachbegriffe sind jedoch weniger stark ausgeprägt. Die Studierenden lassen sowohl auf qualitativer als auch auf quantitativer Ebene Probleme erkennen. Neben den Herausforderungen fachwissenschaftlich akzeptierter, nicht-zirkulärer Definitionen sind es vor allem grundlegende Aspekte, die das Verständnis beeinträchtigen. Zum einen führt fehlende Exaktheit zu fachlich alternativen Vorstellungen. Zum anderen stellen die Alltagsbedeutungen in Fachkontexten, die Nutzung von Metaphern zur Veranschaulichung eine Herausforderung dar. In diesem Zuge wird außerdem deutlich, welchen großen Einfluss die Sprache auf das Energieverständnis der angehenden Chemielehrkräfte hat.

20.2. Fazit

Die Zusammenfassung der durchgeführten Studie zeigt, dass in den verschiedenen untersuchten Fachkontexten diverse fachwissenschaftlich alternative Konzepte bei angehenden Chemielehrkräften nachweisbar sind. Das Aufzeigen dieser ist wichtig zur Identifikation von schwierigkeiterzeugenden Aspekten und Schlüsselstellen in den fachwissenschaftlichen bzw. didaktischen Veranstaltungen für die Studierenden. Es hat sich gezeigt, dass auch vermeintlich (aus der Lebenswelt) bekannte und häufig genutzte Fachbegriffe Herausforderungen darstellen. Als Konsequenz sollten in Veranstaltungen auch die Basisbegriffe thematisiert werden, um den Aufbau fachlich anerkannter Wissensnetze zu fördern. Neben den Erkenntnissen auf fachwissenschaftlicher Ebene konnten durch die umfassend angelegte Studie weitere übergreifende Herausforderungen identifiziert und mögliche Maßnahmen abgeleitet werden.

Der Abgleich von mentalen Repräsentationen, Nutzung der verschiedenen zentralen Aspekte von Energie sowie den ermittelten alternativen Konzepten zeigt bei Problemen ähnliche Ausweichstrategien der Probanden. Erkennen sie Widersprüche im eigenen Energieverständnis, wird Energie als abstrakt bezeichnet oder eine anthropozentrische Sichtweise angenommen. Ebenfalls findet oftmals eine Kompartimentalisierung statt. Sie verweisen auf andere Fachdisziplinen mit dem Hinweis, dass dies nicht das eigene Fachgebiet sei. Hieraus folgt, dass an der Hochschule das grundlegende Konzept von Energie gestärkt werden muss. Die angehenden Chemielehrkräfte benötigen Arbeitsdefinitionen, die sich möglichst fächerübergreifend weiterführen lassen und im Konsens gestaltet sind. Die Sensibilisierung sollte auf Energie als fächerübergreifenden und fächerverbindenden Gegenstand liegen.

Eine weitere Konsequenz, die sich aus der Gesamtheit der Ergebnisse ableiten lässt, ist die Anregung von qualitativen Diskussionen. Die zukünftigen Lehrerinnen und Lehrer ziehen die Anschaulichkeit der Exaktheit vor. Dadurch kommt es beispielsweise zu fehlenden Betrachtungen von Systemgrenzen. Fachbegriffe sollten zunächst im Zusammenhang erklärt werden, auf die oben dargestellten möglichen alternativen Konzepte muss deutlich hingewiesen werden. Erst danach ist eine quantitative Betrachtung von Formelzusammenhängen und mathematisierter Beschreibung sinnvoll.

Die Interviews haben deutlich gezeigt, dass sich die angehenden Chemielehrkräfte auf inhaltlicher wie auch auf sprachlicher Ebene in einem Spannungsfeld zwischen Fachwissenschaft und Vermittlung fachwissenschaftlicher Inhalte bewegen. Selbst im fachwissenschaftlichen Kontext ist diese Verbindung vorherrschend. Auch in den fachwissenschaftlichen Veranstaltungen für Lehramtsstudierende sollte die Kommunikation weiter gefördert werden. Die zukünftigen Lehrenden müssen ihr Energieverständnis, ihre Definitionen und Bedeutungszuschreibungen für die Lernenden verbalisieren, konkretisieren und visualisieren. Dies sollte auch in den zugehörigen Lehrveranstaltungen umgesetzt werden.

20.3. Ausblick

Aus der vorliegenden Dissertation lassen sich verschiedene Möglichkeiten für weitere Forschungsaktivitäten ableiten. Zur Erweiterung der Studie kann eine weitere Perspektive auf das abgeleitete *concept image* von Energie eingenommen werden. Zum Energieverständnis angehender Chemielehrkräfte wurde vor allem das lehrplanorientierte, schulrelevante Fachwissen herangezogen. Eine Erweiterung auf Aspekte der Energiewirtschaft und Energiemündigkeit (vgl. FLETCHER & DEUTSCH, 2016) oder auch fächerübergreifende Themenbereiche wäre sinnvoll. Dadurch könnte man einen weiteren Blickwinkel auf das Energieverständnis der angehenden Chemielehrkräfte gewinnen. Ebenfalls könnte eine Erweiterung um soziale und institutionelle Faktoren stattfinden. Durch die Anlage der Studie konnten keine konkreten Lehrveranstaltungen der Hochschulen und deren Vermittlung des Energieverständnisses in die Analyse miteinbezogen werden. Dadurch wird eine wichtige Komponente in der Ausbildung der zukünftigen Lehrenden, die auf die dynamische Erweiterung der Energiekonzepte einen großen Einfluss hat, nicht berücksichtigt.

Die qualitativen Ergebnisse der Studie können außerdem als Grundlage für die Entwicklung von Items für ein Testinstrument genutzt werden. Nach einer angemessenen Validierung könnten so quantifizierende Elemente die Ergebnisse ergänzen. Hieraus können dann konkrete Maßnahmen für die Lehre abgeleitet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, aus solchen Items den Studierenden Tests zur Selbstkontrolle an die Hand zu geben, mit denen sie selbstständig ihren fachlichen Zugang zum Energieverständnis prüfen können.

Weiterführend wäre eine Entwicklung konkreter Lehrformate bzw. Szenarien für die Lehre wünschenswert, die das Energieverständnis der Lernenden in den Blick nehmen.

Teil V.
Anhang

A. Interviewleitfaden

Der Interviewleitfaden ist nach den verschiedenen Themenkomplexen aufgeteilt. Im leitfaden ist die angedachte Interviewreihenfolge dargestellt.

Tabelle A.1.: Interviewleitfaden (Teil 1)

Fragenkomplex	Eröffnungs- und Anschlussfragen
Einführung	Begrüßung und Datenschutz
Assoziationen und Energieexplikation	Beschreiben Sie mir zunächst ganz frei, welche Gegebenheiten Sie in Ihrem Leben/ in Ihrem Alltag mit Energie verbinden bzw. assoziieren. Eine Kommilitonin/ein Kommilitone fragt Sie als Chemiestudent/-studentin was Energie ist. Wie würden Sie ihr/ihm antworten?
Energie in anderen Disziplinen	In welchen anderen (Unterrichts-) Fächern ist der Themenbereich Energie noch relevant? <ul style="list-style-type: none"> • Nennen Sie konkrete Beispiele. • In welchen Disziplinen außerhalb der Naturwissenschaften findet sich der Begriff?
Chemieunterricht Sek. I und II	Ich möchte mit Ihnen kurz beleuchten, in welchen Themenbereichen es im Chemieunterricht konkret vorkommt. <ul style="list-style-type: none"> • Welche Themen werden Ihrer Meinung nach zum Themengebiet Energie in der Sek. I im Chemieunterricht behandelt? Was ist da relevant? • Welche Themen werden Ihrer Meinung nach zum Themengebiet Energie in der Sek. II im Chemieunterricht behandelt?

Tabelle A.2.: Interviewleitfaden (Teil 2)

Fragenkomplex	Eröffnungs- und Anschlussfragen
Minimalziele	<p>Welche wichtigen Schlüsselaussagen sollten die Schülerinnen und Schüler zum Themenbereich Energie nach dem naturwissenschaftlichen Schulunterricht Ihrer Meinung nach verinnerlicht haben?</p>
Fachwissenschaftliche Schwerpunkte	<p>Wie würden Sie einer Kommilitonin/einem Kommilitonen den Zusammenhang von Energie und chemischer Reaktion erläutern? Beschreiben Sie mir bitte das Energiediagramm einer exothermen und einer endothermen Reaktion. (Wenn es Ihnen leichter fällt, können Sie sich das Diagramm auch gerne erst aufzeichnen und dann beschreiben) Versetzen Sie sich in folgende Lage hinein: Sie haben gerade das Energiediagramm vor einer Schulklasse (Oberstufe, Wiederholung, kurz vor dem Abitur) erläutert. Ein Schüler meldet sich und sagt: Aus energetischer Sicht machen endotherme Reaktionen dann doch gar keinen Sinn. Wie kommt der Schüler wohl zu seiner Aussage? Was würden Sie dem Schüler antworten?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie würden Sie in dem Zusammenhang die Begriffe freie Enthalpie und Entropie verwenden? • Nennen Sie die Bedeutung der Begriffe endergon und exergon. • Bringen Sie den Begriff Reaktionsenthalpie mit dem Diagramm in Verbindung. <p>Wie würden Sie einer Kommilitonin/einem Kommilitonen die Unterschiede zwischen den Begriffen Temperatur, Wärme, thermische Energie, Wärmekapazität, Enthalpie erklären? Wann verwendet man Ihrer Meinung nach den Begriff Energie und wann den Begriff Enthalpie?</p>

