



# Was heißt hier erneuerbar?

## Eine didaktische Rekonstruktion der Energiewende

Von der Fakultät Nachhaltigkeit  
der Leuphana Universität Lüneburg zur Erlangung des Grades

Doktorin der Naturwissenschaften  
– Dr. rer. nat. –

genehmigte Dissertation von Sybille Hufner  
geboren am 09.07.1979 in Donauwörth

Eingereicht am: 31.03.2020

Mündliche Verteidigung (Disputation) am: 24.07.2020

Erstbetreuer und Erstgutachter:

Prof. Dr. Kai Niebert

Zweitgutachterin:

Prof. Dr. Simone Abels

Drittgutachter:

Prof. Dr. Dirk Felzmann

*„Siehst du, Momo“, sagte er dann zum Beispiel, „es ist so: Manchmal hat man eine sehr lange Straße vor sich. Man denkt, die ist so schrecklich lang; das kann man niemals schaffen, denkt man.“ Er blickte eine Weile schweigend vor sich hin, dann fuhr er fort: „Und dann fängt man an, sich zu eilen. Und man eilt sich immer mehr. Jedesmal, wenn man aufblickt, sieht man, daß es gar nicht weniger wird, was noch vor einem liegt. Und man strengt sich noch mehr an, man kriegt es mit der Angst, und zum Schluss ist man ganz außer Puste und kann nicht mehr. Und die Straße liegt immer noch vor einem. So darf man es nicht machen.“*

*Er dachte einige Zeit nach. Dann sprach er weiter: „Man darf nie an die ganze Straße auf einmal denken, verstehst du? Man muß nur an den nächsten Schritt denken, an den nächsten Atemzug, an den nächsten Besenstrich. Und immer wieder nur an den nächsten.“ Wieder hielt er inne und überlegte, ehe er hinzufügte: „Dann macht es Freude; das ist wichtig, dann macht man seine Sache gut. Und so soll es sein.“*

*Und abermals nach einer langen Pause fuhr er fort: „Auf einmal merkt man, daß man Schritt für Schritt die ganze Straße gemacht hat. Man hat gar nicht gemerkt wie und ist nicht außer Puste.“ Er nickte vor sich hin und sagte abschließend: „Das ist wichtig.“*

Beppo der Straßenkehrer in „MOMO“ (Ende, 1973, S. 36–37)

Ich danke Allen, die mich bei meinem Promotionsprojekt fachlich, mental und emotional begleitet und unterstützt haben. Ich bin stolz, dieses Projekt abschließen zu können und mir dabei selbst treu geblieben zu sein. Danke, dass ihr mir diesen Prozess ermöglicht habt. Mögen *alle* Menschen, die ein ähnliches wissenschaftliches Projekt anstreben, Zugang zu solchen Ressourcen erlangen.

# Inhaltsverzeichnis<sup>1</sup>

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung und Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Theorie</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Fachlicher Rahmen zur Energiewende</b> .....	<b>23</b>
3.1.1	Historie .....	24
3.1.2	Umsetzung .....	25
3.1.3	Begriffe .....	26
<b>3.2</b>	<b>Lehr-lerntheoretischer Rahmen</b> .....	<b>32</b>
3.2.1	Gemäßigter Konstruktivismus .....	33
3.2.2	Modell der didaktischen Rekonstruktion .....	37
3.2.3	Vorstellungen als Lernvoraussetzungen .....	40
3.2.4	Erfahrungen als Basis von Vorstellungen .....	43
3.2.5	Schemata als Erfahrungsmuster .....	45
3.2.6	Sprache als Ausdruck von Vorstellungen .....	65
<b>4</b>	<b>Stand der fachdidaktischen Forschung</b> .....	<b>77</b>
<b>4.1</b>	<b>Lehren und Lernen zum Energiebegriff</b> .....	<b>78</b>
<b>4.2</b>	<b>Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern</b> .....	<b>82</b>
<b>4.3</b>	<b>Vorstellungen zum globalen Kohlenstoffkreislauf</b> .....	<b>85</b>
<b>4.4</b>	<b>Vorstellungen zum Zusammenhang von Stoff- und Energieflüssen in Systemen</b> .....	<b>87</b>
<b>4.5</b>	<b>Forschungslücke</b> .....	<b>88</b>
<b>5</b>	<b>Forschungsfragen</b> .....	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>Forschungsdesign</b> .....	<b>90</b>
<b>6.1</b>	<b>Berücksichtigte Gütekriterien</b> .....	<b>91</b>
<b>6.2</b>	<b>Konsequenzen aus dem Modell der didaktischen Rekonstruktion</b> .....	<b>93</b>
<b>6.3</b>	<b>Erhebung der Vorstellungen der Schüler*innen</b> .....	<b>95</b>
6.3.1	Forschungsfeld .....	95

---

<sup>1</sup> Das Inhaltsverzeichnis enthält aufgrund der Übersichtlichkeit nur die ersten drei Überschriftsebenen. Ein vollständiges Inhaltsverzeichnis befindet sich im Anhang.

6.3.2	Interviews.....	96
<b>6.4</b>	<b>Erhebung der Vorstellungen der Wissenschaftler*innen.....</b>	<b>101</b>
<b>6.5</b>	<b>Auswertung der Daten: Rekonstruktion der Vorstellungen.....</b>	<b>102</b>
6.5.1	Qualitative Inhaltsanalyse.....	103
6.5.2	Systematische Metaphernanalyse.....	113
<b>7</b>	<b><i>Forschungsergebnisse I: Qualitative Inhaltsanalyse.....</i></b>	<b>121</b>
7.1	Lernendenperspektive.....	121
7.2	Wissenschaftsperspektive.....	127
7.3	Systematischer Vergleich.....	131
<b>8</b>	<b><i>Forschungsergebnisse II: Systematische Metaphernanalyse.....</i></b>	<b>143</b>
8.1	Frames der Wissenschaftler*innen zur Energiewende.....	144
8.2	Metaphorische Konzepte der Schüler*innen zum Begriff ‚erneuerbar‘.....	150
8.3	Metaphorische Konzepte zur Verfügbarkeit der Energieträger.....	153
8.3.1	Lernendenperspektive.....	153
8.3.2	Wissenschaftsperspektive.....	158
8.3.3	Systematischer Vergleich.....	166
8.4	Metaphorische Konzepte zu Auswirkungen der Nutzung der Energieträger.....	177
8.4.1	Lernendenperspektive.....	177
8.4.2	Wissenschaftsperspektive.....	180
8.4.3	Systematischer Vergleich.....	188
<b>9</b>	<b><i>Forschungsziel: Leitlinien für den Unterricht.....</i></b>	<b>203</b>
9.1	Verfügbarkeit – FLUSS und BEHÄLTER als grundlegende Schemata reflektieren.....	205
9.2	Auswirkungen – Stoffströme sichtbar machen und vergleichen.....	211
9.3	Integrierte Perspektive – Stoff und Energie zusammen betrachten.....	218
9.4	Verdeutlichte Sprache – Fluss-, Weg- und Baustellenmetaphern einsetzen.....	222
<b>10</b>	<b><i>Rückblick und Ausblick.....</i></b>	<b>225</b>
10.1	Reflexion des theoretischen Rahmens.....	226
10.2	Reflexion des Forschungsdesigns.....	230
10.3	Relevanz für Forschung und Unterricht.....	240
10.4	Ausblick.....	250

<b>11</b>	<b>Referenzen .....</b>	<b>251</b>
<b>12</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>269</b>
12.1	Ausführliches Inhaltsverzeichnis .....	269
12.2	Verzeichnis digitaler Anhang.....	272

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1</i>	<i>Fachdidaktisches Triplet der didaktischen Rekonstruktion .....</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 3</i>	<i>GLEICHGEWICHTS-Schema.....</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 4</i>	<i>Semiotisches Dreieck.....</i>	<i>65</i>
<i>Abbildung 5</i>	<i>Überblick über das Forschungsdesign .....</i>	<i>94</i>
<i>Abbildung 6</i>	<i>Regeln für Zitate aus den Interviews.....</i>	<i>105</i>
<i>Abbildung 7</i>	<i>Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse .....</i>	<i>106</i>
<i>Abbildung 8</i>	<i>Ablauf der systematischen Metaphernanalyse.....</i>	<i>114</i>
<i>Abbildung 9</i>	<i>Screenshot der Anzahl kodierter Textstellen in den Kategorien der Schüler*innen .....</i>	<i>124</i>
<i>Abbildung 10</i>	<i>Zuordnung der Karten von Lars und Martin.....</i>	<i>126</i>
<i>Abbildung 11</i>	<i>Screenshot der Anzahl kodierter Textstellen in den Kategorien der Wissenschaftler*innen .....</i>	<i>128</i>
<i>Abbildung 12</i>	<i>Verschachtelung Metaphern Fließgleichgewicht .....</i>	<i>160</i>
<i>Abbildung 13</i>	<i>Metaphorische Konzepte innerhalb der Vorstellungen zur Verfügbarkeit .....</i>	<i>166</i>
<i>Abbildung 14</i>	<i>Unterrichtsbeispiel zur Verfügbarkeit der Energieträger .....</i>	<i>209</i>
<i>Abbildung 15</i>	<i>Unterrichtsbeispiel zur Auswirkung der Nutzung von Energieträgern .....</i>	<i>215</i>
<i>Abbildung 16</i>	<i>Illustration zum Unterrichtsvorschlag zu Auswirkung der Nutzung von Energieträgern .....</i>	<i>217</i>

# Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1 Komplexität von Vorstellungen</i> .....	42
<i>Tabelle 2 Schemataübersicht</i> .....	48
<i>Tabelle 3 Bezeichnungen für referentiellen, gedanklichen und sprachlichen Bereich</i> .....	68
<i>Tabelle 4 Vergleich der Metaphern Energiequelle und Energieträger</i> .....	73
<i>Tabelle 5 Metaphorische Konzepte zu Energie als Substanz</i> .....	80
<i>Tabelle 6 Studien zu Teilaspekten der Energiewende</i> .....	83
<i>Tabelle 7 Vorstellungen zur Erneuerbarkeit von Energieträgern</i> .....	84
<i>Tabelle 8 Erste Seite des endgültigen Interviewleitfadens zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen</i> .....	99
<i>Tabelle 9 Beispiel für das Vorgehen bei der Kodierung</i> .....	108
<i>Tabelle 10 Beispiel für die Schritte der systematischen Metaphernanalyse</i> .....	120
<i>Tabelle 11 Inhaltliche Kategorien aus der Perspektive der Schüler*innen</i> .....	123
<i>Tabelle 12 Dichotome Vorstellungen der Schüler*innen</i> .....	125
<i>Tabelle 13 Inhaltliche Kategorien aus wissenschaftlicher Perspektive</i> .....	128
<i>Tabelle 14 Unterkategorien als inhaltliche Ausdifferenzierung der Hauptkategorien bei den wissenschaftlichen Gutachten</i> .....	129
<i>Tabelle 15 Kategoriensystem zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern</i> .....	132
<i>Tabelle 16 Metaphorische Konzepte zur Energiewende allgemein aus Wissenschaftsperspektive</i> .....	145
<i>Tabelle 17 Vorstellungen der Lernenden zu ‚erneuerbar‘</i> .....	151
<i>Tabelle 18 Zitate der Schüler*innen zu ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Weg‘</i> .....	155
<i>Tabelle 19 Zitate der Schüler*innen zu ‚Verfügbarkeit von Energie ist Füllung eines Behälters‘</i> .....	157
<i>Tabelle 20 Zitate der Schüler*innen zu ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Fluss‘</i> .....	158
<i>Tabelle 21 Zitate aus den WBGU-Berichten (2003, 2011) zu ‚Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fleißgleichgewicht halten‘</i> .....	162
<i>Tabelle 22 Zitate Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen als Wirtschaftsgut</i> .....	164
<i>Tabelle 23 Metaphorische Konzepte zur Verfügbarkeit als BEHÄLTER</i> .....	165
<i>Tabelle 24 Vergleich der Perspektiven zur Verfügbarkeit</i> .....	169
<i>Tabelle 25 Zitate der Schüler*innen zu Sauber-Dreckig Schema</i> .....	179
<i>Tabelle 26 Zitate der Schüler*innen zu KAMPF-Schema</i> .....	180
<i>Tabelle 27 Metaphorische Konzepte zu Auswirkungen der Energienutzung allgemein aus der Perspektive der wissenschaftlichen Gutachten</i> .....	182
<i>Tabelle 28 Perspektive der Wissenschaft zur Energienutzung als Freisetzung von Stoffen</i> .....	185
<i>Tabelle 29 Metaphorische Übertragung: Emissionen im SPEICHER-FLUSS-Schema</i> .....	186
<i>Tabelle 30 Perspektive der Wissenschaft: Treibhausgase im Gleichgewicht</i> .....	188
<i>Tabelle 31 Vergleich der Perspektiven zu Auswirkungen der Energienutzung: Eintrag von Stoffen in die Umwelt</i> .....	193
<i>Tabelle 32 Kohlenstoffdioxidemissionen für verschiedene Energieträger</i> .....	217



## Formatierungsverzeichnis

Doppelte Anführungszeichen „“	Direkte Zitate
Einfache Anführungszeichen ‚‘	Steht für eine Kategorie, einen Ausdruck o. ä., nicht für inhaltliche Bedeutung verwendet
In VERSALIEN gesetzt	Schemata
<i>Kursiv</i> im Text	Hervorhebungen, Betonungen
<i>Kursiv</i> in Tabellen und direkten Zitaten	Metaphern, metaphorische Wendungen

„Man kann also das Watzlawicksche Axiom, dass man nicht nicht kommunizieren könne, in unserem Fall reformulieren: Man kann nicht nicht-metaphorisch sprechen.“

(Schmitt, 2019, S. 14)

## 1 Zusammenfassung und Abstract

Die Energiewende steht im Zentrum aktueller gesellschaftlicher Debatten. Die Frage ist: Wie kann die gegenwärtige Klimakrise aufgehalten und gleichzeitig der Energiebedarf gedeckt werden? Einigkeit besteht darüber, dass eine Strategie zur Energiewende die Umstellung auf erneuerbare Energieträger beinhalten muss. Das Problem ist: Zentrale Begriffe wie ‚erneuerbare Energieträger‘ sind uneindeutig und deshalb besonders für naturwissenschaftliche Laien missverständlich. Ihnen wird dadurch die gesellschaftliche Teilhabe an der Debatte erschwert.

Wie kann der naturwissenschaftliche Unterricht dazu beitragen, die oben benannten Missverständnisse aufzuklären? Er muss die Schüler\*innen dabei unterstützen, die naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien der verschiedenen Energieträger und darauf aufbauend die Energiewende angemessen zu verstehen. Zu diesem Zweck muss der Unterricht entsprechend strukturiert werden. Welche Leitlinien sowohl die Lehrkräfte der Naturwissenschaften als auch die Entwickler\*innen der Unterrichtsmaterialien dabei beachten sollten: Das klärt die vorliegende Studie.

Hierfür wird das Modell der didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen genutzt. Ausgehend von einem gemäßigt konstruktivistischen Lehr-Lernverständnis werden drei Unterfragen beantwortet: 1. Welche vorunterrichtlichen Vorstellungen bringen Schüler\*innen in den Unterricht mit? 2. Welche Vorstellungen haben Wissenschaftler\*innen? 3. Welche Unterschiede ergeben sich im Vergleich der Vorstellungen?

Für die Beantwortung dieser Fragen wurden in der Erhebung problemzentrierte, leitfadengestützte Interviews mit 27 Achtklässler\*innen geführt und Auszüge aus zwei wissenschaftlichen Gutachten ausgewählt. Mit einer qualitativen Inhaltsanalyse konnten in der Auswertung Inhaltsaspekte identifiziert werden, die Potenzial für die unterrichtliche Vermittlung haben. Mit dem so reduzierten Datenmaterial wurde eine systematische Metaphernanalyse durchgeführt. Damit wurden erfahrungsbasierte Muster hinter den Vorstellungen rekonstruiert.

Aus dem systematischen Vergleich der Ergebnisse lassen sich Lernchancen und Lernhindernisse für das Verstehen von naturwissenschaftlichen Hintergründen der

Energiewende ableiten. Diese werden in Form von Leitlinien für den naturwissenschaftlichen Unterricht zusammengefasst.

Diese Leitlinien können von Lehrpersonen und Entwickler\*innen von Lehrmaterialien genutzt werden, um ein fachlich angemessenes Verstehen der naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien der Energieträger und der Energiewende zu fördern. Darüber hinaus sind diese Ergebnisse interessant für Forschende, die an der Energiewende und deren wissenschaftlicher Kommunikation interessiert sind. Denn sie helfen zu verstehen, wie Missverständnisse vermieden und fachliche Begriffe geklärt werden können.

---

One of the major public debates today is the transition to renewable energy (Energiewende). It is not clear how the current climate crises could be stopped and, at the same time, energy needs be met? There is a general consensus that a strategy to address this dilemma must include the transition to renewable energy resources. One major challenge is that key concepts such as renewable energy are that common conceptions are not in line with those in the literature on this issue. As a result, it is difficult for many people to participate in this debate.

How can science education address this challenge? To do so, it needs to develop pedagogical approaches that fosters an understanding of the basic scientific principles regarding energy sources and, as a consequence, a scientifically sound conception of energy transition. Science education must be structured to achieve these ends, but it is not clear how science teachers or developers of teaching materials need to prepare content for students and, for example, what kind of language could and should be used in classroom settings. This study addresses this gap in the literature by providing guidelines and identifying potential problems in this respect.

The framework for the present study is the model of educational reconstruction. Based on a moderate constructivist perspective on teaching and learning, it addresses three sub-questions: First, what are students' preconceptions? Second, what are the conceptions of scientists? Third, what are the similarities and differences between these conceptions?

To answer these questions, problem- and guideline-based interviews with 27 eight grade students were conducted, and sections from two scientific reports were analysed. Content analysis was used to identify thematic categories with potential for learning interventions. These categories were then analysed using Schmitt's (2017) systematic metaphor analysis.

Based on the results, experiential-based patterns behind the conceptions were reconstructed. From the systematic comparison of the results, opportunities and obstacles for learning could be derived. These were summarised in guidelines for science education. These guidelines can be used by teachers and educators in general who seek to foster students' understanding of the basic scientific principles regarding energy sources and the energy transition. These findings also have important implications for researchers interested in energy transition and science communication, since they may help them to avoid misunderstandings and to clarify the terms of the debate.

## 2 Einleitung

Kurz vor der weltweiten Klimaschutzdemonstration von Fridays for Future am 20. September 2019 sprach mich mein damals elfjähriges Kind an: „Ich möchte am Freitag auf die Demonstration gehen. Ist das für dich in Ordnung?“ Diese Frage erfüllte mich zum einen mit einem gewissen Stolz: Mein Kind setzt sich für Werte ein, die mir so wichtig sind. Zum anderen fühlte ich Traurigkeit und Scham: Scham für meine Generation, die es nicht geschafft hat, so zu leben, dass die Lebensgrundlagen für nachfolgende Generationen erhalten bleiben. Und Traurigkeit, dass mein Kind in seinem jungen Alter die Konsequenzen des Lebensstils meiner Generation für die eigene Zukunft als Bedrohung erlebt.

Mit dieser Arbeit möchte ich einen Beitrag zur Bewältigung der Klimakrise leisten. Sie richtet sich an alle Menschen, die Laien ein fundiertes Verstehen der naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien verschiedener Energieträger und – darauf aufbauend – der Energiewende ermöglichen wollen. Insbesondere richte ich mich an Lehrer\*innen der naturwissenschaftlichen Fächer.

Die Debatte zur Energiewende wird im Folgenden in verschiedenen Facetten umrissen. Dabei werden sowohl wissenschaftliche, politische, gesellschaftliche und ökologische Aspekte sowie der Zusammenhang mit einer nachhaltigen Entwicklung thematisiert.

Wie stellt sich der Zusammenhang von Klimakrise und Energiewende aus wissenschaftlicher Perspektive dar? Ein Überblick: Der globale Energiebedarf ist in den letzten Jahrzehnten rapide angestiegen. Die Folgen dieser Entwicklung sind nicht mehr zu übersehen. Die Nutzung fossiler Brennstoffe verursacht einen massiven Anstieg von Treibhausgasen in der Atmosphäre (Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney & Ludwig, 2015). Diese Emissionen sind Hauptverursacher der gegenwärtigen Klimakrise, worin sich Wissenschaftler\*innen einig sind (IPCC, 2014). Die Grenzen der Belastbarkeit unseres Planeten hinsichtlich der anthropogenen Veränderung des Klimas sind somit erreicht (Steffen, Richardson, u. a., 2015). Um diese Grenzen einzuhalten und die Erderhitzung auf einen Anstieg von höchstens 1,5° C zu beschränken, ist die drastische Reduktion des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid nötig (IPCC, 2018). Eine zentrale Strategie zur Bekämpfung der Erderhitzung ist die Energiewende: Die Umstellung auf nicht-fossile Energieträger soll zur drastischen Verringerung der Emissionen führen.

Die Energiewende steht im Zentrum aktueller politischer Debatten. Die Frage ist: Wie kann die gegenwärtige Klimakrise aufgehalten und gleichzeitig der Energiebedarf gedeckt werden? Hieraus ergibt sich ein Dilemma: Wie kann eine Lösung gefunden werden, wenn ökologische, ökonomische, soziale und kulturelle Interessen gegeneinanderstehen? Im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung müssen Lösungen gefunden werden, die die Lebensgrundlage auf unserem Planeten erhalten.<sup>2</sup> Dies gilt sowohl für die derzeit auf der Erde lebende Menschengeneration als auch für zukünftige Generationen. Innerhalb der derzeitigen Generation sind die Ressourcen nicht gerecht verteilt. Denn global betrachtet, müssen in einigen Regionen der Erde die Lebensgrundlagen erst hergestellt beziehungsweise wiederhergestellt werden (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 35).

Was bedeutet eine nachhaltige Entwicklung in Bezug auf die Energiewende? Die Vereinten Nationen formulierten in der Agenda 2030 konkrete Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals; Martens & Obenland, 2016, S. 10–12). Das Nachhaltigkeitsziel zum Thema Energie (SDG 7) lautet: „Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern“ (Martens & Obenland, 2016, S. 62). Ein Kennzeichen nachhaltiger Entwicklung ist es, einzelne politische Handlungsfelder nicht isoliert zu betrachten. Ökologische, ökonomische und soziale, bisweilen auch kulturelle Faktoren werden in die Problemlösung mit einbezogen. Die aufgeführten Faktoren werden in der Literatur als Dimensionen bezeichnet (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 30–31). Diese werden auch in den Unterzielen des SDG 7 berücksichtigt (Martens & Obenland, 2016, S. 62). Demnach besteht die Herausforderung darin, allen Menschen einen Zugang zu Energie zu ermöglichen (soziale Dimension) und dabei Treibhausgasemissionen zu reduzieren (ökologische Dimension) sowie ökonomische Interessen (ökonomische Dimension) zu berücksichtigen. Für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende muss jede Dimension mit einer entsprechenden Strategie adressiert werden (Huber, 1995, S. 40–41). Die Strategien zur Umsetzung der Energiewende werden in Kapitel 3.1.2 ausführlicher erläutert.

In der öffentlichen Debatte findet aufgrund von unterschiedlichen Interessen bezüglich der Dimensionen und Strategien ein zähes Ringen um die Maßnahmen zur Umsetzung der

---

<sup>2</sup> Der Terminus Nachhaltigkeit stammt aus der Forstwirtschaft. Demnach wird immer nur so viel Holz geerntet, wie in der gleichen Zeit nachwächst (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 4–5). Ich verwende den Ausdruck in der oben beschriebenen erweiterten Bedeutung. Anzumerken ist, dass der Terminus außerhalb von Fachkreisen oft schwer verstanden wird. ‚Nachhaltig‘ wird häufig in seiner Bedeutung als „lange andauernd, nachwirkend, stark“ („nachhaltig“, o. J.) verwendet.

Energiewende statt. Beispielsweise seien einige der divergenten Entwicklungen genannt: Globale und nationale Klimakonferenzen, die Lösungen entwickeln sollen, verlaufen zäh und führen zu Minimalkonsensen. Auf nationaler Ebene wurde von Juni 2018 bis Januar 2019 in der Kohlekommission um den Kohlekompromiss gerungen (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2020). So soll der Ausstieg aus der Nutzung von Kohle zu einer erheblichen Verringerung von Emissionen führen. Die Kohlelobby sieht wirtschaftliche Nachteile für die Kohleindustrie und bemüht sich darum, den Kohlekompromiss zu ihren Gunsten zu relativieren. Sie benutzen das Argument, dass der Kohleausstieg mit einem Verlust an Arbeitsplätzen verbunden ist.

Auch Ausbau und Aufbau der Infrastruktur für die Nutzung von Solar- und Windkraft sind mit kontroversen Diskussionen verbunden. Bürger\*innen sehen sich mit Auswirkungen auf ihren persönlichen Lebensbereich konfrontiert, wenn dies in unmittelbarer Nähe ihres Wohnortes geschehen soll.

Demgegenüber fordert Fridays for Future, eine globale gesellschaftliche Bewegung vor allem der jüngeren Generation, eine strikte Bekämpfung von klimaschädlichen Emissionen.

Bei allen kontroversen Debatten darf das übergeordnete Ziel der Energiewende nicht aus den Augen verloren werden: Es geht um die Bewältigung der Klimakrise. Der Planet soll in all seiner Schönheit erhalten bleiben und der heutigen sowie künftigen Generationen ein lebenswertes Leben ermöglichen. Nur mit Maßnahmen in der ökologischen Dimension kann für die Einhaltung der Grenzen der Belastbarkeit dieses Planeten (Steffen, Richardson, u. a., 2015) gesorgt werden, um damit die Lebensgrundlagen auf diesem Planeten zu sichern.

Um die planetaren Grenzen in Bezug auf den Klimawandel einzuhalten, müssen die Kohlenstoffdioxid-Emissionen drastisch reduziert werden: Die Energieversorgung muss auf erneuerbare Energieträger umgestellt werden. Entscheidend für diesen Umstellungsprozess nachhaltiger Entwicklung sind Bildung und gesellschaftliche Partizipation (Newig, 2014, S. 381–386). Hier erweist sich als problematisch, dass zentrale Begriffe der Energiewende wie ‚erneuerbare Energieträger‘ missverständlich sind. Laien (wie Bürger\*innen oder Schüler\*innen) wird dadurch eine fachliche Einschätzung der Energiewende erschwert. Dies erschwert eine fachlich fundierte Teilhabe an der Debatte.



Um derartige Probleme zu adressieren, beinhalten die Nachhaltigkeitsstrategien der Vereinten Nationen auch eine Bildungsstrategie (S. SDG 4, Martens & Obenland, 2016, S. 46). Diese will „[b]is 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung [...]“ (Martens & Obenland, 2016, S. 46).

Wie kann in diesem Rahmen der naturwissenschaftliche Unterricht dazu beitragen, die oben benannten Missverständnisse bezüglich der Energiewende aufzuklären?

Der Unterricht sollte die Schüler\*innen dabei unterstützen, die naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien der verschiedenen Energieträger und auf dieser Basis die Energiewende angemessen zu verstehen. Grundlegend sind hier die ökologischen Schlüsselprinzipien ‚Energiefluss‘ und ‚Stoffkreisläufe‘. Der Kohlenstoffkreislauf steht dabei im Fokus.

Zur Vermittelbarkeit dieser ökologischen Schlüsselprinzipien hatte ich Anfang der 2000er Jahre ein eindrucksvolles Erlebnis.

Damals absolvierte ich ein Praktikum in den USA beim Institute for Earth Education, einer internationalen Umweltbildungsorganisation. Deren Programme ermöglichen es Lernenden, ökologische Schlüsselprinzipien wie ‚Energiefluss‘ und ‚Stoffkreisläufe‘ körperlich zu erleben.

Am Programm Sunship Earth (Van Matre, 1979) nahm ich in der Rolle der Lernenden teil. Beispielsweise spielten wir Lernenden den Energiefluss durch eine Nahrungskette hindurch nach. Ein großes gelbes Fass stellte die Sonne, das darin befindliche Wasser die Solarenergie dar. Von der Sonne ausgehend, war ein Parcours mit Requisiten aufgebaut, der zwei verschiedene Nahrungsketten darstellte: Erstens eine pflanzliche Nahrungskette von einer Erdnusspflanze hin zu einem Erdnussbutter sandwich; zweitens eine Nahrungskette mit pflanzlichem und tierischem Element, nämlich von einer Maispflanze über eine Kuh bis hin zu einem Hamburger. Als Requisiten dienten Aufsteller mit lebensgroßen Abbildungen der einzelnen Glieder der Nahrungskette. Wir Teilnehmenden wurden in zwei Gruppen aufgeteilt. Mit Hilfe von Bechern spielten wir den Energiefluss nach. Dafür spielte eine Gruppe die Nahrungskette mit dem Erdnussbutter sandwich, die andere Gruppe die Nahrungskette mit dem Hamburger. Mit Bechern schöpften wir Wasser (Solarenergie) aus dem Fass (Sonne) und liefen zu dem ersten Aufsteller unserer Nahrungskette: der Erdnusspflanze beziehungsweise der Maispflanze. Auf der Vorderseite der Aufsteller befand sich ein Loch. Auf der Rückseite

befanden sich eine Schlauchkonstruktion und ein Becher unter dem Loch. Wir schütteten das Wasser von vorne in das Loch. Über die Schlauchkonstruktion gelangte immer nur ein Zehntel der Wassermenge in den Becher auf der Rückseite des Aufstellers. Dies repräsentierte die Menge an Sonnenenergie, die in etwa von der Pflanze zum Aufbau von Biomasse (u. a. Früchte wie Erdnüsse oder Maiskörner) verwendet wird. Die restliche Sonnenenergie wird für die eigenen Lebensprozesse der Pflanze benötigt, symbolisiert durch das seitlich ablaufende Wasser. Der Becher war nach zehnmalem Laufen der Person zwischen dem Fass (Sonne) und dem Erdnusspflanzen-Aufsteller gefüllt. Hinter dem Aufsteller der Pflanze stand eine Person, welche die Aufgabe hatte, den Becher, wenn er voll ist, zum nächsten Glied der Nahrungskette zu tragen. Im Falle der Erdnussbuttersandwich-Nahrungskette war dies mit dem ersten vollen Becher hinter dem Erdnusspflanzen-Aufsteller erledigt. Im Falle der Nahrungskette mit dem Hamburger musste die Person hinter dem Mais-Aufsteller den vollen Becher zum Kuh-Aufsteller tragen und hier durch das Loch schütten. Dieser Vorgang symbolisierte den Verzehr des Maises durch die Kuh. Wieder wurde hinter dem Aufsteller – nun der Kuh – nur ein Zehntel der Menge des Wassers aufgefangen. Erst wenn dieser Becher gefüllt war, durfte die Person den gefüllten Becher zum Hamburger-Aufsteller tragen. Die Person, die den Becher vom Fass (Sonne) zum Mais-Aufsteller trug, musste jeweils zehnmal hin und herlaufen bis der Becher hinter dem Mais-Aufsteller einmal gefüllt war. Die Person hinter dem Mais-Aufsteller musste ebenfalls zehnmal hin- und herlaufen, bis der Becher hinter dem Kuh-Aufsteller gefüllt war. Die Person, die den Becher vom Fass (Sonne) zum Mais-Aufsteller trug, musste dementsprechend zehnmal so oft, also hundertmal hin- und herlaufen. Die Hamburger-Nahrungskette also dauerte wesentlich länger und war mit enormem Aufwand verbunden.

Obwohl ich das ökologische Grundprinzip des Energieflusses durch eine Nahrungskette längst auswendig kannte: Zum ersten Mal in meinem Leben hatte ich das Gefühl, wirklich zu verstehen, was Energiefluss bedeutet.

Wie lässt sich dieses Erleben meines tiefen Verstehens erklären? Menschen nutzen körperliche Erfahrungen, um sich abstrakte Dinge verständlich zu machen (s. Lakoff & Johnson, 1980). Energie im physikalischen Sinne ist eine abstrakte Größe. Sie kann nicht direkt erfahren werden. Körperliche Aktivitäten, die modellhaft naturwissenschaftliche Schlüsselprinzipien erfahrbar machen, können das Verstehen unterstützen (s. z. B. Niebert, 2010). Mein Gefühl tiefen Verstehens war also möglicherweise dadurch bedingt, dass mir die

oben dargestellte körperliche Erfahrung das Verstehen des abstrakten Schlüsselprinzips des Energieflusses ermöglichte.

Wie kann nun Unterricht so strukturiert werden, dass er den Schüler\*innen ein tiefes Verstehen der naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien der Energiewende ermöglicht? Für die didaktische Strukturierung des Unterrichts sind gemäß dem Modell der didaktischen Rekonstruktion zwei Perspektiven zu berücksichtigen (Kattmann, 2007): Die Perspektive der Lernenden und die Perspektive der Wissenschaft. Innerhalb dieser Perspektiven sind für diese Studie zwei Aspekte von besonderer Bedeutung: Vorstellungen und Erfahrungen. Lernende bringen Vorstellungen in den Unterricht mit. Diese unterscheiden sich in der Regel von wissenschaftlichen Vorstellungen. Vorstellungen zu abstrakten Gegenständen wie der Energiewende basieren auf körperlichen Erfahrungen. Diese Erfahrungen geben Aufschluss darüber, wie die abstrakten Gegenstände von Lernenden beziehungsweise Wissenschaftler\*innen verstanden werden. Aus dem systematischen Vergleich der Perspektiven der Lernenden und der Wissenschaft lassen sich konkrete Handlungsempfehlungen (Leitlinien) für die didaktische Strukturierung ableiten.

Um Lehrpersonen und Ersteller\*innen von Unterrichtsmaterialien konkrete Leitlinien für einen naturwissenschaftlichen Unterricht zur Energiewende sowie erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern an die Hand zu geben, sind also folgende Klärungen notwendig:

1. Welche Vorstellungen lassen sich bei Schüler\*innen rekonstruieren, wenn diese über erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger sprechen? Welchen erfahrungsbasierten Hintergrund haben diese Vorstellungen?
2. Welche Vorstellungen lassen sich bei Wissenschaftler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern im Kontext der Energiewende rekonstruieren? Welchen erfahrungsbasierten Hintergrund haben diese Vorstellungen?
3. Wie unterscheiden sich die Vorstellungen und die erfahrungsbasierten Hintergründe von Schüler\*innen und Wissenschaftler\*innen? Lassen sich auffällige Unterschiede und/oder Gemeinsamkeiten finden? Welche Lernhindernisse und welche Lernchancen können aus diesem Vergleich abgeleitet werden?

### *Aufbau der Arbeit*

In Kapitel 3 wird der theoretische Rahmen der Arbeit erläutert. Es gliedert sich in einen fachlichen und einen lehr-lerntheoretischen Teil. Der fachliche Rahmen zur Energiewende

wird in Kapitel 3.1 erklärt. Hier stehen Historie (s. Kapitel 3.1.1), Strategien zur Umsetzung (s. Kapitel 3.1.2) und zentrale Begriffe der Energiewende (s. Kapitel 3.1.3) im Fokus. Den Leser\*innen soll so ermöglicht werden, die Ausführungen und Beispiele zur Energiewende von Anfang an fachlich einordnen zu können. In Kapitel 3.2 wird der lehr-lerntheoretische Rahmen dargestellt. Ausgehend von einem gemäßigt konstruktivistischen Lehr-Lernverständnis (s. Kapitel 3.2.1), wird als Forschungsrahmen das Modell der didaktischen Rekonstruktion dargestellt (s. Kapitel 3.2.2). In diesem Modell spielen Vorstellungen als Lernvoraussetzung eine wesentliche Rolle (s. Kapitel 3.2.3). Kapitel 3.2.4 führt aus, wie Vorstellungen zu abstrakten Gegenständen auf Basis von körperlichen Erfahrungen aufgebaut werden. Wie diese Erfahrungen als generalisierte Schemata zum Verstehen eingesetzt werden, stellt Kapitel 3.2.5 dar. Hier werden außerdem die für diese Studie relevanten Schemata ausführlich erläutert. Vorstellungen lassen sich über den sprachlichen Ausdruck rekonstruieren. Dies wird in Kapitel 3.2.6 ausführlich dargelegt. Der Fokus liegt dabei auf dem sprachlichen Ausdruck durch Metaphern und Frames.

In Kapitel 4 wird geklärt, was der derzeitige Stand der fachdidaktischen Forschung zum Lehren und Lernen der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Energiewende beitragen kann. Dabei werden die verschiedenen Grundlagen in den Unterkapiteln vom Allgemeinen zum Spezifischen hin behandelt. Zunächst werden Studien zum Lehren und Lernen des Basiskonzepts Energie vorgestellt (s. Kapitel 4.1). Anschließend werden Studien präsentiert, die Vorstellungen von Lernenden zu den Termini ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ aufzeigen (s. Kapitel 4.2). Kapitel 4.3 und 4.4 stellen Ergebnisse aus der Vorstellungsforschung zu relevanten Schlüsselprinzipien vor. Zum einen thematisieren sie den Kohlenstoffkreislauf (s. Kapitel 4.3), zum anderen Stoff- und Energieflüsse innerhalb von Systemen (s. Kapitel 4.4). All diese Grundlagen scheinen im fachlichen Verstehen für die Lernenden problembehaftet zu sein. Vor dem Hintergrund des konstruktivistischen Grundverständnisses dieser Arbeit und dem dargelegten Forschungsstand zeigt sich eine Forschungslücke (s. Kapitel 4.5): Erstens liegen bislang keine Untersuchungen zur Bandbreite an Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern aus Perspektive der Lernenden vor. Zweitens ist unerforscht, was die Hintergründe dieser Vorstellungen sind und wie sich diese erklären lassen. Drittens wurden die Vorstellungen und die entsprechenden Hintergründe aus wissenschaftlicher Perspektive bislang nicht systematisch erfasst und den Vorstellungen der Lernenden vergleichend gegenübergestellt.

Die Forschungslücke mündet in Kapitel 5 in der Formulierung dreier konkreter – oben bereits dargelegter – Forschungsfragen für die vorliegende Studie.

In Kapitel 6 wird dargelegt, wie die Forschungsfragen durch eine zweckdienliche Ausgestaltung des Forschungsdesigns beantwortet werden sollen. Hierbei beschreibt Kapitel 6.1, welche Kriterien zur Qualitätssicherung zu Grunde gelegt werden. Kapitel 6.2 zeigt die Konsequenzen auf, die das Modell der didaktischen Rekonstruktion für das Forschungsdesign hat. Entlang dieses Modells werden sowohl Vorstellungen von Lernenden als auch Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen rekonstruiert.

Die Erhebung der Vorstellungen der Lernenden unterscheidet sich von der Erhebung der wissenschaftlichen Vorstellungen. Warum für die Erhebung der Schüler\*innen-Vorstellungen leitfadengestützte Interviews durchgeführt wurden und wie dabei im Einzelnen vorgegangen wurde, wird in Kapitel 6.3 erläutert. Die wissenschaftlichen Vorstellungen wurden anhand von Auszügen aus zwei wissenschaftlichen Gutachten des „Wissenschaftlichen Beirates der Bundesregierung globale Umweltveränderungen“ (WBGU) (2003, S. 47-79, 101-102; 2011, S. 117-128) erhoben; dieses Vorgehen wird in Kapitel 6.4 begründet und beschrieben.

Die Vorgehensweise zur methodischen Auswertung der Vorstellungen wird in Kapitel 6.5 dargelegt. Die Vielfalt der Vorstellungen wird durch eine qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) rekonstruiert. Das detaillierte Vorgehen und die angewendeten Formen der qualitativen Inhaltsanalyse werden in Kapitel 6.5.1 dargestellt. Mit einer Auswahl des in der qualitativen Inhaltsanalyse reduzierten Datenmaterials wird eine systematische Metaphernanalyse nach Schmitt (2017) durchgeführt. Anhand von sprachlichen Äußerungen wird dabei rekonstruiert, welche körperlichen Erfahrungen von Schüler\*innen und Wissenschaftler\*innen zum Verstehen genutzt werden. Wie hierbei für die beiden Perspektiven und den Vergleich vorgegangen wird, erläutert Kapitel 6.5.2.