Tabelle A.3.: Interviewleitfaden (Teil 3)

Fragenkomplex	Eröffnungs- und Anschlussfragen
<p>Fachwissenschaftliche Schwerpunkte</p>	<p>Sie machen mit einer Klasse (Mittelstufe) ein Experiment: In einem Becherglas mit Thermometer wird ein Gemisch aus Wasser und Eiswürfeln langsam mit einem Brenner eine Minute lang erhitzt, so dass im Becherglas nach dem Erhitzen noch Wasser und Eis verbleiben.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wie hoch ist die Temperaturänderung des Eis-Wasser-Gemischs nach dem Erhitzen? (Tendenz des Thermometers) • Wie würden Sie das den Schülerinnen und Schülern erklären? (Bzw. Welche Vermutungen haben Sie? Welche Argumente haben Sie für oder gegen Ihre Behauptung?) • Wie sieht Ihre Erklärung auf Teilchenebene aus?
<p>Fachwissenschaftliche Schwerpunkte anhand von Abbildungen</p>	<p>Ich habe Ihnen verschiedene Abbildungen (aus Schulbüchern) herausgesucht. Bitte beschreiben Sie die Abbildungen zunächst. Danach möchte ich gerne von Ihnen erfahren, was die einzelnen Abbildungen für Sie mit Energie zu tun haben. Inwiefern bringen Sie die Abbildungen mit Energie in Verbindung?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Atommodelle (Ionisierungsenergie, Elektronen) • Salzbildung von NaCl aus den Elementen <ul style="list-style-type: none"> – Ionisierungsenergie – Elektronenaffinität – Gitterenergie • Fossile Energieträger • Regenerative Energiequellen • Kernenergie • Kraftwerk <ul style="list-style-type: none"> – Funktionsprinzip – Umwandlung in elektrische Energie

Tabelle A.4.: Interviewleitfaden (Teil 4)

Fragenkomplex	Eröffnungs- und Anschlussfragen
<p>Fachwissenschaftliche Schwerpunkte</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Batterie/Akkumulator <ul style="list-style-type: none"> – Funktionsweise – Chemische Energie – Unterschied von chemischer und innerer Energie • Glühlampe <ul style="list-style-type: none"> – Zentrale Aspekte von Energie – Zusammenhang von elektrischer Energie und elektrischen Strom
<p>Abschluss</p>	<p>Gibt es Themenbereiche/Aspekte zur Energie, die ich in diesem Interview nicht abgefragt habe, die aber Ihrer Ansicht nach noch sehr wichtig gewesen wären? Wie ist Ihr persönliches Fazit nach diesem Interview? Abschluss, Rückfragen zum weiteren Vorgehen, etc.</p>
<p>Nacherhebung</p>	<p>Wir betrachten zwei Gleichungen</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Verbrennung von Methan 2. Knallgasreaktion <ul style="list-style-type: none"> • Was passiert bei diesen chemischen Reaktionen? • Was verstehen Sie unter dem Begriff Bindungsenergie? • Benenne die Verbindung von chemischer Energie und Bindungsenergie. • Wir haben in den ganzen Interviews sehr wenig über System und Umgebung gesprochen. Wo sehen Sie die beiden Begriffe (auch im Zusammenhang mit der Energieerhaltung, Energieverbrauch, Energievernichtung, Energieverlust)?

B. Zur Beschreibung der Stichprobe

B.1. Verschiedene Universitätsstandorte

Tabelle B.1.: Universitätsstandorte mit jeweiliger Anzahl der Teilnehmenden Lehramtsstudierenden

Universität	Anzahl der Teilnehmenden
Freie Universität Berlin	3
Humboldt-Universität zu Berlin	5
Universität Bielefeld	2
Ruhr-Universität Bochum	1
Technische Universität Braunschweig	1
Universität Duisburg-Essen	3
Goethe-Universität Frankfurt	2
Justus-Liebig-Universität Gießen	2
Georg-August-Universität Göttingen	3
Leibniz Universität Hannover	2
Friedrich-Schiller-Universität Jena	1
Universität Kassel	2
Universität Koblenz-Landau	1
Universität Leipzig	1
Johannes Gutenberg-Universität Mainz	6
Ludwig-Maximilians-Universität München	2
Universität Rostock	2
Universität Siegen	1
Bergische Universität Wuppertal	6
	46

B.2. Kontingenztabelle zu den Differenzierungsmerkmalen

Tabelle B.2.: Kontingenztabelle
Zweifach - Fachsemester

	5.-8. FS	9.-11. FS	
Bio./Phys.	12	10	22
Übrige	11	13	24
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.871$ $p = .768$			

Tabelle B.3.: Kontingenztabelle
Zweifach - Geschlecht

	männl.	weibl.	
Bio./Phys.	12	10	22
Übrige	11	13	24
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.871$ $p = .768$			

Tabelle B.4.: Kontingenztabelle
Fachsemester - Geschlecht

	männl.	weibl.	
5.-8. FS	9	14	23
9.-11. FS	14	9	23
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 1.391$ $p = .238$			

Tabelle B.5.: Kontingenztabelle
Alter - Geschlecht

	männl.	weibl.	
20-24	8	13	21
25-29	11	5	16
30-45	4	5	9
	23	23	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 3.552$ $p = .169$			
Fisher's exact test: $p = .219$			

Tabelle B.6.: Kontingenztabelle
Alter - Zweifach

	Bio./Phys.	Übrige	
20-24	7	14	21
25-29	8	8	16
30-45	7	2	9
	22	24	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.034$ $p = .081$			
Fisher's exact test: $p = .090$			

Tabelle B.7.: Kontingenztabelle
Alter - Fachsemester

	5.-8. FS	9.-11. FS	
20-24	13	8	21
25-29	5	11	16
30-45	5	4	9
	23	23	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.773$ $p = .056$			
Fisher's exact test: $p = .065$			

C. Kontingenztabelle zur Beschreibung der mentalen Repräsentationen

Im Folgenden werden die Kontingenztabelle mit den zugehörigen Chi-Quadrat-Werten angegeben.

C.1. Zweitfach

Tabelle C.1.: Kontingenztabelle

Wärme - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
Wärme	10	8	18
nWärme	12	16	28
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.291$ $p = .590$			

Tabelle C.2.: Kontingenztabelle

biol. Vorgänge - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
biol. Vorgänge	14	10	24
nbiol. Vorgänge	8	14	22
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 1.427$ $p = .232$			

Tabelle C.3.: Kontingenztabelle

Elektrizität - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
Elektr.	15	15	30
nElektr.	7	9	16
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.009$ $p = .925$			

Tabelle C.4.: Kontingenztabelle

Ursache - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
Ursache	6	9	15
nUrsache	16	15	31
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.180$ $p = .671$			

Tabelle C.5.: Kontingenztabelle

Abstraktum - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
Abstr.	10	5	15
nAbstr.	12	19	31
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 4.386$ $p = .036$			

Tabelle C.6.: Kontingenztabelle

Energieform - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
Energief.	6	10	16
nEnergief.	16	14	30
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.510$ $p = .475$			

C. Kontingenztabellen zur Beschreibung der mentalen Repräsentationen

Tabelle C.7.: Kontingenztafel

Energieerhaltung - Zweifach

	Bio./Phys.	Übrige	
Energieerhaltung	6	8	14
nEnergieerhaltung	16	16	32
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.016$ $p = .900$			

C.2. Fachsemester

Tabelle C.8.: Kontingenztabelle

Wärme - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
Wärme	10	8	18
nWärme	13	15	28
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.091$ $p = .763$			

Tabelle C.9.: Kontingenztabelle

biol. Vorgänge - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
biol. Vorgänge	12	12	24
nbiol. Vorgänge	11	11	22
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0$ $p = 1$			

Tabelle C.10.: Kontingenztabelle

Elektrizität - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
Elektr.	15	15	30
nElektr.	8	8	16
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0, p = 1$			

Tabelle C.11.: Kontingenztabelle

Ursache - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
Ursache	9	6	15
nUrsache	14	17	31
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.396$ $p = .529$			

Tabelle C.12.: Kontingenztabelle

Abstraktum - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
Abstr.	9	6	15
nAbstr.	14	17	31
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.396$ $p = .529$			

Tabelle C.13.: Kontingenztabelle

Energieform - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
Energief.	8	8	16
nEnergief.	15	15	30
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0$ $p = 1$			

Tabelle C.14.: Kontingenztabelle

Energieerhaltung - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
Energieerhaltung	6	8	16
nEnergieerhaltung	17	15	30
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.103$ $p = .749$			

C.3. Alter

Tabelle C.15.: Kontingenztabelle
Wärme - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
Wärme	6	7	5	18
nWärme	15	9	4	28
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 2.146$ $p = .342$				
Fisher's exact test: $p = .320$				

Tabelle C.16.: Kontingenztabelle
biol. Vorgänge - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
biol. Vorgänge	12	9	3	24
nbiol. Vorgänge	9	7	6	22
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 1.595$ $p = .451$				
Fisher's exact test: $p = .473$				

Tabelle C.17.: Kontingenztabelle
Elektrizität - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
Elektrizität	15	8	7	30
nElektrizität	6	8	2	16
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 2.616$ $p = .270$				
Fisher's exact test: $p = .340$				