Der Ergebnisteil untergliedert sich in zwei Abschnitte. In Kapitel 7 werden die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse vorgestellt. Entlang der Forschungsfragen werden dabei zunächst die Vorstellungen der Schüler\*innen dargestellt (s. Kapitel 7.1). Zu den dabei gebildeten thematischen Kategorien folgen in Kapitel 7.2 die Vorstellungen aus wissenschaftlicher Perspektive. In Kapitel 7.3 erfolgt ein systematischer Vergleich der Vorstellungen aus beiden Perspektiven. Hier wird die Auswahl des Materials für die systematische Metaphernanalyse begründet. Die Vorstellung der Ergebnisse der systematischen Metaphernanalyse erfolgt in

Kapitel 8. Die Kapitel 8.1 und 8.2 zeigen Eigenheiten der Perspektive der Wissenschaftler\*innen beziehungsweise der Lernenden, während Kapitel 8.3 und 8.4 Ergebnisse beider Perspektiven zu spezifischen Themen darstellen: In Kapitel 8.1 werden die Frames der Wissenschaftler\*innen zur Energiewende dargestellt, in Kapitel 8.2 metaphorische Konzepte der Schüler\*innen zum Begriff ‚erneuerbar‘. In Kapitel 8.3 folgen Ergebnisse zur Verfügbarkeit der Energieträger, in Kapitel 8.4 zu Auswirkungen der Nutzung der Energieträger. Sowohl Kapitel 8.3 als auch Kapitel 8.4 sind entlang der Forschungsfragen strukturiert. So werden zuerst die metaphorischen Konzepte der Lernenden, dann die der Wissenschaftler\*innen vorgestellt und schließlich beide systematisch miteinander verglichen.

Aus dem systematischen Vergleich der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse und der systematischen Metaphernanalyse werden in Kapitel 8.4 Leitlinien abgeleitet. Diese sollen der Strukturierung von Lerngelegenheiten dienen: Den Schüler\*innen soll so ein tiefes Verstehen der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Energiewende ermöglicht werden. Dies soll zu veränderten Vorstellungen führen, die für die Lernenden im Kontext der Energiewende hilfreicher sind als ihre bisherigen Vorstellungen.

Kapitel 9 reflektiert in einem Rückblick und Ausblick das Potenzial und die Grenzen der Studie hinsichtlich der theoretischen Verortung (s. Kapitel 10.1), des methodischen Vorgehens (s. Kapitel 10.2) und der Implikationen für die fachdidaktische Forschung (s. Kapitel 10.3).

### 3 Theorie

Die Thematik der Energiewende ist inhaltlich als Querschnittsthema verschiedener Wissenschaften anzusehen, wobei den Naturwissenschaften eine zentrale Rolle zukommt. Es ist sowohl biologisches als auch chemisches und physikalisches Wissen für ein angemessenes Verstehen der Hintergründe erforderlich. Das Ziel dieser Arbeit ist die didaktische Rekonstruktion der Energiewende, welche ein angemessenes fachliches Verstehen aus naturwissenschaftlicher Perspektive fördert. Aufgrund dessen ist diese Arbeit in der Fachdidaktik der Naturwissenschaften zu verorten.

„Fachdidaktik ist die Wissenschaft vom fachspezifischen Lehren und Lernen innerhalb und außerhalb der Schule. In ihren Forschungsarbeiten befasst sie sich mit der Auswahl, Legitimation und didaktischen Rekonstruktion von Lerngegenständen, der Festlegung und Begründung von Zielen des Unterrichts, der methodischen Strukturierung von Lernprozessen sowie der angemessenen Berücksichtigung der psychischen und sozialen Ausgangsbedingungen von Lehrenden und Lernenden. Außerdem widmet sie sich der Entwicklung und Evaluation von Lehr- und Lernmaterialien.“ (Konferenz der Vorsitzenden Fachdidaktischer Fachgesellschaften (KVFF), 1998, S. 13–14)

Ausgehend von der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik werden im Folgenden die für diese Studie relevanten lehr-lerntheoretischen Grundlagen sowie der aktuelle Forschungsstand des Themenfeldes dargestellt.

#### 3.1 Fachlicher Rahmen zur Energiewende

Die öffentliche Debatte um die Transformation des Energiesystems ist von einer Vielzahl von Termini geprägt. Insbesondere die Ausdrücke Energiewende, erneuerbare Energien, Energieträger, Energiequellen und Energie selbst sind als besonders relevant anzusehen. Dieses Kapitel widmet sich der fachlichen Erläuterung der Hintergründe, die sich aus fachwissenschaftlicher Perspektive hinter diesen Bezeichnungen verbergen. Für ein besseres Verständnis – im Genaueren um die Entstehung der verschiedenen Bezeichnungen und Begriffe besser einordnen zu können – ist es von Bedeutung, die aktuell diskutierte Energiewende zunächst vor ihrem geschichtlichen Kontext zu betrachten.

### 3.1.1 Historie

Die Geschichte der Menschheit zeigt eine starke Verbindung zur Nutzung von Energieträgern auf (Bithas & Kalimeris, 2016; Schabbach & Wesselak, 2012). Dies hat im Laufe der Menschheitsgeschichte immer wieder zu Energiekrisen geführt, in denen der Bedarf größer war als die derzeitig zur Verfügung stehende Energiemenge. Meist wurden diese Krisen durch eine effektivere Nutzung der Energieträger, zum Beispiel durch technische Innovationen, gelöst oder durch räumliche Expansion neue Quellen erschlossen. Gelingt dies nicht, führte dies zu gesellschaftlichen Zusammenbrüchen (Schabbach & Wesselak, 2012). In der Geschichte der Energienutzung lassen sich jedoch auch Energiewenden finden, in denen die jeweilige Krise durch einen Wechsel des Energiesystems bewältigt wurde. Das prägnanteste Beispiel stellt die industrielle Revolution dar, bei welcher sich fossile Energieträger zum tragenden Bestandteil der Energieversorgung entwickelten. Diese Transformation des Energiesektors wurde von einem Anstieg der Weltbevölkerung begleitet und ist eng mit weiteren sozioökonomischen Trends – wie beispielsweise dem Wasser- und Düngemittelverbrauch und dem Anstieg der Stadtbevölkerung – verbunden (Steffen, Broadgate, u. a., 2015, S. 84, Fig. 1). Durch die Nutzung fossiler Brennstoffe kontinuierlich weiter angetrieben, führte diese Entwicklung insbesondere seit den 1950ern zu einem exponentiellen Anstieg solcher Trendbewegungen. Dieser große Anstieg verursachte eine irreversible Veränderung der Erdsysteme, weshalb dieses vom Menschen dominierte Erdzeitalter Anthropozän genannt wird (Steffen, Broadgate, u. a., 2015). Dass dieses auf fossilen Brennstoffen basierende Energiesystem Grenzen ausweist, zeigte sich bereits in der Peak-Oil-Debatte der späten sechziger Jahre und in den Ölkrisen 1973 und 1979 (Bithas & Kalimeris, 2016). Diese Krisen führten dazu, dass alternative Energiequellen anvisiert wurden. In diesem Zusammenhang kam erstmals das Wort erneuerbar im Kontext der Energieversorgung auf (Harper, 2018). Die aufgekommene und zunehmend verwendete Bezeichnung erneuerbare Energie (DWDS-Wortverlaufskurve zu „erneuerbar“, o. J.) ist somit eng mit dem Fokus der begrenzten Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe und dem Bestreben verknüpft, diese Einschränkung zu überwinden.

Im Zeitalter des Anthropozän verschiebt sich dieser Fokus. Angesichts des rapide ansteigenden globalen Energiebedarfs nehmen auch die Folgen der Nutzung fossiler Energieträger rapide zu (Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney & Ludwig, 2015). Die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre hat eine kritische Grenze erreicht: Sie



führt zu einer Klimaerhitzung, die den Planeten an die Grenzen seiner Belastbarkeit bringt (Steffen, Richardson, u. a., 2015). Aus naturwissenschaftlicher Perspektive ist die derzeitige Energiewende nötig, um Treibhausgasemissionen drastisch zu reduzieren. Zugleich sollen in Deutschland die Risiken von Kernkraftwerken und Atommüll vermieden werden (WBGU 2003, 2011). Laut WBGU müssen „[d]ie globalen Energiesysteme [...] bis Mitte des Jahrhunderts weitgehend dekarbonisiert sein“ (2011, S. 2), um die derzeitigen Klimaziele zu erreichen. Das bedeutet, dass die Energieversorgung innerhalb der nächsten Jahrzehnte auf der ganzen Welt unabhängig von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen und den damit verknüpften Kohlenstoffdioxidemissionen sichergestellt werden muss. Erstmals in der Geschichte der Energiewenden stehen nicht die begrenzte Verfügbarkeit der Energieträger, sondern die unerwünschten Auswirkungen der Nutzung bestimmter Energieträger im Zentrum der Debatte. Wenn ich in dieser Arbeit von Energiewende spreche, meine ich damit die aktuelle Debatte des frühen 21. Jahrhunderts und damit die Umstellung von fossilen Brennstoffen und Kernenergie zu erneuerbaren Energiequellen.

### **3.1.2 Umsetzung**

Diesem Kapitel liegt die Frage zu Grunde, wie eine solche Transformation des Energiesektors zu mehr Nachhaltigkeit strategisch erreicht werden kann. Laut Huber (1995) lässt sich Nachhaltigkeit durch drei Strategien erreichen: Konsistenz, Effizienz und Suffizienz. Konsistenz steht dabei für die „umweltverträgliche Beschaffenheit von Stoff- und Energieströmen“ (Huber, 1995, S. 41), Effizienz meint, dass „[g]ewünschte Produktionsleistungen mit geringstmöglichem Einsatz an Material und Energie erstellt werden“ (Huber, 1995, S. 40) und Suffizienz drückt die Genügsamkeit der Gesellschaft und einzelner Konsument\*innen, die sich auf das beschränken, was sie wirklich benötigen, aus. Best, Hanke und Richters definieren die Konsistenzstrategie im Hinblick auf die Energiewende als „Abnahme der Emissionsintensität pro Primärenergieeinheit“ (2013, S. 105). Jedoch stellt dieses nur einen Teilaspekt der Konsistenz dar. Im Hinblick auf die Umweltverträglichkeit sollte hier die Abnahme von anderen unerwünschten Abfällen – wie zum Beispiel von Atommüll bei der Nutzung von Nuklearenergie – ebenfalls berücksichtigt werden. Beeinflussen lässt sich diese Größe nur über eine Umstellung der genutzten Energiequellen. Der Einfluss darauf, wie viele Primärenergieeinheiten insgesamt überhaupt benötigt werden, um einen quantifizierten Nutzen daraus zu ziehen, ist Bestandteil der Effizienzstrategie (Best u. a., 2013, S. 105). In dieser wird beispielsweise die Frage thematisiert, wieviel Kohle ich in einem Kraftwerk

verbrennen muss, um eine bestimmte Menge an Strom zu erzeugen. Hier sind vor allem technische Lösungen gefragt. Die Suffizienzstrategie knüpft dahingegen beim Verhalten der Menschen an. Sie stellt die Frage in den Mittelpunkt, wie viel wir von diesem Nutzen (z. B. Strom) wirklich für ein gutes Leben benötigen und auf was wir verzichten können. Diese Entscheidungen haben direkte Auswirkungen auf die benötigten Primärenergieeinheiten und somit auch auf damit verbundene umweltschädliche Stoff- und Energieströme.

Bei der Energiewende liegt der Hauptfokus bei politischen Maßnahmen und der öffentlichen Diskussion oft auf der Konsistenz- und der Effizienzstrategie. Die Suffizienzstrategie wird von Kritiker\*innen des beständigen Wirtschaftswachstums allerdings als die über den Erfolg entscheidende Strategie angesehen (Best u. a., 2013; Hanke & Best, 2013).

Nach der Konsistenzstrategie sollen die mit dem Energiesektor verbundenen Stoff- und Energieströme durch die Nutzung alternativer Energiequellen umweltverträglicher gestaltet werden. Um diese Strategie verstehen zu können, ist naturwissenschaftliches Wissen nötig. Von den drei Nachhaltigkeitsstrategien bietet die Konsistenzstrategie deshalb die meisten direkten Anknüpfungspunkte für den naturwissenschaftlichen Unterricht in den Fächern Biologie, Chemie und Physik. Darüber hinaus ist ein Verständnis der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Konsistenzstrategie notwendig, um die Effizienz- und Suffizienzstrategie verstehen und bewerten zu können. In dieser Arbeit soll es deshalb hauptsächlich um die Konsistenzstrategie gehen.

### **3.1.3 Begriffe**

In der derzeitigen Energiewendedebatte um die Umstellung der Energieversorgung auf eine zukunftsfähige und nachhaltige Form treten einige Begriffe besonders hervor. Aufgrund der Relevanz dieser Begriffe in Bezug auf die Energiewende ist es für den weiteren Verlauf dieser Arbeit notwendig, einige fachlich aufzuschlüsseln.

Zunächst soll der immanent zu Grunde liegenden Frage nachgegangen werden, was Energie im fachlichen Sinne bedeutet (s. Kapitel 3.1.3.1). In Bezug auf die Energiewende wird häufig von erneuerbarer Energie gesprochen, weshalb das Adjektiv erneuerbar im Kontext von Energie genauer beleuchtet wird (s. Kapitel 3.1.3.2). Auch die Ausdrücke Energiequelle bzw. Energieträger werden in diesem Zusammenhang häufig verwendet und stehen aufgrund dessen im Fokus der Begriffsklärung (s. Kapitel 3.1.3.3).

### 3.1.3.1 Energie

In Bezug auf den Energiebegriff existieren zwei alternative Bedeutungen: Neben der physikalischen Bedeutung wird der Begriff in der Alltagssprache in der Bedeutung von Willenskraft und Tatkraft verwendet („Energie“, o. J.). In der Tat existiert dieser alltagssprachliche Begriff bereits deutlich länger als der physikalische Begriff. Erst ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurde das Wort in physikalischen Zusammenhängen im Bereich der Mechanik verwendet und ersetzte den älteren Ausdruck der ‚lebendigen Kraft‘ („Energie“, o. J.). Dieser Ursprung des physikalischen Begriffes in der Mechanik ist vermutlich der Grund, dass bis heute die inzwischen als veraltet geltende Definition von Energie als die ‚Fähigkeit Arbeit zu verrichten‘ besteht. Dabei sind sich die Wissenschaftler\*innen heute weitestgehend einig, dass derzeit keine klare Definition für den physikalischen ‚Energie‘-Begriff existiert (Eisenkraft u. a., 2014). So sagt Feynman in seinen berühmten Physik-Vorlesungen (Feynman, Leighton, & Sands, 2011, S. 3-4):

"It is important to realize that in physics today, we have no knowledge of what energy is. We do not have a picture that energy comes in little blobs of a definite amount. It is not that way. However, there are formulas for calculating some numerical quantity, and when we add it all together it gives [...] always the same number. It is an abstract thing in that it does not tell us the mechanism or the reasons for the various formulas."

Das von Feynman angesprochene Prinzip der Energieerhaltung lässt sich auch in Duits (2014) Energiequadriga wiederfinden, die vier sehr stark miteinander zusammenhängende Grundideen repräsentiert, welche zu einem fachlich angemessenen Energieverständnis beitragen sollen. Zusätzlich verwendet Duit die Prinzipien der Energieumwandlung, des Energietransfers und der Energieentwertung, um den Energiebegriff indirekt zu charakterisieren. Andere Autor\*innen fügen mit den Energieformen eine weitere Basisidee hinzu und fassen Energietransfer und Energieumwandlung zu einer Idee zusammen (Neumann, Viering, Boone, & Fischer, 2013). Trotzdem beinhalten beide Konzepte die gleichen Prinzipien. Der Terminus Energieumwandlung beinhaltet die Idee, dass es verschiedene Energieformen geben muss, die in andere Formen umgewandelt werden können. In Bezug auf die Energiewende bedeutet dies je nach Energiesektor Unterschiedliches: Betrachtet man den Stromsektor, so wird in einem Kraftwerk die spezifische Energieform des jeweiligen Energieträgers zu einem wesentlichen Teil in elektrische Energie umgewandelt und dabei von einem System auf ein anderes System

übertragen. Beispielsweise wird in einem Kohlekraftwerk die innere Energie der Kohle gemeinsam im System mit Sauerstoff zu einem wesentlichen Teil in elektrische Energie umgewandelt und dabei Energie aus dem System ‚Kohle und Sauerstoff‘ auf das System ‚Stromnetz‘ übertragen. Diese Übertragung, die mit einer Umwandlung der Energieform einhergeht, stellt einen Energietransfer dar. Bei diesem Vorgang dürfen aber auch die Aspekte der Energieerhaltung und der Energieentwertung nicht außer Acht gelassen werden. Am Ende des Umwandlungsprozesses ist nicht die identische Energiemenge an elektrischem Strom vorhanden, die dem System von Energiequellen zugeführt wurde. Die restliche Energie lässt sich in anderen, oftmals nicht intendierten Energieformen, wie zum Beispiel ‚Wärme‘ (bei Kraftwerken oft auch als Abwärme bezeichnet) wiederfinden. Bei diesem Umwandlungsprozess findet gleichzeitig auch eine Energieentwertung statt, die dafür sorgt, dass diese Umwandlungsprozesse in der Regel nur in eine Richtung ablaufen können. Der elektrische Strom kann nicht wieder zurück in Kohle oder Erdgas umgewandelt werden. Indirekt bedeutet dies, dass Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann (Erster Hauptsatz der Thermodynamik, Schabbach & Wesselak, 2012, S. 31–36).

### *3.1.3.2 Erneuerbare Energie*

Es gibt zahlreiche, naturwissenschaftliche Publikationen zur Energiewende, die den Ausdruck ‚erneuerbare Energie‘ verwenden. In diesen Texten wird ein gemeinsames Begriffsverständnis oft implizit vorausgesetzt (WBGU, 2011). Laut Watter (2015) existiert für diese Bezeichnung keine fachlich begründete Begriffsdefinition. Im Allgemeinen besteht trotzdem Einigkeit darüber, welche Energiequellen den erneuerbaren Energien zugordnet werden: Solarstrahlung, Biomasse, Wasserkraft, Windkraft, Geothermie und Gezeitenenergie. Biomasse wird über die Photosynthese, Wasserkraft und Windkraft werden über thermische Konvektion indirekt durch Solarstrahlung gespeist. Deshalb lassen sich alle als erneuerbar bezeichneten Energiequellen auf Solarstrahlung, geothermische Energie und Gezeitenenergie zurückführen (z. B. Ellabban, Abu-Rub, & Blaabjerg, 2014; Reich & Reppich, 2013; Wesselak, Schabbach, Link, & Fischer, 2017). Vor der Umwandlung in die intendierte Nutzform (z. B. Elektrizität) werden die erneuerbaren Energieträger (genauso wie die nicht-erneuerbaren Energieträger Kohle, Erdgas, Erdöl und Uran) Primärenergie genannt (WBGU, 2011, S. 111).

Auch fossile Brennstoffe, die nicht den erneuerbaren Energieträgern zugeordnet werden, beruhen auf Solarstrahlung, weil Erdöl, Erdgas und Kohle in ihrer Genese ursprünglich auf Biomasse zurückzuführen sind. Deshalb ist es problematisch, die Energiespeisung aus

Solarstrahlung als Kriterium für die Klassifizierung der erneuerbaren Energiequellen zu verwenden. Wesselak u. a. (2017, S. 111) versuchen dies zu lösen, indem sie definieren, dass sich regenerative Energieträger „von selbst und innerhalb menschlicher Zeitmaßstäbe erneuern“ (Wesselak u. a., 2017, S. 111). Fossile Brennstoffe würden demnach nicht unter diese Definition fallen, da ihre Entstehung einem Millionen von Jahren andauernden Prozess unterliegt, wobei ‚menschliche Zeitmaßstäbe‘ durchaus noch konkreter definiert werden müssten. Unklar bleibt auch, was der Begriff ‚erneuern‘ zum Beispiel in Bezug auf die Solarstrahlung oder die geothermische Energie bedeuten soll, da die Primärenergieträger in menschlichen Zeitmaßstäben zwar zur Verfügung stehen, die Energiequellen sich aber nicht ‚von selbst‘ erneuern. Außerdem lässt sich fragen, ob der gezielte Anbau von Energiepflanzen als ‚von selbst‘ erneuernd verstanden werden kann. Twidell und Weir fokussieren bei ihrer Definition die dynamischen Prozesse des jeweiligen Energiesystems, in dem sie erneuerbare Energie als „naturally repetitive and persistent flow of energy“ (2015, S. 3) definieren. Im Kontrast hierzu werden nicht-erneuerbare Energiequellen als „static stores of energy“ (Twidell & Weir, 2015, S. 3) charakterisiert. Auch eine rein auf die Dynamik bezogene Definition wie diese kommt nicht ohne Abgrenzungsschwächen aus. So ist es ohne einen zeitlichen Bezug beispielsweise schwierig, Biomasse entlang dieser Definition eindeutig den erneuerbaren oder nicht-erneuerbaren Energieträgern zuzuordnen. Einerseits besitzt Biomasse innere Energie und somit als ein chemischer Energiespeicher anzusehen, andererseits ist Biomasse weniger stabil als fossile Energieträger, da der Großteil natürlicherweise verstoffwechselt und zersetzt werden würde (und nur ein verschwindend geringer Teil unter den entsprechenden Rahmenbedingungen in den Prozess der Entstehung fossiler Brennstoffe eintreten würde). Um hier eine klare Zuordnung zu ermöglichen, ziehen Twidell und Weir als weiteren Faktor für die Zuordnung die Lokalisation des Speichers als „unter der Erde“ (2015, S. 3) heran.

Die verschiedenen Definitionen zu erneuerbarer Energie eint, dass diese sich auf die potenzielle Verfügbarkeit von Energie beziehen (z. B. Twidell & Weir, 2015; Wesselak, Schabbach, Link, & Fischer, 2013), indem sie auf Quellen und Ursprünge der Energie zur Abgrenzung zu nicht-erneuerbaren Energie abstellen. Die Auswirkung der Nutzung verschiedener Energiequellen und die unterschiedlichen Folgen bleiben dabei unberücksichtigt. Dass die Definitionen allein auf der Verfügbarkeit der Energieträger beruhen, ist wahrscheinlich durch die Bedingungen während der Zeit der Etablierung des Begriffes bedingt (s. Kapitel 3.1.1). Zusätzlich wird der Umgang mit den verschiedenen

Definitionen zusätzlich dadurch erschwert, dass in der Regel nicht zwischen Stoffströmen und Energiefluss differenziert wird. So ist bei Twidell und Weir (2015) von Energiefluss und Energiespeichern die Rede, aber nicht, wie diese mit Stoffflüssen verknüpft sind. Diese Verschleierung der stofflichen Aspekte stellt ein generelles Problem beim Umgang mit den Begrifflichkeiten in Bezug auf verschiedene Energiequellen dar. Mit erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen sind nicht nur Stoffe wie Kohle, Erdgas, Erdöl oder Biomasse und deren innere Energie gemeint, sondern auch die äußere Energie bestimmter Systeme, die eine bestimmte Form und Menge an Energie enthalten. Auch in diesen Systemen spielen Stoffe eine große Rolle, wie zum Beispiel Wasser in einem Staudamm. Trotzdem benennt die Literatur oft nur die Energieträger (z. B. Wind oder Wasser), meint damit aber die äußere Energie des jeweiligen Systems (z. B. Ellabban u. a., 2014; Twidell & Weir, 2015).

Im Folgenden verwende ich die Bezeichnung ‚erneuerbar‘ als Sammelbegriff für die in der Literatur unstrittig dieser Kategorie zugeordneten Energiequellen (s.o.).

### *3.1.3.3 Energiequelle/Energieträger*

Allgemein wird in der deutschen Sprache die Bezeichnung ‚Energiequelle‘ häufiger im Zusammenhang mit erneuerbaren Energien verwendet, wohingegen die Bezeichnung Energieträger eher im Zusammenhang mit fossilen Brennstoffen benutzt wird. Prinzipiell lassen sich allerdings beide Wörter nach dem Digitalen Wörterbuch der deutschen Sprache („DWDS – Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart“, o. J.) im Gebrauch für erneuerbare als auch nicht-erneuerbare Energien finden („Energiequelle“, „Energieträger“, o. J.).

Wie der Energiebegriff selbst (s. Kapitel 3.1.3.1) und die Bezeichnung ‚erneuerbare‘ Energie, ist auch der wissenschaftliche Gebrauch der Bezeichnungen ‚Energieträger‘ und ‚Energiequelle‘ nicht einheitlich und es existieren sich widersprechende Definitionen. Wie im allgemeinen deutschen Sprachgebrauch verwenden viele Wissenschaftler\*innen (z. B. Reich & Reppich, 2013; Wesselak u. a., 2017; WBGU, 2003, 2011) die Wörter Energieträger und Energiequelle synonym mit entsprechender Häufung im Kontext von nicht-erneuerbar respektive erneuerbar. Rebhan (2002, S. 36-37) grenzt die Begriffe ‚Energiequelle‘ und ‚Energieträger‘ voneinander ab, indem er einen Energieträger definiert als das „Medium, in welchem die Energie gespeichert ist“ (Rebhan, 2002, S. 36). Ist dieses Medium durch den Menschen noch keinem Umwandlungsprozess unterzogen worden, spricht er von

Primärenergieträgern. Diese können nach Rebhan bisweilen mit den entsprechenden Quellen identisch sein. So ordnet er der Energiequelle ‚Wasserenergie‘ den Energieträger ‚Wasser‘ zu. Bei der Energiequelle ‚Erdwärme‘ sieht er dahingegen den ‚Boden‘ als Energieträger an. Dabei grenzt er den Energieträger, den er synonym auch als Speicher bezeichnet, von der Energieform ab. Dass dieses System nicht kohärent ist und sich in einigen Punkten selbst widerspricht, lässt sich beispielsweise daran erkennen, dass Rebhan als Energiequelle für Kohle, Erdöl und Gas ‚fossile Brennstoffe‘ angibt. Diese Zuordnung entspricht einer Überkategorie, aber nicht der ‚Quelle‘, aus welcher die Energie stammt. Letztendlich müsste hier konsequenter Weise die Sonne als Hauptenergiequelle angegeben werden. Ein anderes Beispiel für die widersprüchliche Einteilung bei Rebhan ist die Quelle ‚Solarenergie‘, die als Energieträger/-speicher unter anderem ‚Solarzellen‘ zugeordnet wird. Die Solarzellen speichern jedoch keine Energie, sondern wandeln die Energieform von Strahlungsenergie in elektrische Energie (und Wärme) um.

In der englischsprachigen Literatur lässt sich der Begriff ‚energy carrier‘ deutlich seltener finden als der Begriff ‚Energieträger‘ im deutschsprachigen Raum. Im Gegensatz zum Deutschen wird im Englischen der Begriff ‚energy carrier‘ definitorisch vom Begriff ‚energy source‘ klar abgegrenzt. Die Verwendung von ‚energy carrier‘ erfolgt oftmals im Bereich der Energietechnik insbesondere, wenn es zum Beispiel um die Erstellung von Energiebilanzen, das heißt den Vergleich von Energieinput und Output von mehr oder weniger komplexen (auch gesellschaftlichen) Systemen geht (Giampietro & Mayumi, 2008; Raugei, Fullana-i-Palmer, & Fthenakis, 2012). Bezugspunkt dabei ist immer das jeweilige System, das im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Dieses System wird auch als Konverter bezeichnet, da es eine oder mehrere Energieformen in andere Energieformen umwandelt. Durch die Energiequelle wird dem System von außen Energie zugeführt (z. B. durch die Sonne). Der Energieträger ist ein Vektor – demnach bestimmt er auch, in welche Richtung die Konversionsprozesse ablaufen – innerhalb des Systems (z. B. Sonnenstrahlung), der die Energie enthält und überträgt (Raugei u. a., 2012, S. 577). Welche Form von Energieträger benötigt wird, wird durch die Beschaffenheit des Konverters bzw. den Charakter des jeweiligen Systems bestimmt (Giampietro & Mayumi, 2008). Sonnenstrahlung wäre beispielsweise ein passender Energieträger für eine Photovoltaikanlage als Konverter. Wichtig für eine erfolgreiche Bilanzierung ist, dass nicht nur räumliche, sondern auch zeitliche Grenzen des Systems definiert werden. Innerhalb des Systems existieren die Energieträger

gegebenenfalls auch Energiespeicher, die bei Odum (2007, S. 15) auch selbst Systeme sind, da hier beispielsweise das System aus Sauerstoff und Brennstoff als Speicher angesehen wird. Im Gegensatz zu den eher unspezifischen Definitionen erneuerbarer Energien (s. o.) wird bei dem Ansatz der Energiebilanzierung ganz klar zwischen Stoff- und Energieströmen differenziert und beide werden in die Bilanzierung mit einbezogen.

Um den sehr unspezifischen Ausdruck ‚erneuerbare Energie‘ zu vermeiden, verwende ich in dieser Arbeit statt Energie hauptsächlich die spezifischeren Bezeichnungen ‚Energieträger‘ und ‚Energiequellen‘. Da die Begriffe nur sehr schwer voneinander abzugrenzen sind und diese Abgrenzung gleichzeitig nicht unumstritten ist (s. o.), orientiere ich mich am allgemeinen Sprachgebrauch in Deutschland, um die Leser\*innen nicht zu irritieren. Das bedeutet, dass die Wörter ‚Energieträger‘ und ‚Energiequelle‘ synonym verwendet werden. Weiche ich hiervon ab – weil ich zum Beispiel, entsprechend der metaphorischen Bedeutung, bestimmte auf dem jeweiligen Quellbereich basierende Aspekte betonen möchte (s. Kapitel 3.2.6.1) oder wörtliche Äußerungen der Schüler\*innen bzw. der wissenschaftlichen Berichte (WBGU, 2003, 2011) aufgreife – weise ich explizit hierauf hin.

## 3.2 Lehr-lerntheoretischer Rahmen

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Energiewende hin zu erneuerbaren Energiequellen als Lerngegenstand für den naturwissenschaftlichen Unterricht didaktisch zu rekonstruieren. Dem liegt eine gemäßigt konstruktivistische Perspektive zu Grunde, die zunächst vorgestellt wird. Anschließend werden spezifischer die Merkmale eines gemäßigt konstruktiven Lehr-Lernverständnis erläutert (s. Kapitel 3.2.1). Daraufhin wird die Umsetzung des Verständnisses im Modell der didaktischen Rekonstruktion ausgeführt (s. Kapitel 3.2.2). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion fokussiert Vorstellungen als kognitive Lernvoraussetzungen auf gedanklicher Ebene. Ihnen wird deswegen ein eigenes Kapitel gewidmet (s. Kapitel 3.2.3). Anschließend wird erläutert, wie lebensweltliche Erfahrungen die Grundlage für den Aufbau von Vorstellungen und das Verstehen abstrakter Gegenstände bilden (s. Kapitel 3.2.4). In Kapitel 3.2.5 wird erklärt, wie verkörperte Erfahrungen in Form von generalisierten gedanklichen Mustern, den Schemata, entstehen. Wie diese für kognitive Prozesse genutzt werden, wird an relevanten Schemata ausführlich erläutert. Schemata, Vorstellungen und zu Grunde liegende Erfahrungen kommen über die Sprache, zum Beispiel durch Metaphern und Frames, zum Ausdruck. Diese Zusammenhänge werden in Kapitel 3.2.6 vorgestellt.



### 3.2.1 Gemäßigter Konstruktivismus

In der Didaktik ist der Konstruktivismus die vorherrschende Theorie zur Analyse und Planung von Lehr-Lernprozessen. Dies gilt auch für die Didaktik der Naturwissenschaften. Einerseits ist diese erkenntnistheoretische Sichtweise weit verbreitet und wird von Lehrpersonen oder Didaktiker\*innen oft als selbstverständlich vorausgesetzt. Andererseits existieren – der konstruktivistischen Logik folgend – verschiedene konstruktivistische Strömungen, die nicht einer einzigen konsistenten Theorie folgen (Duit, 1995, S. 905). Dabei ist jedoch allen konstruktivistischen Ansätzen die Ansicht gemeinsam, dass die (direkte) Wahrnehmung der Wirklichkeit problematisch ist und Konstruktionsprozessen unterliegt (Flick, 2013, S. 151).

#### *Konstruktivismus und Wirklichkeit*

Nach Auffassung des radikalen Konstruktivismus sind wir als Individuen in unserer Konstruktion unserer Weltsicht gefangen. Jeder Mensch kann nur die ihm eigene Perspektive einnehmen (Glaserfeld, 1997, S. 22). Gestützt wird diese Ansicht durch Erkenntnisse der Neurobiologie. Demnach ist der Mensch über sein sensorisches System nicht in der Lage, seine Außenwelt realitätsentsprechend wahrzunehmen. Stattdessen ist die Wahrnehmung der Außenwelt ein aktiver Konstruktionsprozess des Gehirns. Dieses ergänzt fehlende Informationen, filtert für das Individuum hinderliche oder überflüssige Informationen und konstruiert somit ein eigenes Bild der Wirklichkeit (Roth, 2009, S. 73).

Ein Beispiel: Farben in unserer Umwelt nehmen wir im Verlauf des Tages unverändert wahr. Dem gegenüber steht, dass sich im Tagesverlauf die Wellenlänge des reflektierten Lichts ändert. Da diese die physiologischen Prozesse der Farbwahrnehmung im Auge bestimmt, müsste sich die wahrgenommene Farbe über den Tag hinweg verändern. Das geschieht jedoch nicht (Roth, 2009, S. 71–72). Dieses Beispiel zeigt, dass die Welt für uns nicht direkt erfahrbar ist. Alle Wahrnehmungen unterliegen einem Übersetzungsprozess, in dem physikalische und chemische Reize vom Gehirn interpretiert werden (Siebert, 2011). Epistemologisch gesehen, bedeutet diese Unmöglichkeit einer direkten Wahrnehmung von Realität: Es kann keine objektiven wissenschaftlichen Erkenntnisse geben.

Auch Naturwissenschaftler\*innen bleibt ein direkter Zugang zur Welt verwehrt. Naturwissenschaftliche Theorien sind also ebenfalls Konstruktionen. Sie werden von einer ‚Epistemic Community‘ nach bestimmten Regeln erzeugt, sind kohärent und erscheinen –

gestützt von empirischen Ergebnissen und einer entsprechenden Argumentation – für einen bestimmten Zeitraum logisch und plausibel (Roth, 1999, S. 351).

### *Konstruktivismus und (Fach-)Didaktik*

Problematisch an einer radikalkonstruktivistischen Perspektive ist aus didaktischer Sicht der daraus folgende Solipsismus (Duit, 1995, S. 919). Wenn jedes Individuum nur seine eigene Konstruktion von Wirklichkeit wahrnehmen würde und es letztendlich keinen Beweis für eine Realität jenseits der eigenen Wahrnehmung gäbe, hätte dies erhebliche Konsequenzen für das Lehren und Lernen. Eine Lehrkraft könnte zum einen die Perspektive der Lernenden nicht einnehmen und hätte zum anderen keinen Einfluss darauf, wie die Schüler\*innen ihre Realität konstruieren: Die Lehrkraft wäre demnach bedeutungslos für das Lernen der Kinder.

Trotz der Problematik der beschriebenen radikalkonstruktivistischen Perspektive hat sich in der Didaktik der Naturwissenschaft ein konstruktivistisches Lehr-Lernverständnis durchgesetzt (Duit, 1995; Riemeier, 2007; Widodo & Duit, 2004). Die allgemeine Grundannahme verschiedener konstruktivistischer Strömungen, dass unser Wissen aktiv konstruiert, subjektiv und individuell unterschiedlich ist, hat sich als wirksam bei der Erklärung und Analyse von Lernhindernissen und Lernschwierigkeiten erwiesen und bietet zudem Ansatzpunkte für eine Überwindung dieser Schwierigkeiten (Widodo, 2004). Zur Abgrenzung von der radikalkonstruktivistischen Perspektive wird von einem gemäßigten pragmatischen oder moderaten Konstruktivismus gesprochen (Widodo & Duit, 2004). Diese Form des Konstruktivismus unterscheidet sich insbesondere darin vom Radikalkonstruktivismus, dass Elemente des sozialen Konstruktivismus mit eingebunden werden. Der Sozialkonstruktivismus betont, dass Wissen sozial konstruiert wird (Flick, 2013, S. 151). Demnach wird die Konstruktion von Wissen nicht nur durch das jeweilige Individuum alleine gesteuert, sondern auch durch soziale Kontexte determiniert. Das bedeutet, dass die Lehrkraft und die Schüler\*innen ebenso wie die Lernsituation einen Einfluss auf das Lehren und Lernen haben. Auch der Lerngegenstand und das dazugehörige Fachwissen werden als soziale Konstruktion angesehen. Was diese gemäßigt konstruktivistische Sichtweise in Bezug auf das unterrichtlich genutzte Fachwissen und in Bezug auf unterrichtliche Lernprozesse im Einzelnen bedeutet, wird nachfolgend genauer ausgeführt.

### *Fachwissen (zur Energiewende) aus gemäßigt konstruktivistischer Perspektive*

Widodo (2004, S. 27–28) fasst die moderate konstruktivistische Sichtweise auf Wissen in drei Hauptaussagen zusammen:

Erstens ist Wissen ein menschliches Konstrukt. Es entspricht keiner objektiven Abbildung der Welt, sondern enthält subjektive Interpretationen der beteiligten Menschen. Das gilt unabhängig davon, ob es sich um lebensweltliches Wissen oder wissenschaftliches Wissen handelt (Widodo, 2004, S. 27). Dies gilt auch im Kontext der Energiewende.

Zweitens ist Wissen ein soziales Konstrukt. Es wird in komplexen sozialen Kontexten erzeugt. Der Konstruktionsprozess unterliegt dabei unterschiedlichen Einflüssen – zum Beispiel Kultur und Religion. In sozialen Aushandlungsprozessen findet eine Einigung statt, die das individuell konstruierte Wissen in ein Wissen überführt, das in einer sozialen Gruppe geteilt wird (Widodo, 2004, S. 27–28). Ein eindrückliches Beispiel in Bezug auf die Energiewende: Während der ‚Atomausstieg‘ in der deutschen Gesellschaft ein zentraler Bestandteil der Energiewende ist, wird in anderen Ländern die Kernenergie als unverzichtbarer Bestandteil einer kohlenstoffarmen Energieversorgung gesehen (WBGU, 2011, S. 125).

Drittens ist Wissen vorläufig. Es kann nicht als absolute unwiderlegbare Wahrheit angesehen werden. Es unterliegt Wandlungsprozessen, auch wenn es zu einem bestimmten Zeitpunkt von einer breiten Masse akzeptiert wird (Widodo, 2004, S. 28). In Bezug auf die Energiewende lässt sich das beispielsweise an der veränderten Argumentation für die Umstellung auf erneuerbare Energiequellen erkennen (s. Kapitel 3.1.1): Während der Peak-Oil-Debatte der späten sechziger Jahre wurde das Ende der Erdölvorräte binnen kürzester Zeit prognostiziert (Bithas & Kalimeris, 2016). Motor für eine Energiewende war zu diesem Zeitpunkt die knappe Verfügbarkeit der Ressourcen. Im Gegensatz dazu wird heute davon ausgegangen, dass durch die Erschließung neuer Vorkommen und die Entwicklung neuer Technologien immer noch reichlich Ressourcen und Reserven fossiler Brennstoffe vorhanden sind (WBGU, 2011, S. 242). Heute wird als das drängendste Problem angesehen, Treibhausgasemissionen zu reduzieren, um dadurch die Klimakrise einzudämmen (s. Kapitel 3.1.1).

Kontexte nachhaltiger Entwicklung wie der Energiewende sind häufig komplex. Erfahrungsgemäß wird das Wissen, auf dem Prognosen und Modelle zu diesen Kontexten basieren, nur von kleinen Gruppen geteilt. Dies liegt sicherlich auch an der immensen Vielzahl an Daten, die unter verschiedenen Bedingungen von verschiedenen Wissenschaftler\*innen

unterschiedlicher Disziplinen erhoben und somit konstruiert werden. Diese Einflüsse auf die Wissenserzeugung führen zu einem raschen Wandel des Wissensstandes. Godemann und Michelsen fordern deshalb eine „flexible Intelligenz“ (2011, S. 111) im Umgang mit unsicherer Evidenz in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. Die Vorläufigkeit des Wissens sollte von Lehrenden und Lernenden als natürlicher Umstand verstanden werden. Im Prozess der Erzeugung wissenschaftlichen Wissens ist es notwendig und normal den Wissensstand regelmäßig anzupassen.

### *Lernprozesse aus gemäßigt konstruktivistischer Perspektive*

Die Perspektive des gemäßigten Konstruktivismus führt nicht nur zu einem veränderten Wissens- und Wissenschaftsverständnis. Sie hat auch Auswirkungen auf die Sichtweise von Lehr- und Lernprozessen. Lernprozesse sind nach Auffassung des gemäßigten Konstruktivismus von der jeweiligen Person selbst gesteuert, individuell unterschiedlich, sozial beeinflusst und situationsabhängig (Riemeier, 2007). Diese Faktoren für Lernprozesse werden im Folgenden genauer ausgeführt. Dabei wird auch abgeleitet, welche Konsequenzen sich für Lehrprozesse aus diesem Lernverständnis ergeben.

Lernen ist ein aktiver Konstruktionsprozess. Der Lerngegenstand kann nicht passiv konsumiert werden, sondern es bedarf einer aktiven Denkleistung der Schüler\*innen. Im Unterricht muss jedem Lernenden die Gelegenheit und Zeit gegeben werden, diesen aktiven Prozess zu durchlaufen. Dies kann zum Beispiel durch eine Aufgabe geschehen, die von jeder Person einzeln bearbeitet werden soll.

Lernende bringen unterschiedliche lebensweltlich – gegebenenfalls auch unterrichtlich – erzeugte Vorstellungen<sup>3</sup> in den Unterricht mit. Dies muss bei der Planung von Unterricht berücksichtigt werden (Lindemann, 2006, S. 239). Aufgrund der Individualität der Vorstellungen ist zu berücksichtigen, dass die Schüler\*innen unterschiedliche Lernzugänge und Lernwege aufweisen. Bei Kenntnis lebensweltlicher Vorstellungen können Lehrpersonen diese aktiv in den Unterricht einbinden und gezielt einen kognitiven Konflikt herbeiführen. Im Chemieunterricht kann beispielsweise Eisenwolle an der Balkenwaage durchgeglüht werden. Die Lernenden beobachten das Absinken der Waage und können daraus eine

---

<sup>3</sup> Mit Vorstellungen werden in dieser Arbeit gedankliche Konstrukte bezeichnet. Genauere Ausführungen hierzu lassen sich in Kapitel 3.2.3 finden.

Gewichtszunahme folgern. Hierdurch kann die lebensweltliche Vorstellung irritiert werden, dass Stoffe bei der Verbrennung verschwinden oder weniger werden (Barke, 2006, S. 43–47).

Da Lernen per se individuell ist, wird auch der Lerngegenstand im Unterricht von den Schüler\*innen unterschiedlich wahrgenommen und unterschiedliches Wissen dazu aufgebaut. Deshalb ist im Unterricht den Lernenden die Möglichkeit zu geben, sich über verschiedene Denkweisen und Interpretationen auszutauschen. Hierdurch können die Schüler\*innen sich zum Beispiel gegenseitig Widersprüche aufzeigen und so zu einem fachlich angemesseneren Verstehen kommen.

Kooperative Lernformen greifen die geforderten Elemente eines gemäßigt konstruktivistischen Unterrichts auf (siehe z. B. Slavin, 2010). Bei der Methode des Think-Pair-Share bekommen die Lernenden zum Beispiel zunächst die Gelegenheit, eine Aufgabe für sich alleine zu bearbeiten (=Think). Im Anschluss tauschen sich die Lernenden im geschützten Raum eines Lerntandems mit einem anderen Peer aus (=Pair). Als letzter Schritt wird dann im Plenum gemeinsam über die Ergebnisse diskutiert (=Share).

Lernprozesse sind sozial beeinflusst und situationsabhängig. Deshalb müssen die Lernsituationen so gestaltet werden, dass sie die intendierten Lernprozesse unterstützen. Es ist dafür zu sorgen, dass eine lernförderliche Atmosphäre im Klassenzimmer herrscht und soziale Aspekte zum Beispiel in der Gruppenzusammensetzung berücksichtigt werden.

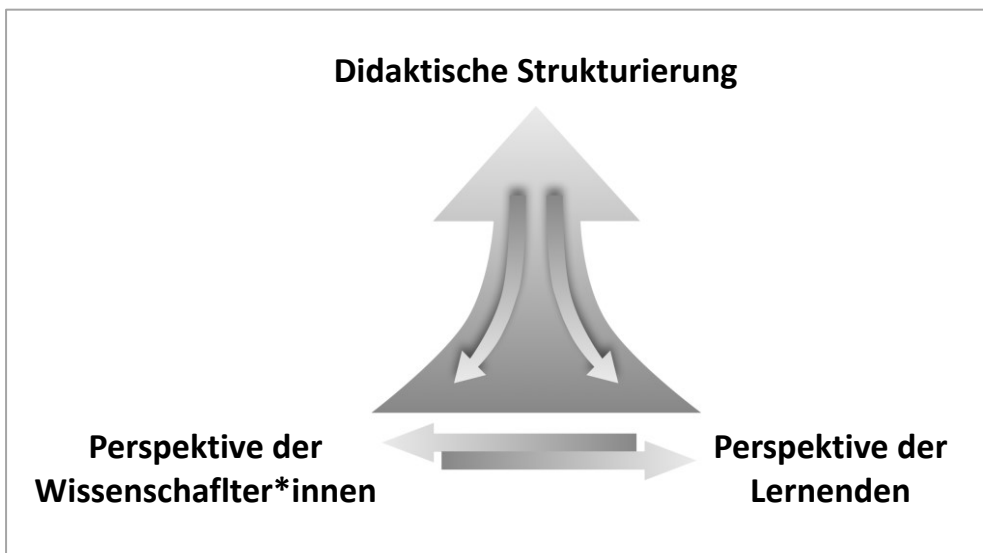
### **3.2.2 Modell der didaktischen Rekonstruktion**

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion dient in der Naturwissenschaftsdidaktik als Forschungs- und Unterrichtsmodell. Mit diesem Modell geht eine klare erkenntnistheoretische Verortung im gemäßigten Konstruktivismus einher.<sup>4</sup>

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion fordert in der Lehr-Lernforschung drei Perspektiven zu berücksichtigen: die der Lernenden, die der Wissenschaftler\*innen und die der Lehr-Lernsituation, das heißt der didaktischen Strukturierung. Die Zusammengehörigkeit dieser drei Perspektiven kommt durch die Bezeichnung ‚fachdidaktisches Triplet‘ zum Ausdruck (Kattmann, Duit, Gropengießer, & Komorek, 1997, vgl. Abbildung 1).

---

<sup>4</sup> Die Bedeutsamkeit dieser Verortung wird in Kapitel 10.1 ausgearbeitet.



**Abbildung 1 Fachdidaktisches Tripletts der didaktischen Rekonstruktion** (nach Kattmann u. a., 1997, S.4)

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion stellt dabei die Beziehungen zwischen den drei Perspektiven in den Vordergrund. In Abbildung 1 repräsentieren die Pfeile in der Mitte die Verbindungen und Abhängigkeiten zwischen den drei Perspektiven. Im Folgenden werden zunächst die Perspektiven einzeln genauer vorgestellt. Anschließend werden die Beziehungen zwischen den Perspektiven betrachtet.

Die *Perspektive der Lernenden* beinhaltet kognitive Aspekte, zu denen Vorstellungen zählen. Zudem schließt sie emotionale, motivationale und situative Aspekte mit ein (Gropengießer, 2008, S. 173). Die Analyse der Perspektive der Lernenden hat zwei Ziele. Einerseits sollen die Voraussetzungen der Lernenden für den Lernprozess bestimmt werden. Andererseits soll das Potenzial der Lernenden ermittelt werden. Das Potenzial gibt vor, welches Lernziel durch die didaktische Strukturierung erreicht werden kann. Die Perspektive der Lernenden wird deshalb bisweilen auch als Lernpotenzialdiagnose bezeichnet (Tauschke, 2016).

Die *Perspektive der Wissenschaftler\*innen* beinhaltet die Analyse der fachlichen Inhalte, die im Unterricht vermittelt werden sollen. Dieser analytische Prozess wird im Modell der didaktischen Rekonstruktion häufig auch als fachliche Klärung<sup>5</sup> bezeichnet (Kattmann u. a., 1997). Ziel ist eine Aufklärung im Hinblick darauf, welche Aspekte den Lernenden ein fachlich angemessenes Verstehen ermöglichen. Hierzu müssen diese Aspekte „für Lernende vor dem Hintergrund ihrer alltäglichen Erkenntnisse und Kompetenzen verständlich sein“ (Tauschke, 2016, S. 96). Gleichzeitig sollten die fachlichen Konstrukte den Lernenden einen

<sup>5</sup> Für eine kritische Diskussion dieser Bezeichnung siehe Kapitel 10.1.

„Erkenntniszugewinn“ (Tauschke, 2016, S. 96) ermöglichen, also über das bereits bekannte Alltagsverstehen hinaus gehen.

Mit der *Perspektive der didaktischen Strukturierung* wird die systematische Planung von Lehr-Lernsituationen durch Lehrpersonen bezeichnet. Sie bezieht sich nicht nur auf inhaltliche Aspekte, sondern auch auf methodische Aspekte oder die Ziele der Lehr-Lernsituation. Ziel der didaktischen Strukturierung ist, die Schüler\*innen beim Aufbau eines Verständnisses zu unterstützen, das in fachlichen Kontexten – zum Beispiel im naturwissenschaftlichen Unterricht – hilfreicher ist als ihr bisheriges Alltagsverständnis.

Im Folgenden werden die *Beziehungen zwischen den Perspektiven* vorgestellt. Hierbei beschränke ich mich auf eine kognitive Ebene. Für das Verständnis ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass Wissen innerhalb der Perspektiven auf unterschiedliche Art und Weise konstruiert wird. Dieses spezifische Wissen erweist sich für die jeweiligen Personengruppen (Lernende, Wissenschaftler\*innen und Lehrkräfte) als nützlich. Gropengießer (2008, S. 172) spricht von lebensweltlichem Wissen, fachlichem Wissen und unterrichtlichem Wissen. Fachlich unangemessenes Wissen der Lernenden wird von Lehrkräften und Fachdidaktiker\*innen (z. B. Barke, 2006) häufig als Fehlvorstellung bezeichnet. Um die Perspektive der Lernenden in ihrem lebensweltlichen Wert anzuerkennen, wird diese Bezeichnung im Folgenden vermieden. Stattdessen wird von fachlich unangemessenen Vorstellungen gesprochen.

Übergeordnetes Ziel der didaktischen Rekonstruktion ist die didaktische Strukturierung der Lerninhalte. In Abbildung 1 wird dies durch den dicken Pfeil dargestellt. Die Perspektive der Lernenden und der Wissenschaft bilden die Basis zur Erreichung dieses Ziels. Auf kognitiver Ebene werden hierzu Lernenden-Vorstellungen und Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen rekonstruiert. Dieser Prozess läuft einerseits innerhalb der jeweiligen Perspektive ab, beeinflusst sich andererseits aber auch gegenseitig. Bestimmte vorunterrichtliche Vorstellungen der Schüler\*innen können beispielsweise fachlich geklärt werden. Andersherum können zu fachlichen Inhalten gezielt Schüler\*innen-Vorstellungen recherchiert oder untersucht werden. Durch einen systematischen Vergleich der Perspektiven soll zwischen der Lebenswelt der Lernenden und anerkanntem fachlichen Wissen vermittelt werden (Kattmann, 2007). Unter Vermittlungsabsicht werden Lernhindernisse und Lernchancen rekonstruiert. Diese Beziehung wird in Abbildung 1 durch die Pfeile zwischen den

Perspektiven verdeutlicht. Handlungsleitend ist während der beschriebenen Prozesse immer das Ziel der didaktischen Strukturierung. Dieses Ziel bestimmt die Art und Weise der Rekonstruktion der Perspektive der Lernenden und der Wissenschaftler\*innen mit. Dieser Einfluss wird in Abbildung 1 durch die Pfeile nach unten dargestellt. Die Rekonstruktionsprozesse innerhalb und zwischen den drei Perspektiven laufen nicht linear ab. Sie bedingen und beeinflussen sich gegenseitig; deshalb werden sie als rekursiv bezeichnet (Duit, Gropengießer, Kattmann, Komorek, & Parchmann, 2012). Durch die Beschreibung der Beziehungen der drei Perspektiven wird deutlich, dass die didaktische Rekonstruktion mehr leistet, als fachliche Inhalte für die Schüler\*innen zu reduzieren. In der didaktischen Rekonstruktion werden Lerninhalte so aufbereitet, dass sie anschlussfähig sind an die Lernvoraussetzungen der Schüler\*innen.

Mit Hilfe didaktischer Rekonstruktion werden bestimmte *Lerninhalte* dargestellt. Angewandt als Forschungsmodell (s. Kapitel 6.2) können zum Beispiel themenspezifische Vorstellungen von Lernenden und Wissenschaftler\*innen rekonstruiert und daraus Leitlinien für die didaktische Strukturierung abgeleitet werden (Niebert & Gropengießer, 2013).

### **3.2.3 Vorstellungen als Lernvoraussetzungen**

Wenn nach einem konstruktivistischen Lernverständnis die Schüler\*innen ihr Wissen aktiv konstruieren und ihre bereits vorhandenen Konstrukte dabei eine wesentliche Rolle spielen, kommt den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden eine besondere Bedeutung zu. Diese Auffassung wird von den Fachdidaktiken aller naturwissenschaftlicher Fächer geteilt (Barke, 2006; Duit, 2015; Schrenk, Gropengießer, & Groß, 2019). Nur wenn die Lehrperson eine begründete Vorstellung von den möglichen gedanklichen Konstrukten der Schüler\*innen hat, kann sie auch aktive Unterstützung zur Rekonstruktion dieser Vorstellungen geben (Barke, Harsch, Marohn, & Krees, 2015, S. 1-2). Der Terminus ‚Vorstellung‘ bezieht sich auf die gedankliche Ebene. So schreibt das DWDS, dass das Wort Vorstellung ein „im Bewusstsein auftretendes Abbild der Wirklichkeit [bezeichnet], das nicht auf unmittelbarer Wahrnehmung beruht, sondern früher wahrgenommene Gegenstände, Situationen (neu kombiniert) wiedergibt“ („Vorstellung“, o. J.). Nach Gropengießer ist der Ausdruck „Vorstellungen“ (engl. conceptions; Gropengießer, 2006, S. 13) eine Sammelbezeichnung für die subjektiven gedanklichen Konstrukte von Personen, die von unterschiedlicher Komplexität sein können (Gropengießer, 2006, S. 13). Um spezifischer über Vorstellungen reden zu können, ist es hilfreich verschiedene Komplexitätsebenen voneinander unterscheiden zu können.



Vorstellungen hinsichtlich ihrer Komplexität zu hierarchisieren und abzugrenzen ist sinnvoll, weil es dadurch möglich ist, allgemeinere Aussagen zu treffen und einzelne Vorstellungen zu bündeln. Leider werden in der Vorstellungsforschung für unterschiedlich komplexe gedankliche Konstrukte keine einheitlichen Ausdrücke verwendet. So ordnen zum Beispiel Menzel und Bögeholz (2006)<sup>6</sup> Vorstellungen entlang ihrer Komplexität und verwenden dabei andere Bezeichnungen als Gropengießer (2006, S. 13). Um Vorstellungen zur Energiewende und erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern zu rekonstruieren und diese spezifischeren gedanklichen Ebenen zuordnen zu können, orientiere ich mich im Folgenden an den von Gropengießer (2006, S. 13) verwendeten und von anderen Autor\*innen (z. B. Niebert, 2008, S. 29; Trauschke, 2016, S. 11) übernommenen Ausdrücken und Definitionen. Als Bezeichnung für Vorstellungen einfacher Komplexität verwendet Gropengießer den Ausdruck „Begriff“ (2006, S. 13). Etymologisch geht das Wort ‚Begriff‘ auf eine körperliche Erfahrung des Anfassens mit der Hand zurück („Begriff“, o. J.). Im Laufe der Zeit wurde die Bedeutung auf eine gedankliche Ebene übertragen. Heute wird der Terminus im Sinne von „wesentliche Merkmale einer Sache oder einer Gruppe von Erscheinungen, die zu einer gedanklichen Einheit zusammengefasst sind“ verwendet („Begriff, o. J.). Werden ‚Begriffe‘ gedanklich miteinander in Beziehung gebracht (z. B. wie sich zwei Objekte zueinander verhalten), bilden diese eine komplexere gedankliche Einheit, welche als „Konzept“<sup>7</sup> (Gropengießer, 2008, S. 174) bezeichnet wird (s. Beispiel in Tabelle 1). Im Prinzip lassen sich zwischen einer beliebigen Anzahl verschiedener Begriffe unendlich komplexe gedankliche Netze spinnen, wodurch es meines Erachtens schwierig ist, trennscharf zwischen unterschiedlichen Komplexitätsebenen zu unterscheiden. Fügen sich verschiedene Konzepte, die jeweils für das Verhältnis zwischen zwei Begriffen stehen, zu einem kohärenten komplexeren gedanklichen Konstrukt zusammen, spricht Gropengießer von „Denkfiguren“ (2006, S. 13; s. Beispiel Tabelle 1). Letztendlich lassen sich meines Erachtens alle Denkfiguren auch als Konzepte ausdrücken, wenn die jeweiligen Begriffe weit genug gefasst werden. Da die Bezeichnung Denkfigur zudem nicht selbsterklärend ist, werde ich im Folgenden von übergeordneten und untergeordneten Konzepten sprechen, wenn eine Hierarchisierung entlang der Komplexität der gedanklichen Konstrukte erforderlich ist. Auf höchster

---

<sup>6</sup> Menzel und Bögeholz (2006) ordnen Vorstellungen nach aufsteigender Komplexität ‚Assoziationen‘, ‚Kognitionen‘, ‚Konzepten‘ und ‚subjektiven Theorien‘ zu.

<sup>7</sup> Der deutsche Ausdruck ‚Konzept‘ ist dabei nicht zu verwechseln mit dem englischen Wort ‚concept‘, das dem deutschen Wort ‚Begriff‘ entspricht.

gedanklicher Komplexitätsebene sieht Gropengießer die „Theorie“ (2006, S. 13). Theorien stellen komplexe gedankliche Konstrukte zu übergeordneten Zusammenhängen dar (s. Beispiel Tabelle 1).

**Tabelle 1 Komplexität von Vorstellungen**

<b>Ebene</b>	<b>Beispiel</b>
<b>Theorie</b>	Bei der Verbrennung von Kohle, Erdgas oder Erdölprodukten zur Umwandlung der chemisch gespeicherten Energie in eine andere nutzbare Energieform (z. B. elektrische Energie, Wärme, kinetische Energie, ...) reagiert der Sauerstoff der Luft mit dem kohlenstoffhaltigen Energieträger unter anderem zu den Reaktionsprodukten Kohlenstoffdioxid und Wasser.
<b>Übergeordnetes Konzept</b>	Nutzung fossiler Energieträger setzt Kohlenstoff frei
<b>Untergeordnete Konzepte</b>	fossile Energieträger enthalten Kohlenstoff; ...
<b>Begriffe</b>	Kohlenstoff, fossile Energieträger

Wichtig ist zu betonen, dass alle Vorstellungen vom Begriff bis hin zur Theorie immer subjektiv sind, das heißt sie entsprechen der Wahrnehmung und gedanklichen Konstruktion der jeweiligen Personen (Riemeier, 2007). Diese Vorstellungen können situativ unterschiedlich sein. Schüler\*innen (re-)konstruieren zum Beispiel möglicherweise andere Vorstellungen von Verbrennung, je nachdem ob sie am Lagerfeuer sitzen oder im Chemieunterricht. Dadurch erscheinen auch unterschiedliche Vorstellungen in unterschiedlichen Situationen angemessen, weil sie Wahrgenommenes für die jeweiligen Personen zu diesem Zeitpunkt befriedigend erklären. Am Lagerfeuer kann es ausreichend sein, die Vorstellung zu haben, dass das Holz verbrennt und dann ‚weg‘ ist und dementsprechend für Nachschub gesorgt werden muss, um das Feuer am ‚Leben zu erhalten‘. Im Chemieunterricht würde von den Schüler\*innen erwartet, dass sie die Verbrennung als eine Form der chemischen Reaktion sehen, bei der eine Stoffumwandlung stattfindet, sodass der Stoff nicht verschwindet, sondern in andere Stoffe umgewandelt wird (Atkins & Jones, 2006). Zugleich sollte das Leuchten der Flammen und die Hitzeentwicklung bei einer fachlich angemessenen Vorstellung als Zeichen für den Energieumsatz gedeutet werden (Atkins & Jones, 2006). Derartige fachliche Vorstellungen von Verbrennungsprozessen sind im Kontext der Energiewende essenziell, um den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffdioxidemissionen und der Verbrennung fossiler Brennstoffe und somit zur Aufheizung des Erdklimas herstellen zu können.

Da viele Vorstellungen wie im obigen Beispiel zwar fachlich unangemessen sind, im Alltag (z. B. am Lagerfeuer) aber durchaus die situativ nötige Erklärungsfunktion erfüllen, verzichte ich auf den teilweise verwendeten Ausdruck Fehlvorstellungen (siehe z. B. Barke, 2006) und spreche von fachlich angemessenen oder fachlich unangemessenen Vorstellungen.

#### **3.2.4 Erfahrungen als Basis von Vorstellungen**

Um unsere menschliche Lebenswelt und die darin enthaltenen Objekte, Dinge und Ereignisse als sinnhaft zu erleben, ist eine gedankliche Struktur nötig, die uns beispielsweise das Wiedererkennen ermöglicht. Ich spreche in der vorliegenden Studie dabei von Verstehen, wenn Vorstellungen in einer Art und Weise miteinander verknüpft sind beziehungsweise werden, indem sie für das Subjekt plausibel erscheinen und für diese Person von ihr wahrgenommene Phänomene erklären können (Gropengießer, 2006, S. 13). Dementsprechend ist Verstehen analog zum konstruktivistischen Lernverständnis (s. Kapitel 3.2.1) per se individuell. Die gedanklichen Konstrukte, die für den mentalen Verstehensprozess verantwortlich sind, können dabei fachlich angemessen oder auch unangemessen sein. Als Basis für den Aufbau der gedanklichen Strukturen dienen Erfahrungen.

Mit Erfahrungen sind dabei „Interaktionen mit der physischen und sozialen Umwelt“ (Gropengießer, 2007, S. 111) gemeint. Eine entsprechende Theorie des Experientialismus entwickelte sich zunächst ausgehend von Lakoff und Johnsons Veröffentlichung „*Metaphors we live by*“ (1980) in der kognitiven Linguistik. Die beiden Autoren stellen in ihrem Werk einen metaphernanalytischen Ansatz vor, der anhand sprachlicher Wendungen rekonstruiert, dass gedankliche Strukturen auf direkten sensomotorischen Erfahrungen beruhen. Die Erfahrungen sind dabei maßgeblich durch den menschlichen Körper sowie die Struktur der uns umgebenden Welt bestimmt. Lakoff und Johnson (1999, S. 34–35) führen als Beispiel dafür, wie unser Körper unsere kognitiven Strukturen bestimmt, an, dass wir beispielsweise die Begriffe vorne und hinten nur vor dem Hintergrund des Baus des menschlichen Körpers verstehen. Mit unseren Augen können wir die Vorderseite sehen, was die andere Seite zur Rückseite macht. Durch dieses Erleben des eigenen Körpers ergeben für uns Ortsbeschreibungen wie ‚hinter diesem Haus‘ Sinn. Aufgrund der körperlichen Determiniertheit des Verstehens wird auch von verkörperter Kognition (engl. *embodied cognition*) gesprochen. Verkörperte Begriffe können in der direkten Auseinandersetzung mit

der Umwelt von den agierenden Personen direkt verstanden werden. Diese Begriffe ermöglichen uns Menschen über das direkte Verstehen hinaus ein imaginatives Verstehen abstrakter Bereiche (Gropengießer, 2007, S. 111–113), zum Beispiel wenn die Rede davon ist, was sich ‚hinter‘ dem Begriff Energiewende verbirgt.<sup>8</sup>

Um ein Verständnis für das imaginative Verstehen aufbauen zu können, ist es hilfreich, sich zu vergegenwärtigen, in welchem Bereich körperliche Erfahrungen überhaupt möglich sind beziehungsweise wo die Grenzen der Wahrnehmbarkeit liegen. Normalerweise finden von uns gemachte Erfahrungen alle auf einer lebensweltlichen Ebene statt. Niebert und Großengießer (2015) beziehen sich auf Vollmer (1984), wenn sie diese lebensweltliche, wahrnehmbare und erfahrbare Ebene als Mesokosmos bezeichnen. Entwicklungsgeschichtlich haben die Menschen die Fähigkeit entwickelt, Dinge und Phänomene innerhalb bestimmter Grenzen wahrzunehmen. Die verschiedenen Dimensionen wie Zeit, räumliche Ausdehnung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Gewicht und Temperatur sind dabei durch die körperlichen Gegebenheiten der Menschen bestimmt. Beispielsweise erstreckt sich die Wahrnehmbarkeit der Zeit von Sekunden (z. B. bei einem Herzschlag) bis zu mehreren Jahrzehnten (z. B. der Dauer eines menschlichen Lebens) (Niebert & Gropengießer, 2015). Phänomene und Dinge, die sich außerhalb dieser Grenzen befinden, können nicht mehr direkt wahrgenommen werden. Niebert und Gropengießer (2015) sprechen von ‚Makrokosmos‘, wenn die Grenzen der Wahrnehmbarkeit nach oben und von ‚Mikrokosmos‘, wenn die Grenzen der Wahrnehmung nach unten überschritten werden. Wird beispielsweise ein Feuerzeug betätigt, dann können wir eine Flamme sehen und Wärmeentwicklung spüren (Mesokosmos). Die molekulare Zusammensetzung des Brennstoffes Propan und die Reaktion mit dem Luftsauerstoff zu Wasser und Kohlenstoffdioxid können wir nicht direkt wahrnehmen (Mikrokosmos),<sup>9</sup> genauso wie die Verteilung und klimaschädliche Wirkung gasförmiger Verbrennungsprodukte in der Atmosphäre (Makrokosmos). Wenn Menschen nun beispielsweise Dinge und Vorgänge verstehen wollen, die im Makro- oder Mikrokosmos stattfinden, dann gelingt dies durch eine gedankliche Übertragung der Erfahrungen aus dem

---

<sup>8</sup> Das Wort ‚hinter‘ wird hier in einem metaphorischen Sinn verwendet, da die Bedeutung von einem Quellbereich (Vorder- und Hinterseite des menschlichen Körpers) auf einen Zielbereich (Begriff der Energiewende) übertragen wird. Zu weiteren sprachlichen Betrachtungen siehe auch Kapitel 3.2.6.

<sup>9</sup> Hier lassen sich Überschneidungen zu dem in der Chemiedidaktik weit verbreiteten Johnstone-Dreieck (Johnstone, 1991) finden, das die Nicht-Wahrnehmbarkeit der submikroskopischen Ebene als eine der Herausforderungen des Chemieunterrichts begreift (Rehm, 2018).

Mesokosmos auf eine der nicht wahrnehmbaren Ebenen. Diese Übertragungsprozesse zeigen sich auch in verwendeten sprachlichen Wendungen (s. Kapitel 3.2.6).

### **3.2.5 Schemata als Erfahrungsmuster**

Schemata sind gedankliche Muster, die es uns ermöglichen, Vorstellungen von Erfahrungen aus der Lebenswelt auf einen abstrakteren Zielbereich zu übertragen. Sie gehören zu den ersten Vorstellungen in der menschlichen Entwicklung, die bereits vorsprachlich im Gedächtnis angelegt werden (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 17).

Ab der Geburt machen Babys Erfahrungen in der Auseinandersetzung mit ihrer Umwelt. Schon in den ersten Lebensmonaten werden diese Erlebnisse gedanklich repräsentiert und können aktiv zur Problemlösung eingesetzt werden (Mandler & Pagán Cánovas, 2014). Sie übernehmen für die Babys und Kleinkinder eine Erklärfunktion, indem sie das Verstehen bestimmter wahrgenommener Phänomene ermöglichen. Zum Beispiel können bereits kleine Kinder schlussfolgern, dass sich ein Gegenstand – den jemand in eine Box gelegt hat – immer noch darin befindet, obwohl er für das Kind nicht mehr sichtbar ist. Diese vorsprachlichen gedanklichen Strukturen erweisen sich für die Kinder als essenziell für das Verstehen der Lebenswelt. Die mentalen Muster werden durch das Subjekt in der wiederkehrenden Interaktion mit der Umwelt in ähnlichen Kontexten konstruiert. Hierdurch bilden sich basale Strukturen, die auf körperlichen Erfahrungen beruhen und die Konstruktionsprozesse für weiteres Verstehen und Lernen erleichtern. Diese unbewussten Denkstrukturen bezeichne ich im Folgenden als Schemata. Dadurch dass Schemata durch körperliche Erfahrungen entstehen, wird bisweilen auch von verkörperten Schemata gesprochen (z. B. Johnson, 1987, S. 23-24). Um zu verdeutlichen, dass eine gedankliche Struktur gemeint ist, werden Schemata im Folgenden in Großbuchstaben geschrieben. Diese symbolische Hervorhebung ist in der entsprechenden Literatur weit verbreitet (z. B. Evans & Green, 2006; Johnson, 1987; Kövecses, 2010; Lakoff, 1987; Mandler, 2005).

Alle frühen schemagenerierenden Beobachtungen und Erfahrungen sind rein räumlicher Natur (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 17), wenn zum Beispiel kleine Babys mit ihrem Blick dem Weg eines Objektes folgen. Die ersten Schemata setzen sich nach Auffassung der Entwicklungspsycholog\*innen Mandler und Pagán Cánovas dabei bereits aus noch basaleren gedanklichen Repräsentationen zusammen, die sie „spatial primitives“ (2014, S. 9) nennen (z. B. Bewegung, rein, raus, offen). Diese gedanklichen Basiselemente räumlicher Natur bilden

die Grundlage dafür, einfache räumliche Vorgänge verstehen zu können. Die gedanklichen Repräsentationen der einfachen räumlichen Vorgänge wie zum Beispiel WEG ZU EINEM DING beinhalten nach Mandler und Pagán Cánovas ausschließlich räumliche Komponenten und sind somit bildlich vorstellbar. In komplexeren Schemata werden weitere Elemente wie Gefühle (z. B. Hindernisse überwinden ist anstrengend) oder andere nicht räumliche Komponenten integriert. Um diese Einbindung weiterer nicht-räumlicher Komponenten zu verdeutlichen, schlagen die Autor\*innen die Bezeichnung ‚schematische Integrationen‘ (engl. schematic integrations) vor (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 17).

Einige Autor\*innen (z. B. Johnson, 1987; Schmitt, 2017, S. 51) verwenden für Schemata die Bezeichnung *Image Schemata*. Der englische Ausdruck ‚Image Schema‘ lässt sich dabei nicht wörtlich übersetzen, da die bezeichneten gedanklichen Strukturen nicht immer bildlich sind. So schreibt Johnson (1987, S. 75): „[T]he image schema is not an image. It is, instead, a means of structuring particular experiences schematically, so as to give order and connectedness to our perceptions and conceptions.“ Ich verwende den allgemeineren Ausdruck ‚Schema‘, um den Eindruck zu vermeiden, dass alle Elemente von Schemata bildlich vorstellbar sind. Zugleich möchte ich mit der allgemeineren Bezeichnung ‚Schemata‘ betonen, dass sich schematische gedankliche Repräsentationen aus entwicklungspsychologischer Perspektive (Mandler & Pagán Cánovas, 2014) bereits aus primitiven räumlichen Komponenten zusammensetzen und zu komplexeren gedanklichen Konstrukten erweitert werden können, indem verschiedene Schemata (ggf. zusammen mit weiteren nicht-räumlichen Komponenten) integriert werden.

Da wir Menschen aufgrund unserer körperlichen Ähnlichkeit und der auf der gesamten Erde herrschenden Naturgesetze sehr ähnliche Erfahrungen machen, lassen sich bestimmte basale Schemata sehr häufig rekonstruieren und tauchen in unterschiedlichsten Kontexten immer wieder in entsprechenden Analysen auf (z. B. ein Schema von einem BEHÄLTER bei Marsch, 2009; Niebert, 2010; Riemeier, 2005; Riemeier u. a., 2010; Trauschke & Gropengießer, 2014). Andererseits sind Erfahrungen immer auch individuell. Menschen leben in verschiedenen Kulturen und geographischen Regionen, weshalb sich die basalen gedanklichen Strukturen in einigen Punkten erheblich voneinander unterscheiden können. Zum Beispiel unterscheidet sich das BEHÄLTER-Schema je nachdem, ob ein Behälter kulturell als etwas erfahren wird, in oder unter dem sich etwas befindet (Sinha & López, 2001). In der Kultur der mexikanischen

Urbevölkerung der Zapoteken ist es beispielsweise üblich, Behälter hauptsächlich dergestalt zu verwenden, dass sie als Abdeckung über ihren Inhalt gestülpt werden.

Schemata werden sowohl für direktes als auch imaginatives Verstehen genutzt. Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion (s. Kapitel 3.2.2) kann über die Analyse von Schemata abgeleitet werden, auf welche Erfahrungen sich Vorstellungen zu abstrakten Gegenständen beziehen. Rekonstruierte Schemata bieten wirksame Ansatzpunkte, um fachlich angemessenes Verstehen in Vermittlungsprozessen unterrichtlicher Inhalte zu fördern (Gropengießer & Groß, 2019). Bestimmte Erfahrungen, die das Verstehen fachlich problematischer Aspekte erleichtern, können für die Lernenden gezielt initiiert werden.

In dieser Arbeit wird auf eine Vielzahl von Schemata Bezug genommen. Um die Orientierung zu erleichtern, sind diese in einer Übersicht in Tabelle 2 zusammengefasst. Für das Verstehen der Energiewende und erneuerbarer bzw. nicht-erneuerbarer Energiequellen sind einige Schemata besonders relevant. Diese werden in den Kapiteln 3.2.5.1 bis 3.2.5.9 genauer erläutert. In Bezug auf die Rezeption der Darstellung der Schemata sind folgende Aspekte wichtig:

Erstens wird im Folgenden eine bestimmte Auswahl von Schemata aufgeführt. Diese Auswahl ist weder in den ausführlichen Darstellungen (s. u.) noch in der Übersichtstabelle (s. Tabelle 2) als vollständige Sammlung von Schemata zu verstehen. Auch wenn es typische Schemata gibt, die häufig rekonstruiert werden können (s. o.), ist doch davon auszugehen, dass es keine abschließend bestimmbare Anzahl von Schemata gibt (Schmitt, 2017, S. 56).

Zweitens sind Schemata generalisierte gedankliche Muster. Jede Darstellung auf sprachlicher und bildlicher Ebene ist lediglich Hilfsmittel, um diese nachvollziehbar zu machen (Jäkel, 2003, S. 289). Diese Darstellung hat ihre Grenzen (s. Abbildung 2 zur bildlichen Darstellung von Schemata in Kapitel 3.2.5.9). Auf eine bildliche Darstellung wird daher in dieser Arbeit verzichtet.

Drittens sind Schemata nicht statisch. Die in den folgenden Beschreibungen der Schemata aufgeführten statischen Elemente treten in ihrer Bedeutung oft vor bedeutungsvolleren Prozessen in den Hintergrund. So ist es in der Wahrnehmung kleiner Kinder zum Beispiel interessanter, was mit einem Objekt gemacht wird (z. B. ob es in einen Behälter gelegt wird (s. BEHÄLTER-Schema) oder ob es einen bestimmten Weg zurücklegt (s. START-WEG-ZIEL-

Schema) als um welche Art von Objekt es sich handelt. Diese Betonung der Bedeutung der Prozesse sollte somit unbedingt auch in der sprachlichen Analyse beachtet werden, wenn bestimmte Metaphern auf ein bestimmtes Schema als Quellbereich hindeuten (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 7–8).

Viertens können Schemata durch sprachliche Äußerungen rekonstruiert werden (s. Kapitel 3.2.6). Bei der Beschreibung der Schemata wird deshalb an einigen Stellen auf den empirischen Teil vorgegriffen, indem typische sprachliche Äußerungen mit aufgeführt werden.