Tabelle C.18.: Kontingenztabelle
Ursache - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
Ursache	8	4	3	15
nUrsache	13	12	6	31
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 0.711$ $p = .701$				
Fisher's exact test: $p = .717$				

Tabelle C.19.: Kontingenztafel
Abstraktum - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
Abstraktum	7	2	6	15
nAbstraktum	14	14	3	31
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 7.700, p = .021$				
Fisher's exact test: $p = .019$				

Tabelle C.20.: Kontingenztafel
Energieform - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
Energieform	9	5	2	16
nEnergieform	12	11	7	30
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 1.318$ $p = .518$				
Fisher's exact test: $p = .519$				

Tabelle C.21.: Kontingenztafel
Energieerhaltung - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
Energieerhaltung	10	3	1	14
nEnergieerhaltung	11	13	8	32
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.548$ $p = .062$				
Fisher's exact test: $p = .092$				

D. Kodierleitfäden Energiewirtschaft

D.1. Hauptkategorien fossile Energie

Tabelle D.1.: Hauptkategorien zu den Vorteilen fossiler Energie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Hoher Wirkungsgrad	„Kohle und Erdöl haben eine höhere Energiedichte als Holz. Es wird mehr Energie pro Stoffmenge frei, wenn man die verbrennt.“ (I31, A111)	19	41,3
Sicherheit	„Also der Vorteil, den die fossilen Brennstoffe haben ist, dass es relativ gut erforscht ist, was die Handhabung ist. Das heißt, sie sind relativ sicher und zuverlässig.“ (I36, A101)	2	4,3
Sonstige	-	2	4,3

Tabelle D.2.: Hauptkategorien zu den Nachteilen fossiler Energie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Schädliche Emissionen	„Nachteile sind ja immer Schadstoffe, die dabei entstehen. Vor allem jetzt sowas wie CO ₂ und diverse Treibhausgase, die dazu führen, also die den Treibhauseffekt verstärken.“ (I37, A126)	26	56,5
Begrenztheit der Ressourcen	„Also Nachteile zum einen dass der, dass man sich nicht unbegrenzt darauf verlassen kann, da sie irgendwann aufgebraucht sein werden.“ (I1, A106)	26	56,5
Ausbeutung der Umwelt	„Bei der Steinkohle ist es halt so, dass natürlich absolutes Nachteil eigentlich, dass man das aus der Erde holt, weil da natürlich auch Bodenschäden und irgendwelche Heiden entstehen und das für die Landschaft auch furchtbar ist.“ (I18, A105)	16	34,8

D.2. Hauptkategorien regenerative Energie

Tabelle D.3.: Hauptkategorien zu den Vorteilen regenerativer Energie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Unerschöpflich	„[...] In den Zeitbereichen, die für uns Menschen gelten, ist die [Sonne] unerschöpflich. Das heißt, wir könnten die Sonnenenergie tatsächlich unter Garantie sozusagen nutzen.“ (I16, A123)	30	65,2
Umweltfreundlich	„Also Vorteil ist ja natürlich, dass relativ wenig CO ₂ entsteht bei den Sachen. Natürlich bei der Produktion immer aber das lassen wir jetzt mal außen vor.“ (I29, A103)	2	4,3
Sonstige	-	3	6,5

Tabelle D.4.: Hauptkategorien zu den Nachteilen regenerativer Energie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Eingriff in die Natur	„Nachteile sind gerade beim Wasserkraftwerk, dass dadurch Ökosysteme natürlich geschädigt werden. Und zwar insbesondere natürlich Flüsse und Seen aber auch Kultur wird dadurch zerstört [...]. “ (I4, A104)	28	60,9
Geringerer Wirkungsgrad	„[...] der größte Nachteil ist, dass es noch nicht so effektiv ist, wie Erdöl oder Kohle oder so zu verbrennen. Das ist, glaube ich, so der Hauptnachteil. “ (I37, A132)	18	39,1
Produktionsprozess und -kosten	„Solarzellen müssen auch irgendwie gebaut werden. Da werden auch Ressourcen verbraucht. Und die Produktionsprozesse, genauso bei Windrädern. Das verbraucht alles irgendwas [...]“ (I32, A116)	16	34,8
Abhängigkeit	„Bei Windenergie ähnlich, nur dass man sich da halt auf den Wind verlassen muss und der weht ja nun auch nicht immer oder immer gleich stark. Das heißt, da sind dann schon diverse Schwankungen in der Energiegewinnung vorhanden [...].“ (I36, A105)	13	28,3
Speicher- und Transportproblematik	„[...] aber das Problem ist auch Transport, Energietransport und Speicher bei diesen Energieformen. [...] Die Frage ist halt, wie man es verteilt großflächig und auch speichert für Tage, an denen halt nicht unbedingt so viel Sonne scheint.“ (I21, A114)	4	8,7

D.3. Hauptkategorien Kernenergie

Tabelle D.5.: Hauptkategorien zu den Vorteilen der Kernenergie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Hoher Wirkungsgrad	„Weil eigentlich durch einen sehr kleinen Prozess [Kernspaltung] sehr viel Energie frei wird. [...].“ (I5, A120)	20	43,5
keine CO₂-Emissionen	„Der Vorteil von Kernenergie ist, dass kein zusätzliches CO ₂ ausgestoßen wird, was ja dann für den Treibhauseffekt verantwortlich ist.“ (I4, A112)	6	13,0
bessere Ressourcenverfügbarkeit	„Ja und dass das radioaktive Material geht nicht so schnell aus wie andere Rohstoffe.“ (I29, A113)	4	8,7

Tabelle D.6.: Hauptkategorien zu den Nachteilen der Kernenergie

Hauptkategorie	Ankerbeispiel	n	%
Endlagersuche	„Es ist noch keine Lösung dafür gefunden worden, wie letztendlich diese verbrauchten Brennstäbe dann gelagert werden können, ohne dass sie die Umwelt eben stark belasten.“ (I6, A116)	32	69,6
Gefährdung durch Strahlung	„Ja gut also erstmal wird ja Strahlung frei, die auch mal gar nicht so gesund ist, Gamma-Strahlung unter anderem. Das wäre jetzt definitiv ein großer Nachteile.“ (I29, A113)	30	65,2
Gefährdung durch Unfälle/Krieg/Terror	„Und seit Tschernobyl, seitdem ein Reaktor hochgegangen ist, ist ja eh die große Angst, dass das wieder passiert. [...] Wir müssen alle abschalten.“ (I36, A111)	24	52,2
Begrenzte Ressourcen	„Also es gibt eine bestimmte Menge dieses radioaktiven Urans auf der Erde [...] und auch da halt die Begrenztheit der Ressource.“ (I3, A110)	3	6,5

E. Kontingenztabelle zur Beschreibung der alternativen Konzepte

Im Folgenden werden die Kontingenztabelle mit den zugehörigen Chi-Quadrat-Werten angegeben.

E.1. Zweitfach

Tabelle E.1.: Kontingenztabelle
BE - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
BE	6	11	17
nBE	4	7	11
	10	18	28
$\chi^2(df = 1, N = 28) = 0.000$ $p = 1$			

Tabelle E.2.: Kontingenztabelle
GE - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
GE	7	9	16
nGE	15	15	30
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.009$ $p = .925$			

Tabelle E.3.: Kontingenztabelle
IE4 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
IE4	10	6	16
nIE4	12	18	30
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 1.311$ $p = .252$			

Tabelle E.4.: Kontingenztabelle
EA - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
EA	8	12	20
nEA	14	12	26
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.402$ $p = .526$			

Tabelle E.5.: Kontingenztabelle
EA2 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
EA2	10	6	16
nEA2	12	18	30
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 1.311$ $p = .252$			

Tabelle E.6.: Kontingenztabelle
TW1 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
TW1	10	8	18
nTW1	12	16	28
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.291$ $p = .590$			

E. Kontingenztafeln zur Beschreibung der alternativen Konzepte

Tabelle E.7.: Kontingenztafel
TW3 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
TW3	7	10	17
nTW3	15	14	29
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.149$ $p = .700$			

Tabelle E.8.: Kontingenztafel
TW5 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
TW5	8	7	15
nTW5	14	17	31
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.042$ $p = .837$			

Tabelle E.9.: Kontingenztafel
EH1 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
EH1	12	10	22
nEH1	10	14	24
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.334$ $p = .563$			

Tabelle E.10.: Kontingenztafel
EH5 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
EH5	9	11	20
nEH5	13	13	26
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.002$ $p = .969$			

Tabelle E.11.: Kontingenztafel
ES2 - Zweitfach

	Bio./Phys.	Übrige	
ES2	15	18	33
nES2	7	6	13
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.034$ $p = .853$			

Tabelle E.12.: Kontingenztafel
EG2 - Zweitfach

	Bio./Physik	Übrige	
EG2	8	10	18
nEG2	14	14	28
	22	24	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.004$ $p = .948$			

E.2. Fachsemester

Tabelle E.13.: Kontingenztafel
BE - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
BE	9	8	17
nBE	6	5	11
	15	13	28
$\chi^2(df = 1, N = 28) = 0.000$ $p = 1$			

Tabelle E.14.: Kontingenztafel
GE - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
GE	7	9	16
nGE	16	14	30
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.096$ $p = .757$			

Tabelle E.15.: Kontingenztafel
IE4 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
IE4	10	6	16
nIE4	13	17	30
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.863$ $p = .353$			

Tabelle E.16.: Kontingenztafel
EA1 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
EA1	11	9	20
nEA1	12	14	26
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.088$ $p = .766$			

Tabelle E.17.: Kontingenztafel
EA2 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
EA2	7	9	16
nEA2	16	14	30
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.096$ $p = .757$			

Tabelle E.18.: Kontingenztafel
TW1 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
TW1	9	9	18
nTW1	14	14	28
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0$ $p = 1$			

Tabelle E.19.: Kontingenztafel
TW3 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
TW3	10	7	17
nTW3	13	16	29
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.373$ $p = .541$			

Tabelle E.20.: Kontingenztafel
TW5 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
TW5	7	8	15
nTW5	16	15	31
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0$ $p = 1$			

E. Kontingenztafeln zur Beschreibung der alternativen Konzepte

Tabelle E.21.: Kontingenztafel
EH1 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
EH1	15	7	22
nEH1	8	16	4
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 4.269$ $p = .039$			

Tabelle E.22.: Kontingenztafel
EH5 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
EH5	12	8	20
nEH5	11	15	26
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.796$ $p = .372$			

Tabelle E.23.: Kontingenztafel
ES2 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
ES2	17	16	33
nES2	6	7	13
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0$ $p = 1$			

Tabelle E.24.: Kontingenztafel
EG2 - Fachsemester

	5. - 8.	9. - 11.	
EG2	9	9	18
nEG2	14	14	28
	23	23	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0$ $p = 1$			

E.3. Alter

Tabelle E.25.: Kontingenztafel *BE* - *Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
BE	8	6	3	17
nBE	7	4	0	11
	15	10	3	28
$\chi^2(df = 2, N = 28) = 2.286$ $p = .319$				
Fisher's exact test: $p = .468$				

Tabelle E.26.: Kontingenztafel *GE* - *Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
GE	8	5	3	16
nGE	13	11	6	30
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 0.198$ $p = .906$				
Fisher's exact test: $p = .921$				

Tabelle E.27.: Kontingenztafel *IE4* - *Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
IE4	9	2	5	16
nIE4	12	14	4	30
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.818$ $p = .055$				
Fisher's exact test: $p = .048$				

Tabelle E.28.: Kontingenztafel *EA1* - *Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
EA1	9	9	2	20
nEA1	12	7	7	26
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 2.720$ $p = .257$				
Fisher's exact test: $p = .291$				

E. Kontingenztabelle zur Beschreibung der alternativen Konzepte

Tabelle E.29.: Kontingenztabelle EA2 - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
EA2	7	5	4	16
nEA2	14	11	5	30
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 0.478$ $p = .788$				
Fisher's exact test: $p = .846$				

Tabelle E.30.: Kontingenztabelle TW1 - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
TW1	8	5	5	18
nTW1	13	11	4	28
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 1.446$ $p = .485$				
Fisher's exact test: $p = .496$				

Tabelle E.31.: Kontingenztabelle TW3 - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
TW3	11	4	2	17
nTW3	10	12	7	29
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 3.965$ $p = .138$				
Fisher's exact test: $p = .169$				

Tabelle E.32.: Kontingenztabelle TW5 - Alter

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
TW5	7	7	1	15
nTW5	14	9	8	31
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 2.802$ $p = .246$				
Fisher's exact test: $p = .278$				

Tabelle E.33.: Kontingenztafel *EH1 - Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
EH1	9	7	6	22
nEH1	12	9	3	24
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 1.595$ $p = .451$				
Fisher's exact test: $p = .473$				

Tabelle E.34.: Kontingenztafel *EH5 - Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
EH5	7	8	5	20
nEH5	14	8	26	30
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 1.691$ $p = .429$				
Fisher's exact test: $p = .434$				

Tabelle E.35.: Kontingenztafel *ES2 - Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
ES2	19	8	6	33
nES2	2	8	3	13
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 7.480$ $p = .024$				
Fisher's exact test: $p = .021$				

Tabelle E.36.: Kontingenztafel *EG2 - Alter*

	20-24 Jahre	25-29 Jahre	30-45 Jahre	
EG2	12	3	3	18
nEG2	9	13	6	28
	21	16	9	46
$\chi^2(df = 2, N = 46) = 5.778$ $p = .056$				
Fisher's exact test: $p = .061$				

F. Kontingenztabelle zum Zusammenhang alternativer Konzepte

Tabelle F.1.: Kontingenztabelle

BE - GE

	GE	nGE	
BE	8	9	17
nBE	1	10	11
	9	19	28
$\chi^2(df = 1, N = 28) = 2.844$			
$p = 0.092$			
Fisher's exact test: $p = .049$			

Tabelle F.2.: Kontingenztabelle

EH1 - EH5

	EH5	nEH5	
EH1	18	4	22
nEH1	2	22	24
	20	26	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 22.321$			
$p = .000$			

Tabelle F.3.: Kontingenztabelle

EH1 - EG2

	EG2	nEG2	
EH1	8	14	22
nEH1	10	14	24
	18	28	28
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.004$			
$p = 0.948$			

Tabelle F.4.: Kontingenztabelle

EH5 - EG2

	EG2	nEG2	
EH5	9	11	20
nEH5	9	17	26
	18	28	46
$\chi^2(df = 1, N = 46) = 0.169$			
$p = 0.681$			

Abbildungsverzeichnis

2.1. Modell der Hochschuldidaktischen Rekonstruktion (nach LOHMANN, 2006, S. 69)	21
2.2. ERTE-Modell (nach van DIJK & KATTMANN, 2007, S. 894)	21
2.3. Verschiedenen Sprachen der Chemie und des Chemieunterrichts (eigene Darstellung nach STRIPPEL und BOHRMANN-LINDE (2018, S. 242).	26
2.4. Darstellungsebenen chemischer Inhalte (eigene Darstellung nach MAHAFFY (2006))	27
5.1. Unordnung und Entropie: Darstellung des Quell- und Zielbereichs	49
8.1. Konzeption und Ablaufmodell des problemzentrierten Interviews nach MAYRING (2016)	78
8.2. Vergleich der prozentualen Nennhäufigkeiten der Antwortmöglichkeiten der Studie von BUCK (1984) und der Replikationsstudie (2018) unter Angabe der auszuwählenden Aussagen (Mehrfachnennungen möglich).	81
8.3. Ablaufmodell der induktiven Kategorienbildung nach MAYRING (2014)	91
9.1. Assoziationen in Abhängigkeit vom Zweitfach der Probanden	104
9.2. Energieexplikationen in Abhängigkeit vom Zweitfach der Probanden	104
9.3. Assoziationen in Abhängigkeit vom Fachsemester der Probanden	105
9.4. Energieexplikationen in Abhängigkeit vom Fachsemester der Probanden	105
9.5. Assoziationen in Abhängigkeit vom Alter der Probanden	106
9.6. Energieexplikationen in Abhängigkeit vom Alter der Probanden	106
13.1. Kurvenverlauf einer beschriebenen endothermen Reaktion	144
13.2. Prototyp eines Energiediagramms der angehenden Chemielehrkräfte	144
14.1. Kontexte zur Nutzung von Energie verbrauchen, verlieren, vernichten	163
15.1. Alternative Konzepte in Abhängigkeit vom Zweitfach der Probanden	182
15.2. Alternative Konzepte in Abhängigkeit vom Fachsemester Chemie der Probanden	183
15.3. Alternativen Konzepte in Abhängigkeit vom Alter der Probanden	184
17.1. Berg als Metapher für die Aktivierungsenergie	214

Tabellenverzeichnis

8.1. Vorkommen der Konzeptualisierung und des energiebezogenen schulrelevanten, lehrplanorientierten Fachwissen in den einzelnen Fragenblöcken des Leitfadens	83
8.2. Differenzierungsmerkmale der Stichprobe	87
9.1. Hauptkategorien zum Schwerpunkt Alltagsassoziationen zur Energie (Teil 1)	99
9.2. Zugehörige Subkategorien zu der Hauptkategorie <i>Phänomene</i>	100
9.3. Hauptkategorien zum Schwerpunkt Alltagsassoziationen zur Energie (Teil 2)	100
9.4. Hauptkategorien zum Schwerpunkt Energieexplikation (Teil 1)	101
9.5. Zugehörige Subkategorien zu den Hauptkategorien <i>Zentrale Aspekte</i> und <i>Physikalische Termini</i>	102
9.6. Hauptkategorien zum Schwerpunkt Energieexplikation (Teil 2)	103
10.1. Angaben der angehenden Chemielehrkräfte zum Energiebezug in Unterrichtsfächern (ohne das Unterrichtsfach Chemie)	110
10.2. Hauptkategorien zu energiebezogenen Fachkontexten in der Sek. I	112
10.3. Hauptkategorien zu energiebezogenen Fachkontexten in der Sek. II	113
10.4. Hauptkategorien zu Mindestkenntnissen zur Energie	114
11.1. Hauptkategorien zur ersten Antwort zur Wärmeübertragung bei der Verbrennung von Methan ($N = 28$)	118
11.2. Subkategorien zur Definition der BE ($N = 28$)	119
11.3. Hauptkategorien zur Definition der GE ($N = 46$)	120
11.4. Hauptkategorien zur Definition der IE im Kontext der Salzbildung aus den Elementen ($N = 46$)	121
11.5. Hauptkategorien zur Definition der EA ($N = 46$)	122
12.1. Hauptkategorien zur Definition der Temperatur	128
12.2. Hauptkategorien zur Definition der Wärme	129
12.3. Antwortkategorien der Studierenden (absolute Häufigkeit)	130
12.4. Hauptkategorien zur Definition der Wärmekapazität	133
12.5. Hauptkategorien zur Definition der Enthalpie	134
12.6. Hauptkategorien zur Definition der Entropie	136
12.7. Hauptkategorien zur Definition der freien Enthalpie	138