**Tabelle 2 Schemataübersicht**

Schema	abstrakte kennzeichnende Elemente	Beispiele aus der Lebenswelt/körperliche Erfahrungen	Quellen
<b>BALANCE</b>	s. GLEICHGEWICHT		
<b>BEHÄLTER</b>	ein hohler GEGENSTAND mit <i>Innen-</i> und <i>Außenseite</i> ; kann SUBSTANZEN oder OBJEKTE enthalten	Korb, Käseglocke, Kiste, Trinkglas, Gebäude...	z. B. Jäkel (2003, S. 290) Johnson (1987, S. 37-40) Schmitt (2017, S. 54)
<b>BELASTUNG</b>	vertikale Kraft wirkt auf ein OBJEKT ein, Einschränkung des OBJEKTES in seiner Beweglichkeit, GEGENKRAFT zur Aufrechterhaltung der Form nötig, Potenzial zur <i>Verformung/Zerstörung</i> gegeben	Steigen auf einen Luftballon, Betreten eines Steges...	Eigene Beschreibung
<b>FLIEßGLEICHGEWICHT</b>	<i>Zustrom</i> und <i>Abstrom</i> befinden sich im GLEICHGEWICHT, <i>Pegel</i> in einem BEHÄLTER <i>bleibt gleich</i>	Badewanne mit Zu- und Ablauf	Eigene Beschreibung
<b>FLUSS</b>	SUBSTANZ, die einen WEG zurücklegt und sich in eine <i>Richtung</i> bewegt	Fluss, der durch eine Stadt fließt...	Eigene Beschreibung
<b>GEGENSTAND</b>	s. OBJEKT		
<b>GLEICHGEWICHT</b>	<i>antagonistische KRÄFTE</i> (wirken i.d.R. auf zwei über eine <i>Achse</i> miteinander <i>verbundene Pole</i> ) <i>gleichen</i> sich <i>aus</i> , System befindet sich in <i>Ruhe</i>	Gehen, Stehen, Wippe, Balkenwaage...	Jäkel (2003, S. 290), Johnson (1987, S. 97), Niebert (2010, S. 21)
<b>KAMPF</b>	" <i>Antagonistische</i> Aktivität, <i>Aggressivität</i> zwischen LEBEWESEN zum Zweck der <i>Selbstbehauptung</i> "	Territorialkämpfe von Tieren...	Jäkel (2003, S. 290)



<b>KONTAKT</b>	<i>körperliche Berührung</i> von Entitäten	Elternteil mit Kind auf dem Arm, Bauklötze liegen aneinander...	Jäkel (2003, S. 290)
<b>KRAFT</b>	beruht auf <i>Interaktion</i> , ist <i>gerichtet</i> , enthält typischerweise einen <i>Bewegungspfad</i> , hat <i>Kraftquellen</i> (START-WEG-ZIEL), kann unterschiedliche <i>Intensität</i> haben, übt eine <i>Wirkung</i> aus	Ball werfen, Tür aufdrücken...	Mandler et al. (2014, S. 12–13), Johnson (1987, S. 43–44), Schmitt (2017, S. 56), Talmy (1988)
<b>LEBEWESEN</b>	OBJEKT, das sich wahrnehmbar selbst bewegt	Katze, Hund, Vogel...	Jäkel (2003, S. 290)
<b>MANIPULATION</b>	„ <i>aktive, intentionale Handhabung</i> von OBJEKTEN, <i>verändernde, beherrschende</i> Aktivität [mit] Möglichkeit von <i>Kreativität</i> sowie <i>Destruktivität</i> “	Töpfern, Porzellan zerschlagen...	Jäkel (2003, S. 290)
<b>NATÜRLICH-KÜNSTLICH</b>	ist bzw. ist nicht in der Natur vorzufinden	Baum vs. Haus	Birnbacher (2008, S. 8)
<b>OBJEKT</b>	<i>abgeschlossener, dreidimensionaler Festkörper</i> mit klaren <i>Grenzen</i>	Bauklotz, Tisch...	Schmitt (2017, S. 53), Jäkel (2003, S. 289)
<b>PERSON</b>	menschliches LEBEWESEN, <i>Potential</i> zu <i>intentionaler</i> und <i>selbstbestimmter</i> MANIPULATION der Umwelt	Ich, Mutter, Vater, Geschwister, Kolleg*innen...	Jäkel (2003, S. 290)
<b>RESSOURCE</b>	SUBSTANZ, die für einen bestimmten Zweck genutzt wird, (z. B. als Ausgangsstoff für einen bestimmten Produktionsprozess)	Mehl zum Brotbacken	Trauschke (2016, S. 58–57)
<b>SAUBER-DRECKIG</b>	DRECKIG: unerwünschte Entität gelangt an einen Ort, an dem sie unerwünscht ist (entweder in KONTAKT mit einem OBJEKT oder in einen BEHÄLTER); SAUBER: BEHÄLTER oder OBJEKT ist frei von unerwünschten Entitäten	Fleck in oder auf einem T-Shirt/T-Shirt ohne Fleck...	Lizardo (2012, S. 372)
<b>SPEICHER-FLUSS</b>	SUBSTANZ legt einen WEG durch einen oder mehrere BEHÄLTER zurück	Ein- und Ablassen von Wasser in die Badewanne	Niebert (2010, S. 20–21)
<b>START-WEG-ZIEL</b>	Strecke, die <i>Ausgangspunkt</i> und <i>Endpunkt</i> miteinander <i>verbindet</i> , besteht aus einer bestimmten Abfolge räumlicher Punkte, hat eine <i>Richtung</i>	Weg der Hand zum Spielzeug, Weg des Kindes zu den Eltern, Weg von der Arbeit nach Hause...	Jäkel (2003, S. 289), Johnson (1987, S. 113), Schmitt (2017, S. 55)

<b>SUBSTANZ</b>	„nicht abgeschlossene, dreidimensionale GEGENSTÄNDE unserer Wahrnehmung, die nicht gezählt, aber in ihrer Menge intuitiv geschätzt werden können“	Sand, Wasser, Erde...	Schmitt (2017, S. 53–54)
<b>VERBINDUNG</b>	zwischen zwei Entitäten wird ein <i>bedingtes Verhalten</i> wahrgenommen	ein festgebundener Schnuller, Fahrrad mit Anhänger...	Johnson (1987, S. 117–119), Mandler (2005, S. 144), Schmitt (2017, S. 55)
<b>ZYKLUS</b>	WEG bei dem <i>Ausgangspunkt</i> und <i>Endpunkt</i> gleich sind, wird <i>regelmäßig wiederholt</i>	mit dem Fahrrad im Kreis fahren, Jahreszeiten, Tagesablauf...	Johnson (1987, S. 119), Niebert (2010, S. 19)

### 3.2.5.1 SUBSTANZ-Schema

Mit dem Begriff ‚Energie‘ wird in den Naturwissenschaften eine abstrakte physikalische Größe bezeichnet (s. Kapitel 3.1.3.1). Um diesen abstrakten Begriff zu verstehen, greifen Menschen auf ihre Erfahrungen aus dem Mesokosmos zurück. Energie wird häufig als eine fließende Substanz verstanden (Lancor, 2015; Watts, 1983; Wernecke, Schwanewedel, & Harms, 2018) (s. Kapitel 4.1).

Das zu Grunde liegende gedankliche Muster wird als SUBSTANZ-Schema bezeichnet. Laut Schmitt (2017) sind die kennzeichnenden Merkmale dieses Schemas „nicht abgeschlossene, dreidimensionale Gegenstände unserer Wahrnehmung, die nicht zählbar [sind], aber in ihrer Menge intuitiv geschätzt werden können“ (Schmitt, 2017, S. 53–54). In einem Glas befindet sich zum Beispiel Wasser. Diese Flüssigkeit kann als dreidimensional wahrgenommen werden. Wir können weiteres Wasser dazu schütten, das sich nahtlos anfügt. Die Flüssigkeit besitzt also keine feste Grenze, womit sie nicht abgeschlossen ist. Ohne Hilfsmittel können wir mit unseren Sinnen die Menge der Flüssigkeit nicht bestimmen, aber abschätzen, ob es zum Beispiel *viel* oder *wenig* Flüssigkeit ist. In unserem Alltag machen wir Erfahrungen im Umgang mit Substanzen, wie Flüssigkeiten (z. B. Wasser), aber auch Feststoffen mit hohem Zerteilungsgrad (z. B. Sand, Erde oder Mehl). Wir beobachten, dass diese Substanzen fließen können, dass man diese zum Beispiel in Behälter füllen kann und diese ihre Form dem Behälter anpassen. Je mehr von diesen Substanzen in einem Behälter ist, desto *höher* steigt der Pegel

an; je weniger, desto *niedriger* ist die Füllhöhe. Dieses SUBSTANZ-Schema wird von uns zur Strukturierung und zum Verstehen anderer abstrakter Zielbereiche genutzt.

Zur Beschreibung von Energie werden Komposita genutzt, die dieses SUBSTANZ-Schema erkennen lassen. So wird in Biologiebüchern zum Beispiel häufig von Energiefluss gesprochen (Wernecke u. a., 2018, S. 11). Auch die im Zusammenhang mit der Energiewende im allgemeinen Sprachgebrauch häufig verwendeten Ausdrücke ‚Energieträger‘ (damit etwas getragen werden kann, muss es gegenständlich sein) und ‚Energiequelle‘ (als Ursprungsort einer Flüssigkeit) lassen eine Konzeptualisierung als Substanz vermuten (s. Tabelle 4 Vergleich der Metaphern Energiequelle und Energieträger in Kapitel 3.2.6.1).

### 3.2.5.2 BEHÄLTER-Schema

An den Beispielen des vorherigen Kapitels (u. a. Wasser in einem Glas) für erfahrungsbasierte Quellbereiche lässt sich bereits erkennen, dass das SUBSTANZ-Schema häufig in Verknüpfung mit dem BEHÄLTER-Schema verwendet wird. Auch in Kontexten in denen von Energie die Rede ist, welche häufig als Substanz verstanden wird, findet das BEHÄLTER-Schema Anwendung. Diese Kombination lässt sich zum Beispiel im Ausdruck ‚Energiegehalt‘ erkennen, der häufig in Zusammenhang mit Energieträgern genannt wird (DWDS-Wortprofil für „Energiegehalt“, o. J.). Die verallgemeinerten Kennzeichen des BEHÄLTER-Schemas sind, dass es ein ‚Außen‘ und ein ‚Innen‘ gibt und eine ‚Grenze‘, die ‚Außen‘ von ‚Innen‘ trennt (z. B. Jäkel, 2003; Johnson, 1987; Schmitt, 2017). Das BEHÄLTER-Schema (engl. CONTAINER-Schema) ist eines der einfachsten und grundlegendsten Schemata. Bereits kleine Babys machen die Erfahrung, dass man bestimmte Dinge in Behälter legen oder füllen und sie auch wieder herausholen kann. Entwicklungspsychologisch gesehen hat für die Kinder dabei der Vorgang, dass in den Behälter ein Ding ‚hinein‘ oder aus einem Behälter ‚heraus‘ kommt, eine größere Bedeutung als das ‚Ding‘ selbst (Mandler & Pagán Cánovas, 2014). Johnson (1987, S. 21) führt als Erfahrungshintergrund für das BEHÄLTER-Schema neben der Interaktion mit bestimmten Objekten auch die Erfahrung mit dem eigenen Körper an. Einerseits wird der eigene Körper als Behälter erlebt, wenn Essen in den Körper hinein- und Ausscheidungen aus dem Körper hinausgelangen (es gibt ein ‚Innen‘ und ein ‚Außen‘ und eine deutlich wahrnehmbare Grenze). Andererseits wird der Körper als ein Objekt erfahren, welches mit Behältern interagiert, zum Beispiel wenn wir uns als Menschen ‚in‘ Gebäude und Räume ‚hinein‘ und ‚heraus‘ begeben.

Bei dieser Interaktion wird das Bauwerk als BEHÄLTER mit den oben aufgeführten kennzeichnenden Merkmalen erlebt.

Johnson (1987, S. 22) postuliert, dass sich aus dem BEHÄLTER-Schema weitere Schlussfolgerungen ableiten lassen, die das Verhältnis von Behälter und Inhalt charakterisieren. So verhindert der Behälter Einwirkungen auf den Inhalt von außen und andersherum werden auch Einwirkungen des Inhalts auf das Äußere durch den Behälter verhindert. Zucker ist in einer Dose zum Beispiel vor den Einwirkungen von Feuchtigkeit von außen geschützt, kann aber in der Dose auch nicht zum Süßen des Tees verwendet werden. Werden fossile Brennstoffe beispielsweise als Behälter für Energie konzeptualisiert, so kann die ‚Energie‘ darin nicht in Wechselwirkung mit der Umwelt treten. Hierzu ist eine Aktion nötig, die die Begrenzung des Behälters durchbricht.

Eine weitere Charakterisierung des Verhältnisses von Behälter und Inhalt durch das BEHÄLTER-Schema ist, dass sich der Aufenthaltsort des Inhalts auf die inneren Grenzen des Behälters eingrenzen lässt (Johnson, 1987, S. 22). Auch wenn nur noch ein Zuckerstück in der Dose ist, weiß ich, dass es irgendwo darin ist. Außerdem führt Johnson (1987, S. 22) die durch das BEHÄLTER-Schema bedingte Transitivität an. Befindet sich ein Behälter in einem Behälter, so befindet sich der Inhalt des inneren Behälters automatisch auch im äußeren Behälter. Befinden sich Zuckerstückchen in einer Tüte und diese Tüte in einer Dose, so befinden sich die Zuckerstückchen automatisch auch in der Dose. Übertragen auf den Kontext der Energiewende bedeutet dies: Wenn fossile Brennstoffe als Behälter für Energie konzeptualisiert werden und die Erde als Behälter für fossile Brennstoffe konzeptualisiert wird, so befindet sich der ‚Inhalt‘ der fossilen Brennstoffe, die Energie, gedanklich auch in der Erde (s. Kapitel 8.3.2.2).

### *3.2.5.3 START-WEG-ZIEL-Schema*

Ebenso wie das BEHÄLTER-Schema stellt das START-WEG-ZIEL-Schema eines der schon im Kleinkindalter vorsprachlich verkörperten grundlegendsten Schemata dar (Mandler & Pagán Cánovas, 2014). Babys lernen bereits in den allerersten Monaten ihres Lebens, mit dem Blick einer Bewegung zu folgen und identifizieren bereits wenige Monate später zielgerichtete Bewegungen (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 5). Die für die Babys und Kleinkinder entscheidenden Elemente sind hierbei vor allem das Ziel und der Weg zu diesem Ziel (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 8). Als Elemente des START-WEG-ZIEL-Schemas werden in der auf

der kognitiven Linguistik beruhenden Metaphernanalyse übereinstimmend ein Ausgangspunkt, ein Endpunkt und eine verbindende Strecke, die wiederum aus einer bestimmten Abfolge räumlicher Punkte besteht, beschrieben (Jäkel, 2003, S. 289; Johnson, 1987, S. 113; Schmitt, 2017, S. 55). Dadurch, dass es einen Start- und einen Zielpunkt gibt und in der menschlichen körperlichen Erfahrung ein Weg mit einem Ziel zurückgelegt wird (s. obige Beispiele), gibt es in dieser gedanklichen Struktur eine bestimmte Richtung und eine Bewegung, die dieser Richtung folgt. Bei dieser Bewegung werden alle auf der Strecke zwischen End- und Zielpunkt liegenden Punkte passiert und es ergibt sich eine zeitliche Abfolge (Johnson, 1987, S. 113–117).

Im Zusammenhang mit Energie lässt zum Beispiel einer der zentralen Begriffe von Duits (2007, S. 183, 2014, S. 68) Energiequadrige, der *Energietransport*, einen Rückgriff auf das START-WEG-ZIEL-Schema vermuten. Nach diesem Konzept folgt Energie einem bestimmten Weg und wird von einem bestimmten System (Startpunkt) auf ein anderes System (Zielpunkt) übertragen. Auch etymologisch bedeutet das Wort ‚transportieren‘ „von einem Ort an einen anderen schaffen, befördern“ („Transport“, o. J.). Die Ausdrücke ‚Energieträger‘ und ‚Energiequelle‘, die im Zusammenhang mit der Energiewende häufig verwendet werden, lassen durch die Benutzung der Grundwörter ‚Träger‘ und ‚Quelle‘ den Rückschluss auf einen Bezug zum START-WEG-ZIEL-Schema zu (s. Tabelle 4 Vergleich der Metaphern Energiequelle und Energieträger Kapitel 3.2.6.1). Eine der Definitionen, die das DWDS für den Begriff ‚tragen‘ bietet, ist: „eine Last unter Einsatz körperlicher Kräfte halten und fortbewegen“ („tragen“, o. J.).<sup>10</sup> Ein Träger würde nach dieser Definition bestimmte Objekte (in diesem Fall Energie) von einem Ausgangspunkt zu einem Zielpunkt transportieren. Eine Quelle ist laut DWDS „Wasser, das an einer bestimmten Stelle (als Ursprung eines Baches, Flusses) aus der Erde hervorfällt“ („Quelle“, o. J.) und im übertragenen Sinne „Ursprungsort“ oder „Ausgangspunkt“ („Quelle“, o. J.) ist. Nach dieser Definition stellt eine Quelle entsprechend des START-WEG-ZIEL-Schemas den Ausgangspunkt für den Weg dar, den eine Substanz (in unserer Erfahrungswelt zumeist Wasser – in diesem Fall Energie<sup>11</sup>) zurücklegt.

---

<sup>10</sup> Eine weitere Definition, die das DWDS bietet, ist: „eine Last aushalten können, von unten stützen“ („tragen“, o. J.). Das bedeutet, dass der Quellbereich für das Grundwort ‚Träger‘ in Energieträger auch auf diese körperliche Erfahrung zurückgeführt werden könnte (s. BELASTUNGS-Schema).

<sup>11</sup> Hier werden mehrere Schemata miteinander kombiniert: Damit Energie getragen werden kann, muss sie gegenständlich sein (s. SUBSTANZ-Schema).

#### 3.2.5.4 ZYKLUS-Schema

Niebert (2010, S. 19) führt das KREISLAUF-Schema als eine besondere Form des START-WEG-ZIEL-Schemas an, da beide mentalen Schemata aus den gleichen Grundelementen bestehen: Ausgangspunkt, Endpunkt und einer dazwischenliegenden Strecke. Das KREISLAUF-Schema unterscheidet sich lediglich darin, dass Start- und Zielpunkt zusammenfallen, so dass die Bewegung im Kreis verläuft. Im Gegensatz zum vorsprachlich und frühkindlich gedanklich angelegten START-WEG-ZIEL-Schema stellt das KREISLAUF- bzw. ZYKLUS-Schema (engl. CYCLE schema) eine wesentlich komplexere mentale Struktur dar, da sie Elemente beinhaltet, die nicht rein perzeptiv zu erfassen sind (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 8). Beispielsweise fokussiert Johnson (1987, S. 119) bei der Beschreibung des ZYKLUS-Schemas ausschließlich auf wiederkehrende Ereignisse – wie zum Beispiel das Erleben von Jahreszeiten – die abstrakter sind als unmittelbare, kurzzeitige perzeptive Erfahrungen. Niebert (2010, S. 19) schlussfolgert daraus, dass es zwei verschiedene Erfahrungsbereiche gibt, die als Quelle für das von ihm als KREISLAUF-Schema betitelte Schema dienen können. Zum einen nennt er die räumlich und zeitlich bestimmte Erfahrung einer Entität, die sich entlang eines Weges in kreisförmiger Richtung bewegt, sodass nach einem Durchlaufen des Kreises der Ausgangspunkt wieder erreicht wird. Zum anderen führt Niebert die rein zeitlich bestimmte Erfahrung an, dass bestimmte Ereignisse – wie zum Beispiel der Hell-Dunkel-Rhythmus im Laufe der Tageszeiten – zyklisch wiederkehren. Festzuhalten bleibt, dass das ZYKLUS-Schema deutlich komplexer, abstrakter und schwerer zugänglich zu sein scheint als das basale START-WEG-ZIEL-Schema. Nachdem Zeit als abstrakte Größe oft als Weg konzeptualisiert wird (Johnson, 1987, S. 117; Lakoff & Johnson, 1980, S. 43–44), stellt sich die Frage, ob bei den von Johnson und Niebert angeführten zeitlichen Elementen als Ursprung der Erfahrungen nicht bereits eine Übertragung der basalen körperlichen Erfahrungen entlang des START-WEG-ZIEL-Schemas stattgefunden hat. In der deutschen Sprache wird dies in der Bezeichnung ‚Kreislauf‘ besonders deutlich. Das Grundwort ‚Laufen‘ und das Bestimmungswort ‚Kreis‘ sprechen bereits für eine Anwendung der oben beschriebenen Sonderform des START-WEG-ZIEL-Schemas: Eine Entität läuft im Kreis. Start- und Zielpunkt sind gleich. Auch die im DWDS genannten Definitionen für Kreislauf („zum Ausgangspunkt zurückkehrende Bewegung, Bewegung in einem Kreise“ („Kreislauf“, o. J.)) beinhalten die kennzeichnenden Elemente des START-WEG-ZIEL-Schemas. Der Begriff ‚Zyklus‘ hingegen wird im DWDS einerseits als „Kreislauf“ („Zyklus“, o. J.), an erster Stelle jedoch als „regelmäßige Wiederkehr“ („Zyklus“, o.

J.) definiert. Da diese Zyklus-Definition die Zurückführung des im Englischen als ‚CYCLE-schema‘ bezeichneten Schemas auf eine räumlich (wie bei „Kreislauf“) und eine zeitlich (wie bei „regelmäßige Wiederkehr“) dominierte Perspektive am ehesten entsprechen zu scheint, verwende ich im Folgenden den Ausdruck ZYKLUS-Schema. Durch diese Bezeichnung wird auch einem Phänomen Rechnung getragen, auf das Johnson (1987, S. 119–120) verweist. Die mit dem ZYKLUS-Schema verbundenen „Muster wiederholen sich nicht einfach“ (Johnson, 1987, S. 119), sondern sie sind mit Schwankungen verbunden, die auf einen Höhepunkt zusteuern und danach wieder abfallen, das heißt sie sind in ihrer Wiederholung nicht deckungsgleich.<sup>12</sup>

Im Kontext der Energiewende zeigt sich ein ZYKLUS-Schema insbesondere in dem mit der Nutzung fossiler Brennstoffe verknüpften Kohlenstoffkreislauf. Aus dem schulischen Kontext ist den Schüler\*innen zu diesem Zeitpunkt, zu dem sie den Kohlenstoffkreislauf durchnehmen, vermutlich der Wasserkreislauf als Beispiel bekannt.

#### 3.2.5.5 VERBINDUNGS-Schema

Auch das VERBINDUNGS-Schema (engl. LINK-schema) ist eines der gedanklichen Muster, die Kinder schon in ihrer vorsprachlichen Entwicklungsphase verinnerlichen (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 9). Es wird immer dann aktiviert, wenn zwischen zwei Entitäten (Objekten und/oder Ereignissen) ein bedingtes Verhalten wahrgenommen wird (Mandler, 2005, S. 144). Nach Johnson (1987, S. 117–119) sind die Merkmale dieses Schemas, dass es (mindestens) zwei Entitäten gibt, die über eine Struktur miteinander verbunden sind. Das Schema beruht laut Johnson einerseits auf Erfahrungen, bei denen die räumliche Verknüpfung von physikalischen Objekten erlebt wird, wie zum Beispiel bei zwei zusammengenagelten Holzstücken oder Menschen, die sich an den Händen halten. Andererseits wird das VERBINDUNGS-Schema durch Erfahrungen gebildet, die über eine zeitliche Verknüpfung als miteinander verbunden und häufig auch als kausal zusammenhängend erlebt werden, wie zum Beispiel das Drücken eines Lichtschalters und das daran gekoppelte Aufleuchten der

---

<sup>12</sup> Zu dieser Beobachtung könnte kritisch angemerkt werden, dass die fehlende Deckungsgleichheit möglicherweise kein Merkmal des ZYKLUS-Schemas selbst ist. Wenn man davon ausgeht, dass beispielsweise die Jahreszeiten bereits ein Zielbereich sind, für den das ZYKLUS-Schema als Quellbereich genutzt wird, könnten in der Nichtabbildung der fehlenden Deckungsgleichheit die Grenzen der Übertragung des ZYKLUS-Schemas liegen. Der Aspekt, dass beispielsweise kein einzelner Sommer deckungsgleich mit einem anderen Sommer ist, wird bei dieser Übertragung verschleiert.

Lampe.<sup>13</sup> Auch eine Erfahrung des VERBINDUNGS-Schemas als logische Verknüpfung über perceptiv wahrgenommene gemeinsame Merkmale ist möglich, wie zum Beispiel äußerliche Gemeinsamkeiten (z. B. Augenfarbe, Haarfarbe) innerhalb einer Familie. Laut Mandler (1992, S. 594–595) gibt es eine ganze Reihe an VERBINDUNGS-Schemata, die sich darin unterscheiden, dass die Verbindung entweder nur in eine Richtung (ONE-WAY-LINK) oder in beide Richtungen (TWO-WAY-LINK) gegeben ist oder die Verbindung an einen gemeinsamen Weg (LINKED PATH) gekoppelt ist.<sup>14</sup> Als Beispiel für ein VERBINDUNGS-Schema, das nur eine Verbindung in eine Richtung herstellt, eignet sich das obige Beispiel des Lichtschalters. Nach dem VERBINDUNGS-Schema sind die beiden Entitäten in diesem Beispiel zwei Ereignisse: ‚der Lichtschalter wird gedrückt‘ und ‚die Lampe geht an‘. Die beiden Ereignisse sind zeitlich miteinander verknüpft. Diese Verknüpfung existiert nur in eine Richtung. Die Lampe geht nicht an, damit der Lichtschalter gedrückt wird. Wenn Kinder sich beispielsweise gegenseitig an der Hand halten, dann wird ein VERBINDUNGS-Schema aktiviert, das eine Verbindung in beide Richtungen beinhaltet, da die Verbindung zustande kommt, weil Kind A dem Kind B die Hand gibt und umgekehrt.

Bewegte Objekte genießen bei kleinen Kindern besondere Aufmerksamkeit (Mandler & Pagán Cánovas, 2014). Bewegen sich zwei Objekte gemeinsam auf einem Weg (wie z. B. eine Eisenbahn mit angehängten Wagons), dann erfüllt dies die Bedingungen für das dritte von Mandler (1992, S. 594–595) beschriebene VERBINDUNGS-Schema des VERBUNDENEN WEGES (engl. LINKED PATH). Über diese Verbindungen können sich ganze Netze an Beziehungen ergeben, wenn mehrere Entitäten über verschiedene Verbindungsglieder miteinander verknüpft sind (Johnson, 1987, S. 117–119).

In Bezug auf die Energiewende spielt das VERBINDUNGS-Schema eine wesentliche Rolle: Um die naturwissenschaftlichen Beweggründe hinter der Energiewende zu verstehen, muss auch

---

<sup>13</sup> Hier stellt sich die Frage, wie sich VERBINDUNGS-Schema und KRAFT-Schema (s. Tabelle 2) voneinander abgrenzen lassen, da Johnson (1987, S. 43–44) postuliert, dass das KRAFT-Schema immer auch Kausalstrukturen enthält. M. E. ist es hierfür wichtig, zu unterscheiden, welcher Aspekt jeweils betont wird: Steht die Verbindung zweier Entitäten im Vordergrund wie zum Beispiel beim Drücken des Lichtschalters und beim Aufleuchten der Lampe (VERBINDUNG) oder das körperliche Druckempfinden bei Betätigung des Lichtschalters und die dadurch ausgelöste Kippbewegung (KRAFT).

<sup>14</sup> Schmitt (2017, S. 55) hingegen definiert das VERBINDUNGS-Schema so, dass beide Entitäten gegenseitig voneinander abhängen, was dem TWO-WAY-LINK nach Mandler (1992, S. 594–595) entspräche. Für die Interpretation der Ergebnisse der vorliegenden Studie ist es durchaus relevant zu überprüfen, ob eine gegenseitige oder einseitige Abhängigkeit vorliegt, weshalb ich mich an den Beschreibungen und Definitionen von Johnson (1987) und Mandler (1992) orientiere.



die VERBINDUNG zwischen der Nutzung fossiler Brennstoffe, Kohlenstoffdioxidemissionen und der Klimaerhitzung verstanden werden (s. Kapitel 3.1).

#### 3.2.5.6 *SPEICHER-FLUSS-Schema*

BEHÄLTER-Schema und WEG-Schema scheinen zu den basalen Schemata zu gehören, die bereits in der frühesten Kindheit Vorstellungen strukturieren (Mandler & Pagán Cánovas, 2014). Dabei verlaufen die Grenzen oft nicht so klar, wie dies bei der Benennung und Beschreibung der Schemata wirkt. So führt Mandler (2005, S. 142) an, dass das WEG-Schema auch für Babys schon einen Pfad in einen Behälter hinein oder aus einem Behälter hinaus beinhalten kann. Im Laufe des menschlichen Lebens werden diese grundlegenden Schemata weiter ausgebaut und mit verschiedenen weiteren Elementen und/oder miteinander verknüpft. Die grundlegende Bedeutung der Elemente aus frühester Kindheit bleibt dabei aber erhalten. So bleibt in Bezug auf das START-WEG-ZIEL-Schema der Startpunkt relativ unbedeutend. Beim BEHÄLTER-Schema bleibt die Information relevanter, ob sich etwas innerhalb oder außerhalb eines Behälters befindet als die Begrenzung, die der Behälter bietet. In der sprachlichen Analyse zeigen sich diese Unterschiede insofern, dass die Elemente, die bereits frühkindlich relevant sind, wesentlich häufiger in verwendeten Metaphern aufgegriffen werden (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 7–8).

Niebert (2010, S. 20–21) beschreibt das SPEICHER-FLUSS-SCHEMA als komplexere Verknüpfung des BEHÄLTER-Schemas und START-WEG-ZIEL-Schemas. Kennzeichnende Elemente des SPEICHER-FLUSS-Schemas sind ein oder mehrere BEHÄLTER (s. Merkmale des BEHÄLTER-Schemas) und eine SUBSTANZ (s. Merkmale des SUBSTANZ-Schemas), die einen WEG zurücklegt (s. Merkmale des START-WEG-ZIEL-Schemas). Verschiedene Wegpunkte der Substanz liegen innerhalb und außerhalb des Behälters, sodass der Behälter zumindest zeitweise und teilweise mit der Substanz gefüllt ist. Ein gefüllter Behälter entspricht einem SPEICHER. Dadurch dass eine Substanz den Weg durch einen oder mehrere Behälter zurücklegt, wird von einem FLUSS (als Sonderform des START-WEG-ZIEL-Schemas) durch die SPEICHER gesprochen.

Wenn im Zusammenhang mit der Energiewende beispielsweise über Kohlenstoffströme in die Atmosphäre gesprochen wird, findet die Kombination von BEHÄLTER-Schema und START-WEG-ZIEL-Schema als SPEICHER-FLUSS-Schema Anwendung (Niebert, 2010, S. 21). In Kombination mit dem SUBSTANZ-Schema findet das SPEICHER-FLUSS-Schema auch im

Kontext von Energie häufig Anwendung, zum Beispiel, wenn über den Energiefluss durch das Ökosystem (BEHÄLTER) (Trauschke, 2016; Wernecke u. a., 2018) oder den Energietransfer (FLUSS) zwischen Systemen (BEHÄLTER) gesprochen wird (Swackhamer, 2005).

### 3.2.5.7 SAUBER-DRECKIG-Schema

Ebenso wie das SPEICHER-FLUSS-Schema, stellt das SAUBER-DRECKIG-Schema eine komplexere gedankliche Struktur dar, die mehrere basale Schemata miteinander kombiniert. Zusätzlich zu den basalen Schemata mit perzeptivem, räumlichem Erfahrungshintergrund kommt bei dem SAUBER-DRECKIG-Schema noch eine nicht-räumliche, emotionale Komponente hinzu. Lakoff und Johnson (1999, S. 292–308) diskutieren dieses Schema ausschließlich im Zusammenhang mit Vorstellungen von moralisch und unmoralisch. Mandler und Pagán Cánovas (2014) vertreten die Ansicht, dass solche schematischen Integrationen, die auch nicht-räumliche wie zum Beispiel emotionale Komponenten beinhalten, nicht als Image Schemata bezeichnet werden sollten, da hier außer den bildlich zu verstehenden Elementen eine abstrakte gefühlsmäßige Komponente hinzu kommt. In der Entwicklung von Kindern lassen sich diese schematischen Integrationen erst deutlich später beobachten als basale primitive auf Perzeption von räumlichen Erfahrungen beruhende Schemata. Die basalen räumlichen Komponenten des SAUBER-DRECKIG-Schemas können nach Lizardo (2012, S. 372), der seine Definition aus einer Arbeit der Anthropologin Douglas (1966) ableitet, einerseits auf einem BEHÄLTER-Schema, andererseits auf einem KONTAKT-Schema beruhen. Liegt das BEHÄLTER-Schema zu Grunde, wird der ‚Dreck‘ als Entität konzeptualisiert, die in einen BEHÄLTER gelangt, in dem Sie nicht erwünscht ist. Als Beispiel führt Lizardo (2012, S. 373) ein Haus als BEHÄLTER und Erde als Entität an. Befindet sich die Erde außerhalb des Hauses, wird sie nicht als Dreck wahrgenommen. Gerät die Erde *in* das Haus, ändert sich die Wahrnehmung. An diesem Ort – *im* (BEHÄLTER) Haus – ist die Erde Dreck. Alternativ kann laut Lizardo (2012, S. 372) auch ein KONTAKT-Schema zu Grunde liegen. Eine Substanz kommt in den Kontakt mit einem Objekt und ist dort unerwünscht. Die Erde kommt in Kontakt mit den Schuhen oder der Hose und hinterlässt dort Flecken. In Kontakt mit den Objekten Schuhe oder Hose wird die Substanz Erde als Dreck oder Schmutz wahrgenommen. Unabhängig davon, ob das BEHÄLTER- oder das KONTAKT-Schema zu Grunde gelegt werden, ist Sauberkeit nicht ohne ihr Gegenteil zu verstehen. Im sauberen Zustand sind beide Elemente voneinander getrennt. Erst wenn die Substanz oder Entität eine Grenze überschreitet und dabei entweder in einen BEHÄLTER gelangt oder in KONTAKT mit einem Objekt kommt, bei welchem diese

Substanz oder Entität nicht vorgesehen ist, wird diese zum Dreck. In beiden Fällen ist jeweils eine emotionale Komponente vorhanden. Die Verschmutzung wird als unerwünscht wahrgenommen und ist mit unangenehmen Gefühlen verbunden. Diese Gefühlskomponente spielt beim SAUBER-DRECKIG-Schema eine herausragende Rolle. So wird dieses Schema in der verfügbaren Literatur zumeist im moralischen Kontext diskutiert (Lizardo, 2012; Vesić Pavlović, 2012; Yu, Wang, & He, 2016; Zhong & Liljenquist, 2006).<sup>15</sup> Über verschiedenste Kulturen hinweg scheinen metaphorische Wendungen, die auf dem SAUBER-DRECKIG-Schema beruhen, mit moralischem Denken verknüpft zu sein, wobei sauber als moralisch (z. T. sogar gottgleich (Vesić Pavlović, 2012)) und dreckig als unmoralisch empfunden wird.

Auch im Zusammenhang mit der Energiewende wird das SAUBER-DRECKIG-Schema benutzt und aktiviert, wenn zum Beispiel über die Sauberkeit verschiedener Energieträger diskutiert wird. Selbst wenn die Diskussionen vordergründig sachlich geführt werden, ist die moralische bzw. Wertungskomponente des SAUBER-DRECKIG-Schemas nicht außer Acht zu lassen.<sup>16</sup>

#### 3.2.5.8 KRAFT-Schemata

Schemata, die ein gedankliches Muster abbilden, das sich auf physikalische Kräfte bezieht, beziehen immer auch Komponenten ein, die nicht rein bildlich vorstellbar sind. Daher gehören sie auch nicht zu den ersten Schemata, die Babys entwickeln. "There is no indication that infants in the first six to seven months conceptualize anything about force [...]" (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 10). Mandler und Pagán Cánovas (2014, S. 12) vermuten, dass erst mit der Fortbewegung des eigenen Körpers im Krabbelalter erste KRAFT-Schemata entstehen können. Durch die eigene Fortbewegung wird die Erfahrung, dass beispielsweise eine Bewegung durch ein Objekt blockiert wird, mit einem körperlichen Empfinden kombiniert, wenn zum Beispiel ein Stuhl das Weiterkrabbeln in eine bestimmte Richtung verhindert.

---

<sup>15</sup> Dennoch gibt es Fälle, in denen das SAUBER-DRECKIG-Schema in Zusammenhängen verwendet wird, die keinen moralischen Bezug haben. Als Beispiele führt Lizardo den im amerikanischen Slang gebräuchlichen Ausdruck ‚dirty‘ an, der im positiven Sinne zum Beispiel für einen besonders herausragenden Basketballspieler verwendet wird (2012, S. 389) oder eine Golfspielerin, die einen ‚sauberen‘ Schlag hat, was für eine besonders präzise ausgeführte Bewegung steht (2012, S. 390). Lizardo argumentiert, dass in beiden Fällen die verwendeten Metaphern auf dem SAUBER-DRECKIG-Schema beruhen, indem im ersten Beispiel das Außerordentliche und im zweiten Fall die besondere Ordnung betont werden. M. E. ist das ‚Ordnungskriterium‘ dabei keine rein objektiv räumlich zu bestimmende Komponente, sondern immer mit einer Bewertung verknüpft, weshalb auch in den beschriebenen Kontexten diese Bewertung mitschwingt.

<sup>16</sup> Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn Donald Trump den Ausdruck ‚Clean Coal‘ benutzt, da (ganz abgesehen von einer fachlichen Verzerrung) hierdurch auch immer eine moralische Überlegenheit des mitgenannten Energieträgers transportiert wird (Trump, 2018).

Hierbei nimmt das Kind neben dem Objekt, welches den Weg blockiert, ein bestimmtes Gefühl wahr, dass beim Zusammentreffen mit dem Objekt wahrgenommen wird, wenn es zum Beispiel einen Druck auf den Stuhl ausübt und einen ‚Gegendruck‘ spürt. Durch solche Erfahrungen, die – neben den bildlich vorstellbaren räumlichen Elementen – ein Gefühl beinhalten, das mit der körperlichen Erfahrung physikalischer Kräfte zu tun hat, können KRAFT-bezogene Schemata (engl. FORCE) gebildet werden (Mandler & Pagán Cánovas, 2014, S. 12–13). Nach Johnson (1987, S. 43–44) weisen alle KRAFT-Schemata bestimmte Gemeinsamkeiten auf: Sie beruhen auf einer Interaktion, sind gerichtet, enthalten typischerweise einen einzelnen Bewegungspfad, haben Kraftquellen und Ziele auf die die Kraft gerichtet ist, die Kraft kann unterschiedliche Intensität haben und die Schemata stehen im Zusammenhang mit einer Kausalkette. Im obigen Beispiel interagiert das Kind mit dem Stuhl und richtet seine Kraft auf den Stuhl, wobei es sich auf einem bestimmten Bewegungspfad befindet. Die Kraftquelle ist das Kind bzw. dessen Muskeln und das Ziel der Stuhl. Das Kind kann mit unterschiedlicher Intensität auf den Stuhl drücken. Die Interaktion führt zu einer Kausalkette, weil sich beispielsweise der Stuhl bewegt oder umfällt, weil das Kind gegen den Stuhl gedrückt hat oder das Kind auf seinem Weg nicht weiterkommt, weil der Stuhl zu schwer ist. Schmitt (2017, S. 56) nutzt die von Johnson formulierten gemeinsamen Merkmale (s. o.), um eine Definition für ein übergeordnetes KRAFT-Schema zu formulieren. Johnson (1987, S. 45–48) führt insgesamt sieben Schemata auf, die sich alle dem KRAFT-Schema zuordnen lassen: DRUCK/ZWANG (engl. COMPULSION), BLOCKADE (engl. BLOCKAGE), GEGENKRAFT (engl. COUNTERFORCE), ZERSTREUUNG (engl. DIVERSION), ANZIEHUNG (engl. ATTRACTION), AKTIVIERUNG (engl. ENABLEMENT) und ENTFERNUNG EINER BESCHRÄNKUNG (engl. REMOVAL OF RESTRAINT). Clausner und Croft (1999, S. 15) fügen noch das GLEICHGEWICHTS-Schema (engl. BALANCE) hinzu. Bei all diesen Schemata wird als Wirkung der Kraft die Änderung der Beschleunigung oder die Ablenkung in eine bestimmte Richtung beschrieben. In keinem der Beispiele wird die Verformung als mögliche Auswirkung der Kraft aufgegriffen.<sup>17</sup> Allerdings entspricht es unseren lebensweltlichen Erfahrungen mit Kräften und zugleich der Definition des physikalischen Begriffes ‚Kraft‘, dass Kräfte auch verformende Wirkung haben

---

<sup>17</sup> Möglicherweise liegt dies auch daran, dass sich Johnson (1987, S. 51) auf Talmys (1988) konzeptuellen Rahmen der Force-Dynamics bezieht. Talmy (1988) entwickelte diese Theorie mit einem linguistischen Fokus auf den Kausativ. Die in späteren Veröffentlichungen als Force-Dynamics bezeichnete Theorie spielt auf den Zusammenhang zwischen Kraft und Geschwindigkeit an (Talmy, 1988).

können (Nolting, 2018, S. 187).<sup>18</sup> Diese Wirkung kann zerstörerisch sein, wenn beispielsweise ‚etwas unter einer Last zusammenbricht‘, aber auch schöpferisch, wenn zum Beispiel ein Bildhauer eine Skulptur schafft. Jäkel bildet dies in einem weiteren Schema ab, dem MANIPULATIONS-Schema, dessen Elemente er als „aktive, intentionale Handhabe von OBJEKTEN, verändernde, beherrschende Aktivität [mit] Möglichkeit von Kreativität sowie Destruktivität“ (2003, S. 290) beschreibt. Auch eine vertikal wirkende Kraft, die nicht automatisch zur Veränderung der Geschwindigkeit führt, ist in den KRAFT-Schemata nach Johnson (1987, S. 41–64) nicht direkt beschrieben. Hierzu lässt sich ein eigenes BELASTUNGS-Schema formulieren, das in seinem Denkmuster folgende Elemente integriert: Eine vertikale Kraft wirkt auf ein OBJEKT ein. Das Objekt wird dadurch in seiner Beweglichkeit eingeschränkt; es ist ein größerer Kraftaufwand zur Fortbewegung nötig. Eine Gegenkraft ist nötig, damit das Objekt seine Form behält. Bei zu großer Einwirkung kann das Objekt verformt werden, Schaden nehmen, zerbrechen oder kaputt gehen. In Kombination mit dem LEBEWESEN-Schema formuliert Jäkel (2003, S. 290) ein weiteres Schema – das KAMPF-Schema – welches ich dem KRAFT-Schemata zuordnen würde. Jäkel beschreibt das KAMPF-Schema als „antagonistische Aktivität“ bzw. „Aggressivität zwischen LEBEWESEN zum Zweck der Selbstbehauptung“ (Jäkel, 2003, S. 290). Als kennzeichnende Elemente beschreibt er „Antagonisten<sup>19</sup>“ bzw. „Parteien“, „ein Feld/Terrain/Territorium“, „Angriff“ und „Verteidigung“, wobei der „Sieg“ als „Ziel“ angestrebt wird (Jäkel, 2003, S. 290).