13.1. Hauptkategorien zum Energiediagramm	142
13.2. Hauptkategorien zur Definition der Reaktionsenthalpie	145
13.3. Hauptkategorien zur Definition von exergon und endergon	146
13.4. Hauptkategorien zur Freiwilligkeit endothermer Reaktionen	148
14.1. Hauptkategorien zur Definition der chemischen Energie	154
14.2. Hauptkategorien zur Definition des Begriffs elektrischer Strom	155
14.3. Hauptkategorien zur Abgrenzung zwischen elektrischem Strom und elek- trischer Energie	156
14.4. Hauptkategorien der impliziten Nutzung des Begriffs elektrischer Strom .	157
14.5. Hauptkategorien zur Bereitstellung von elektrischer Energie im Kraftwerk	159
14.6. Vorteile fossiler Energie	161
14.7. Nachteile fossiler Energie	161
14.8. Vorteile regenerativer Energie	162
14.9. Nachteile regenerativer Energie	162
14.10. Vorteile Kernenergie	162
14.11. Nachteile Kernenergie	162
14.12. Auftreten der untersuchten Terme in den Interviews	163
14.13. Subkategorien zur Hauptkategorie <i>Alltag</i> in Bezug auf den Term <i>Energie</i> <i>verbrauchen</i>	164
15.1. Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Bindun- gen und deren Auftreten in den Interviews	172
15.2. Alternatives Konzept zum Einbezug von Systemgrenzen bei thermodyna- mischen Betrachtungen	175
15.3. Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Bindun- gen und deren Auftreten in den Interviews.	176
15.4. Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Bindun- gen und deren Auftreten in den Interviews.	177
15.5. Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext der Entropie und der freien Enthalpie.	178
15.6. Übersicht über die alternativen Konzepte im Kontext chemischer Reaktionen	180
A.1. Interviewleitfaden (Teil 1)	241
A.2. Interviewleitfaden (Teil 2)	242
A.3. Interviewleitfaden (Teil 3)	243
A.4. Interviewleitfaden (Teil 4)	244
B.1. Universitätsstandorte mit jeweiliger Anzahl der Teilnehmenden Lehramts- studierenden	245
B.2. Kontingenztafel <i>Zweifach</i> - <i>Fachsemester</i>	246
B.3. Kontingenztafel <i>Zweifach</i> - <i>Geschlecht</i>	246
B.4. Kontingenztafel <i>Fachsemester</i> - <i>Geschlecht</i>	246
B.5. Kontingenztafel <i>Alter</i> - <i>Geschlecht</i>	246
B.6. Kontingenztafel <i>Alter</i> - <i>Zweifach</i>	246

B.7. Kontingenztafel <i>Alter - Fachsemester</i>	246
C.1. Kontingenztafel <i>Wärme -Zweifach</i>	247
C.2. Kontingenztafel <i>biol. Vorgänge - Zweifach</i>	247
C.3. Kontingenztafel <i>Elektrizität - Zweifach</i>	247
C.4. Kontingenztafel <i>Ursache - Zweifach</i>	247
C.5. Kontingenztafel <i>Abstraktum - Zweifach</i>	247
C.6. Kontingenztafel <i>Energieform - Zweifach</i>	247
C.7. Kontingenztafel <i>Energieerhaltung - Zweifach</i>	248
C.8. Kontingenztafel <i>Wärme - Fachsemester</i>	249
C.9. Kontingenztafel <i>biol. Vorgänge - Fachsemester</i>	249
C.10. Kontingenztafel <i>Elektrizität - Fachsemester</i>	249
C.11. Kontingenztafel <i>Ursache - Fachsemester</i>	249
C.12. Kontingenztafel <i>Abstraktum - Fachsemester</i>	249
C.13. Kontingenztafel <i>Energieform - Fachsemester</i>	249
C.14. Kontingenztafel <i>Energieerhaltung - Fachsemester</i>	249
C.15. Kontingenztafel <i>Wärme - Alter</i>	250
C.16. Kontingenztafel <i>biol. Vorgänge - Alter</i>	250
C.17. Kontingenztafel <i>Elektrizität - Alter</i>	250
C.18. Kontingenztafel <i>Ursache - Alter</i>	250
C.19. Kontingenztafel <i>Abstraktum - Alter</i>	251
C.20. Kontingenztafel <i>Energieform - Alter</i>	251
C.21. Kontingenztafel <i>Energieerhaltung - Alter</i>	251
D.1. Hauptkategorien zu den Vorteilen fossiler Energie	253
D.2. Hauptkategorien zu den Nachteilen fossiler Energie	254
D.3. Hauptkategorien zu den Vorteilen regenerativer Energie	255
D.4. Hauptkategorien zu den Nachteilen regenerativer Energie	256
D.5. Hauptkategorien zu den Vorteilen der Kernenergie	257
D.6. Hauptkategorien zu den Nachteilen der Kernenergie	258
E.1. Kontingenztafel <i>BE - Zweifach</i>	259
E.2. Kontingenztafel <i>GE - Zweifach</i>	259
E.3. Kontingenztafel <i>IE₄ - Zweifach</i>	259
E.4. Kontingenztafel <i>EA - Zweifach</i>	259
E.5. Kontingenztafel <i>EA₂ - Zweifach</i>	259
E.6. Kontingenztafel <i>TW₁ - Zweifach</i>	259
E.7. Kontingenztafel <i>TW₃ - Zweifach</i>	260
E.8. Kontingenztafel <i>TW₅ - Zweifach</i>	260
E.9. Kontingenztafel <i>EH₁ - Zweifach</i>	260
E.10. Kontingenztafel <i>EH₅ - Zweifach</i>	260
E.11. Kontingenztafel <i>ES₂ - Zweifach</i>	260
E.12. Kontingenztafel <i>EG₂ - Zweifach</i>	260
E.13. Kontingenztafel <i>BE - Fachsemester</i>	261

Tabellenverzeichnis

E.14. Kontingenztafel <i>GE - Fachsemester</i>	261
E.15. Kontingenztafel <i>IE4 - Fachsemester</i>	261
E.16. Kontingenztafel <i>EA1 - Fachsemester</i>	261
E.17. Kontingenztafel <i>EA2 - Fachsemester</i>	261
E.18. Kontingenztafel <i>TW1 - Fachsemester</i>	261
E.19. Kontingenztafel <i>TW3 - Fachsemester</i>	261
E.20. Kontingenztafel <i>TW5 - Fachsemester</i>	261
E.21. Kontingenztafel <i>EH1 - Fachsemester</i>	262
E.22. Kontingenztafel <i>EH5 - Fachsemester</i>	262
E.23. Kontingenztafel <i>ES2 - Fachsemester</i>	262
E.24. Kontingenztafel <i>EG2 - Fachsemester</i>	262
E.25. Kontingenztafel <i>BE - Alter</i>	263
E.26. Kontingenztafel <i>GE - Alter</i>	263
E.27. Kontingenztafel <i>IE4 - Alter</i>	263
E.28. Kontingenztafel <i>EA1 - Alter</i>	263
E.29. Kontingenztafel <i>EA2 - Alter</i>	264
E.30. Kontingenztafel <i>TW1 - Alter</i>	264
E.31. Kontingenztafel <i>TW3 - Alter</i>	264
E.32. Kontingenztafel <i>TW5 - Alter</i>	264
E.33. Kontingenztafel <i>EH1 - Alter</i>	265
E.34. Kontingenztafel <i>EH5 - Alter</i>	265
E.35. Kontingenztafel <i>ES2 - Alter</i>	265
E.36. Kontingenztafel <i>EG2 - Alter</i>	265
F.1. Kontingenztafel <i>BE - GE</i>	267
F.2. Kontingenztafel <i>EH1 - EH5</i>	267
F.3. Kontingenztafel <i>EH1 - EG2</i>	267
F.4. Kontingenztafel <i>EH5 - EG2</i>	267

Literatur

- Amin, T. G., Jeppsson, F., Haglund, J. & Strömdahl, H. (2012). Arrow of Time: Metaphorical Construals of Entropy and the Second Law of Thermodynamics. *Science Education*, 96(5), 818–848. <https://doi.org/10.1002/sc.21015>
- Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. (2018). *Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2017* [Bearbeitet von Ziesing, H. J.]. https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2017_20180315-02_dt.pdf
- Atkins, P. W. & De Paula, J. (2013). *Physikalische Chemie* (5. Aufl., Bd. [Hauptbd.]). Wiley-VCH.
- Baalmann, W., Frerichs, V. & Kattmann, U. (2005). Genetik im Kontext von Evolution - oder: Warum die Gorillas schwarz wurden. *Der mathematisch-naturwissenschaftliche Unterricht MNU*, 58, 420–427.
- Barke, H. (2006). *Chemiedidaktik : Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Springer.
- Barker, V. & Millar, R. (2000). Students' reasoning about basic chemical thermodynamics and chemical bonding: what changes occur during a context-based post-16 chemistry course? *International Journal of Science Education*, 22(11), 1171–1200. <https://doi.org/10.1080/09500690050166742>
- Behle, J. & Wilhelm, T. (2017). Schülervorstellungen zur Energie im Wandel der Zeit (C. Maurer, Hrsg.) [Jahrestagung Zürich 2016, Universität Regensburg]. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis*. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik.
- Bingolbali, E. & Monaghan, J. (2008). Concept Image revisited. *Education Studies in Mathematics*, 68(1), 19–35. <https://doi.org/DOI10.1007/s10649-007-9112-2>
- Born, G. (1977). Strukturen des Energiebegriffs. In K. Wenk & G. Trommer (Hrsg.), *Naturerscheinung Energie* (S. 74–83). Georg Westermann.
- Boyes, E. & Stanisstreet, M. (1990). Pupil's ideas concerning energy sources. *International Journal of Science Education*, 12(5).
- Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E. & Bruice, P. Y. (2013). *Chemie für die gymnasiale Oberstufe - Allgemeine, Anorganische, Organische und Physikalische Chemie*. Pearson.
- Buck, P. (1984). Auf der Suche nach einem handhabbaren Energiebegriff (H. Mikelskis, Hrsg.) [Beitrag auf der GDGP-Jahrestagung 1983]. In H. Mikelskis (Hrsg.), *Zur Didaktik der Physik und der Chemie. Probleme und Perspektiven*.
- Burger, J. (2001). *Schülervorstellungen zu Energie im biologischen Kontext - Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen* (Diss.). Universität Bielefeld.

- Burger, N. (2000). *Vorstellungen von Schülern über Elektrochemie - eine Interviewstudie* (Diss.). Universität Dortmund.
- Cakmakci, G. (2010). Identifying alternative conceptions of chemical kinetics among secondary school and undergraduate students in Turkey. *Journal of Chemical Education*, 87, 449–455.
- Cakmakci, G. & Leach, J. (2005). Turkish secondary and undergraduate students' understanding of the effect of temperature on reaction rates [Paper presented at the European Science Education Research Association Conference].
- Cakmakci, G., Leach, J. & Donnelly, J. (2006). Students' ideas about reaction rate and its relationship with concentration or pressure. *International Journal of Science Education*, 28, 1795–1815.
- Carson, E. M. & Watson, J. R. (1999). Undergraduate Students' Understanding of Enthalpy Change. *University Chemistry Education*, 3(2), 46–51.
- Carson, E. M. & Watson, J. R. (2002). Undergraduate students' understanding of entropy and Gibbs free energy. *University Chemistry Education*, 6, 4–12.
- Coll, R. K. & Treagust, D. F. (2002). Learners' Use of Analogy and Alternative Conceptions for Chemical Bonding: A Cross-Age Study. *Australian Science Teachers' Journal*, 48(1), 24–32.
- Cooper, M. M. & Klymkowsky, M. W. (2013). The Trouble with Chemical Energy: Why Understanding Bond Energies Requires an Interdisciplinary Systems Approach. *CBE – Life Sciences Education*, 12(2), 306–312. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-10-0170>
- Coopersmith, J. (2015). *Energy, the Subtle Concept: The Discovery of Feynman's Blocks from Leibniz to Einstein*. Oxford University Press.
- Crossley, A., Hirn, N. & Starauschek, E. (2009). Schülervorstellungen zur Energie - Eine Replikationsstudie (V. Nordmeier & H. Grötzebauch, Hrsg.). In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *Tagungsband-CD DPG-Bochum 2009, Didaktik der Physik*.
- Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache. (n. d. a). *verbrauchen* (B.-B. A. der Wissenschaften, Hrsg.) [DWDS-Wortprofil 'verbrauchen']. <https://www.dwds.de/wp/verbrauchen>
- Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache. (n. d. b). *verlieren* (B.-B. A. der Wissenschaften, Hrsg.) [DWDS-Wortprofil 'verlieren']. <https://www.dwds.de/wb/verlieren>
- Digitales Wörterbuch der deutschen Sprache. (n. d. c). *vernichten* (B.-B. A. der Wissenschaften, Hrsg.) [DWDS-Wortprofil 'vernichten']. <https://www.dwds.de/wb/vernichten>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5., vollst. überarb., akt. u. erw. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg.
- Driver, R. & Warrington, L. (1985). Students' use of the principle of energy conservation in problem situations. *Physics Education*, 20(4), 171–176. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/20/4/308>

- Dudenredaktion. (n. d.). *Energie* [auf Duden online]. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Energie>
- Duit, R. (1981). Students' notions about the energy concept - before and after physics instruction [Paper presented at the Conference on "Problems Concerning Students' Representation of Physics and Chemistry Knowledge"].
- Duit, R. (1986). *Der Energiebegriff im Physikunterricht*. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Duit, R. (1991). On the Role of Analogies and Metaphors in Learning Science. *Science Education*, 75(6), 649–672. <https://doi.org/10.1002/sce.3730750606>
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschafts-didaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905–923.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero (Hrsg.), *New perspectives on conceptual change* (S. 262–282). Pergamon.
- Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. S. Krajcik, K. Neumann, J. C. Nordine & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education*. Springer International Publishing.
- Erickson, G. L. (1979). Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, 63(2), 221–230. <https://doi.org/10.1002/sce.3730630210>
- Erickson, G. L. & Tiberghien, A. (1985). Heat and Temperature. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Hrsg.), *Children's Ideas in Science* (S. 52–84). Open University Press.
- Euler, M. (2013a). *Energiebildung an Schulen aus der Sicht von Lehrkräften*. <https://www.lehrer-online.de/artikel/fa/energiebildung-an-schulen-aus-der-sicht-von-lehrkraeften/>
- Euler, M. (2013b). *Energiebildung an Schulen aus der Sicht von Lehrkräften* [Maßnahmen zur Stärkung der Energiebildung]. <https://www.lehrer-online.de/artikel/seite/fa/energiebildung-an-schulen-aus-der-sicht-von-lehrkraeften/massnahmen-zur-staerkung-der-energiebildung/>
- Falk, G., Herrmann, F. & Schmid, G. B. (1983). Energy forms or energy carriers? *American Journal of Physics*, 51(12), 1074–1077. <https://doi.org/10.1119/1.13340>
- Falk, G. & Ruppel, W. (1976). *Energie und Entropie. Die Physik des Naturwissenschaftlers. Eine Einführung in die Thermodynamik*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-67899-8>
- Feynman, R. P., Leighton, R. B. & Sands, M. (2015). *Feynman - Vorlesungen über Physik 1. Mechanik* (6. Aufl.) [New Millenium-Edition]. De Gruyter.
- Fletcher, S. & Deutsch, J. (2016). Energiemündigkeit von Schülerinnen und Schülern am Ende der Sekundarstufe I - Konzeptionalisierung eines Modells zur Energiemündigkeit und Entwicklung eines darauf basierenden Testwerkzeugs. *Journal of Technical Education*, 4(2), 106–127.
- Förderverein MNU. (2003). *Lernen und Können im naturwissenschaftlichen Unterricht: Denkanstöße und Empfehlungen zur Entwicklung von Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern Biologie, Chemie und Physik (Sekundarbereich*

- I). https://www.mnu.de/images/PDF/fachbereiche/chemie/lernen_koennen.pdf
- Gabriela, M., Ribeiro, T. C., Costa Pereira, D. J. V. & Maskill, R. (1990). Reaction and spontaneity: the influence of meaning from everyday language on fourth year undergraduates' interpretations of some simple chemical phenomena. *International Journal of Science Education*, 12(4), 391–401. <https://doi.org/10.1080/0950069900120406>
- Galley, W. C. (2004). Exothermic Bond Breaking: A Persistent Misconception. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 523–525. <https://doi.org/10.1021/ed081p523>
- Gilbert, J. K. & Watts, D. M. (1983). Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. *Studies in Science Education*, 10(1), 61–98. <https://doi.org/10.1080/03057268308559905>
- Gropengießer, H. (1997). Schülervorstellungen zum Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(1), 71–87.
- Haglund, J. (2017). Good Use of a 'Bad' Metaphor. Entropy as Disorder. *Science & Education*, 26, 205–214. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9892-4>
- Hank, B. (2018). Schülervorstellungen und Konzeptwandelprozesse. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 217–238). Aulis.
- Harms, U. & Kattmann, U. (2013). Sprache. In H. Gropengießer, U. Harms & U. Kattmann (Hrsg.), *Fachdidaktik Biologie* (9. Aufl., S. 378–389). Aulis.
- Hartmann, S. (2004). *Erklärungsvielfalt*. Logos.
- Hefendehl-Hebeker, L. (2013). Doppelte Diskontinuität oder die Chance der Brückenschläge. In C. Ableitinger, J. Kramer & S. Prediger (Hrsg.), *Zur doppelten Diskontinuität in der Gymnasiallehrerbildung: Ansätze zu Verknüpfungen der fachinhaltlichen Ausbildung mit schulischen Vorerfahrungen und Erfordernissen* (S. 1–16). Springer Spektrum.
- Hoffmann, L. (1985). *Kommunikationsmittel Fachsprache - Eine Einführung* (Band 1). Gunter Narr.
- Holme, T. A., Luxford, C. J. & Brandriet, A. (2015). Defining Conceptual Understanding in General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92, 1477–1483. <https://doi.org/DOI:10.1021/acs.jchemed.5b00218>
- Huber, N. & Habelitz-Tkotz, W. (2015). Stolpersteine auf dem Weg zu einem naturwissenschaftlichen Energie-Konzept. *PdN Chemie in der Schule*, 64(2), 26–29.
- IPN (Hrsg.). (2012). Energiebildung - Status und Perspektive, (1). ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/ipn-blaetter/IPN_Blaetter_1_2012.pdf
- Jasien, P. G. & Oberem. (2002). Understanding of Elementary Concepts in Heat and Temperature among College Students and K-12 Teachers. *Journal of Chemical Education*, 79(7), 889–895. <https://doi.org/10.1021/ed079p889>
- Kaminski, H., Böhringer, C., Brinker, W., Brunekreeft, G., Luther, J., Rammner, S. & Wagner, U. *Überlegungen zur Didaktik der Energiebildung (als Ergänzungsband zu den BULLENSEE-THESEN)*. Oldenburg, 2010, 24.
- Kattmann, U. (2005). Lernen mit anthropomorphen Vorstellungen? – Ergebnisse von Untersuchungen zur Didaktischen Rekonstruktion in der Biologie. *Zeitschrift für*

- Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 165–174. https://www.researchgate.net/publication/277889719_Lernen_mit_anthropomorphen_Vorstellungen_-_Ergebnisse_von_Untersuchungen_zur_Didaktischen_Rekonstruktion_in_der_Biologie
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18. https://www.researchgate.net/publication/271957189_Das_Modell_der_Didaktischen_Rekonstruktion_-_Ein_Rahmen_fur_naturwissenschaftsdidaktische_Forschung_und_Entwicklung
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengiesser, H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion – Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 3–18.
- Keimes, C. & Rexing, V. (2018). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion im inklusiven Fachunterricht - eine Pilotstudie in der (Fach-) Didaktik Bautechnik. *Journal of Technical Education*, 6(3), 39–57.
- KMK, K. (2004). *Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung Chemie [EPA Chemie]* [Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 01.12.1989 i.d.F. vom 05.02.2004].
- Kniffka, G. & Roelcke, T. (2016). *Fachsprachenvermittlung im Unterricht*. Schöningh.
- Konerding, K.-P. (2015). Sprache und Wissen. In E. Felder & A. Gardt (Hrsg.), *Handbuch Sprache und Wissen* (S. 57–80). Walter de Gruyter.
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Luchterhand. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004* [Beschluss vom 16.12.2004]. Luchterhand. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss. Beschluss vom 16.12.2004*. Luchterhand. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf
- Kultusministerkonferenz (Hrsg.). (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]. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2008/2008_10_16-Fachprofile-Lehrerbildung.pdf
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980a). The Metaphorical Structure of the Human Conceptual System. *Cognitive Science*, 4(2), 195–208. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0402_4
- Lakoff, G. & Johnson, M. (1980b). *Metaphors we live by*. Univ. of Chicago Press.

Literatur

- Lambert, F. L. (2002). Disorder - A Cracked Crutch for Supporting Entropy Discussions. *Journal of Chemical Education*, 79(2), 187–192. <https://doi.org/10.1021/ed079p187>
- Lamnek, S. (2010). *Qualitative Sozialforschung* (5. Aufl.). Beltz.
- Lancor, R. A. (2014a). Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry and Physics. *Science & Education*, 23, 1245–1267. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9535-8>
- Lancor, R. A. (2014b). Using Student-Generated Analogies to Investigate Conceptions of Energy: A multidisciplinary study. *International Journal of Science Education*, 36(1), 1–23. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.714512>
- Lancor, R. A. (2015). An Analysis of Metaphors Used by Students to Describe Energy in an Interdisciplinary General Science Course. *International Journal of Science Education*, 37(5-6), 876–902.
- Landis, J. R. & Koch, G. G. (1977). The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, 33(1), 159–174.
- Liebers, K. (1981). Zur Behandlung der Energie in Klasse 7. *Physik in der Schule*, 19, 120–129.
- Lohmann, G. (2006). Didaktische Rekonstruktion in der Hochschuldidaktik. *Journal für Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 2, 65–73.
- Lüdeke-Freund, F. & Opel, O. (2014). Energie. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 429–453). Springer Spektrum.
- Mahaffy, P. (2006). Moving Chemistry Education into 3D: A Tetrahedral Metaphor for Understanding Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 83(1), 49–55. <https://doi.org/10.1021/ed083p49>
- Marohn, A. (1999). *Fehlvorstellungen von Schülern in der Elektrochemie - eine empirische Untersuchung* (Diss.). Universität Dortmund.
- Maxwell, J. C. (1902). *Theory of heat*. Longmans, Green & Company. <https://archive.org/details/theoryofheat00maxwrch>
- Mayring, P. (2014). *Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution*. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>
- Mayring, P. (2016). *Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zum qualitativen Denken* (6. Aufl.). Beltz.
- Meyers Lexikonredaktion (Hrsg.). (2006a). *Meyers Großes Taschenlexikon in 24 Bänden: Asie-Bess* [Assoziation].
- Meyers Lexikonredaktion (Hrsg.). (2006b). *Meyers Großes Taschenlexikon in 24 Bänden: Elbi-Ferno* [Erklärung].
- Michelsen, G., Grunenberg, H., Mader, C. & Barth, m. (2016). *Greenpeace Nachhaltigkeitsbarometer 2015 - Nachhaltigkeit bewegt die jüngere Generation*. VAS.
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Weiterbildung (Hrsg.). (1998). *Lehrplan Chemie Sekundarstufe II Rheinland-Pfalz*. https://lehrplaene.bildung-rp.de/no-cache.html?tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bcontroller%5D=Download&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Baction%5D=forceDownload&tx_pitsdownloadcenter_pitsdownloadcenter%5Bfileid%5D=D0sILqCkRgeDNoCAz%2FD0KQ%3D%3D

- Neumüller, O.-A. (2003). *Das Wörterbuch chemischer Fachausdrücke. Der Schlüssel zur chemischen Fachsprache - für Schule, Studium und Beruf* ['Energie']. Dudenverlag.
- Nilsson, T. & Niedderer, H. (2014). Undergraduate students' conceptions of enthalpy, enthalpy change and related concepts. *Chemistry Education: Research and Practice*, 15, 336–353. <https://doi.org/10.1039/c2rp20135f>
- Nitz, S., Nerdel, C. & Prechtel, H. (2012). Entwicklung eines Erhebungsinstrumentes zur Erfassung der Verwendung von Fachsprache im Biologieunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 18, 117–139.
- Nordine, J. (2016a). Talking about energy. In J. Nordine (Hrsg.), *Teaching Energy Across the Sciences K-12*. NSTA.
- Nordine, J. (2016b). What should students know about energy? In J. Nordine (Hrsg.), *Teaching Energy Across the Sciences K-12*. NSTA.
- Ogborn, J. (1990). Energy, change, difference and danger. *School Science Review*, 72(259), 81–85.
- Oldenburg, U. (n. d.). *Energieportal*. <https://uol.de/energieportal/projekt-energiebildung>
- Opitz, S. T., Neumann, K., Bernholt, S. & Harms, U. (2019). Students' Energy Understanding Across Biology, Chemistry, and Physics Contexts. *Research in Science Education*, (49), 521–541. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11165-017-9632-4>
- Pahl, E.-M. (2012). *Vorstellungen von Lehrpersonen aus dem Sach- und Physikunterricht zum Thema Energie und dessen Vermittlung*. Logos.
- Parchmann, I. & Bernholt, S. (2013). In, mit und über Chemie kommunizieren - Chancen und Herausforderungen von Kommunikationsprozessen im Chemieunterricht. In M. Becker-Mrotzek, K. Schramm, E. Thürmann & H. J. Vollmer (Hrsg.), *Sprache im Fach* (S. 241–253). Waxmann.
- Park, M. & Liu, X. (2016). Assessing Understanding of the Energy Concept in Different Science Disciplines. *Science Education*, 100(3), 483–516.
- Philipp, R. (2007). Mathematics Teachers' Beliefs and Affect. In F. K. J. Lester (Hrsg.), *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning: A Project of the National Council of Teachers of Mathematics* (S. 257–315). Information Age.
- Quinn, H. R. (2014). A Physicist's Musings on Teaching About Energy. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. S. Krajcik, K. Neumann, J. C. Nordine & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (S. 15–36). Springer.
- Rehm, M. & Stäudel, L. (2012). Grundbegriffe und Basiskonzepte der Chemie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 23(128), 2–7.
- Reinfried, S., Mathis, C. & Kattmann, U. (2009). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion. Eine innovative Methode zur fachdidaktischen Erforschung und Entwicklung von Unterricht. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 27(3), 404–414.