In Bezug auf die Auswirkungen der Nutzung nicht-erneuerbarer Energieträger spielen KRAFT-Schemata eine große Rolle. Da in der Diskussion der Auswirkungen der Fokus meist auf antagonistischen (Mensch – Natur) und deformierenden Kräften (z. B. Zerstörung der Umwelt oder Schädigung der menschlichen Gesundheit) liegt, kommen dem KAMPF-Schema, dem BELASTUNGS-Schema und dem MANIPULATIONS-Schema besondere Bedeutung zu. Das GLEICHGEWICHTS-Schema spielt im Kontext der Energiewende sowohl in Bezug auf die Kommunikation zur Verfügbarkeit verschiedener Energieträger als auch für die Bewältigung der

---

<sup>18</sup> Interessanterweise wird in dem physikalischen Grundlagenwerk von Nolting (2018, S. 187) auch die körperliche Erfahrung herangezogen, um den physikalischen Kraft-Begriff zu erläutern. Mit der Aussage, dass die Anstrengung, die mit der Kraft verbunden ist, als „Sinnesempfindung nicht weiter zu definieren [ist]“ (2018, S. 187), weist Nolting auf das entsprechende gedankliche Muster – das KRAFT-Schema – welches die räumlichen Komponenten mit den gefühlten Komponenten integriert.

<sup>19</sup> Bereits Talmy (1988, S. 15), auf den auch Johnson (1987, S. 51) bei der Ausarbeitung seines KRAFT-Schemas zurückgreift, führt in seinen Force-Dynamics Agonist und Antagonist als Grundelemente auf.

Auswirkungen der Nutzung der Energieträger eine herausragende Rolle, weshalb es in einem eigenen Absatz ausführlicher behandelt wird.

### 3.2.5.9 GLEICHGEWICHTS-Schema

Wenn wir als kleine Kinder anfangen zu laufen, müssen wir lernen, unseren Körper auszubalancieren, um aufrecht gehen zu können. Hierzu müssen wir die Kräfte, die auf beide Seiten der Längsachse unseres Körpers einwirken, in ein Gleichgewicht bringen. Die körperlichen Erfahrungen, die wir bei diesem Prozess des Ausbalancierens machen, bilden nach Johnson (1987, S. 96) den erfahrungsbasierten Ursprung für ein GLEICHGEWICHTS-Schema (engl. BALANCE-schema). Zur Ausbildung dieses Schemas tragen weitere körperliche Erfahrungen, wie das Tragen gleich schwerer Gegenstände in beiden Händen bei. Auffallend ist, dass das GLEICHGEWICHTS-Schema meistens durch die Abwesenheit eines Gleichgewichtes wahrgenommen wird (Johnson, 1987, S. 75). So richtet sich unsere Aufmerksamkeit erst dann auf Personen, Gegenstände oder Phänomene, wenn diese ins ‚Schwanken‘, in eine ‚Schiefelage‘ oder in ein ‚Ungleichgewicht‘ geraten.

Jäkel führt als verallgemeinertes Merkmal des GLEICHGEWICHTS-Schemas<sup>20</sup> auf, dass sich „antagonistische Kräfte [ausgleichen]“, zum Beispiel bei der „Vertikal-Orientierung und der Schwerkraft (Anm. d. A.: Ein Beispiel: Der Körper befindet sich beim aufrechten Stehen oder Gehen in der Vertikalen. Auf ihn wirkt die Schwerkraft.)“ (Jäkel, 2003, S. 290). Weitere Bestandteile des Schemas sind „zwei Pole“, eine „Verbindung“ und eine „Mitte“ bzw. „Achse“ (Jäkel, 2003, S. 290). In „optimalem Zustand“ befindet sich dieses System „in Ruhe“ (Jäkel, 2003, S. 290). Nachvollziehbar wird diese abstrakte Beschreibung anhand einer Abbildung, die an eine Waage oder Wippe erinnert. Diese wird unter anderem von Niebert (2010, S. 21) zur Illustration herangezogen.

### **Abbildung 2 Exkurs: Bildliche Darstellung von Schemata**

Obwohl Johnson Schemata häufig bildlich darstellt, sieht er dies kritisch (1987, S. 23). Einerseits kann die grafische Darstellung das Verstehen erleichtern, indem sie wesentliche Elemente eines Schemas abbildet. Andererseits wird verschleiert, dass es sich nicht um ein mentales Bild, sondern eine wesentlich allgemeinere verkörperte mentale Struktur handelt.

---

<sup>20</sup> Jäkel spricht nicht von GLEICHGEWICHTS-Schema, sondern von BALANCE-Schema (Jäkel, 2003, S. 290), was der Bezeichnung in der englischsprachigen Literatur entspricht (z. B. Johnson, 1987).

Meines Erachtens ist die bildliche Darstellung auch insofern problematisch, dass es nicht einfach ist, diese eindeutig zuzuordnen und präzise zu erfassen: Schemata haben oft nicht nur einen einzigen Ursprung körperlicher Erfahrung (s. o., Erfahrungshintergründe des Gleichgewichtsschemas). In einem Bild, das zum Beispiel an eine Waage oder Wippe erinnert, wird nur eine dieser möglichen körperlichen Erfahrungen aufgegriffen. Meist versuchen die Autor\*innen, die Grafiken daher möglichst abstrakt zu halten. Diese Art der Darstellung verschleiert wiederum den Erfahrungshintergrund der Entstehung dieser Schemata. Die abstrakten Darstellungen werden jedoch wiederum nur aufgrund der eigenen Schemata und Erfahrungen des Betrachtenden verstanden.

Naturwissenschaftler\*innen können außerdem durch die Darstellungsweise, die nicht den fachwissenschaftlichen Konventionen entspricht, irritiert sein. In der vorliegenden Arbeit wird daher auf die bildliche Darstellung von Schemata verzichtet.



**Abbildung 2 GLEICHGEWICHTS-Schema (Niebert, 2010, S. 21)**

In der Zeichnung von Niebert (2010) repräsentieren die Pfeile ein bestimmtes Gewicht (je nach Dicke des Pfeiles mehr oder weniger). In der Physik werden durch Pfeile Vektoren symbolisiert, welche die Richtung und – nicht über die Dicke sondern über die Länge des Pfeiles – den Betrag einer physikalischen Größe, wie zum Beispiel der Kraft, angeben (Harten, 2017, S. 13–14).

Auf die Seiten rechts und links der Achse wirken jeweils Kräfte (z. B. *Gewichtskraft*, worauf sich auch der Terminus *Gleichgewicht* bezieht) ein. Gleichen sich die durch die Kräfte erzeugten Drehmomente beidseitig der Achse aus (über Angriffspunkt, Richtung und Betrag der Kraft, Hebellänge), befindet sich die Waage in Ruhe, in Balance. Ändert sich der Betrag oder der Kraftarm – Abstand des Angriffspunktes von der Achse – auf einer der Seiten, dann dreht sich der Hebel. Im Alltag sprechen wir bei der wiederholten Wahrnehmung solcher Bewegungen von *Schwankungen*. *Zu viel, zu wenig* oder auch *nicht genug* Belastung auf einer der Seiten des Hebels führen dazu, dass dieser ‚aus dem Gleichgewicht‘ gerät.

In Bewertungs- und Entscheidungssituationen werden häufig Ausdrücke verwendet, die auf einem GLEICHGEWICHTS-Schema beruhen. So reden wir beispielsweise davon, dass

Argumente gegeneinander ‚abgewogen‘ oder ‚gewichtet‘ werden müssen. Wir treffen ‚ausgewogene‘ Entscheidungen, wenn wir Gründe ‚beider Seiten‘ berücksichtigen.

Johnson (1987, S. 97) führt an, dass das GLEICHGEWICHTS-Schema den Prinzipien der Symmetrie, Transitivität und Reflexivität folgt. In Bezug auf das Beispiel einer Waage in Balance bedeutet dies, dass die Gewichte auf beiden Seiten miteinander vertauscht werden können und die Balance dennoch erhalten bleibt (Symmetrie). Befindet sich die Waage mit einem Gewicht A auf der einen und einem Gewicht B auf der anderen Seite im Gleichgewicht und ebenso mit einem Gewicht B auf der einen und einem Gewicht C auf der anderen Seite, so muss sie sich mit einem Gewicht A auf der einen und einem Gewicht C auf der anderen Seite ebenfalls im Gleichgewicht befinden. Jedes der drei Gewichte A, B und C kann also durch ein anderes ersetzt werden, ohne dass die Waage aus dem Gleichgewicht gerät (Transitivität). Könnte man genau dasselbe Gewicht oder denselben Gegenstand, der sich in einer der Waagschalen befindet, noch einmal in die andere Waagschale legen, so würde sich die Waage im Gleichgewicht befinden (Reflexivität).<sup>21</sup>

Johnson (1987, S. 86–87) betont, dass sich die symmetrische Verteilung der Kräfte, die das GLEICHGEWICHTS-Schema bestimmt, auch auf komplexe Systeme übertragen lässt. In Bezug auf die Energiewende lassen sich einige Beispiele finden. So wird aufgrund der fluktuierenden Verfügbarkeit von Solar- und Windenergie davon gesprochen, dass „Schwankungen“ zum „Ausgleich“ gebracht werden müssen (WBGU, 2003, S. 70). Außerdem wird im Zuge der Klimaerwärmung zum Beispiel davon gesprochen, dass das Klima ‚zu warm‘ ist, sich entsprechend dem GLEICHGEWICHTS-Schema also in einem Ungleichgewicht befindet.

In Bezug auf den Energiefluss (Trauschke, 2016, S. 78–83) ist bekannt, dass Energie in der Fachliteratur als Bilanzierungsgröße angesehen und als solche auch benannt wird. Der aus dem Finanzsektor entlehnte Terminus ‚Bilanz‘ bedeutet „Gegenüberstellung von Einnahmen und Ausgaben“ („Bilanz“, o. J.). Etymologisch stammt der Ausdruck vom lateinischen Wort „bilanx“ ab, der eine „Waage mit zwei Waagschalen“ („Bilanz“, o. J.) bezeichnet. Aufgrund der Herkunft des Wortes ist die Anwendung des GLEICHGEWICHTS-Schemas naheliegend.

---

<sup>21</sup> In der Mathematik sind Symmetrie, Transitivität und Reflexion die kennzeichnenden Prinzipien für Äquivalenzrelationen. „Eine Relation  $\sim$  auf  $X$  heißt Äquivalenzrelation, wenn für beliebige  $x, y, z \in X$  gilt: A1  $x \sim x$ , (reflexiv); A2  $x \sim y \Rightarrow y \sim x$ , (symmetrisch); A3  $x \sim y$  und  $y \sim z \Rightarrow x \sim z$  (transitiv)“ (Fischer, 2014, S. 40). Das bedeutet, wenn diese drei Prinzipien erfüllt sind, so werden die durch die Relationen miteinander in Beziehung gesetzten Elemente als gleichwertig angesehen.

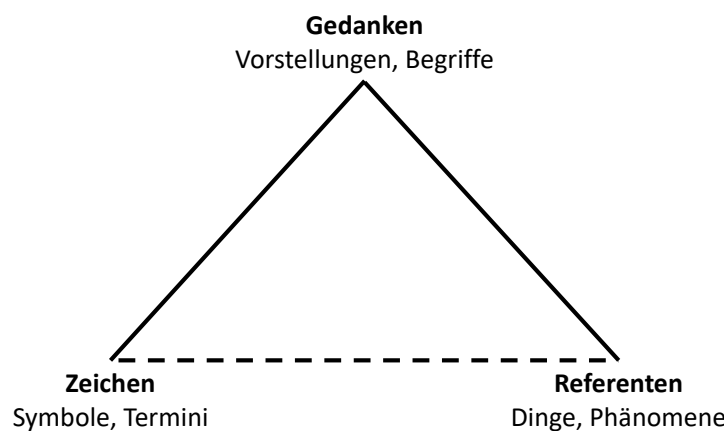


Weitere Ausdrücke, die im Zusammenhang mit dem Terminus ‚Bilanzierung‘ genutzt werden, können Aufschluss darüber geben, ob tatsächlich auf das GLEICHGEWICHTS-Schema rekurriert wurde (s. Kapitel 3.2.6.1).

### 3.2.6 Sprache als Ausdruck von Vorstellungen

Wenn Vorstellungen nach konstruktivistischer Perspektive gedankliche Konstruktionen sind, die individuell unterschiedlich sind (s. Kapitel 3.2.3), stellt sich die Frage, wie diese gedankliche Ebene dritten Personen zugänglich sein kann. Einen möglichen Zugang zur gedanklichen Ebene stellen sprachliche Äußerungen dar. Um die Zusammenhänge verständlich zu machen, wird in diesem Abschnitt ein genauerer Blick auf die Rolle der Sprache als Ausdrucksmöglichkeit für gedankliche Konstrukte geworfen. Die Analyse von Sprache ermöglicht einerseits, den Erfahrungshintergrund von Vorstellungen (zur Energiewende) zu rekonstruieren und andererseits Ausdrücke zu identifizieren, die ein imaginatives Verstehen abstrakter (Unterrichts-)Gegenstände (wie z. B. der Energiewende) erleichtern. Um diesen analytischen Ansatz nachvollziehen zu können, ist es wichtig, den Zusammenhang zwischen erfahrungsbasiertem Verstehen und sprachlichen Äußerungen genauer zu betrachten (Gropengießer & Groß, 2019).

Ogden und Richards (1923) beschreiben in ihrem Werk „The meaning of meaning“, dass ein Ausdruck nicht mit dem bezeichneten Gegenstand gleichzusetzen ist. Das besondere Verhältnis von Sprache (Zeichen), Referenten (in der (Erfahrungs-)Welt) und Gedankenwelt stellen sie graphisch im sogenannten semiotischen Dreieck dar (s. Abbildung 4).



**Abbildung 3 Semiotisches Dreieck** (modifiziert nach Ogden & Richards, 1923, S. 11)

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben, nehmen wir aus gemäßigt konstruktivistischer Perspektive die uns umgebende Welt mit Hilfe unserer Sinnesorgane wahr. Durch die wahrgenommenen Aspekte bauen wir auf gedanklicher Ebene Vorstellungen über bestimmte Phänomene oder Dinge auf. Diese Vorstellungen beziehen sich auf eine Entität in der von uns wahrgenommenen Realität. Diese Entität auf der Ebene der Lebenswelt wird von Ogden und Richards als Referent bezeichnet (1923, S. 10–13). Die Beziehung zwischen dem Referenten und den Gedanken kann dabei über Sinneswahrnehmungen direkter Natur sein (z. B. wenn wir ein Stück Kohle sehen oder anfassen) oder indirekt durch eine Vielzahl unterschiedlicher Eindrücke bestimmt sein (z. B. Texte aus Unterricht und Medien über Kohle). Die Gedanken über einen Referenten können wir zum Ausdruck bringen, zum Beispiel indem wir darüber sprechen. Der Ausdruck der gedanklichen Ebene erfolgt über die Sprache mittels ‚Zeichen‘ (engl. symbol) und symbolisiert die gedankliche Ebene. Die Art, wie ein Referent durch den\*die Sprechende\*n symbolisiert und in Zeichen umgesetzt wird, wird nicht nur durch die gedankliche Repräsentation vom Referenten bestimmt, sondern auch durch situationelle Faktoren wie die Einstellungen und Intentionen der redenden Person (Ogden & Richards, 1923, S. 10–11). Die verwendeten sprachlichen Zeichen stehen für den Referenten, obgleich keine direkte Beziehung zwischen Referenten und Symbol besteht, da diese nur indirekt über die gedankliche Ebene des jeweiligen Individuums miteinander verbunden sind. Dem Symbol wird in einem triangulären Prozess eine bestimmte Bedeutung zugeschrieben (Ogden & Richards, 1923, S. 11–12). Der Terminus ‚Kohle‘ erhält seine Bedeutung dementsprechend nur dadurch, dass ihm von der Person, die dieses Wort benutzt oder aufnimmt, eine entsprechende Bedeutung auf gedanklicher Ebene zugeordnet wird, die im bestem Fall einer angemessenen Vorstellung des Referenten entspricht.

Für die Naturwissenschaftsdidaktik bedeutet dies, dass Lehrpersonen – nicht nur mit Modellen als symbolischen Repräsentationen, sondern auch – mit Sprache sensibel umgehen müssen, da sprachliche Äußerungen Chancen und Grenzen im Hinblick auf das Verstehen des jeweiligen Referenten bieten. Die Schüler\*innen bringen ihre Vorstellungen unter anderem über die Sprache zum Ausdruck. Dritten gegenüber sind sie so indirekt über die Interpretation sprachlicher Äußerungen zugänglich (Gropengießer, 2006).<sup>22</sup> Gleichsam können den

---

<sup>22</sup> Deutlich wird bei konstruktivistischer Betrachtungsweise auch, wie vorsichtig diese Interpretationen gehandhabt werden müssen. Zum einen resultiert dies daraus, dass über die Interpretation der Sprache nur indirekte Rückschlüsse über die gedanklichen Repräsentationen möglich sind und zum anderen, dass auch die

Lernenden durch die Lehrperson und/oder entsprechend gestaltete Materialien Unterstützung für ein imaginatives angemessenes fachliches Verstehen gegeben werden (Niebert & Gropengiesser, 2015), indem lebensweltliche Erfahrungen sprachlich oder gegenständlich aufgegriffen und auf den entsprechenden abstrakteren Kontext übertragen werden.

Um die komplexen Rekonstruktionsprozesse in der sprachlichen Analyse und den bewussten Einsatz von Sprache zur Förderung eines fachlich angemessenen Verstehens nachvollziehen zu können, ist eine klare sprachliche Explikation, von welcher Seite des semiotischen Dreiecks (sprachlich, gedanklich, lebensweltlich) gerade gesprochen wird, bedeutsam. Hier verwende ich analog zu anderen Autor\*innen, die mit der didaktischen Rekonstruktion arbeiten (z. B. Gropengießer, 2006; Niebert, 2010; Trauschke, 2016), die Worte ‚Begriff‘ und ‚Konzept‘, wenn ich mich auf die gedankliche Ebene beziehe. Für die sprachliche Ebene werden ‚Ausdruck‘, ‚Wort‘, ‚Bezeichnung‘ und ‚Terminus‘ verwendet. Für die referentielle Ebene beziehe ich mich auf ‚Referenten‘, ‚Objekte‘, ‚Dinge‘, ‚Ereignisse‘ und ‚Erfahrungen‘.

Analog der Bezeichnungen für die gedanklichen Repräsentationen (Begriff, Konzept, Denkfigur, Theorie) nimmt Gropengießer (2006, S. 13) eine Hierarchisierung und Gegenüberstellung der Termini für den sprachlichen und referentiellen Bereich des semiotischen Dreiecks vor (s. Tabelle 3).

---

Interpretation von der analysierenden Person aktiv (re-)konstruiert wird und wiederum über deren Sprache nur indirekt ausgedrückt werden kann.

**Tabelle 3** Bezeichnungen für referentiellen, gedanklichen und sprachlichen Bereich (modifiziert nach Gropengießer, 2006, S. 13)

referentieller Bereich	gedanklicher Bereich	sprachlicher Bereich
<i>Referent</i>	<i>Vorstellung (engl. conception)</i>	<i>Zeichen</i>
Wirklichkeitsbereich	Theorie	Aussagengefüge, Darlegung
Wirklichkeitsaspekt	Übergeordnetes Konzept	Übergeordnete Aussage (in mehrere Aussagen zerlegbar)
Sachverhalt	Konzept	Behauptung, Satz, Aussage
Ding, Objekt, Ereignis; (aber auch: Vorstellung und Zeichen) <sup>23</sup>	Begriff (engl. concept)	Terminus, (Fach-)Wort, Ausdruck, Bezeichnung, Benennung
Individuum		(Eigen-)Name

Auch wenn manche der von Gropengießer (2006, S. 13) aufgeführten Bezeichnungen nicht trennscharf erscheinen,<sup>24</sup> gibt die Tabelle eine gute Übersicht darüber, mit welchen Worten welche Ebenen in unterschiedlicher Komplexität adressiert werden können. Die von Gropengießer aufgeführten Termini sind meines Erachtens insbesondere auf der sprachlichen Ebene weniger als klare sprachliche und gedankliche Abgrenzung zu sehen, sondern vielmehr als Anleitung zum Auffinden und Identifizieren gedanklicher Repräsentation unterschiedlicher Komplexität in der Sprache. Bei der Analyse sprachlicher Äußerungen kann zum Beispiel ein Konzept, welches Begriffe (z. B. fossile Energieträger, Kohlenstoff) gedanklich miteinander in Beziehung setzt, in sprachlichen Aussagen, Behauptungen oder Begründungen der Proband\*innen zum Ausdruck kommen. Dies ermöglicht die Bündelung ähnlicher Aussagen durch die analysierende Person. Dementsprechend können die in Texten gefundenen Konzepte auch durch die Forschenden sprachlich formuliert in einer Aussage (fossile

<sup>23</sup> Vorstellungen und sprachliche Äußerungen können sich auch auf die abstrakten Ebenen der Zeichen und der Vorstellungen selbst beziehen. Es gibt Vorstellungen über Vorstellungen und Vorstellungen über Zeichen, die wiederum auch sprachlich zum Ausdruck gebracht werden können.

<sup>24</sup> Schmidt (2010, S. 40–41) kritisiert insbesondere die von Gropengießer (2006, S. 13) verwendete Begriffsdefinition als nicht trennscharf in Bezug auf die sprachliche und gedankliche Ebene. Sie kritisiert vor allem, dass in den Naturwissenschaften oft von Fachbegriffen gesprochen wird und hiermit auch immer eine sprachliche Dimension gemeint ist und ansonsten ausschließlich von Termini gesprochen werden müsste. M. E. ist es nützlich, zwischen Fachtermini und Fachbegriffen zu unterscheiden. Im naturwissenschaftlichen Unterricht geht es eben nicht nur um den Fachspracherwerb, sondern vor allem auch um ein angemessenes Verstehen dieser Begriffe. Problematisch ist tatsächlich eher andersherum die Abgrenzung einer rein sprachlichen Ebene, weil hier immer auch Gedanken mit zum Ausdruck kommen. Anders ließe sich eine Aussage nicht identifizieren.

Energieträger enthalten Kohlenstoff) gebündelt wiedergegeben werden. Durch Bündelung lassen sich übergeordnete gedankliche Konzepte rekonstruieren, die von Gropengießer (z. B. 2006, S. 64) und Niebert (z. B. 2007, S. 46–48) als Denkfiguren bezeichnet werden. Diese übergeordneten Konzepte lassen sich sprachlich ebenfalls in einer Aussage oder einem Schlagwort fassen, mit dem Unterschied, dass sie sich in mehrere Einzelaussagen zerlegen lassen.

Viele Vorgänge, Phänomene und Kontexte (Referenten) – auf die Lehrpersonen sich im naturwissenschaftlichen Unterricht beziehen (wie z. B. auch die Energiewende) – beinhalten Aspekte, die sich unserer Wahrnehmung entziehen und dem Makro- oder Mikrokosmos zuzuordnen sind. Entsprechend der Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens (s. Kapitel 3.2.4) erschließen sich die Schüler\*innen diese nicht unmittelbar verständlichen Aspekte, indem sie auf Erfahrungen aus dem Mesokosmos zurückgreifen, das heißt sich gedanklich auf die Referenten aus dem Mesokosmos beziehen (Niebert & Gropengiesser, 2015). Wir Menschen nutzen also unsere (zum Großteil körperlichen) Erfahrungen und die daraus gebildeten Schemata (s. Kapitel 3.2.5), um Vorstellungen über uns unbekanntes oder unzugängliches (weil z. B. abstraktes) Phänomene, Dingen oder Ereignissen aufzubauen. Bei der Konstruktion der gedanklichen Strukturen findet also eine Übertragung von einem *Quellbereich*, in dem wir die ursprüngliche Erfahrung gemacht haben (oder zu dem wir bereits ein bewährtes Schema haben), auf einen *Zielbereich* statt (Lakoff & Johnson, 1980). So ist beispielsweise der naturwissenschaftliche Energiebegriff (s. Kapitel 3.1.3.1) nicht der direkten Wahrnehmung der Menschen im Mesokosmos zugänglich. Im Zusammenhang mit dem naturwissenschaftlichen Energiebegriff wird häufig von *Energiefluss* gesprochen (s. Kapitel 4.1). Fluss bezieht sich dabei auf eine wahrnehmbare Erfahrung aus der Lebenswelt. Die Verwendung des Wortes Fluss ist ein Beispiel dafür, dass sich die Übertragung der Bedeutung von einem Quellbereich auf einen Zielbereich über sprachliche Äußerungen nachvollziehen lässt, da wir – meist unbewusst – Ausdrücke verwenden, die sich auf die ursprünglichen lebensweltlichen Referenten beziehen. Durch die Analyse der Sprache kann der Erfahrungsbereich, auf den sich die gedankliche Struktur stützt (bzw. zur ad hoc Konstruktion genutzt wird<sup>25</sup>), identifiziert werden. Häufig zeigt sich dies in der Verwendung von Metaphern

---

<sup>25</sup> Kövecses (2017) führt für die gedankliche Struktur im Kurzzeitgedächtnis, die genutzt wird, um in einer bestimmten Situation ein Verstehen zu ermöglichen, den Terminus des ‚mental space‘ ein. In die Ad-hoc-Konstruktion des Mental Space fließen dabei Fragmente von Strukturen unterschiedlichster Komplexität aus dem Langzeitgedächtnis ein.

(Lakoff & Johnson, 1980). Neben bestimmten propositionalen Domänen als Quellbereiche lassen sich in der Sprache auch Rückschlüsse auf Schemata als Quellbereiche finden. Nicht zuletzt ergeben sich durch die Verwendung von Metaphern aber auch gedankliche Rahmen – sogenannte Frames –, welche sowohl bei der urhebenden als auch bei der empfangenden Person einer sprachlichen Information mit einer Vielzahl von Assoziationen aus dem Quellbereich konnotiert sind und durch die bloße Verwendung dieser einen Metapher weitere, nicht konkret geäußerte Informationen beinhalten (Ziem, 2008, S. 2). Im Folgenden sollen die der Arbeit zu Grunde liegenden Begriffe der Metapher und der Frames genauer erläutert sowie relevante Schemata erklärt werden.

### 3.2.6.1 Metaphern

Der Linguistiker George Lakoff und der Philosoph Mark Johnson begründeten mit ihrem Werk „Metaphors we live by“ (1980) eine Theorie, die auf den Zusammenhängen von Erfahrungen, Vorstellungen und Sprache (s. Kapitel 3.2.6) beruht und bis heute als eine der Grundlagen der kognitiven Linguistik gilt. Metaphern nehmen dabei eine zentrale Rolle ein. Schmitt (2017), der aus der Theorie von Lakoff und Johnson (u. a. 1980, 1999, 2003) ein geregeltes methodisches Vorgehen zur systematischen Metaphernanalyse entwickelt hat, fasst die Definition einer Metapher wie folgt zusammen:

„[Eine Metapher liegt vor], wenn a) ein Wort, eine Redewendung oder eine szenische Narration in einem strengen Sinn in dem für die Sprechäußerung relevanten Kontext mehr als nur wörtliche Bedeutung hat, b) die wörtliche Bedeutung einem für den Sprechenden prägnanten Bedeutungsbereich (Quellbereich) entstammt, c) jedoch auf einen zweiten oft abstrakteren Bereich (Zielbereich) übertragen wird.“ (2017, S. 472)

Zunächst legt Schmitt (2017) hierbei die Analyseeinheit auf sprachlicher Ebene fest. Demnach kann eine Metapher in einem „Wort“, einer „Redewendung“ oder einer „szenischen Narration“ (Schmitt, 2017, S. 472) enthalten sein. Wichtig ist es dabei zu betonen, dass die zu Grunde liegende Definition von Wort auch einzelne Bestandteile von Komposita oder Prä- und Suffixe<sup>26</sup> miteinschließen sollte. Die Pragglejaz Group (2007) berücksichtigt dies in ihrem

---

<sup>26</sup> Dass es wichtig ist, in die Metapherdefinition auch Prä- und Suffixe mit einzubeziehen, zeigt sich beispielsweise in der Analyse des Wortes erneuerbar. So führt die Linguistin Elisabeth Wehling (2016, S. 189) an, dass sie diese Bezeichnung unter anderem deswegen für verwirrend hält, weil das Präfix er- und das Suffix -bar implizieren, dass ein Subjekt aktiv etwas tun muss, um etwas wieder ‚neu‘ zu machen.

Vorgehen zur Identifikation von Metaphern, indem sie einzelne Lexeme<sup>27</sup> als kleinste sprachliche bedeutungstragende Einheiten auf ihren potentiell metaphorischen Gehalt überprüft. Die einzelnen Textbestandteile entsprechen gemäß der Definition von Schmitt (2017, S. 472) einer Metapher, wenn sie im verwendeten Kontext mehr als wörtliche<sup>28</sup> Bedeutung haben. Gemeint ist mit ‚wörtlich‘ in diesem Fall, wenn mit einer sprachlichen Äußerung ‚etwas‘ (z. B. ein Objekt, Subjekt, eine Tätigkeit) direkt, also ohne Bedeutungsübertragung (siehe b) und c)), bezeichnet wird (z. B. „Ich lege einen Bleistift in eine Box“). Um zu betonen, ob in der Verwendung der sprachlichen Äußerung in dem spezifischen Kontext eine Bedeutungsübertragung stattgefunden hat oder nicht, verwende ich im weiteren Verlauf die Bezeichnungen ‚direkt‘<sup>29</sup> und ‚indirekt‘. Oft lässt sich die ursprüngliche Bedeutung (siehe b)) auf bestimmte Schemata (s. Kapitel 3.2.5) zurückführen. Die ursprüngliche Bedeutung wird von einem gedanklichen Quellbereich auf einen (meist abstrakteren) Zielbereich übertragen. Da Quell- und Zielbereich nicht deckungsgleich sind, werden aufgrund der charakteristischen Merkmale des Quellbereiches bestimmte Merkmale aus dem Zielbereich hervorgehoben (Highlighting), während andere verdeckt werden (Hiding) (Lakoff & Johnson, 1980, S. 10–13). Die Wissenschaftler\*innen des WBGU sprechen beispielsweise davon, dass „Erdöl [...] einen geringeren Kohlenstoffgehalt [hat] als Kohle“ (2011, S. 120). Sprachlich lässt das Wort ‚Gehalt‘ Rückschlüsse auf die Entstehung der Vorstellung zu. Quellbereich ist hier ein BEHÄLTER-Schema (s. Kapitel 3.2.5.2); demnach ist der Erfahrungsbereich die Manipulation von Behältern, die begrenzt sind und in deren Innenraum Platz für einen bestimmten Inhalt ist. Von diesem Quellbereich wird die Erfahrung auf den Zielbereich übertragen, in diesem Fall auf die molekulare Zusammensetzung und der relative Anteil an Kohlenstoffatomen der Energieträger Kohle und Erdöl. Dieser Zielbereich verschließt sich aufgrund der submikroskopischen Ebene unserer direkten Erfahrung. Diese Übertragung führt dazu, dass bestimmte Elemente des Zielbereiches betont werden (Highlighting), während andere Elemente verschleiert werden (Hiding) (Schmitt, Schröder, & Pfaller, 2018, S. 23–24). Schmitt u. a. beschreiben dies als „aufmerksamkeitsfokussierende“ bzw.

---

<sup>27</sup> Lexem ist ein sprachwissenschaftlicher Ausdruck, der nach dem DWDS eine „Einheit des Wortschatzes bezeichnet, die die Bedeutung trägt“ („Lexem“, o. J.).

<sup>28</sup> Die Bezeichnung ‚wörtlich‘ ist m. E. problematisch, da ich mich in dieser Arbeit mit dem Ausdruck ‚Wort‘ auf die rein symbolische Ebene und nicht die Ebene der gedanklichen Repräsentation beziehe. Schmitt (2017, S. 472) zielt in seiner Definition jedoch auf den (oft unbewussten) gedanklichen Übertragungsprozess ab.

<sup>29</sup> Auch die Bezeichnung ‚direkt‘ ist nicht ganz eindeutig, da die hinter einem Ausdruck liegende Bedeutung oft nicht direkt ersichtlich ist und die Verwendung des Ausdrucks meist in einem unbewussten Prozess geschieht.

„aufmerksamkeitsausblendende“ (2018, S. 23) Funktion. Im obigen Beispiel wird durch den Rückgriff auf den Quellbereich eines Behälters der relative Anteil an Kohlenstoffatomen von Kohle und Erdöl betont, während verschleiert wird, dass es sich jeweils um heterogene Stoffgemische handelt, die keine einheitliche Molekülstruktur aufweisen (Diekmann & Rosenthal, 2014, S. 16). Zur gedanklichen Erschließung und sprachlichen Darstellung eines abstrakten Zielbereiches können unterschiedliche Quellbereiche herangezogen werden, die dementsprechend auch unterschiedliche Aspekte des Zielbereiches betonen bzw. verschleiern.

Sprachlich werden die für die Energiewende zentralen Ausdrücke ‚Energieträger‘ und ‚Energiequelle‘ synonym verwendet (s. Kapitel 3.1.3.3), dabei wird – ausgedrückt durch die Verwendung der unterschiedlichen Metaphern ‚Träger‘ und ‚Quelle‘ – gedanklich auf verschiedene Quellbereiche zurückgegriffen (s. Tabelle 4). Auch wenn auf sprachlicher Ebene beide Bezeichnungen weitestgehend synonym verwendet werden, transportieren sie doch Informationen, die von den unterschiedlichen Aspekten herrühren, die über den Quellbereich betont bzw. verschleiert werden. Beim Ausdruck Energiequelle liegt die Betonung mehr auf dem Ursprung und der Herkunft der Energie, während beim Ausdruck Energieträger mehr die Vermittlungsfunktion in einem Umwandlungsprozess betont wird (s. detailliertere Ausführungen in Tabelle 4). Beide Bezeichnungen sind in den meisten Situationen dabei fachlich durchaus angemessen, heben allerdings unterschiedliche Charakteristika hervor. Da Ziel- und Quellbereich nie deckungsgleich sein können, ergibt sich daraus insbesondere für komplexere Themen, dass es ähnlich wie bei Modellen keine sprachlichen Ausdrücke geben kann, die alle fachlichen Aspekte vollumfänglich abbilden.



**Tabelle 4 Vergleich der Metaphern Energiequelle und Energieträger**

<b>Ausdruck</b>	<b>Energiequelle</b>	<b>Energieträger</b>
<b>Konzeptuelle Metapher</b>	Energie IST <sup>30</sup> eine Substanz, die fließt (Lancor, 2015)	Energie IST eine Substanz, die getragen werden kann (Lancor, 2015)
<b>Quellbereich</b>	„Wasser, das an einer bestimmten Stelle (als Ursprung eines Baches, Flusses) aus der Erde hervorfließt“ („Quelle“, o. J.)	Eine Person, die etwas trägt („Träger“, o. J.)
<b>Zielbereich</b>	Ursprung von Energie, die potenziell für die Nutzung zur Verfügung steht; Herkunft von Energie	Medium (= vermittelndes Element) bzw. Vektor; enthält und überträgt Energie
<b>Highlighting</b>	Es geht um den Ursprungsort bzw. die Herkunft der Energie. Sie dient als Ursprung von Umwandlungsprozessen und ‚fließt‘ durch ein System. Genau wie die Wassermenge kann auch die Energiemenge in diesem Prozess bilanziert werden.  Energietransfer, Energiequelle (Lancor, 2015)	Der Energieträger ist der Vermittler in einem Umwandlungsprozess, der die Richtung bestimmt. Energieträger und Energie sind nicht dasselbe.  Energietransfer (Lancor, 2015)
<b>Hiding</b>	Bei einer Quelle ist der Austrittsort genau zu bestimmen und somit unstrittig. Bei Wasser handelt es sich um eine Substanz. Energiequelle wird dabei meist unspezifisch und allgemeiner verwendet, wenn beispielsweise von Wasserkraft als Energiequelle die Rede ist.  Der Begriff Energiequelle verschleiert, dass nicht die innere Energie des Wassers, sondern ein System gemeint ist (z. B. gestautes Wasser hinter einem Damm, das potenzielle Energie besitzt).  Energieumwandlung	Es ist anstrengend, es muss Arbeit verrichtet werden. Ein Subjekt muss etwas tun. Keine Unterscheidung zwischen innerer und äußerer Energie.  Energieumwandlung
<b>Schemata</b> (s. Tabelle 2)	START-WEG-ZIEL-Schema, SUBSTANZ-Schema	PERSONEN-Schema, START-WEG-ZIEL-Schema, SUBSTANZ-Schema, BELASTUNGS-Schema

Die Beschränkung von Sprache, die in dem oben beschriebenen Highlighting und Hiding zum Tragen kommt, lässt sich auf alle sprachlichen Äußerungen und somit auch auf die Begründer der kognitiven Metaphernanalyse Lakoff und Johnson (1980) anwenden. Beim sprachlichen Ausdruck der zu Grunde liegenden gedanklichen Konstrukte der Metapherntheorie werden zwangsläufig wiederum bestimmte Metaphern verwendet. Schmitt (2011, S. 48–49) analysiert, welche Metaphern Lakoff und Johnson in ihrem Werk „Philosophy in the flesh“ (1999) selbst verwenden, um ihre Theorie zu beschreiben. Er führt Beispiele auf, die zeigen,

<sup>30</sup> Zur Erklärung für die Schreibweise in Großbuchstaben siehe S. 73.

dass die Autoren mit den metaphorischen Ausdrücken ‚finden‘ und ‚entdecken‘ über die Entstehung der Metapherntheorie sprechen. Dies weist auf eine eher unkritische Haltung der eigenen Theorie gegenüber hin, da bezogen auf einen entsprechenden Quellbereich die Theorie bereits existent ist und wie bei einer naturwissenschaftlichen Expedition oder Detektivgeschichte lediglich *entdeckt* oder *gefunden* werden muss. Schmitt (2011, S. 49–51) kritisiert an Lakoff und Johnson, dass diese keine distanzierte Rolle zu ihrer Forschung einnehmen und es versäumen, ihre eigenen verwendeten Metaphern offen zu legen und kritisch zu hinterfragen. Die metaphorischen Ausdrücke ‚finden‘ und ‚entdecken‘ weisen auf eine Perspektive auf die eigene Forschung hin, die nicht dem dieser Arbeit zu Grunde liegenden gemäßigt konstruktivistischem Ansatz (s. Kapitel 3.2.1) entspricht.<sup>31</sup> Dass die Einnahme einer neutralen Rolle unmöglich ist und auch die interpretierende Person sich ihrerseits auf erfahrungsbasierte Metaphern stützt (was sich wiederum in den sprachlichen Ausdrücken zeigt), lässt sich an dem oben aufgeführten Beispiel des Kohlenstoff*gehalts* anschaulich erläutern. Während ich einerseits einen Behälter als Quellbereich der Ursprungsmetapher aufführe, schreibe ich in meinen Ausführungen zum Highlighting, dass durch diese Metapher der Aspekt des relativen Anteils an Kohlenstoffatomen betont wird. Hierbei ziehe ich selbst eine andere Metapher heran, die auf einem Schema beruht, dass es ein ‚Ganzes‘ gibt, dass sich in seine ‚Teile‘ zerlegen lässt. Hierdurch wird der Quantitätsaspekt des Kohlenstoffes betont: Ein Teil besteht aus Kohlenstoffatomen, es muss aber gleichzeitig noch einen anderen Teil geben, der sich nicht aus Kohlenstoffatomen zusammensetzt. Dieser Aspekt wird durch die ursprüngliche Metapher eher verschleiert, da der ‚Gehalt‘ sich auf die Füllung eines Behälters bezieht und nicht ihre Quantität: Der Behälter kann vollständig oder teilweise mit Kohlenstoff befüllt sein, ob es noch eine weitere Füllung gibt, ist unklar.

Der Metaphernbegriff nach Lakoff und Johnson (1980, s. auch obige Definition von Schmitt), ist sehr weit gefasst. Unabhängig von ihrer Komplexität werden unter Metaphern alle Ausdrücke auf sprachlicher Ebene bezeichnet, bei denen auf gedanklicher Ebene<sup>32</sup> ein

---

<sup>31</sup> Einem konstruktivistischen Forschungsverständnis würden eher metaphorische Ausdrücke entsprechen, die beispielsweise von einer Rekonstruktion sprechen und dabei in den Blick nehmen, dass die erstellte Theorie auf den Interpretationsleistungen der Autoren beruht.

<sup>32</sup> Dass dieser Übertragungsprozess tatsächlich auf gedanklicher Ebene stattfindet, ist ein maßgebliches und zugleich oft schwer zu überprüfendes Kriterium. So kann es beispielsweise insbesondere im Kontext des naturwissenschaftlichen Unterrichts sein, dass Lernende Fachtermini auswendig lernen und die Verbindung zum Quellbereich eines Ausdruckes gar nicht nachvollziehen. Sie verwenden diesen Ausdruck dann auch nicht in einem metaphorischen Sinn.

Übertragungsprozess rekonstruiert wird. Um verschiedene Komplexitätsebenen und Wechselwirkungen genauer beschreiben zu können, ist es dennoch wichtig, einzelne Wörter oder Phrasen, die auf eine metaphorische Verwendung hindeuten könnten, von einem ganzen Bündel von metaphorischen Ausdrücken, die auf den gleichen Quell- und Zielbereich angewendet werden, zu unterscheiden.<sup>33</sup> Schmitt (2017, S. 56–58) leitet aus der Theorie von Lakoff und Johnson drei grundlegende Begriffe ab: metaphorische Redewendungen, metaphorische Konzepte und Schemata. Mit metaphorischen Redewendungen sind konkrete metaphorische Aussagen oder Textstellen im wörtlichen Zitat gemeint. Diese werden zur Verdeutlichung in Anlehnung an Lakoff und Johnson (z. B. 1980) und Schmitt u. a. (2018, S. 3) in Zitaten kursiv dargestellt. Gebündelte Metaphern, die denselben Quell- und Zielbereich aufweisen, werden als metaphorische Konzepte oder konzeptuelle Metaphern bezeichnet (Schmitt u. a., 2018, S. 6). Diese gebündelten Ausdrücke lassen sich in der Analyse als Aussage formulieren, die den Quell- und den Zielbereich wiedergibt. Symbolisch werden metaphorische Konzepte nach dem Muster ‚Zielbereich IST Quellbereich‘ dargestellt, um die Rekonstruktion des Übertragungsprozesses offen zu legen.<sup>34</sup> Ein übergeordnetes metaphorisches Konzept kann bisweilen auch in verschiedene untergeordnete metaphorische Konzepte zerlegt werden.<sup>35</sup>

Auch Schemata (s. Kapitel 3.2.5) spielen in der Metapherntheorie und -analyse eine große Rolle. Schmitt u. a. (2018, S. 15) beschreiben diese als metapherngenerierend, weil die basalen gedanklichen Strukturen, auch wenn sie nicht an konkrete Inhalte oder Kontexte geknüpft sind, in ihrer gedanklichen Anwendung in entsprechenden metaphorischen Redewendungen zum Ausdruck kommen. Bei der Metaphernanalyse spielen Schemata insofern eine wichtige Rolle, weil sich einige metaphorische Redewendungen erst durch die Kenntnis

---

<sup>33</sup> Nach Marsch (2009, S. 20) lassen sich analog zu den Komplexitätsebenen von Vorstellungen die Termini der kognitiven Metapherntheorie nach Lakoff und Johnson entsprechend ihrer Komplexität ordnen. Ein metaphorischer Ausdruck entspricht auf Vorstellungsebene einem Begriff, eine kohärente Metapher oder Subkategorie einem Konzept, eine konzeptuelle Metapher einer Denkfigur und ein IMAGE-Schema einer Theorie. Diese direkten Zuordnungen sehe ich ähnlich wie bei den Komplexitätsebenen von Vorstellungen als problematisch (s. Kapitel 3.2.3), da sich auch bei Metaphern die Komplexitätsebenen schwer voneinander abgrenzen lassen.

<sup>34</sup> Um die Lesbarkeit der zum Teil langen metaphorischen Konzepte zu erleichtern, verzichte ich auf eine Darstellung metaphorischer Konzepte in Kapitälchen oder Großbuchstaben, wie zum Beispiel bei Lakoff und Johnson (z. B. 1980), und wähle eine Schreibweise, die durch Darstellung des Verbs (i.d. R. ist oder sind) in Großbuchstaben die gedankliche Übertragung vom Quellbereich auf den Zielbereich hervorheben soll.

<sup>35</sup> Zum Beispiel lässt sich das metaphorische Konzept ‚Energie ist eine Substanz‘ zerlegen in die metaphorischen Konzepte ‚Energie IST eine Substanz, die fließt‘ und ‚Energie IST eine Substanz, die getragen werden kann‘ (s. Tabelle 5, S.78).

entsprechender Schemata verstehen lassen und dementsprechend interpretiert werden können. So kann beispielsweise das Wort ‚in‘ ein Hinweis auf ein zugrunde liegendes Schema von einem Behälter (s. Kapitel 3.2.5.2) sein (Schmitt u. a., 2018, S. 18). Ein Beispiel bietet die Aussage einer Schülerin „Irgendwann ist das Erdöl in der Erde alle“ (Gerda, Z. 36-37). Mit Kenntnis des BEHÄLTER-Schemas lässt sich rekonstruieren, dass die Erde als Behälter für das Erdöl verstanden wird.

### 3.2.6.2 Frames

Sehr komplexe übergeordnete Schemata werden als Frame bezeichnet. So definiert Lakoff einen Frame als „complex schema, a mental structure, that organizes knowledge. [...] The elements of a frame are called Semantic Roles“ (2014, S. 2). Auch wenn die Übergänge zwischen verschiedenen schematischen Gedankenstrukturen fließend sind, ist es wichtig, sich die Unterschiede der eingeführten und verwendeten Begriffe vor Augen zu führen. Basale Schemata wie Image-Schemata weisen im Gegensatz zu Frames eine analoge Struktur auf, während Frames propositional bestimmt sind (Kövecses, 2017), das heißt während beispielsweise das BEHÄLTER-Schema bestimmte Elemente beinhaltet, die aus körperlichen Erfahrungen in verschiedenen Kontexten als analoge Gedächtnisstruktur aufgebaut wurden, ist ein Frame über den Inhalt bestimmt. Zum Beispiel fallen uns bei dem Frame Produktion möglicherweise bestimmte Begriffe wie Ressourcen, Rohstoffe, Produkte (Neben- und Abfallprodukte) ein (Trauschke, 2016, S. 18–19). Gleichzeitig haben wir bestimmte Vorstellungen von einem Herstellungsprozess, der abläuft, Investitionen, die getätigt werden müssen und einer Kosten-Nutzen-Rechnung, deren Bilanz am Ende positiv ausfallen sollte. Kövecses (2017) grenzt die ebenfalls propositional bestimmten Domains<sup>36</sup> von Frames durch die schematischere Beschaffenheit der Domains ab. Frames sind spezifischer als Domains. An Hand der von Kövecses (2017, S. 331, 338) aufgeführten Beispiele ließe sich vereinfachend sagen, dass Domains eher die assoziierten Begriffe und Frames darüber hinaus die assoziierten Konzepte beinhalten. Aufgrund ihrer propositionalen Bestimmtheit können Frames von zwei Seiten aus betrachtet werden: Zum einen gibt die kommunizierende Person über ihre sprachlichen Ausdrücke Auskunft über ihre gedanklichen Strukturen, zum anderen aktivieren die verwendeten Worte und Aussagen bei adressierten Personen bestimmte gedankliche

---

<sup>36</sup> Mit diesem Ausdruck werden von Kövecses (2017, S. 321) Gedächtnisbereiche bezeichnet, die auch mit den hier im Zuge der systematischen Metaphernanalyse verwendeten Termini Quell- und Zielbereich (s. Kapitel 3.2.6.1) gemeint sind.

Strukturen. Über ein einziges Wort wird eine Vielzahl weiterer Informationen mittransportiert (Fillmore, 2006, S. 373), da hierdurch „konzeptionelle Wissensseinheiten“ (Ziem, 2008, S. 2) aktiviert werden, die der Person ein Verstehen ermöglichen. Die als Frames bezeichneten komplexen Wissensstrukturen bieten dabei eine bestimmte Perspektive auf einen Inhalt. Diese Perspektive ist in der Regel räumlicher oder szenischer Natur und kann aus der Sicht einer beobachtenden oder agierenden Entität erfolgen (Evans & Green, 2006, S. 229–230). Durch die Möglichkeit der Eröffnung verschiedener Betrachtungsweisen auf einen Inhalt, ergibt sich die besondere Relevanz von Frames für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Studien, wie die von Thibodeau und Boroditsky (2013) zeigen, dass ein unterschiedliches Framing auch darüber entscheidet, wie ein bestimmtes Thema wahrgenommen wird.<sup>37</sup> Durch dieses Framing wird für den\*die Rezipient\*in meist unbewusst das Denken über dieses Thema strukturiert, wodurch auch die Art und Weise der Reaktion auf dieses Thema bestimmt wird. Wie die Energiewende semantisch gerahmt wird, kann demnach für die Art und Weise entscheidend sein, wie Menschen auf dieses Thema reagieren und welche Handlungsoptionen sie wahrnehmen. Wichtig ist es dabei im Blick zu behalten, dass Framing auch auf der Seite der versprachlichenden Person oder Institution meist unbewusst stattfindet<sup>38</sup> (Evans & Green, 2006, S. 230), indem die Kommunizierenden auf ihnen bekannte Wissensstrukturen zurückgreifen.

#### 4 Stand der fachdidaktischen Forschung

Aufgrund der begrifflichen Schwierigkeiten, die mit dem Thema der Energiewende verbunden sind, und deren fachlicher Mehrdeutigkeit (s. Kapitel 3.1.3) sieht sich der naturwissenschaftliche Unterricht mit besonderen Herausforderungen konfrontiert. Um ein fachlich angemessenes Verstehen zu fördern, ist es deshalb von Bedeutung, zu wissen, welche Vorstellungen bei den Lernenden erwartet werden können. Die folgenden Aspekte sind für das Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energiequellen von besonderer Bedeutung: 1.

---

<sup>37</sup> Thibodeau & Boroditsky (2013) zeigen in ihrer Untersuchung, dass die Ideen von Personen zur Verringerung von Kriminalität in einer fiktiven Kleinstadt davon beeinflusst werden, ob diese einen Text zu Kriminalität gelesen haben, in dem Kriminalität sprachlich entweder als Krankheit oder als Raubtier gerahmt wird. Analog zu dem jeweiligen Frame führen diese Personen entweder Maßnahmen zur Stärkung der Gesellschaft (Krankheitsframe) oder zur Bekämpfung der kriminellen Subjekte (Raubtierframe) an.

<sup>38</sup> Dies gilt beispielsweise nicht für politische Think Tanks, die bestimmte Frames bewusst einsetzen, um Wähler\*innen für sich zu gewinnen (siehe dazu auch Lakoff & Wehling, 2009).

Vorstellungen und fachdidaktische Erkenntnisse zu bestimmten Aspekten eines naturwissenschaftlichen Energiekonzeptes, 2. Vorstellungen zu Definition, Zuordnung und Eigenschaften erneuerbarer bzw. nicht-erneuerbarer Energiequellen, 3. Vorstellungen zum globalen Kohlenstoffhaushalt und 4. Vorstellungen zum Zusammenhang von Stoffkreisläufen und Energieflüssen in Systemen.

#### 4.1 Lehren und Lernen zum Energiebegriff

Im Gegensatz zum Kontext der Energiewende gibt es zum Lehren und Lernen des Energiekonzepts und Vorstellungen zum Energiebegriff von Schüler\*innen zahlreiche Untersuchungen aus den Fachdidaktiken der verschiedenen naturwissenschaftlichen Disziplinen, vor allem Physik, aber auch Biologie und Chemie (z. B. Barak, Gorodetsky, & Chipman, 1997; R. F. Chen u. a., 2014; Duit, 1984; Lancor, 2014a; Solomon, 1983). Dies zeigt die zentrale Bedeutung des Energiekonzepts für alle naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer. Die Studien zum Energiekonzept erstrecken sich über einen großen Zeitraum, beginnend in den 1980er Jahren bis in die heutige Zeit, was zeigt, dass dieses Thema bis heute nicht an Aktualität verloren hat. Wie bereits in Kapitel 3.1.3.1 erläutert, spielt das Verstehen des Energiekonzeptes auch im Hinblick auf den Kontext der Energiewende eine große Rolle. Insbesondere die Energiequadriga von Duit (2007, S. 183, 2014, S. 68) beinhaltet zentrale Aspekte, die für das Verstehen der Unterschiede der Verfügbarkeit von Energiequellen und der Transfer- und Umwandlungsprozesse bei Nutzung der verschiedenen Energieträger wichtig sind.

Im Allgemeinen scheint das Lernen über Energie ein komplexer und nicht zwingend linearer Prozess zu sein. Vielmehr werden die einzelnen Basisideen von den Schüler\*innen in einem bestimmten Maße parallel weiter entwickelt (Yao, Guo, & Neumann, 2017). Dennoch scheint das Konzept der Energieerhaltung für die Lernenden am schwierigsten nachvollziehbar und anwendbar zu sein (Neumann u. a., 2013; Tatar & Oktay, 2007; Yuenyong, Jones, & Sung-Ong, 2011). Nordine, Krajcik und Fortus (2011) untersuchten die Einflüsse eines Unterrichtsansatzes, der nicht-idealisierte Systeme aus dem Alltag der Schüler\*innen als Lernkontexte nutzt. In der letzten Lerneinheit entwerfen die Schüler\*innen die Energieversorgung einer Stadt und recherchieren diesbezüglich die Verfügbarkeit und die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energiequellen. In diesem Kontext scheinen die Lernenden in der Lage zu sein, aus den Basis-Ideen zu Energie (s. o.) ein integriertes

Energieverständnis aufzubauen, das die Idee der Energieumwandlung als zentrales Element nutzt. Erste Ergebnisse zeigen, dass ein in diesem Zusammenhang entwickelter System-Transfer-Ansatz (Kubsch & Nordine, 2016) den Aufbau eines entsprechenden Energieverständnisses unterstützen könnte, welcher es den Schüler\*innen ermöglicht, Energietransferprozesse aus ihrem Alltag zu erklären und vorherzusagen. In Bezug auf die Verfügbarkeit und Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger scheint es deshalb wichtiger, an Stelle der Energieerhaltung den Energietransfer und die damit einhergehende Energieentwertung zu betonen. Hierbei gilt es zunächst die Systeme zu identifizieren, zwischen denen die Energie transferiert wird (z. B. Wasser in einem Staudamm (Abnahme der potenziellen Energie), Turbine in einem Wasserkraftwerk (Zunahme der kinetischen Energie)). Hierdurch wird die Bedeutung der Umwandlungs- und Transferprozesse betont. Indirekt wird durch diese Betonung verständlich, dass Energie nicht erzeugt oder verbraucht, sondern umgewandelt wird. Die Energieerhaltung wird bei diesem Ansatz nicht direkt erwähnt. In der Tat wird das Prinzip der Energieerhaltung bei dem von Kubsch und Nordine (2016) angegebenen Beispiel eher verschleiert, da die Energieentwertung – die Umwandlung in Wärme – während des Prozesses nicht mit angegeben wird. Es stellt sich hierbei jedoch die Frage, ob dieser Aspekt für die Beurteilung eines Wechsels der Energieversorgung zu erneuerbaren Energiequellen aus einer allgemeinen Perspektive relevant ist. Betrachtet man die Energieeffizienz, ist dieser Aspekt allerdings von entscheidender Bedeutung.

Da Energie ein abstraktes Konzept ist, werden sowohl in der Literatur als auch von den Schüler\*innen in diesem Kontext vielfältige Metaphern zur Beschreibung von bestimmten Eigenschaften herangezogen (vgl. Kapitel 3.2.6.1). Diese lassen sich in naturwissenschaftlicher Literatur und in Lehrbüchern finden, unabhängig davon, ob es sich um die Disziplin Chemie, Biologie oder Physik handelt (Lancor, 2015). Auch die Art der verwendeten Metaphern unterscheidet sich zwischen den Disziplinen nicht (Lancor, 2015). Für die Energiewende mit der Umstellung auf erneuerbare Energiequellen sind einige dieser Metaphern besonders relevant. Beispielsweise wird Energie häufig als Substanz konzeptualisiert (z. B. Lancor, 2014a, 2014b, 2015; Watts, 1983; Wernecke u. a., 2018).

**Tabelle 5 Metaphorische Konzepte zu Energie als Substanz** (Lancor, 2015, S. 883 übersetzt, letzte Spalte eigene Ergänzung)

Metaphorische Konzepte	Beispiele von Analogien aus wissenschaftlichen Kontexten	Betonte Energie-Aspekte	Verschleierte Energie-Aspekte	Beispiele aus dem Kontext der Energiewende
Energie IST eine Substanz, deren Menge berechnet werden kann	Energie (oder Enthalpie) ist wie Geld Energie ist wie Bauklötze	Erhaltung	Umwandlung Quelle	Erstellung von Energiebilanzen (z. B. EROI = Energy Return on Energy Investment)
Energie IST eine Substanz, die die Form verändern kann	Solarenergie umgewandelt in chemische Energie durch Photosynthese Chemische Energie umgewandelt in thermische Energie in einer exothermen Reaktion	Umwandlung Erhaltung	Transfer	Energieumwandlung in Kraftwerken
Energie IST eine Substanz, die fließen kann	Energie fließt durch ein Ökosystem Wärme fließt von warm zu kalt Elektrizität fließt durch einen Stromkreis	Transfer Quelle	Umwandlung	Energiequellen
Energie IST eine Substanz, die getragen werden kann	Organismen transportieren Energie durch ein Ökosystem Photonen tragen elektromagnetische Energie	Transfer	Umwandlung	Energieträger
Energie IST eine Substanz, die verloren gehen kann	Trophische Pyramide Energie geht bei einer exothermen Reaktion verloren	Entwertung Quelle	Erhaltung	Energieverbrauch (z. B. von Haushalten)
Energie IST eine Substanz, die hinzugefügt, produziert oder gelagert werden kann	Energie wird in chemischen Bindungen (z. B. ATP) gespeichert und kann freigesetzt werden Energie wird in einem Kondensator gespeichert Energie wird hinzugefügt, um eine chemische Reaktion zu initiieren	Quelle Transfer	Erhaltung Entwertung	Energiespeicher werden für die Energiewende benötigt

Das metaphorische Konzept von Energie als Substanz wird von einigen Naturwissenschafts-  
didaktiker\*innen bewusst zur Förderung eines angemessenen Verstehens eingesetzt (Brewer,  
2011; Trauschke, 2016). Das dabei verwendete SUBSTANZ-Schema (s. Kapitel 3.2.5.1) ist mit  
weiteren spezifischen Eigenschaften verknüpft. So lassen sich laut Lancor (Lancor, 2014a,  
2014b, 2015) sowohl in den Fachtexten als auch in den Schüler\*innen-Vorstellungen sechs  
untergeordnete Kategorien zum metaphorischen Konzept ‚Energie IST eine Substanz‘ finden,  
die sich auf die Eigenschaften dieser Substanz beziehen. Demnach kann diese Substanz



1. rechnerisch bilanziert werden, 2. ihre Form verändern, 3. fließen, 4. getragen werden, 5. verloren gehen und 6. hinzugefügt, produziert oder gespeichert werden. Jedes dieser sechs spezifischeren metaphorischen Konzepte für sich betont und verschleiert unterschiedliche Aspekte der Basisideen zu Energie (s. Tabelle 5).

Lancors Studie (2015) zufolge nutzten die Schüler\*innen alle diese Metaphern, sowohl in traditionellen Kontexten der Chemie (chemische Reaktion), Biologie (Ökosysteme) und Physik (Mechanik, Elektrik) als auch in interdisziplinären naturwissenschaftlichen Kontexten (z. B. Verkehr, Erdbeben). Auffällig ist, dass die metaphorischen Konzepte ‚Energie IST eine Substanz, die rechnerisch bilanziert werden kann‘ und ‚Energie IST eine Substanz, die fließen kann‘ von den Schüler\*innen eher in traditionellen und weniger in interdisziplinären Kontexten verwendet werden. Außerdem verwenden die Schüler\*innen in ihren Aussagen in den interdisziplinären Kontexten häufiger verschiedene metaphorische Konzepte. Lancor führt dies darauf zurück, dass diese Kontexte komplexer sind und deshalb ein metaphorisches Konzept möglicherweise nicht ausreicht, um alle relevanten Aspekte entsprechend zu betonen.

Auch bei Trauschke (2016, S. 91), der sich auf einen rein biologischen Kontext – den Energiefluss in anthropogenen Ökosystemen – bezieht, lassen sich viele der von Lancor (2015) beschriebenen Facetten des übergeordneten metaphorischen Konzeptes ‚Energie IST eine Substanz‘ finden. Vor dem ökologischen Kontext identifiziert Trauschke (2016, S. 83) einen übergeordneten Frame der (industriellen) Produktion, in dem sich die entsprechenden metaphorischen Konzepte verorten lassen. Dem Frame der Produktion entsprechend, steht 1. *Energie als Ressource* zur Verfügung, 2. wird *verarbeitet* (und ist damit wandelbar, nutzbar, verbrauchbar), 3. liefert durch Umwandlung und Nutzung Produkte wie *Energie/energiehaltige* Erzeugnisse. Im Produktionsprozess entsteht im Energiefluss 4. *Wärme als Abfallprodukt*, was zu einem Verlust an nutzbarer Energie führt. Außerdem kann Energie entsprechend des Produktionsframes 5. *inventarisiert* werden. Auch nach Amin (2009, S. 180) verwenden sowohl Wissenschaftler\*innen als auch fachfremde Personen im Zusammenhang mit dem Energiekonzept Metaphern, die auf dem RESSOURCEN-Schema (s. Tabelle 2) beruhen. Nach der Studie von Trauschke (2016) nutzen sowohl Schüler\*innen als auch wissenschaftliche Texte das RESSOURCEN-Schema in einem materiellen Sinne. Amin (2009) stellt in seiner Untersuchung Unterschiede zwischen der Nutzung des RESSOURCEN-Schemas in Bezug auf Energie bei fachfremden Personen und Wissenschaftler\*innen fest.

Während die fachfremden Personen eher Metaphern nutzen, die auf ein Verstehen im materiellen Sinne schließen lassen, verwenden die Wissenschaftler\*innen eher Metaphern, die sich darauf beschränken, dass „Energie in manchen Formen eine Ressource darstellt“ (Amin, 2009, S. 180). Auch Wernecke u. a. (2018) stellen in ihrer Studie Unterschiede in der Art der Verwendung der metaphorischen Konzepte zum Energietransfer in Ökosystemen fest. Neben den auch bei Lancor (2015) und Trauschke (2016) zu findenden Metaphern des *Energieflusses* und *Energieverlusts* untersuchen Wernecke u. a. (2018) noch zwei weitere metaphorische Konzepte auf ihren Wert für Lehr-Lernsituationen: ‚Energiefluss IST kein Kreislauf‘ und ‚Energiefluss IST eine Einbahnstraße‘. Wie bei Lancor (2015) und Trauschke (2016) werden die Metaphern sowohl von den Schüler\*innen als auch in den Fachbüchern verwendet. Interessant sind die Unterschiede in der Art der Verwendung. So wird nach Wernecke u. a. (2018) die Energieflussmetapher von den Fachbüchern immer genutzt, um das Prozesshafte hervorzuheben. Die Schüler\*innen scheinen – wie die fachfremden Personen bei Lancor (2015) – die Metapher eher im Sinne einer tatsächlichen Substanz zu verstehen. Das metaphorische Konzept ‚Energiefluss IST kein Kreislauf‘ beinhaltet eine Negation und wird von den Schüler\*innen bisweilen ohne die Negation in seiner gegenteiligen Form ‚Energiefluss IST ein Kreislauf‘ verwendet. Im Gegensatz zu den Fachtexten wird das metaphorische Konzept ‚Energiefluss IST eine Einbahnstraße‘ allerdings kaum verwendet und scheint für die Schüler\*innen nicht oder schlecht nachvollziehbar zu sein. In Bezug auf die Verlustmetapher (Energie als Substanz, die verloren gehen kann) zeigen die Ergebnisse von Wernecke u. a. (2018, S. 11), dass bei den Fachbüchern immer der Bezug zu einem System und/oder zur Energieerhaltung hergestellt wird. Die Schüler\*innen verwenden diese Metapher hingegen ohne diese Bezüge.

#### 4.2 Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern

Die Anzahl an Studien, welche Vorstellungen mit Bezug zur Energiewende oder Teilaspekten der Energiewende mit-(erheben), sind überschaubar (s. Tabelle 6). In diesen Studien stehen oft andere Ziele, wie die Entwicklung eines Testinstrumentes oder eine Erhebung von Energy Literacy, im Vordergrund. Die für diese Arbeit relevanten Ergebnisse über Vorstellungen von Lernenden im Energiewendekontext sind häufig ein Nebenprodukt der genannten Erhebungsziele. Der Anteil qualitativer Forschung ist eher gering.

**Tabelle 6 Studien zu Teilaspekten der Energiewende**

Studie	Ziel der Erhebung		Stichprobe
Davis (1985)	Einstellungen und Wissen zum Energiesparen	Fg *	n=213 8.-10 Kl., AU
Jiménez-Aleixandre & Gallástegui-Otero (1995)	Evaluation Programm zum Energiesparen	Fo	n=33 15-16 J, ES
Menthe (2006)	Schüler*innen-Vorstellungen zu Energie und Regenerativität (Pilotstudie im Rahmen einer Dissertation zu Urteilen im Chemieunterricht)	Fo	n=105 Alter?, DEU
Boylan (2008)	Vorstellungen zu Energie, Klimawandel	Fg	n=132 3.-6. Kl., AU
DeWaters & Powers (2011)	Energy Literacy	Fg	n=3708 6.-12. Kl., US
Yuenyong u. a. (2011)	Nationale Sozialisation und Vorstellungen zu Energie	Fg o,l	n=42/30 9. Kl., TH/NZ
Bodzin (2012)	Wissen über Energieressourcen	Fg	n=1043 13-15 J, US
Tortop (2012)	Vorstellungen zu erneuerbaren Energieträgern	Fo	n=127 9.-11. Kl., TR
Zyadin u. a. (2012)	Einstellungen, Wahrnehmung, Wissen zu erneuerbarer Energie	Fg	n=617 15-17 J, JO
Lay u. a. (2013)	Energy Literacy	Fg	n=276 8. Kl., MYS
Cheong u. a. (2014)	Diagnoseinstrument für Vorstellungen zu erneuerbarer Energie	Fg	n=491 15-19 J, BN
Aguirre-Bielschowsky u. a. (2017)	Energy Literacy	l	n=26 9-10 J, NZ
Çelikler & Aksan (2015)	Meinung, Wissen zu erneuerbaren Energien	Fg o	n=225/220 7./8. Kl., TR
Chen u. a. (2015)	Energy Literacy	Fg	n=675 15-16 J, TW
Hüfner u. a. (2016)	Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energien	l	n=27 13-14 J, DEU
Merritt u. a. (2019)	Energy Literacy nach einer Unterrichtseinheit zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern	Fo	n=101 4. Kl., US
* F = Fragebogen; g = geschlossene Fragen; o = offene Fragen, l = Interviews			

Aufgrund der fachlichen Unklarheiten (s. Kapitel 3.1.3) der Begriffe ‚Energie‘, ‚erneuerbar‘, ‚Energieträger‘ und ‚Energiequelle‘ ist es wenig verwunderlich, dass es den Lernenden schwer fällt, eine fachlich angemessene Definition des Begriffes ‚erneuerbare Energien‘ aus vorgegebenen Items auszuwählen (Bodzin, 2012; S.-J. Chen u. a., 2015; DeWaters & Powers, 2011; Lay u. a., 2013). Außerdem zeigen sich in den aufgeführten Studien Probleme der Proband\*innen, verschiedene Energiequellen – wie zum Beispiel Erdgas oder Geothermie als erneuerbar bzw. nicht erneuerbar – zu identifizieren (s. Tabelle 7).

**Tabelle 7 Vorstellungen zur Erneuerbarkeit von Energieträgern**

Vorstellungen	Prozentuale Zustimmung der Studienteilnehmer*innen
Kohle ist erneuerbar	Boylan (2008): 28 %, DeWaters & Powers (2011): 50,8 %/36,2 %, Lay u. a. (2013): 64,1 % Çelikler & Aksan (2015): 11,5 %, Chen u. a. (2015):18,67 %, Zyadin u. a. (2012): 18 %
Erdgas ist erneuerbar	Boylan (2008): 52 %, Bodzin (2012): 63,7 %, Tortop (2012), Çelikler & Aksan (2015): 22,7 %, Zyadin u. a. (2012): 35 %
Erdöl/Benzin ist erneuerbar	Boylan (2008): 34 %, Bodzin (2012): 49 %, Çelikler & Aksan (2015): 12,1 %, Zyadin u. a. (2012): 15 %
Nuklearenergie ist erneuerbar	Boylan (2008): 59 %, Cheong u. a. (2014): 12 %, Çelikler & Aksan (2015): 12,6 %, Zyadin u. a. (2012): 23 %
Solarenergie ist nicht-erneuerbar	Boylan (2008): 11 %
Windenergie ist nicht-erneuerbar	Boylan (2008): 23 %
Wasserenergie ist nicht-erneuerbar	Boylan (2008): 29 %
Geothermische Energie ist nicht-erneuerbar	Zyadin u. a. (2012): 22 %

Auch wenn sich diese Probleme in allen Studien zeigen, schwanken die Prozentzahlen unangemessener Zuordnungen zwischen den einzelnen Studien erheblich. Beispielsweise halten in der Studie von Boylan (2008) 59 % der Schüler\*innen Kernenergie für erneuerbar, während dieser Meinung in der Studie von Çelikler und Aksan (2015) nur 12,6 % sind. Hier spielen sicherlich kulturelle Bewertungsunterschiede und die geographische – insbesondere lokale – Verbreitung der Nutzung bestimmter Energieträger eine Rolle (Skamp u. a., 2019). Auch andere Aspekte, wie zum Beispiel die Präsenz bestimmter Energiequellen in den Medien, wie die Kernkraft nach den Unfällen in den Atomkraftwerken in Fukushima im Jahr 2011, spielen bei dieser Einordnung eine große Rolle. Die Interpretation dieser Unterschiede gestaltet sich dennoch schwierig, da die Schüler\*innen die Entscheidung in einem Multiple-

Choice-Verfahren getroffen haben und diese nicht begründen mussten. Menthe (2006, S. 42–45) lässt in seiner in Deutschland durchgeführten Studie Schüler\*innen begründen, warum in einem vorgegebenen Beispiel bestimmte Energiequellen als erneuerbar oder nicht-erneuerbar klassifiziert werden. Er fand bei den Schüler\*innen drei verschiedene Kategorien von Vorstellungen zu fossilen Brennstoffen („verursachen Umweltverschmutzung“; „sind endlich“; „sind nach der Verwendung weg“ (Menthe, 2006, S. 42–45)) und zwei Kategorien zu erneuerbaren Energien („mehrfach nutzbar“; „natürlich“ (Menthe, 2006, S. 42–45)). Die Umweltverschmutzung bei der Erklärung der Zuordnung zu fossilen Brennstoffen wurde von allen Kategorien bei Menthe (2006, S. 43) am wenigsten erwähnt. Dies deckt sich mit den Beobachtungen von Aguirre-Bielschowsky, Lawson, Stephenson und Todd (2017), bei welchen nur wenige der Schüler\*innen Energiequellen in den Zusammenhang mit Umweltauswirkungen brachten.

#### 4.3 Vorstellungen zum globalen Kohlenstoffkreislauf

Die oben angesprochenen Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energiequellen sind insbesondere bei fossilen Brennstoffen eng an globale Kohlenstoffströme gekoppelt. Dieser Zusammenhang scheint für Schüler\*innen schwer verständlich zu sein. Dementsprechend fällt es den Lernenden schwer zu erkennen, dass die Nutzung erneuerbarer Energiequellen mit weniger Treibhausgasemissionen verbunden ist, als die Nutzung fossiler Brennstoffe (Cheong u. a., 2014, S. 228) und wie dies mit dem unterschiedlichen Kohlenstoffgehalt zusammenhängt. Auch dass bei allen Energiequellen – auch erneuerbaren – in allen Phasen des ‚Lebenszyklus‘ (z. B. von der Förderung der Energieträger über deren Transport bis hin zu Kraftwerksbau, -betrieb und -abbau) Treibhausgase emittiert werden, ist den Schüler\*innen nicht bewusst (Cheong u. a., 2014, S. 228). Möglicherweise liegt dieser Umstand unter anderem auch daran, dass es den Lernenden beim Kontext ‚Kohlenstoffkreislauf‘ anscheinend schwerfällt, chemische Aspekte zu erkennen und Bezüge zu ihrem chemischen Wissen herzustellen. In der Studie von You, Delgado und Marshall (2017) konnten die Schüler\*innen in diesem Zusammenhang eher auf ihr biologisches Vorwissen zurückgreifen und hatten Probleme den Kohlenstoffkreislauf unter einer interdisziplinären Perspektive zu betrachten. Nichtsdestotrotz scheint ein naturwissenschaftliches (insbesondere ökologisches-biologisches Grundwissen) für das Erkennen der Zusammenhänge zwischen Kohlenstoffdioxidemissionen und Energienutzung entscheidend zu sein. So stellten Lee, Chang, Lai, Guu und Lin (2015) fest,

dass Berufsschüler\*innen mit landwirtschaftlichen Bezügen mehr Wissen zum Zusammenhang zwischen Energie (sparen) und Kohlenstoffdioxidemissionen haben als Schüler\*innen anderer Fachrichtungen ohne biologischen Bezüge.

Nach Niebert (2010) nutzen sowohl Wissenschaftler\*innen als auch Schüler\*innen verschiedene metaphorischen Konzepte im Zusammenhang mit dem Kohlenstoffkreislauf. So wird in den von ihm untersuchten wissenschaftlichen Texten durchgehend das SPEICHER-FLUSS-Schema zur Beschreibung des globalen Kohlenstoffkreislaufs und dementsprechend das metaphorische Konzept ‚fossile Energieträger SIND Kohlenstoffspeicher‘ genutzt (Niebert, 2010, S. 48). Auch das ZYKLUS-Schema wird von den Wissenschaftler\*innen in einem Verständnis genutzt, dass es einen bzw. mehrere globale Kohlenstoffkreisläufe gibt (Niebert, 2010, S. 51). Für die Beschreibung des anthropogenen Anteils des Kohlenstoffkreislaufs wird dahingegen eher das START-WEG-ZIEL-Schema im Sinne eines Kohlenstoffflusses von einem in den anderen Behälter herangezogen. So gelangen durch die Verbrennung bzw. Nutzung fossiler Brennstoffe aus dem Kohlenstoff-Behälter ‚fossile Brennstoffe‘ in den Kohlenstoff-Behälter ‚Atmosphäre‘ (Niebert, 2010, S. 50). Durch diesen zusätzlichen Kohlenstofffluss in die Atmosphäre entsteht ein Ungleichgewicht im Speicher-Fluss-System, das heißt, hier wird zusätzlich das GLEICHGEWICHTS-Schema herangezogen (Niebert, 2010, S. 55). Auch die Schüler\*innen greifen zur Konstruktion ihrer Vorstellungen auf das START-WEG-ZIEL-Schema, das KREISLAUF-Schema, das GLEICHGEWICHTS-Schema und zusätzlich auf das NATÜRLICH-KÜNSTLICH Schema zurück. Aus fachlicher Sicht problematisch ist hierbei, dass einige der Schüler\*innen zwischen natürlichem und künstlichem und pflanzennahem bzw. pflanzenfernem Kohlenstoffdioxid unterscheiden und demzufolge den anthropogenen Kohlenstofffluss oft eher isoliert betrachten (Niebert, 2010, S. 101). Niebert (2010, S. 140–145) schlägt vor, das SPEICHER-FLUSS-Schema in einem Modellversuch aktiv zu nutzen, um ein fachlich angemessenes Verständnis des Kohlenstoffkreislaufs bei den Schüler\*innen zu fördern. Im Kontext der Energiewende liegt der Fokus hauptsächlich auf dem Kohlenstofffluss in die Atmosphäre, der durch die Nutzung fossiler Brennstoffe (bzw. während des Lebenszyklus aller Energiequellen) entsteht. Insofern stellt sich die Frage, ob es hier notwendig ist, den globalen Kohlenstoffkreislauf in den Blick zu nehmen.

Ähnlich wie bei den Vorstellungen zu Energie scheint es auch in Bezug auf die Erhaltung der Masse bei Verbrennungsreaktionen schwierig für die Schüler\*innen zu sein, dieses Phänomen fachlich angemessen gedanklich zu konstruieren. Zum Beispiel scheint es für die Lernenden

problematisch zu erklären, was mit einer Substanz passiert, wenn diese verbrannt wird und das Reaktionsprodukt nicht mit den eigenen Sinnen wahrgenommen werden kann (Löfgren & Helldén, 2008). Außerdem wird im allgemeinen Sprachgebrauch beispielsweise von verbrennen gesprochen, was impliziert, dass die Materie verschwunden ist. Ähnlich wie Wernecke u. a. (2018) dies für die Metapher des Energieverlustes postulieren, vermuten auch Löfgren und Helldén (2008), dass die Metapher des Materialverlustes unter Umständen lediglich den Verlust in Bezug auf das betrachtete System betonen soll und somit dem Fokus der\*des Betrachtenden geschuldet ist. So rekonstruiert Niebert (Niebert, 2010) in seiner Studie zum Klimawandel unter der Perspektive des anthropogenen Anstiegs der Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre die metaphorischen Konzepte „Verbrennen IST Freisetzen“, „Verbrennen IST Entstehen“ und „Verbrennen IST Umwandeln“ (S. 99). Die Herausforderungen, die sich für die Schüler\*innen aus den (vermeintlichen) Gemeinsamkeiten von Energie- und Substanzkonzepten ergeben, sollen im nächsten Abschnitt genauer betrachtet werden.

#### 4.4 Vorstellungen zum Zusammenhang von Stoff- und Energieflüssen in Systemen

Die mit der Energiewende in engem Zusammenhang stehenden naturwissenschaftlichen Konzepte zu Energie, erneuerbaren Energiequellen und dem Kohlenstoffkreislauf scheinen für Schüler\*innen eine große Herausforderung darzustellen (s. o.). Besonders erschwerend kommt hinzu, dass Energie- und Kohlenstofffluss für die Schüler\*innen konzeptuell schwer voneinander zu trennen sind (z. B. Jin & Anderson, 2012; Trauschke, 2016; Zangori, Peel, Kinslow, Friedrichsen, & Sadler, 2017). Selbst Wissenschaftler\*innen trennen Material- und Energiefluss sprachlich nicht immer eindeutig (Trauschke, 2016). Die konzeptuelle Trennung ist für Lernende insbesondere im Zusammenspiel von lebenden und unbelebten Systemen schwierig (Lin & Hu, 2003). Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass es für die Schüler\*innen schwierig ist, das im Biologieunterricht erworbene Wissen über den Energiefluss und die Stoffkreisläufe in Ökosystemen auf interdisziplinäre Kontexte zu übertragen (You u. a., 2017). Auch umgekehrt scheint die Übertragung problematisch. So konnten Huang, Chou, Yen und Bai (2012) keine Effekte einer Unterrichtseinheit zu Energiesparen und Kohlenstoffreduktion auf das Energieverstehen nachweisen.