Literatur

- Rhöneck, v. C. (2004). Vorstellungen vom elektrischen Stromkreis und zu den Begriffen Strom, Spannung und Widerstand. In *Schülervorstellungen in der Physik* (S. 167–171). Aulis.
- Riedel, E. & Janiak, C. (2007). *Anorganische Chemie* (7. Aufl.). Walter de Gruyter.
- Ritsert, J. (1972). *Inhaltsanalyse und Ideologiekritik : ein Versuch über kritische Sozialforschung*. Athenäum.
- Rogers, E. M. (1960). *Physics for the Inquiring Mind: The Methods, Nature, and Philosophy of Physical Science*. Princeton University Press.
- Rösken, B. & Rolka, K. (2007). Integrating intuition: The role of concept image and concept definition for students' learning of integral calculus. *The Montana Mathematics Enthusiast*, (3), 181–204.
- Ross, K. (1993). There is no energy in food and fuels - but they do have fuel value. *School Science Review*, 75(271), 39–47.
- RWE Stiftung gemeinnützige GmbH (Hrsg.). (2013). *Energiebildung in Deutschland* [Eine Studie des Leibniz-Instituts für die Pädagogik der Naturwissenschaften und der Mathematik im Auftrag der RWE Stiftung].
- Salame, I., Sarowar, S., Begum, S. & Krauss, D. (2011). Students' Alternative Conceptions about Atomic Properties and the Periodic Table. *The Chemical Educator*, 16, 190–194. <https://doi.org/10.1333/s00897112375a>
- Schecker, H. & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen zu Energie und Wärmekraftmaschinen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht* (S. 164–183). Springer Spektrum.
- Scheler, K. (2004). Energie als Tauschwert - ein neuer Ansatz zur Erschließung des Energiebegriffs in der Sekundarstufe I. *Chimica didactica*, 1/2(93/94), 67–87.
- Scheler, K. (2012). Was ist Energie? Ein Physik und Chemie übergreifendes Basiskonzept zur Deutung der Energie in der Sekundarstufe I. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 23(128), 33–37.
- Schlichting, H. J. (2000). Von der Energieentwertung zur Entropie. *Praxis der Naturwissenschaften Physik*, 49(2), 7–11. https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/fachbereich_physik/didaktik_physik/publikationen/energieentwertung_entropie.pdf
- Schmidkunz, H. & Parchmann, I. (2011). Basiskonzept Energie. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, 22(121), 2–7.
- Schmidt, C. (2017). Analyse von Leitfadentexten. In U. Flick, E. v. Kardoff & I. Steineke (Hrsg.), *Qualitative Forschung: Ein Handbuch* (12. Aufl., S. 447–456). Rowohlt Taschenbuch.
- Schmidt, M. (2008). *Kompetenzmodellierung und -diagnostik im Themengebiet Energie der Sekundarstufe I. Entwicklung und Erprobung eines Testinventars*. Logos.
- Schmitt, R., Schröder, J. & Pfaller, L. (2018). *Systematische Metaphernanalyse. Eine Einführung*. Springer VS.
- Schulz, M. & Ruddat, M. (2012). "Let's talk about sex!" Über die Eignung von Telefoninterviews in der qualitativen Sozialforschung [41 Absätze]. *Forum Qualitative Sozialforschung/ Forum: Qualitative Social Research*, 13(3), Art. 2.

- Solomon, J. (1983). Learning about energy: how pupils think in two domains. *European Journal of Science Education*, 5(1), 49–59. <https://doi.org/10.1080/0140528830050105>
- Sommer, K. (2018). Begriffsbildung im Chemieunterricht. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 248–261). Aulis.
- Sozobilir, M. (2001). *A study of Undergraduate' Understandings of Key Chemical Ideas in Thermodynamics* (Diss.). Department of Educational Studies, University of York.
- Sreenivasulu, B. & Subramaniam, R. (2012). University Students' Understanding of Chemical Thermodynamics. *International Journal of Science Education*, 35(4), 601–635. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.683460>
- Stacy, A. M., Chang, K., Coonrod, J. & Claesgens, J. (2014). Launching the Space Shuttle by Making Water: The Chemist's View of Energy. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. S. Krajcik, K. Neumann, J. C. Nordine & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K-12 Education* (S. 285–299). Springer.
- Strippel, C. & Bohrmann-Linde, C. (2018). Sprache im Chemieunterricht. In K. Sommer, J. Wambach-Laicher & P. Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren im Chemieunterricht* (S. 239–248). Aulis.
- Sumfleth, E. & Pitton, A. (1998). Sprachliche Kommunikation im Chemieunterricht: Schülervorstellungen und ihre Bedeutung im Unterrichtsalltag. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 4(2), 4–20. ftp://ftp.rz.uni-kiel.de/pub/ipn/zfdn/1998/Heft2/S.4-20_Sumfleth_Pitton_98_H2.pdf
- Taber, K. (2001). Building the structural conception of chemistry: Some considerations from educational research. *Chemistry Education: Research and Practice*, 2(2), 123–158. http://www.chem.uoi.gr/cepr/2001_May/pdf/09Taber.pdf
- Taber, K. (2003). Understanding Ionisation Energy: Physical, Chemical and Alternative Conceptions. *Chemistry Education: Research and Practice*, 4(2), 149–169. <https://doi.org/10.1039/B3RP90010J>
- Taber, K. (2009). College Students' Conceptions of Chemical Stability: The widespread adoption of a heuristic rule out of context and beyond its range of application. *International Journal of Science Education*, 31(10), 1333–1358. <https://doi.org/10.1080/09500690801975594>
- Tall, D. & Vinner, S. (1981). Concept Image and Concept Denfition in Mathematics with particular reference to Limits and Continuity. *Educational Studies in Mathematics*, (12), 151–169.
- Tan, K. C. D., Taber, K. S., Liu, X., Coll, R. K., Lorenzo, M., Li, J., Goh, N. K. & Chia, L. S. (2008). Students' Conceptions of Ionisation Energy: A Cross-cultural Study. *International Journal of Science Education*, 30(2), 263–283. <https://doi.org/10.1080/09500690701385258>
- Thomas, P. L. & Schwenz, R. W. (1998). College Physical Chemistry Students' Conceptions of Equilibrium and Fundamental Thermodynamics. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(10), 1151–1160.

- Trumper, R. (1990). Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part one. *International Journal of Science Education*, 12(4), 343–354. <https://doi.org/10.1080/0950069900120402>
- Trumper, R. (1996). A Survey of Israeli Physics Students' Conceptions of Energy in Pre-service Training for High School Teachers. *Research in Science & Technological*, 14(2), 179–192. <https://doi.org/10.1080/0263514960140205>
- Trumper, R. (1997). A survey of conceptions of energy of Israeli pre-service high school biology teachers. *International Journal of Science Education*, 19(1), 31–46. <https://doi.org/10.1080/0950069970190103>
- Trumper, R. (1998). A Longitudinal Study of Physics Students' Conceptions on Energy in Pre-Service Training for High School Teachers. *Journal of Science Education and Technology*, 7(4), 311–318. <https://doi.org/10.1023/A:1021867108330>
- UBA(Umweltbundesamt) (Hrsg.). (2015). *Umweltbewusstsein in Deutschland 2014 - Vertiefungsstudie: Umweltbewusstsein und Umweltverhalten junger Menschen*.
- Vahram, A., Thomas, M. & Schmidt, V. A. (2015). Sprache in Mathematik, Naturwissenschaften und Technik. In E. Felder & A. Gardt (Hrsg.), *Handbuch Sprache und Wissen* (S. 411–434). Walter de Gruyter.
- Valçinkaya, E., Taştan-Kirik, Ö., Boz, Y. & Yldiran, D. (2012). Is case-based learning an effective teaching strategy to challenge students' alternative conceptions regarding chemical kinetics? *Research in Science & Technological Education*, 30, 151–172.
- van Dijk, E. M. & Kattmann, U. (2007). A research model for the study of science teachers' PCK and improving teacher education. *Teaching and Teacher Education*, 23(6), 885–897. <https://doi.org/doi:10.1016/j.tate.2006.05.002>
- Viering, T. (2012). *Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I. Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen*. Logos.
- Vinner, S. (1983). Concept definition, concept image and the notion of function. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 14(3), 293–305.
- Vinner, S. (1991). The Role of Definitions in the Teaching and Learning of Mathematics. In D. Tall (Hrsg.), *Advanced Mathematical Thinking* (S. 65–81).
- Vogl, S. (2017). Quantifizierung [Datentransformation von qualitativen Daten in quantitative Daten in Mixed-Methods-Studien]. *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, 69, 287–312. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11577-017-0461-2>
- Vollmer, G. (1980). *Sprache und Begriffsbildung im Chemieunterricht*. Diesterweg.
- Wagner, T. & Flint, A. (2018). *Energie im Chemieunterricht - Eine neue experimentelle Unterrichtskonzeption für die Sekundarstufe I und II* [Chemie fürs Leben]. Universität Rostock.
- Watts, D. M. (1983a). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18(5), 213–217.
- Watts, D. M. (1983b). *A Study of alternative Frameworks in School Science* (Diss.). University of Surrey.

- Wernecke, U., Schwanewedel, J. & Harms, U. (2018). Metaphors describing energy transfer through ecosystems: Helpful or misleading? *Science Education*, 102(1), 178–194. <https://doi.org/10.1002/sce.21316>
- Wilhelm, T. (Hrsg.). (2017). *Stolpersteine überwinden im Physikunterricht. Anregungen für fachgerechte Elementarisierungen*. Aulis.
- Witt, A. & Flint, A. (2016). *Chemie fürs Leben - Elektrochemie* [1. Konzeptbaustein: Von der 'Strom lei]. https://www.didaktik.chemie.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MNF/Chemie_Didaktik/Forschung/Elektrochemie/Elektrochemie1.pdf
- Zandieh, M. (1997). *The Evolution of Student Understanding of the Concept of Derivative* (Dissertation). Oregon State University.