Energiekonzept und Kohlenstoffkreislauf scheinen für sich alleine und in Kombination für die Schüler\*innen mit einer Vielzahl von Hürden für ein angemessenes Verständnis verbunden zu sein. In diesem Zusammenhang werden sowohl von den Lernenden als auch von Wissenschaftler\*innen vielfältige Metaphern verwendet. Diese können Aufschluss über die Ursachen der Vorstellungen geben. Je nach Einsatz der Metaphern können diese Hindernisse aber auch Chancen für die Rekonstruktion eines in fachlichen Kontexten hilfreichen Verständnisses darstellen.

#### 4.5 Forschungslücke

Welche Herausforderungen und Chancen ergeben sich aus dem theoretischen Rahmen zum Lehren und Lernen der Energiewende? Welche Fragen bleiben nach dem derzeitigen Stand der fachdidaktischen Forschung unbeantwortet? Dies wird im Folgenden erörtert.

Im fachlichen Rahmen (s. Kapitel 3.1) zeigt sich, dass grundlegende Fachbegriffe, wie ‚Energie‘, ‚erneuerbar‘, ‚Energieträger‘ sowie ‚Energiequelle‘ uneindeutig sind. Es existiert zu vielen Aspekten kein fachlich einheitliches Verständnis. Auch für Lernende scheint es schwierig zu sein, Fachbegriffe wie ‚erneuerbare Energieträger‘ zu verstehen (s. Kapitel 4.2).

Aus den beschriebenen Problemen ergibt sich die Notwendigkeit, Lernangebote zu entwickeln, die ein naturwissenschaftliches Verstehen erneuerbarer Energieträger und der Energiewende unterstützen. Ein gemäßigt konstruktivistisches Grundverständnis begreift die individuellen Vorstellungen der Lernenden als Voraussetzungen für das Lernen. Diese müssen bei der Entwicklung von Lernangeboten berücksichtigt werden (s. Kapitel 3.2.1 und 3.2.3). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion sieht – neben den Vorstellungen von Lernenden – die fachlich geklärten Vorstellungen aus wissenschaftlicher Perspektive als Voraussetzung für eine didaktische Strukturierung von Lernangeboten (s. Kapitel 3.2.2).

Es existieren zahlreiche Studien, die Vorstellungen von Schüler\*innen zum Basiskonzept Energie und naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien wie Stoffkreisläufen und Energiefluss untersuchen (s. Kapitel 4.1 bis 4.4). Dahingegen fehlen Untersuchungen, die speziell die Energiewende mit Fokus auf die Umstellung der Energiequellen zum Gegenstand haben. Aus den Untersuchungen der Einzelfragen vorangegangener Studien lassen sich nur zu diesen Einzelaspekten Handlungsempfehlungen für Lehr-Lernkontexte ableiten. Handlungsempfehlungen für Lernangebote zur Energiewende fehlen.



Vorstellungen zu abstrakten Gegenständen wie der Energiewende basieren auf konkreten Erfahrungen (s. Kapitel 3.2.4). Die Rekonstruktion dieser erfahrungsbasierten Hintergründe ermöglicht zu verstehen, wie Vorstellungen zu Stande kommen. Im Kontext der Energiewende ist offen, auf welchen Erfahrungen Vorstellungen beruhen. Wie verschiedene Studien zeigen (Niebert, 2010; Trauschke, 2016; Wernecke u. a., 2018), können Metaphern Aufschlüsse auf diesen Erfahrungshintergrund geben und ermöglichen somit konkrete Empfehlungen, welche metaphorischen Konzepte hilfreich für ein fachlich angemessenes Verstehen sind und somit aktiv genutzt werden sollten. Andererseits können aber auch metaphorische Konzepte identifiziert werden, welche für die Lernenden hinderlich sind und dementsprechend entweder vermieden oder aktiv kritisch reflektiert werden sollten.

Zusammenfassend lassen sich folgende Forschungslücken erkennen: Erstens liegen bislang keine Untersuchungen zur Bandbreite an Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern aus Perspektive der Lernenden vor. Zweitens ist unerforscht, was die Hintergründe dieser Vorstellungen sind und wie sich diese erklären lassen. Drittens wurden die Vorstellungen und die entsprechenden Hintergründe aus wissenschaftlicher Perspektive bislang nicht systematisch erfasst und den Vorstellungen der Lernenden vergleichend gegenübergestellt.

## 5 Forschungsfragen

Wenn Lehrkräfte Schüler\*innen im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichtes darauf vorbereiten wollen, beruhend auf naturwissenschaftlich angemessenen Vorstellungen verschiedene Energiewendeszenarien bewerten zu können und an gesellschaftlichen Debatten zur Energiewende teilzuhaben, müssen wir – nach einem gemäßigt konstruktivistischen Lernverständnis – an den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden anknüpfen. In allen bisherigen Studien (s. Kapitel 4) bleibt die Frage ungeklärt, welche Vorstellungen bei Schüler\*innen hinter den Zuordnungen der Energieträger zu den Kategorien erneuerbar und nicht-erneuerbar stehen und wie sich diese im Vergleich zu Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen verhalten. Für hilfreiche Lernangebote, die angemessene naturwissenschaftliche Vorstellungen zu den verschiedenen Energiequellen im Kontext der Energiewende fördern, ist es wichtig, konzeptuelle Lernvoraussetzungen zu ergründen. Hierfür ist es hilfreich auch die erfahrungsbasierten Grundlagen der

entsprechenden Vorstellungen zu rekonstruieren (s. Kapitel 3.2.4). Hieraus ergibt sich folgende erste Forschungsfrage:

1. Welche Vorstellungen lassen sich bei Schüler\*innen rekonstruieren, wenn diese über erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger sprechen? Welchen erfahrungsbasierten Hintergrund haben diese Vorstellungen?

Es muss zusätzlich geklärt werden, welches fachlich angemessene Vorstellungen sein könnten, die in Vermittlungskontexten hilfreich sind. Aus gemäßigt konstruktivistischer Perspektive ist es hierfür erforderlich, die in sozialen Aushandlungsprozessen innerhalb der Scientific Community geteilten Vorstellungen von Wissenschaftler\*innen zu analysieren, woraus sich eine weitere Forschungsfrage ergibt:

2. Welche Vorstellungen lassen sich bei Wissenschaftler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern im Kontext der Energiewende rekonstruieren? Welchen erfahrungsbasierten Hintergrund haben diese Vorstellungen?

Um aus den verschiedenen Vorstellungen konkrete Leitlinien für Vermittlungssequenzen abzuleiten, ist es notwendig die Ergebnisse der beiden obigen Unterfragen miteinander in Beziehung zu setzen, woraus sich eine dritte Forschungsfrage ergibt:

3. Wie unterscheiden sich die Vorstellungen und die erfahrungsbasierten Hintergründe der Schüler\*innen und Wissenschaftler\*innen? Lassen sich auffällige Unterschiede und/oder Gemeinsamkeiten finden? Welche Lernhindernisse und welche Lernchancen können aus diesem Vergleich abgeleitet werden?

Die Fragen entsprechen den drei Seiten des Modells der didaktischen Rekonstruktion (s. Kapitel 3.2.2). Das methodische Vorgehen zur Beantwortung der einzelnen Fragen wird im Forschungsdesign näher ausgeführt.

## 6 Forschungsdesign

Der Fokus meiner Arbeit liegt auf der Untersuchung von Vorstellungen von Schüler\*innen und Wissenschaftler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern. Die entsprechenden gedanklichen Konstrukte sollen in ihrer Vielfalt und Bandbreite erfasst

werden. Bei der Analyse steht im Vordergrund, unbekannte Aspekte und Zusammenhänge in den Vorstellungen zu entdecken und die zu Grunde liegenden Erfahrungen zu erkunden. Für einen dementsprechend explorativen Ansatz eignen sich vor allem qualitative Forschungsmethoden (Flick, Kardorff, & Steinke, 2013). Die Rekonstruktionen aus diesem explorativen Vorgehen sollen genutzt werden, um einerseits Hinweise auf die Entstehung der Vorstellungen zu bekommen und andererseits Ansatzpunkte für die Veränderung von Vorstellungen zu identifizieren.

## 6.1 Berücksichtigte Gütekriterien

Nach Steinke (2007) und Flick (2007) gibt es in der qualitativen Forschung verschiedene Auffassungen darüber, an welchen Qualitätskriterien sich qualitative Forschungsprojekte messen lassen sollten. In meiner Arbeit orientiere ich mich nicht an den klassischen Kriterien quantitativer Forschung (Objektivität, Validität und Reliabilität), sondern an spezifischen Kriterien für die qualitative Forschung nach Steinke (2007, S. 181–187), ergänzt um die für die jeweiligen Analysemethoden spezifisch formulierten Qualitätskriterien (Kuckartz, 2016; Schmitt, 2017; Schmitt, Schröder, & Pfaller, 2018).

### *Indikation der Methoden*

Für alle Forschungsprojekte – qualitativ wie quantitativ – gilt die Maßgabe, dass die gewählten Erhebungs- und Auswertungsmethoden angemessen sein sollen (Steinke, 2007, S. 181). Sie müssen den Zielen der Forschungsfragen (s. Kapitel 5) und dem theoretischen Hintergrund (s. Kapitel 2) der Arbeit entsprechen. Um die Auswahl der einzelnen Erhebungs- und Auswertungsmethoden nachvollziehbar zu machen und ihre Angemessenheit in Bezug auf die Ziele der Arbeit zu belegen, werden die einzelnen Methodenentscheidungen im jeweiligen Abschnitt dieses Kapitels genau dargelegt und begründet. Bei diesen Begründungen wird auch Bezug auf das Zusammenspiel und die Passung der unterschiedlichen Methoden miteinander genommen. Auch in Bezug auf die Samplingstrategie und die Auswahl der Transkriptionsregeln wird dargestellt, inwiefern das jeweilige Vorgehen von den Zielsetzungen und den gewählten Auswertungsmethoden abgeleitet wurden.

### *Empirische Verankerung*

Die Auswertung der Ergebnisse folgt in beiden angewandten Verfahren einem systematischen, regelgeleiteten Vorgehen (Mayring, 2015; Schmitt, 2017). Die

Vorgehensweisen werden in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 jeweils genau beschrieben. Im Ergebnisteil (s. Kapitel 7-8) werden empirische Belege mit entsprechenden Beispielen angeführt. Auch die Heuristiken, die zum Vergleich der Ergebnisse genutzt werden (s. Kapitel 7.3, 8.3.3 und 8.4.3), beziehen sich mit entsprechenden Verweisen auf das Auswertungsmaterial. Im Anhang sind weitere Textbelege aufgeführt und dabei auch abweichende oder widersprüchliche Beispiele miteingeschlossen.

### *Verallgemeinerbarkeit*

Zur Qualität einer wissenschaftlichen Studie gehört die theoretisch, empirisch und methodisch begründete Darstellung, wofür die Analyseergebnisse repräsentativ sind und wo die Grenzen der Verallgemeinerbarkeit liegen. Nach Mayring (2007) soll genau dargelegt werden, inwiefern eine Generalisierung der Ergebnisse intendiert ist und wie die Studie prozedural zu dieser Verallgemeinerung kommt. Aus den Forschungsfragen (s. Kapitel 5) der vorliegenden Studie lässt sich ableiten, dass eine Verallgemeinerung der Ergebnisse in Form von Leitlinien für den naturwissenschaftlichen Unterricht erzielt werden soll. Die Leitlinien sollen in Lehr-Lernsituationen zur Energiewende ein angemessenes Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern fördern. Es geht in dieser Studie also darum, kontextspezifische Aussagen aus dem Material abzuleiten. Diese Aussagen werden in einem systematischen, mehrschrittigen Verfahren rekonstruiert, das auf dem Forschungsrahmen der didaktischen Rekonstruktion beruht (s. Kapitel 3.2.2). Neben der Rekonstruktion von Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern werden die gedanklichen Muster systematisch auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten untersucht (vgl. Mayring, 2007). Im Vergleich werden sowohl die Ergebnisse aus den verschiedenen Analysen (Qualitative Inhaltsanalyse s. Kapitel 6.5.1, systematische Metaphernanalyse s. Kapitel 6.5.2) einander gegenübergestellt als auch die Vorstellungen der Lernenden denen der Wissenschaftler\*innen. Durch dieses interpretierende und vergleichende Vorgehen können Regelmäßigkeiten abgeleitet und für den Unterricht nutzbar gemacht werden. Das prozedurale Vorgehen soll die Verallgemeinerbarkeit für den Lehr-Lern-Kontext sicherstellen. Um dieses strategische Vorgehen offen zu legen, wird im Folgenden (s. Kapitel 6.3 und 6.4) die Sampling-Strategie begründet abgeleitet und dargestellt. In der Diskussion der Ergebnisse werden die auf Grundlage der verschiedenen Auswertungsmethoden gewonnenen Ergebnisse verglichen, diskutiert und miteinander in Beziehung gesetzt. Zur Erörterung der Verallgemeinerbarkeit

und deren Grenzen wird in der Diskussion außerdem der aktuelle Stand der Forschung miteinbezogen. Dabei wird dargelegt, inwiefern bestimmte Ergebnisse durch andere Studien gestützt werden oder es gegebenenfalls auch widersprüchliche Studienergebnisse gibt. In Kapitel 9 werden die Grenzen der Studie diskutiert.

### *Intersubjektive Nachvollziehbarkeit*

Bei einer qualitativen Studie kann nicht davon ausgegangen werden, dass Daten genau repliziert werden können, da zu viele Faktoren variabel (z. B. situativ bestimmt) sind. Nach Steinke liegt deshalb der Fokus darauf, den Forschungsprozess in allen Einzelheiten für dritte Personen nachvollziehbar zu machen (Steinke, 2012, S. 324). Eine große Rolle für die Nachvollziehbarkeit spielt eine genaue Dokumentation, die sich über alle Prozessstufen des Forschungsprojektes erstreckt. In den folgenden Kapiteln wird genau beschrieben, wie die einzelnen Schritte im Forschungsprozess nach welchen Regeln dokumentiert wurden. Die Darstellung wird durch in Auszügen in den Text eingebundene oder im Anhang inkludierte Dokumente gestützt. Auch Probleme im Forschungsprozess und daraus resultierende Entscheidungen werden dargelegt.

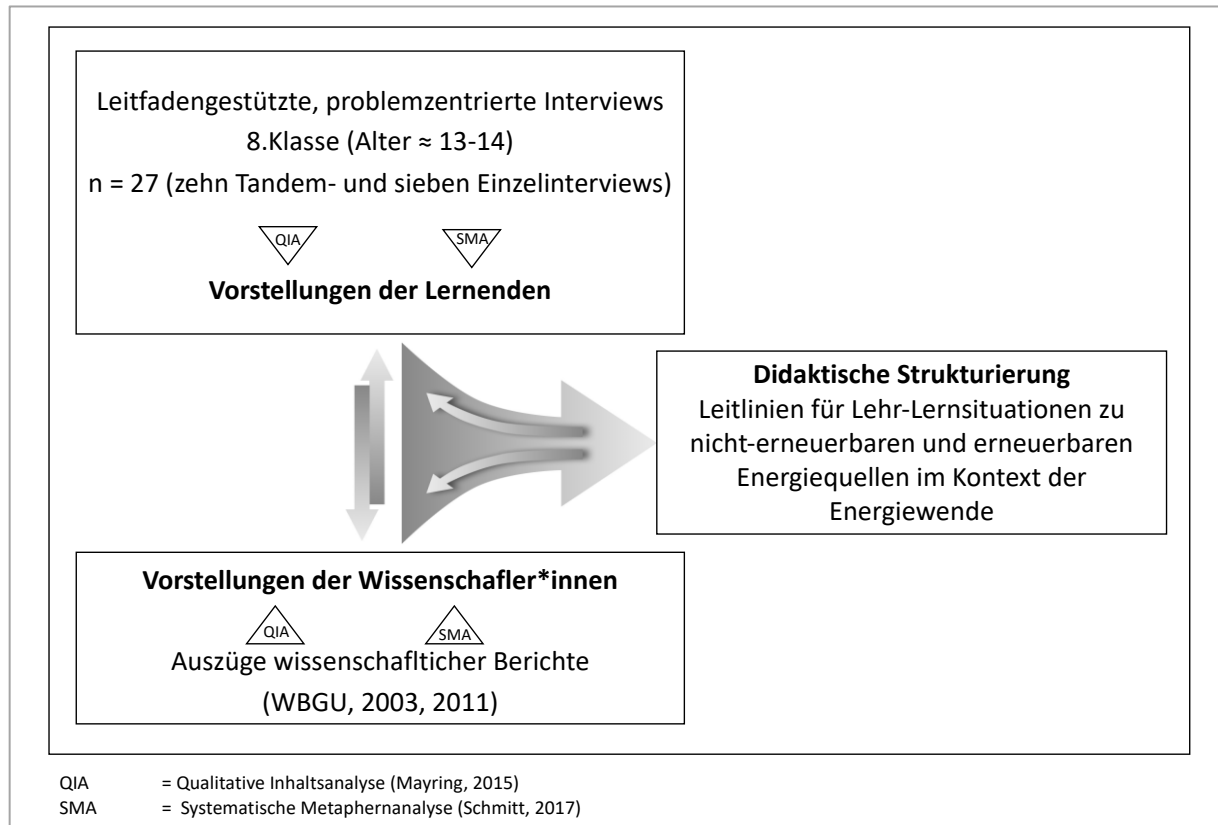
Nach Steinke (2012) sind die Interpretation des Materials in Gruppen und die Verwendung kodifizierender Verfahren weitere Maßnahmen, die die intersubjektive Nachvollziehbarkeit erhöhen. In den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 wird vorgestellt, wie diese beiden Punkte zur Erhöhung der Nachvollziehbarkeit im Forschungsprozess berücksichtigt wurden.

## 6.2 Konsequenzen aus dem Modell der didaktischen Rekonstruktion

Das Modell der didaktischen Rekonstruktion erfüllt in dieser Studie zwei grundlegende Funktionen. Zum einen betont das Modell, dass die Arbeit erkenntnistheoretisch in einem gemäßigt konstruktivistischen Rahmen zu sehen ist (s. Kapitel 3.2.1). Zum anderen bestimmt das Modell als Forschungsrahmen das Vorgehen zur Erhebung und Analyse der Daten. Mit der zu Grunde liegenden Vermittlungsabsicht zwischen der Perspektive der Lernenden und der wissenschaftlichen Perspektive lassen sich viele methodische Entscheidungen begründen.

Da in dieser Arbeit kognitive Aspekte und das Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende im Fokus stehen, ziehe ich für die Analyse der Perspektive der Schüler\*innen und die wissenschaftliche Perspektive Vorstellungen (s. Kapitel 3.2.3) heran und rekonstruiere die entsprechenden erfahrungsbasierten Hintergründe. In diesem Kapitel

befindet sich ein Überblick über das Forschungsdesign im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion. Die hier bereits aufgeführten Methoden werden in den folgenden Kapiteln genauer ausgeführt und begründet.



**Abbildung 4 Überblick über das Forschungsdesign**

Die *Perspektive der Lernenden* wird in dieser Arbeit durch die erste Forschungsfrage adressiert. Das Ziel ist die Rekonstruktion der vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schüler\*innen von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen und die erfahrungsbasierten Grundlagen dieser Vorstellungen. Dementsprechend wird in meinem Forschungsdesign die Perspektive auf den kognitiven Aspekt der Vorstellungen beschränkt. Genauere Erläuterungen zum Forschungsfeld und zur Erhebung und Analyse der Vorstellungen der Schüler\*innen befinden sich in den Kapiteln 6.3 und 6.5.

Die *Perspektive der Wissenschaftler\*innen* wird in meiner Arbeit mit der zweiten Forschungsfrage adressiert. Es geht darum, die wissenschaftlichen Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen im Kontext der Energiewende zu explorieren und zu analysieren. Dabei werden auch die erfahrungsbasierten Hintergründe der wissenschaftlichen Vorstellungen rekonstruiert. Die Ergebnisse der Analyse der Perspektive der Lernenden (s. erste Forschungsfrage) werden in der Analyse der Wissenschaftsperspektive

von Anfang an berücksichtigt. Sie werden bei der Festlegung des methodischen Vorgehens und der Auswahl der Vorstellungen für die weitere Analyse unter Vermittlungsabsicht miteinbezogen. Genauere Erläuterungen zur Erhebung und Analyse der Vorstellungen der Wissenschaftler\*innen befinden sich in den Kapiteln 6.4 und 6.5.

Das übergeordnete Ziel dieser Arbeit bezieht sich auf die *Perspektive der Lehr-Lernsituationen*: die didaktische Strukturierung. Im Rahmen dieser Arbeit sollen Leitlinien bestimmt werden, die bei der Entwicklung von Lerngelegenheiten beachtet werden sollten, um die Lernenden beim Aufbau fachlich angemessener und anschlussfähiger Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen im Kontext der Energiewende zu unterstützen. Die Perspektive der Wissenschaftler\*innen und die Perspektive der Schüler\*innen werden im Modell der didaktischen Rekonstruktion als Quellen zur Konstruktion von Unterricht gesehen und dabei beide gleichwertig behandelt (Gropengießer, 2008). Dementsprechend müssen für die didaktische Strukturierung beide Perspektiven berücksichtigt werden. Dieser Ansatz wird in der dritten Forschungsfrage aufgegriffen, die auf dem Vergleich der Perspektive der Wissenschaftler\*innen und der Perspektive der Schüler\*innen beruht (s. Kapitel 5). Dabei werden Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen analysiert. Aus dieser Kontrastierung der beiden Perspektiven lassen sich für die didaktische Strukturierung Ansatzpunkte ableiten, die lernhinderliche Elemente vermeiden und lernförderliche Elemente aufgreifen.

### 6.3 Erhebung der Vorstellungen der Schüler\*innen

Zur Analyse der Vorstellungen zu nicht-erneuerbaren und erneuerbaren Energiequellen aus der Perspektive der Schüler\*innen ist die Erhebung bzw. Auswahl geeigneter Daten nötig, aus denen diese gedanklichen Konstrukte rekonstruiert werden können. Oben wurde bereits dargelegt, dass aufgrund des explorativen Charakters qualitative Forschungsmethoden herangezogen werden. Im Folgenden lege ich entsprechend der berücksichtigten Qualitätskriterien (s. Kapitel 6.1) die Entscheidungen und theoretischen Begründungen für die spezifischen Erhebungsmethoden genauer dar.

#### 6.3.1 Forschungsfeld

Bezüglich der Perspektive der Schüler\*innen geht es in dieser Arbeit darum, die Vorstellungen der Schüler\*innen zu erfassen, bevor das Thema Energiewende im naturwissenschaftlichen

Unterricht der Sekundarstufe I behandelt wurde, um den Ausgangspunkt für die Gestaltung von Lerngelegenheiten zu rekonstruieren. Zur Erfassung vorunterrichtlicher Vorstellungen wählte ich für meine Stichprobe Schüler\*innen der 8. Klasse aus, da diese entsprechend den niedersächsischen Kerncurricula (Niedersächsisches Kultusministerium, 2012, 2013, 2015) in den Fächern Chemie, Physik und Biologie bereits erste Grundlagen zum Thema Energie aus der entsprechenden fachlichen Perspektive gelernt haben. Inhalte mit explizitem Bezug zur Energiewende – wie zum Beispiel erneuerbare Energieträger – sind dagegen erst für höhere Klassenstufen vorgesehen. Um eine möglichst große Vielfalt an Schüler\*innen-Vorstellungen zu erfassen, wählte ich für die Untersuchung drei verschiedene Schulen unterschiedlicher Schulformen (Oberschule, Integrierte Gesamtschule, Gymnasium) aus der Stadt Lüneburg und der ländlichen Umgebung von Lüneburg aus. Für den Zugang zum Feld nutzte ich persönliche Kontakte zu Lehrpersonen, was die Auswahl der konkreten Schulen mitbestimmte. In den jeweiligen 8. Klassen der angesprochenen Lehrpersonen nahmen alle Schüler\*innen an der Studie teil, die sich freiwillig dazu bereit erklärten und eine schriftliche Einverständniserklärung der Erziehungsberechtigten vorlegen konnten. Das Ziel bei diesem Selektionskriterium war es, eine ausreichend große Stichprobe zu erhalten, die es einerseits ermöglicht, typische Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern zu erfassen, andererseits aber auch Schüler\*innen mit weniger verbreiteten Vorstellungen miteinschließt (Merkens, 1997, S. 100). Insgesamt nahmen 27 Schüler\*innen aus drei verschiedenen Schulen und Schulformen an der Studie teil. Die Landesschulbehörde und die Schulleitungen der jeweiligen Schulen genehmigten die Durchführung der Studie (s. Anhang). Da es in der Studie um die Erhebung von Lernenden-Vorstellungen in ihrer Vielfalt und nicht um den Vergleich bestimmter Gruppen von Schüler\*innen geht, werden die Vorstellungen nicht in Hinblick auf unterschiedlichen Schulformen bzw. Schulen oder psychosoziale Hintergründe verglichen. Personenbezogene Daten wurden nicht erhoben. In der Studie werden die Vorgaben der Ausführungen zum Erlass „Umfragen und Erhebungen an Schulen“ des Niedersächsischen Kultusministeriums (2014) beachtet und des Niedersächsischen Datenschutzgesetzes (2018) eingehalten.

### **6.3.2 Interviews**

Durch sprachliche Äußerungen ergibt sich ein Zugang für die Rekonstruktion dahinter liegender gedanklicher Konstrukte (s. Kapitel 3.2.6). Um diesen Zugang für die Forschung zu nutzen, führte ich zur Erhebung der Vorstellungen der Lerner\*innen Interviews durch (Niebert



& Gropengießer, 2014). Das persönliche Gespräch ermöglicht es, Nachfragen zu stellen, welche die Lernenden ihre Vorstellungen stärker präzisieren und erklären lassen. Diese Gelegenheit zu einer direkten Anregung zu weiteren Ausführungen ist bei einer Fragebogenstudie nicht gegeben. Die leitfadengestützte, problemzentrierte Form des Interviews hat sich im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion als geeignete Methode zur Erhebung von Vorstellungen der Lernenden in Bezug auf ein bestimmtes Thema bewährt (z. B. Gralher, 2015; Niebert, 2010; Trauschke, 2016). In problemzentrierten Interviews wird ein bestimmtes Problem oder Phänomen in den Mittelpunkt des Interviews gestellt und somit das Thema – über das geredet wird – von vornherein eingeschränkt und vorgegeben (Helfferich, 2009, S. 36; Niebert & Gropengießer, 2014, S. 125). Diese thematische Eingrenzung entspricht meinem Forschungsinteresse, da ich für die Beantwortung meiner ersten Forschungsfrage ganz spezifische Lernenden-Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen im Kontext der Energiewende der Schüler\*innen rekonstruieren möchte. Problemzentrierte Interviews entsprechen dabei einer dialogischen Interviewform, das heißt dass die interviewende Person eine aktive Rolle einnimmt und nicht nur Aufrechterhaltungs- und Präzisierungsfragen stellt, sondern mit ihren Impulsen und Nachfragen auch inhaltliche Akzente setzt (Helfferich, 2009, S. 107). Nach Helfferich (2009, S. 179–180) erfüllt der Interviewleitfaden dabei hauptsächlich zwei Funktionen. Zum einen ermöglicht er im Rahmen des problemzentrierten Interviews das Interview inhaltlich zu planen, in dem für die Forschungsfrage relevante Aspekte in den Interviewleitfaden aufgenommen werden, um sicher zu stellen, dass diese im Interview auch adressiert werden. Da mehrere Interviews durchgeführt wurden und zugleich verschiedene inhaltliche Aspekte angesprochen werden sollten, ist dies in der vorliegenden Studie besonders relevant. Zum anderen dient der Leitfaden der Qualitätssicherung im Sinne der intersubjektiven Nachvollziehbarkeit (s. Kapitel 6.1) und gewährleistet bei der Durchführung einer größeren Anzahl von Interviews einen vergleichbaren Ablauf, der bestimmten Standards folgt.

## *Interviewleitfaden*

Bei der Erstellung des Interviewleitfadens zu den Vorstellungen von Schüler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen im Kontext der Energiewende orientierte ich mich an den von Niebert und Gropengießer (2014, S. 126) und Helfferich (2009, S. 180) postulierten Anforderungen. Demnach soll ein Leitfaden möglichst übersichtlich und inhaltlich strukturiert sein, so dass eine schnelle Orientierung möglich ist. Zur Erleichterung dessen sollte sich ein Leitfaden deshalb auf eine geringe Anzahl wirklich wichtiger Fragen beschränken. Die Fragen sollen dabei möglichst offen und in einer den Schüler\*innen verständlichen Alltagssprache formuliert sein. Zur Generierung der Fragen zur Energiewende folgte ich dem SPSS-Prinzip (Sammeln, Prüfen, Sortieren, Subsumieren) von Helfferich (2009, S. 182–185; s. Anhang).<sup>39</sup> Entsprechend dieses Vorgehens sammelte ich zunächst mögliche relevante Fragen, welche die Schüler\*innen zu Erzählungen über ihre Vorstellungen zur Energiewende und nicht-erneuerbaren und erneuerbaren Energiequellen anregen. In einem nächsten Schritt wurde das gesammelte Material in der Diskussion mit interviewerfahrenen Personen in Hinblick auf die Eignung der Fragen (z. B. Passung zur Forschungsfrage, schülergerechte Sprache, ausreichend offen und ausreichend konkret formuliert) überprüft und ungeeignete Fragen wurden gestrichen oder umformuliert. Als Resultat der Diskussion ergänzte ich weitere Fragen und fügte außerdem mit Bildern gestützte Impulse hinzu. Anschließend sortierte ich die Fragen thematisch und hierarchisch und subsumierte diese schließlich im Interviewleitfaden. Zur Übersichtlichkeit wurde der Leitfaden tabellarisch strukturiert (s. Tabelle 8).

---

<sup>39</sup> Bei der Erstellung des Leitfadens bezog ich vor dem Hintergrund weiterer Forschungsvorhaben neben erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen auch weitere Aspekte der Energiewende (Energieeffizienz, Energiesparen) in die Erstellung des Fragebogens mit ein (s. Anhang). Da für das Ziel dieser Arbeit allerdings nur die Aspekte zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen relevant sind, werde ich mich im Folgenden auf die Darstellung dieser Aspekte beschränken.

**Tabelle 8 Erste Seite des endgültigen Interviewleitfadens zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energiequellen**

Leitfrage (Erzählaufforderung)	Check – Wurde das erwähnt? Memo für mögliche Antworten – zu denen zur Präzisierung nachgefragt werden sollte.	Konkrete Fragen An passender Stelle in dieser Formulierung stellen	Aufrechterhaltungs- und Steuerungsfragen
<b>Teil 1: Energieträger</b> Ich habe hier verschiedene Kärtchen (Karten mit folgenden Primärenergieträgern: Kohle, Erdgas, Erdöl, Uran, Biomasse, Erdwärme, Wind, Wasser, Sonne) Erzählt mal, was euch dazu einfällt. <i>Ggf. Hilfestellung: Mit Uran werden Kernkraftwerke (auch Atomkraftwerke genannt) betrieben.</i>	Energieträger  Unterschiede und Gemeinsamkeiten: Erneuerbare und nicht erneuerbare Energieträger Stofflich und nicht-stofflich Entstehung Kohlenstoffdioxidausstoß Verfügbarkeit, Kosten Vorkommen	Welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten kannst du finden? <i>Alternative ggf.: Ordne die Karten. Begründe deine Entscheidungen. (Foto machen)</i> Welche Überschriften würdest du den Gruppen geben?  Woher kommt die „Energie“ bei ... (bestimmter Energieträger)?  Wie entsteht ... (bestimmter Energieträger)?	Kannst du die Unterschiede noch genauer erklären?  Fallen dir weitere Unterschiede/Gemeinsamkeiten ein?  Was meinst du mit erneuerbar/nicht erneuerbar?  Und wie ist das mit ... (bestimmter Energieträger)?

Zu Beginn des jeweiligen Abschnittes stellte ich eine offene Frage, die die Schüler\*innen zunächst zum Erzählen anregen sollte. An einer im Gesprächsverlauf passenden Stelle sollte diese übergeordnete Frage durch konkretere Unterfragen (3. Spalte) fortgeführt werden. Bezeichnungen wie Energieträger, Energiequelle und erneuerbar bzw. nicht-erneuerbar wurden in den wörtlich formulierten Impulsen bewusst vermieden, um die Schüler\*innen nicht zu verleiten, diese zu übernehmen. Durch diese Maßnahme sollten die gedanklichen Konstruktionsprozesse der Lernenden während des Interviews so wenig wie möglich beeinflusst werden. In der zweiten Spalte wurden antizipierte Inhalte für die Beantwortung der Fragen notiert, um gezielt nachfragen zu können, wenn diese oder auch unerwartete Antworten gegeben werden. Hier finden sich auch die oben erwähnten sonst vermiedenen Bezeichnungen wie Energiequelle, Energieträger etc. wieder. Nennen die Schüler\*innen diese selbst, kann auch die interviewende Person diese verwenden, insbesondere um Erläuterungen und Begründungen anzuregen. Werden diese wichtigen Schlagworte nicht thematisiert, kann die interviewende Person gegen Ende der Sequenz gezielt nach Vorstellungen dazu fragen. Dies ist insbesondere für die Termini ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ relevant. In der letzten Spalte der Tabelle des Interviewleitfadens befinden sich allgemeine Fragen zur Aufrechterhaltung und Steuerung des Interviews, die zu weiterer Erzählung und Erläuterung anregen. Der Interviewleitfaden wurde in einem Probeinterview mit einer freiwilligen

Schüler\*in aus der achten Klasse einer Realschule getestet, reflektiert und überarbeitet. Das Probeinterview diente mir zugleich als Interviewtraining. Die finale Version des Interviewleitfadens zu dem in dieser Studie ausgewerteten Teil des Materials ist in Tabelle 8 abgebildet. Hierzu gehörte auch ein narrativer Impuls mit Karten zu neun verschiedenen Energieträgern (Kohle, Öl, Erdgas, Biomasse, Uran, Wind, Sonne, Wasser<sup>40</sup> und Erdwärme). Nach den ersten sieben Interviews im Feld wurden die zunächst nur mit den Wörtern beschrifteten Karten um Bilder der Energieträger ergänzt (s. Abbildung 10), um den Aufforderungscharakter zu erhöhen und einen stärkeren visuellen Reiz zu setzen.

### *Rahmenbedingungen der Interviews*

Die Interviews fanden alle in den Räumlichkeiten der Schulen während der regulären Unterrichtszeit statt und dauerten jeweils ca. 45 Minuten. Die Schüler\*innen wurden hierfür von der Schulleitung und den entsprechenden Lehrkräften für die Dauer des Interviews freigestellt. Die Interviews fanden an vier verschiedenen Tagen (an einer Schule an zwei Tagen, an den anderen beiden Schulen jeweils an einem Tag) im Jahr 2015 im zweiten Schulhalbjahr statt. Alle Interviews wurden von mir selbst durchgeführt und orientierten sich an dem Interviewleitfaden (s. Tabelle 8). Um die Interviewten zu ermutigen, möglichst frei und ungehemmt zu erzählen, führte ich die Interviews jeweils an der eigenen Schule durch, die für die Schüler\*innen einen vertrauten Ort darstellt. Für die Interviews wurden freistehende Klassenzimmer beziehungsweise Vorbereitungsräume der Lehrkräfte genutzt und so ein ruhiges ablenkungsarmes Umfeld geschaffen, das auswertbare Audioaufnahmen ermöglichte. Die Begleitumstände der jeweiligen Interviews wurden im Nachhinein schriftlich dokumentiert.

Alle Schüler\*innen waren mir und ich ihnen vor dem Interview unbekannt. Zu Beginn des Interviews stellte ich mich deshalb den Teilnehmenden vor und bedankte mich für die Bereitschaft an der Studie teilzunehmen. Außerdem wies ich die Schüler\*innen darauf hin, dass die Teilnahme an den Interviews freiwillig ist und sie jederzeit die Beantwortung von Fragen ablehnen und/oder das Interview beenden könnten. Ich informierte die Schüler\*innen auch über den Zweck der Interviews und ermutigte sie, mir möglichst alles zu erzählen, was

---

<sup>40</sup> Mit dieser Karte wurden zwei erneuerbare Energiequellen zusammengefasst, da nicht zwischen der gezeitengetriebenen Meeresenergie und dem solargetriebenen Wasserkreislauf unterschieden wurde (s. Kapitel 3.1.3.2 und 10.2).

ihnen in den Kopf kommt, weil es mir darum geht, zu erforschen, was sie über bestimmte Fragen denken und es dementsprechend auch kein ‚richtig‘ oder ‚falsch‘ gibt. Nachdem ich zunächst sieben Einzelinterviews geführt habe, bei denen der Redefluss der Schüler\*innen trotz der geschilderten Maßnahmen durch die ungewohnte Situation teilweise deutlich gehemmt war, interviewte ich 20 weitere Schüler\*innen paarweise. Dies führte zu deutlich mehr auswertbaren Sprechanteilen bei den Interviewten.

Die Interviews wurden von mir audiographiert und anonymisiert. Hierzu wurden den interviewten Schüler\*innen entsprechend ihres Geschlechtes in alphabetischer Reihenfolge beginnend bei A andere Vornamen zugeordnet. Außerdem wurde von der Zuordnung der Kärtchen ein Foto erstellt und unter der gleichen Namenszuordnung abgespeichert.

#### 6.4 Erhebung der Vorstellungen der Wissenschaftler\*innen

Auf den ersten Blick mag es passend erscheinen, analog zu den Interviews mit den Schüler\*innen zur Erfassung der Perspektive der Wissenschaftler\*innen Expert\*inneninterviews durchzuführen. Allerdings geht es im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion bei der Perspektive der Schüler\*innen darum, die individuellen gedanklichen Konstrukte in ihrer ganzen Vielfalt und Bandbreite zu erfassen, so wie sie von den Schüler\*innen gegebenenfalls spontan im Unterricht konstruiert oder rekonstruiert werden. Im Gegensatz dazu geht es bei der Perspektive der Wissenschaftler\*innen darum, unter Vermittlungsabsicht zu klären, welche durch einen gewissen wissenschaftlichen Konsens erzielten Konstrukte von einer bestimmten Epistemic Community gerade geteilt werden (Kattmann, 2007, S. 94–95). Diese Art der gedanklichen Konstrukte lässt sich gut an Hand von Texten rekonstruieren, die von verschiedenen Wissenschaftler\*innen gemeinsam ausgearbeitet wurden.

Die deutsche Bundesregierung besitzt seit 1992 ein unabhängiges wissenschaftliches Expertise-gremium – Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) genannt – deren neun Mitglieder für einen vierjährigen Zeitraum vom Bundeskabinett berufen werden (WBGU, 2019b, 2019a). Das interdisziplinäre Gremium bringt Expert\*innen aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen zusammen. Neben naturwissenschaftlicher Expertise lassen sich dort sozialwissenschaftliche und wirtschaftswissenschaftliche Expertisen finden. Der WBGU sucht sich seine Themen selbst, wobei die Arbeit vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare

Sicherheit (BMU) und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) finanziert wird (WBGU, 2019a). Die Aufgabe des WBGU ist es, wissenschaftliche Gutachten zu erstellen, „die [u. a.] globale Umwelt- und Entwicklungsprobleme analysieren, Forschung zur global nachhaltigen Entwicklung auswerten [...] [und] Handlungs- und Forschungsempfehlungen geben“ (WBGU, 2019b). Da die Energiewende auch nach Einschätzung dieses Gremiums eine zentrale Herausforderung für Umwelt und Entwicklung darstellt, wurde die Energiewende in den WBGU-Gutachten „Energiewende zur Nachhaltigkeit“ (WBGU, 2003) und „Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ (WBGU, 2011) wissenschaftlich analysiert. Ich wählte diese beiden Gutachten für die Rekonstruktion wissenschaftlicher Vorstellungen aus, da sie „eine umfassende und umfangreiche Sammlung und Bewertung der für die Energiewende bedeutsamen Aspekte“ (Hüfner u. a., 2016, S. 31) beinhalten. Die Gutachten sind öffentlich in deutsch und in englischer Übersetzung (German Advisory Council on Global Change, 2003, 2011) zugänglich. Um den Umfang des zu analysierenden Materials einzugrenzen, wurden für die Rekonstruktion schwerpunktmäßig die Abschnitte der Gutachten herangezogen, die sich auf die verschiedenen Energieträger beziehen (WBGU, 2003, S. 47–79, WBGU, 2011, S. 117–128).

## 6.5 Auswertung der Daten: Rekonstruktion der Vorstellungen

Bei der Auswertung der Daten stellt sich die Frage, wie aus den sprachlichen Äußerungen die entsprechenden Vorstellungen auf gedanklicher Ebene rekonstruiert werden können (s. Kapitel 3.2.6). Die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring stellt eine geeignete Möglichkeit dar, „fixierte Kommunikation“ (2015, S. 13) auf systematische, regel- und theoriegeleitete Weise explorativ zu untersuchen. Darüber hinaus ist Sprache von metaphorischen Wendungen durchsetzt (s. Kapitel 3.2.6.1). Die systematische Metaphernanalyse (Schmitt, 2017) ermöglicht über die rein inhaltliche Analyse hinaus die Rekonstruktion von Erfahrungen, die dem Verstehen zu Grunde liegen. Die Ausdifferenzierung und das genaue Vorgehen in der Anwendung der beiden explorativen Analysemethoden wird in den Kapiteln 6.5.1 und 6.5.2 genauer beschrieben.

Die Reihenfolge der Auswertung orientiert sich am Modell der didaktischen Rekonstruktion (s. Kapitel 3.2.2). In der qualitativen Inhaltsanalyse entspricht dies der Reihenfolge der Forschungsfragen (s. Kapitel 5). Ausgangspunkt stellen die Vorstellungen der Schüler\*innen dar, weswegen diese zuerst ausgewertet wurden. Die zweite Forschungsfrage bezüglich der

Perspektive der Wissenschaftler\*innen steht unter einer Vermittlungsabsicht. Um die wissenschaftliche Perspektive analog zur Perspektive der Schüler\*innen rekonstruieren zu können, ist ein unterschiedliches methodisches inhaltsanalytisches Vorgehen notwendig. Die jeweilige Ausgestaltung des Verfahrens wird in den entsprechenden Abschnitten (s. Kapitel 6.5.1) erläutert.

Die dritte Forschungsfrage zielt auf den Vergleich der beiden Perspektiven (vgl. Kapitel 5). Die inhaltsanalytischen Ergebnisse zu den Vorstellungen der Schüler\*innen und der Wissenschaftler\*innen wurden thematisch geordnet und systematisch gegenübergestellt (s. Kapitel 7.3). Unter Vermittlungsabsicht werden dabei zwei inhaltliche Kategorien ausgewählt, die mittels der systematischen Metaphernanalyse hinsichtlich der zu Grunde liegenden erfahrungsbasierten Konzepte ausgewertet wurden. Auch hier wurde die Perspektive der Schüler\*innen vor der wissenschaftlichen Perspektive ausgewertet und die beiden Perspektiven anschließend in einem systematischen Vergleich einander gegenübergestellt.

### **6.5.1 Qualitative Inhaltsanalyse**

In der qualitativen Inhaltsanalyse der Interviewtranskripte werden Kategorien induktiv am Material gebildet bzw. in der Analyse der wissenschaftlichen Texte induktiv ergänzt<sup>41</sup>. Das bedeutet, dass im Auswertungsprozess durch den Forschenden aktiv Kategorien konstruiert werden. Die Art und Weise der Konstruktion hängt davon ab, welche Vorerfahrungen und welches Vorwissen die kodierenden Personen mitbringen. Aufgrund dieses Einflusses ist es äußerst unwahrscheinlich, dass die Kodierungen bei verschiedenen Kodierenden übereinstimmen (Kuckartz, 2016, S. 72–73). Zur Überprüfung des Kategoriensystems werden daher qualitative Kriterien herangezogen. Nach Kuckartz (2016) sollte ein Kategoriensystem „disjunkt, plausibel, erschöpfend, gut präsentierbar und kommunizierbar“ (S. 85) sein. Die Validierung des Kategoriensystems erfolgte in der Diskussion mit Expert\*innen.

Für die Analyse des Materials der Perspektive der Schüler\*innen und der Perspektive der Wissenschaft lässt sich begründet durch die Zielstellung ein unterschiedliches Vorgehen ableiten. Die verschiedenen Vorgehensweisen sollen im Folgenden genau dargestellt und erläutert werden.

---

<sup>41</sup> Zur genauen Erklärung und Begründung des jeweiligen Vorgehens siehe unten.

#### *6.5.1.1 Lernendenperspektive*

Entsprechend der ersten Forschungsfrage sollen durch die qualitative Inhaltsanalyse der Interviewtranskripte die Vorstellungen der Schüler\*innen zu nicht-erneuerbaren und erneuerbaren Energiequellen erkundet werden.

#### *Sampling-Strategie im Auswertungsprozess der Lerner\*innenperspektive*

Da die Fragestellung bezüglich der Perspektive der Lernenden auf einer umfassenden Rekonstruktion einer möglichst großen Vielfalt von Vorstellungen von Lernenden in Bezug auf erneuerbare und nicht-erneuerbare Energiequellen abzielt, bietet sich ein Untersuchungsdesign an, das sich an einem theoretischen Sampling (Glaser & Strauss, 2010, S. 61–91) orientiert. Um den Zugang zum Feld zu nutzen und die Belastung für die Schulen so gering wie möglich zu halten, interviewte ich zunächst alle 27 Schüler\*innen, die sich mit dem Einverständnis der Erziehungsberechtigten positiv auf meine Anfrage zurückgemeldet hatten. Die Strategie des theoretischen Samplings berücksichtigte ich bei der Transkription und der anschließenden Auswertung der Daten, die ich jeweils bis zu einer theoretischen Sättigung durchführte: Ich wertete solange aus, bis keine neuen Konzepte mehr rekonstruiert werden konnten. Die Reihenfolge wurde dabei zum einen durch die Reihenfolge der Interviewtage bestimmt, da bereits mit der Transkription und Auswertung begonnen wurde, bevor alle Interviews abgeschlossen waren. Zum anderen wurden die Interviews mit dem größten Redeanteil der Schüler\*innen zuerst transkribiert, da hier eine größere Anzahl an enthaltenen Vorstellungen zu erwarten war. Außerdem lassen sich bei einem größeren Narrationsanteil rekonstruierte Vorstellungen durch Wiederholungen an verschiedenen Stellen des Interviews leichter validieren (Niebert & Gropengießer, 2014).

#### *Transkription und Redigierung der Interviews mit den Schüler\*innen*

Die Audiographien der Interviews mit den Schüler\*innen wurden von transkriptionsgeschulten studentischen Hilfskräften mit Hilfe eines Audio-Players und eines Textverarbeitungsprogrammes transkribiert. Zunächst wurden Transkripte von zwei vollständigen Interviews von der ersten bis zur letzten Frage des Interviewleitfadens angefertigt. Da die Interviews neben Fragen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern auch Fragen zu Energiesparen und Energieeffizienz enthielten, wurden in der Folge nur die Teile der Interviews transkribiert, die Fragen zu den Energieträgern enthielten und der Beantwortung der Fragestellung der Studie dienten. Da Schüler\*innen-Vorstellungen



über sprachliche Äußerungen auf inhaltlicher Ebene und die dahinterliegenden Erfahrungen durch metaphorische Wendungen erschließbar sind (s. Kapitel 3.2.6) erfolgte die Transkription nach einfachen Regeln (Dresing & Pehl, 2015; Gropengießer, 2008; Kuckartz, 2016). Die Äußerungen der Schüler\*innen und der Interviewerin wurden wörtlich übernommen, wobei Dialekt und Wortverschleifungen sprachlich geglättet und in die hochdeutsche Sprache überführt wurden. Pausen und Fülllaute haben für die Inhaltsanalyse nur geringe Bedeutung und wurden deshalb nur allgemein mit entsprechenden Symbolen erfasst ([...] lückenfüllende Laute, - kurze Pause, -- lange Pause). Des Weiteren wurden zustimmende (Mmh) und überlegende Laute (Mhh) transkribiert. Damit das Vorgehen von allen transkribierenden Personen nachvollzogen und in der gleichen Weise erfolgen konnte, wurden die Transkriptionsregeln jedem Transkript vorangestellt. Auf eine weitere Redigierung der Texte wurde bewusst verzichtet, um für die weiteren Analysen die Äußerungen der Schüler\*innen wörtlich in ihrer ursprünglichen Formulierung nachvollziehen zu können. Wird im Folgenden aus den Interviews zitiert, werden die Aussagen aus den Originaltranskripten wörtlich übernommen und zur besseren Lesbarkeit gegebenenfalls sprachlich geglättet, indem Fülllaute oder Wiederholungen weggelassen werden und die Aussage in grammatikalisch richtiger Form wiedergegeben wird. Auslassungen oder Ergänzungen werden mit eckigen Klammern gekennzeichnet. Bei Ergänzungen wird durch Buchstaben zu Beginn der Klammer gekennzeichnet, wie die Ergänzung rekonstruiert wurde (s. Abbildung 6). Diese Bestandteile sind keine wörtlichen Äußerungen der interviewten Person. Wörtliche – aus einem Interviewimpuls aufgegriffene – Bestandteile der Zitate werden durch geschweifte Klammern kenntlich gemacht.

[...]	Auslassung
[ W: ...]	Ergänzung aus vorangegangenen oder nachfolgenden wörtlichen Äußerungen derselben Person
[ I: ...]	Ergänzung aus vorangegangenem Interviewimpuls
[ M: ...]	Ergänzung aus vorangegangener Äußerung des*der Mitschüler*in
[ K: ...]	Nicht-wörtliche Ergänzung aus dem Kontext
{ I: ... }	Wörtlich zitiert, Ausdrücke aus Interviewimpuls übernommen

**Abbildung 5 Regeln für Zitate aus den Interviews**

### *Inhaltsanalytisches Vorgehen zur Rekonstruktion der Schüler\*innen-Vorstellungen*

Zur Rekonstruktion der Vorstellungen der Schüler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern zog ich den Abschnitt der Interviews (s. Tabelle 8, Kapitel 6.3.2)

und die dementsprechenden Teiltranskripte (s. Anhang) heran, welche die Energieträger und ihre Kategorisierung als erneuerbar bzw. nicht-erneuerbar zum Thema hatten. Um die gedanklichen Konstrukte der Lernenden möglichst unvoreingenommen abzubilden und gleichzeitig eine inhaltliche Bündelung der Vorstellungen vorzunehmen, orientierte sich mein Vorgehen an einer zusammenfassenden induktiven Kategorienbildung nach Mayring (2015, S. 85–87). Dieses Verfahren ermöglicht es, die den Forschenden nur indirekt zugängliche Vorstellungsebene möglichst nah an den sprachlichen Äußerungen der Schüler\*innen zu rekonstruieren und erste Konzepte und Denkmuster zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern zu beschreiben. Darüber hinaus wird das Material durch das zusammenfassende Vorgehen reduziert und erleichtert eine mögliche Auswahl eines bestimmten Anteils des Materials für weitere Analyseschritte (s. Kapitel 6.5.2). Ein derartiges Vorgehen ist im Zusammenhang mit der didaktischen Rekonstruktion bereits erprobt (Gropengießer, 2008). Die Auswertung erfolgte computergestützt mit Hilfe der Software MAXQDA 11 (Kuckartz, 2014). Abbildung 7 zeigt eine Übersicht über dieses inhaltsanalytische Vorgehen.

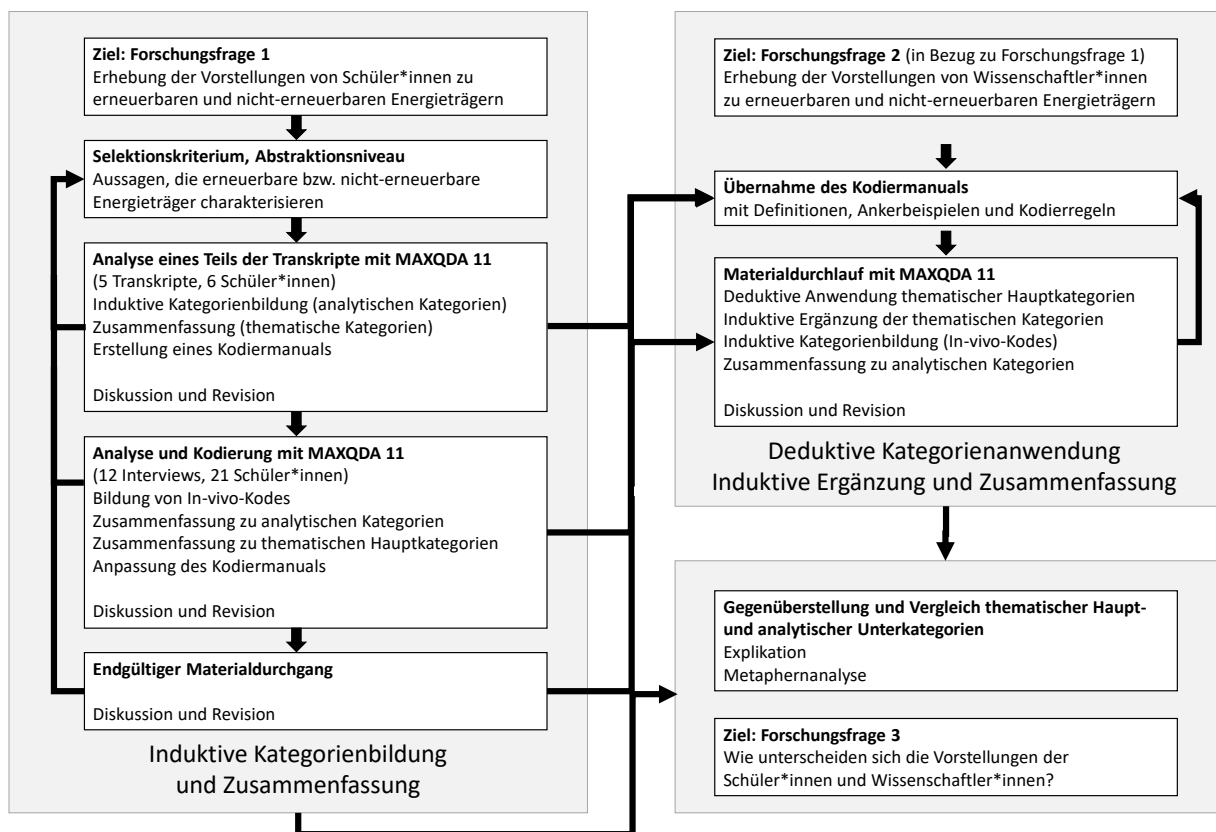


Abbildung 6 Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse (modifiziert nach Mayring, 2015, S. 86, 98)

Zur Analyse übernahm ich die redigierten Teiltranskripte als Text-Dokumente (Microsoft Word) ohne weitere Bearbeitung direkt in MAXQDA 11 (Kuckartz, 2014). Entlang der Forschungsfrage zur Perspektive der Schüler\*innen legte ich das Abstraktionsniveau fest. Kodiert wurden dementsprechend alle Aussagen der Lernenden, mit denen von den Schüler\*innen nicht-erneuerbare und/oder erneuerbare Energiequellen und/oder Energieträger charakterisiert wurden. Bezogen sich die Aussagen dabei auf einen oder mehrere bestimmte Energieträger (z. B. Kohle oder Sonne) oder generell erneuerbar beziehungsweise nicht-erneuerbar, hielt ich dies in einem entsprechenden Memo zu der kodierten Textstelle fest, um dies nachvollziehen und in der weiteren Analyse entsprechend berücksichtigen zu können. Jede kodierte Textstelle sollte eine Aussage der Schüler\*innen beinhalten, das heißt es werden mindestens zwei Begriffe miteinander in Beziehung gesetzt, was definitionsgemäß auf der gedanklichen Ebene einem Konzept entspricht (s. Kapitel 3.2.6.1; Gropengießer, 2006, S. 13).

**Tabelle 9 Beispiel für das Vorgehen bei der Kodierung**

Zeile	Analytisches Vorgehen	Text/Kode	Erklärung/ Begründung
1	Transkript-ausschnitt	„Und zum Beispiel das Erdöl kann man nicht {!: erneuern}, weil irgendwann ist ja auch das Erdöl in der Erde sozusagen alle.“ (Gerda, Z. 36-37)	Gerda antwortet auf die Aufforderung der Interviewerin, die Karten mit den Energieträgern begründet den Kategorien erneuerbar und nicht-erneuerbar zuzuordnen.
2	Enthaltene Aussagen identifizieren	(,Erdöl kann man nicht {!: erneuern}‘) ,Irgendwann ist das Erdöl in der Erde alle‘	Da Gerda die Aussage über die Endlichkeit des Erdöls nutzt, um die Zuordnung zu ‚erneuerbar‘ zu begründen und gleichzeitig das Wort ‚erneuerbar‘ als Impuls in das Interview eingebracht wurde, betrachtete ich bei der Kodierung den in Zeile 1 genannten Satz als eine Sinneinheit.
3	In-vivo-Kode bilden	,ist irgendwann alle‘	Der gesamte Satz aus Zeile 1 wurde in MAXQDA 11 (Kuckartz, 2014) markiert und mit dem In-vivo-Kode ‚ist irgendwann alle‘ kodiert, da dieser die eigene Aussage der Schülerin enthält.
4	Memo zu Bezügen machen	,ist irgendwann alle‘	Der Bezug auf ‚Erdöl‘ und ‚erneuerbar‘ wurde in einem Memo zur kodierten Textstelle für die weitere Auswertung festgehalten.
5	Bündelung der In-vivo-Kodes zu analytischen Kategorien	,ist irgendwann alle‘ ,ist nicht unendlich da‘ ,begrenzt‘	Hinter beiden Codes steht die Vorstellung, dass der Energieträger begrenzt vorhanden ist. Diese Vorstellung ließ sich in weiteren In-vivo-Kodes finden, sodass ich diese zunächst in der Überkategorie ‚begrenzt‘ <sup>42</sup> zusammenfasste.
6	Bündelung zu thematischen Hauptkategorien	,begrenzt‘ ,unbegrenzt‘ ,Verfügbarkeit‘	Beide Überkategorien beziehen sich auf die Verfügbarkeit der Energieträger, woraus die thematische Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ gebildet wurde.

Um die Aussagen der Schüler\*innen in den Codes zu erhalten, setzte ich die Kodiereinheit auf mindestens einen Halbsatz fest, der eine in sich geschlossene Sinneinheit bildet. Da in manchen Sätzen oder Textabschnitten mehrere unterschiedliche Vorstellungen enthalten sein können, waren Doppelkodierungen zulässig. Maximal hätte der gesamte Interviewauszug kodiert werden dürfen. Die dergestaltete Festlegung der Kontexteinheit beruht auf der Annahme, dass manche gedanklichen Konstrukte auch implizit in längeren Narrationen enthalten sein können (Schmitt, 2017, S. 477).

<sup>42</sup> Im Ergebnisteil wird anstatt der Bezeichnung ‚begrenzt‘ der Ausdruck ‚knapp‘ verwendet. Wie es zu dieser Umbenennung kam wird in der weiteren Beschreibung des Vorgehens erklärt.

Als Auswertungseinheit waren die Teiltranskripte von Anfang bis Ende durchzuarbeiten und jeweils die einzelnen Sinnabschnitte, die unter das Abstraktionsniveau fallen, zu kodieren. Da die Wörter ‚erneuerbar‘ bzw. ‚nicht-erneuerbar‘ im Laufe des Interviews bei Nichtnennung aktiv von mir eingebracht wurden, durften diese nicht als eigene Codes aufgenommen werden. Zur Benennung der Kategorien wurden inhaltlich zusammenfassende, zum Teil paraphrasierte Schlagworte wie zum Beispiel ‚begrenzt‘ verwendet. Dadurch werden Textstellen zusammengefasst, die (einen) bestimmte(n) Energieträger auf eine bestimmte Art und Weise charakterisieren. Da diese Benennung über eine reine thematische Kodierung hinausgeht, kann man nach Kuckartz (2016, S. 34) von analytischen Codes bzw. Kategorien sprechen. Nach einem ersten Durchgang eines Teils des Materials wurden die analytischen Kategorien zu thematischen Kategorien zusammengefasst. Die thematischen Kodierungen kennzeichnen Textstellen, die sich inhaltlich auf ein bestimmtes Thema beziehen (Kuckartz, 2016, S. 34). Hier wurden Ausdrücke wie zum Beispiel ‚Verfügbarkeit‘ verwendet, die zusammenfassend für das entsprechende Thema – wie die Verfügbarkeit von Energieträgern – stehen. Nach der Diskussion der ersten Ergebnisse und des Kodiermanuals mit anderen inhaltsanalytisch erfahrenen Forschenden wurde das Vorgehen leicht verändert. Bei den weiteren Durchgängen des Materials wurde – wenn möglich – in-vivo-kodiert, das heißt der Code wurde aus den wörtlichen Äußerungen der Lernenden gebildet, ohne zu paraphrasieren (Kuckartz, 2016, S. 34). Durch dieses veränderte Vorgehen bei der Kodierung sollten die Aussagen der Schüler\*innen in ihrer genauen wörtlichen Bezeichnung erhalten bleiben, um eine bessere Nachvollziehbarkeit bei der weiteren Auswertung und Interpretation zu ermöglichen. Einem In-vivo-Code wurden weitere Textstelle zugeordnet, wenn gleiche oder ähnliche Ausdrücke verwendet wurden, da hier von der gleichen Vorstellung der interviewten Person ausgegangen werden kann. Nach dem Durchgang des gesamten in die Analyse miteinbezogenen Materials mit der Bildung von In-vivo-Codes wurde das Abstraktionsniveau schrittweise erhöht, um von den In-vivo-Codes in zwei zusammenfassenden Schritten zu den übergeordneten analytischen Kategorien und den thematischen Hauptkategorien zu kommen. Bei diesem Vorgehen wurden die In-vivo-Codes entsprechend ihrer inhaltlichen Bedeutung in analytischen Kategorien gebündelt. Die durch die Bündelung entstandenen analytischen Kategorien entsprechen übergeordneten Vorstellungen, da sie sich in mehrere detaillierte Aussagen zerlegen lassen (s. Kapitel 3.2.3; Beispiel s. Tabelle 9, Z. 5). Diese den In-vivo-Codes übergeordneten analytischen Kategorien wurden wiederum in thematischen

Hauptkategorien zusammengefasst, die die Themenbereiche rekonstruieren, die von den Schüler\*innen zur Charakterisierung von nicht-erneuerbaren Energieträgern herangezogen werden (Tabelle 9, Z. 6).

Dieses zusammenfassende Verfahren führte zu einem Kategoriensystem mit thematischen Haupt- und analytischen Unterkategorien und den diesen Kategorien zugeordneten In-vivo-Kodes. Die Hauptkategorien dieses Kategoriensystems entsprechen thematischen Kategorien. Sie zeigen an, wo sich im Material Aussagen zu einem bestimmten Thema finden lassen (Kuckartz, 2016, S. 34). Die Unterkategorien des Kategoriensystems entsprechen analytischen Kategorien (Kuckartz, 2016, S. 34), da sie gedankliche Konzepte rekonstruieren (z. B. ‚Verfügbarkeit ist knapp‘). Während der Zusammenfassung hielt ich die Definitionen und Signalwörter, die zur Bildung der vorliegenden Kategorien führten, in MAXQDA 11 in den zugehörigen Memos fest, woraus ein entsprechendes Kodiermanual (s. Anhang) erstellt und mit Ankerbeispielen versehen wurde. Die gebildeten Kategorien und das Kodiermanual wurden mit in qualitativer Inhaltsanalyse erfahrenen Kolleg\*innen sowohl nach einem Durchgang eines Teils des Materials als auch nach Durchgang des gesamten Materials (s. Abbildung 7) diskutiert und revidiert (s. Kapitel 10.2).

Beispielsweise wurden in der Diskussion des Kategoriensystems die Abgrenzung der verschiedenen analytischen Kategorien voneinander kritisch betrachtet. In einer früheren Version des erstellten Kategoriensystems wurde zum Beispiel innerhalb der thematischen Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ zwischen den dichotomen analytischen Unterkategorien 1. ‚unbegrenzt‘ – ‚begrenzt‘ und 2. ‚reichlich‘ – ‚knapp‘ unterschieden. Im zweiten Begriffspaar ist im Gegensatz zum ersten eine Wertungskomponente enthalten. Entscheidend unter der Vermittlungsabsicht ist jedoch, dass bei beiden Begriffspaaren die verfügbare Menge nicht-erneuerbarer Energieträger als dergestalt begrenzt konzeptualisiert wird, dass die Nutzbarkeit eingeschränkt bzw. behindert ist, wohingegen diese Einschränkung bei erneuerbaren Energieträgern nicht besteht. Aus diesem Grund wurden die genannten Begriffspaare zu einem Paar zusammengefasst.

#### *6.5.1.2 Wissenschaftsperspektive*

Entlang des Modells der didaktischen Rekonstruktion sollten die wissenschaftlichen Vorstellungen zu nicht-erneuerbaren und erneuerbaren Energiequellen, die in der zweiten Forschungsfrage adressiert werden, vor dem Hintergrund der Vorstellungen der

Schüler\*innen analysiert werden. Um die in den wissenschaftlichen Gutachten des WBGU (2003, 2011) enthaltenen Vorstellungen analog zu den Vorstellungen der Lernenden rekonstruieren zu können, wurden die thematischen Hauptkategorien gemäß des inhaltsanalytischen Verfahrens einer inhaltlichen Strukturierung deduktiv auf die wissenschaftlichen Texte angewendet (Mayring, 2015, S. 97–99). Gleichzeitig ergänzte ich in den Hauptkategorien fehlende Kategorien induktiv (Abbildung 7).

Aus Gründen der Vergleichbarkeit legte ich der Analyse der Vorstellungen der Wissenschaftler\*innen dieselben Kodierregeln zu Grunde wie der Analyse der Interviewtranskripte: Abstraktionsniveau, Kodiereinheit und Kontexteinheit (in diesem Fall max. der gesamte Ausschnitt des Gutachtens) wurden übernommen. Auch bei dem Durchgang der wissenschaftlichen Texte waren Doppelkodierungen erlaubt, da auch in dieser Textart in einer Aussage mehrere Vorstellungen enthalten sein können. Die Energieträger oder Energiequellen, auf die sich Aussagen bezogen, wurden ebenfalls als Memo zu den entsprechenden Kodings festgehalten.

Auch bei der Auswertungseinheit orientierte ich mich am Vorgehen der Analyse der Vorstellungen der Lernenden. Die Ausschnitte aus den wissenschaftlichen Gutachten (WBGU, 2003, S. 47–79, 101–102, WBGU, 2011, S. 117–128) wurden jeweils von Beginn bis zum Ende nacheinander durchgegangen. Da nicht der Vergleich der wissenschaftlichen Gutachten untereinander sondern der Vergleich der wissenschaftlichen Vorstellungen insgesamt mit den Vorstellungen der Lernenden intendiert war (s. Forschungsfrage 3, Kapitel 5), spielte die Auswertungsreihenfolge der beiden Gutachten keine Rolle. Als erster Schritt wurden die Gutachten als PDF-Dokumente in MAXQDA 11 importiert. Als Hilfestellung bei der Kodierung der wissenschaftlichen Aussagen diente das – bei der Analyse der Transkripte der Lernenden erstellte – Kodiermanual. Unter der Anwendung des ersten Kodiermanuals wurden die unter die Kodierregeln fallenden Textabschnitte einer vorhandenen thematischen Kategorie zugeordnet und gegebenenfalls zusätzliche analytische Unterkategorien gebildet. Das Kodiermanual wurde während der Analyse der wissenschaftlichen Texte revidiert und angepasst sowie durch passende Ankerbeispiele ergänzt (Beispiel s. Anhang). Genau wie bei der Analyse der Perspektive der Lernenden wurden auch das in der Analyse der wissenschaftlichen Texte angepasste Kodiermanual und das Kategoriensystem mit inhaltsanalytisch erfahrenen Kolleg\*innen diskutiert und dementsprechend revidiert (s. Abbildung 7). Nach der Diskussion und Revision des Vorgehens wurden die unter die

Kodierregeln fallenden Textausschnitte markiert und daraus In-vivo-Kodes gebildet, welche einer der deduktiv übernommenen Hauptkategorien zugeordnet wurden. Existierte keine entsprechende thematische Hauptkategorie, so wurde induktiv ergänzt. Die den Hauptkategorien zugeordneten In-vivo-Kodes wurden in einem weiteren Schritt zusammengefasst und daraus induktiv analytische Unterkategorien gebildet.

#### *6.5.1.3 Systematischer Vergleich*

Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Definitionen der Kategorien und in den Kategoriensystemen bieten interessante Ansatzpunkte für den Vergleich der Vorstellungen der Schüler\*innen und Wissenschaftler\*innen (s. dritte Forschungsfrage Kapitel 5; s. Abbildung 7). Die Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse für die Perspektive der Lernenden und der wissenschaftlichen Perspektive wurden einander in einem systematischen Vergleich gegenübergestellt. Auf übergeordneter thematischer Ebene (Hauptkategorien) ermöglicht der Perspektivvergleich lediglich Aussagen, ob beispielsweise bestimmte Kategorien/Themen in beiden Perspektiven vorhanden sind. Die in der Analyse der wissenschaftlichen Texte gegebenenfalls ergänzten thematischen Kategorien sind für den Vergleich der Vorstellungen wichtig, da es für die didaktische Strukturierung bedeutsam ist, welche inhaltlichen Aspekte in den Vorstellungen der Schüler\*innen nicht auftauchen. Nur wenn diese ‚Vorstellungslücken‘ miterfasst werden, kann in einem nächsten Schritt beurteilt werden, ob diese inhaltlichen Aspekte für das Verstehen der Umstellung auf erneuerbare Energiequellen für die Schüler\*innen relevant sind. Das Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein bestimmter Kategorien liefert jedoch noch keine Ansatzpunkte für ein konkretes Vorgehen hinsichtlich der Vermittlung. Deshalb liegt der Schwerpunkt des systematischen Vergleichs der Vorstellungen der Lernenden und der Wissenschaftler\*innen auf der Ebene der analytischen Unterkategorien. Die analytischen Kategorien repräsentieren die zusammengefassten gedanklichen Konzepte, die auf einer mittleren Komplexitätsebene anzusiedeln sind (Gropengießer, 2008, S. 186). Der Vergleich der Vorstellungen der Schüler\*innen und der Wissenschaftler\*innen erfolgt strikt wechselseitig, um – ganz nach dem zu Grunde liegenden konstruktivistischen Verständnis (vgl. Kapitel 3.2.1) – keine Wertung der einzelnen Perspektiven vorzunehmen (S. 187). Unter der Fragestellung, wie erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger von Lernenden bzw. Wissenschaftler\*innen verstanden werden, werden die verallgemeinerten Konzepte systematisch miteinander verglichen. Der Vergleich wird durch die Gegenüberstellung von den für die Perspektiven spezifischen „Eigenheiten“,



„Gemeinsamkeiten“, „Verschiedenheiten“ und „Begrenztheiten“ (Gropengießer, 2008, S. 188) strukturiert. Der gesamte Vergleich erfolgt unter Vermittlungsabsicht, das heißt es wird immer zugleich die Frage nach dem Nutzen für die didaktische Strukturierung gestellt (s. Kapitel 6.2). Im Rahmen dieses Vergleichs prüfte ich, welche der thematischen Hauptkategorien unter Vermittlungsabsicht für die didaktische Strukturierung vor dem theoretischen Hintergrund ausgehend von der Perspektive der Schüler\*innen am relevantesten sind. Durch dieses Vorgehen wird das zu analysierende Material für den nächsten Schritt der systematischen Metaphernanalyse ausgewählt.

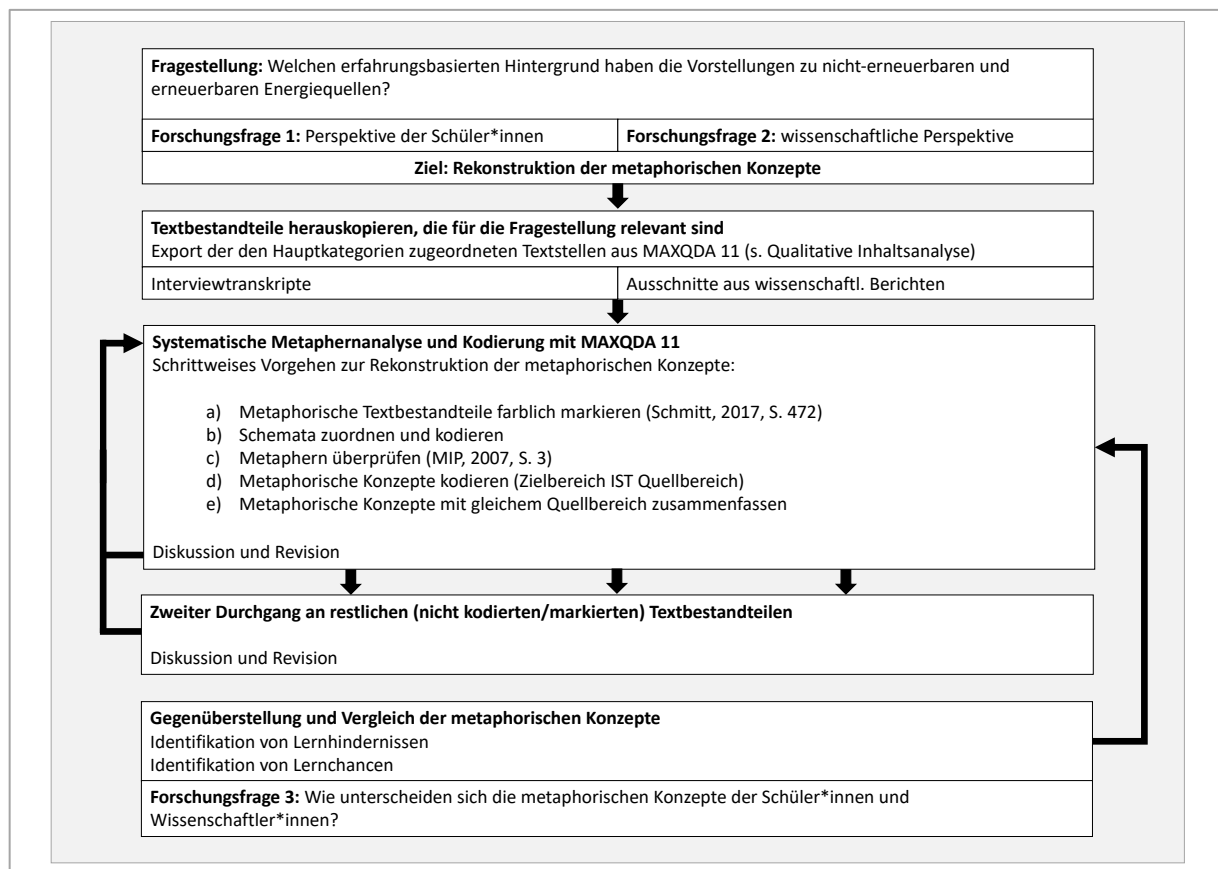
### **6.5.2 Systematische Metaphernanalyse**

Um über die sprachlichen Äußerungen die erfahrungsbasierten Hintergründe der Vorstellungen zu rekonstruieren (s. Kapitel 3.2.6) und zur Konstruktion dieser Vorstellungen unbewusst genutzte elementare Erfahrungen (z. B. Schemata, s. Tabelle 2) zu identifizieren, schließe ich an die qualitative Inhaltsanalyse eine systematische Metaphernanalyse an (Schmitt, 2017; Schmitt u. a., 2018). Nach Schmitt u.a. sind Metaphernanalysen dann indiziert, „wenn die Forschungsfrage auf die Entdeckung von [...] mentalen Vorkonstruktionen bestimmter Phänomene zielt“ (2018, S. 91). Wie in Kapitel 3.2.4 erläutert, stellen die erfahrungsbasierten Hintergründe und die damit verknüpften Schemata solche mentalen Vorkonstruktionen dar. Die Rekonstruktion der konkreten zu Grunde liegenden Erfahrungen, die in den gedanklichen Konstrukten auf das abstrakte Thema der Energiewende und die Umstellung auf erneuerbare Energiequellen übertragen werden, sollen als konkrete Ansatzpunkte für die didaktische Strukturierung dienen. Für die systematische Metaphernanalyse werden in dieser Studie neben den oben genannten allgemeinen Gütekriterien (s. Kapitel 6.1) einige methodenspezifische Kriterien zu Grunde gelegt (Schmitt, 2017, S. 522–527).<sup>43</sup> Die „Qualität der Identifikation von Metaphern“ (Schmitt, 2017, S. 522) wird in dieser Studie über die mehrfache Diskussion in Forschungswerkstätten und mehrmalige Durchgänge des analysierten Materials sichergestellt. Da das Verstehen des Materials im Vordergrund steht, ist dieses Vorgehen zur Absicherung der Qualität angemessen und einer numerischen Bestimmung der Interrater-Reliabilität vorzuziehen (Schmitt, 2017, S. 522–523). In der Interpretation der metaphorischen Konzepte werden unten genau

---

<sup>43</sup> Schmitt (2017, S. 522–527) führt insgesamt sieben spezifische Qualitätskriterien an. Da einige jedoch bereits in den oben genannten Qualitätskriterien (s. Kapitel 6.1) enthalten sind, werden hier nur die Kriterien aufgeführt, die in Bezug auf das Vorgehen in der Studie neue Aspekte beinhalten.

beschriebene Heuristiken angewendet, um die „Entfaltung der Implikationen“ (Schmitt, 2017, S. 523) möglichst vollständig zu erfassen.



**Abbildung 7 Ablauf der systematischen Metaphernanalyse**

*Vorgelagerte Analyseschritte: Kontrastierender Hintergrund und Reflexion eigener Metaphern*

Als der Analyse am Material vorgelagerter Schritt wurde ein „kontrastierender Hintergrund“ zur Energiewende erstellt (Schmitt, 2017, S. 460–466). Hierfür analysierte ich die metaphorischen Konzepte zur Energiewende aus Ausschnitten verschiedener Textarten (Infoportal des BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016), Online-Zeitungsartikel (Mayer, 2017; Weber, 2017), einem Fachbuch (Lüdeke-Freund & Opel, 2014) und einem populärwissenschaftlichen Buch (Wehling, 2016). Hierdurch konnte ich einerseits das Vorgehen bei der Rekonstruktion der metaphorischen Konzepte einüben, andererseits erhielt ich dadurch einen groben Überblick über die in Deutschland kulturell übliche Metaphorisierung der Energiewende. Diese konnte im weiteren Verlauf zur Interpretation der metaphorischen Konzepte der Wissenschaftler\*innen und Schüler\*innen mit herangezogen werden.

Entsprechend des Vorgehens von Schmitt (2017, S. 463–466) analysierte ich vor den Interviewauszügen und wissenschaftlichen Gutachten meine eigenen Metaphern anhand einer bereits veröffentlichten Publikation (Hüfner u. a., 2016), um mir meines eigenen Standpunktes bewusst zu werden und die Interpretation der Ergebnisse entsprechend kritisch reflektieren zu können.<sup>44</sup>

#### *Import der Daten in MAXQDA, Reihenfolge der Auswertung*

Um die Übersicht und damit die Auffindbarkeit metaphorischer Wendungen zu erleichtern, wurden die in der qualitativen Inhaltsanalyse erstellten Kodings zu den Hauptkategorien ‚Verfügbarkeit‘ und ‚Auswirkungen‘ in eigene Dateien exportiert. Über die Exportfunktion in MAXQDA 11 wurden die Kodings jeweils separat für die beiden Hauptkategorien in Textdokumente (rtf-Format) überführt. Die Kodings aus den Interviews der Schüler\*innen wurden dabei jeweils für die Kategorie ‚Verfügbarkeit‘ und für die Kategorie ‚Auswirkungen‘ in einem Dokument zusammengefasst. Genauso wurden auch die Kodings der wissenschaftlichen Gutachten jeweils für die beiden Hauptkategorien in ein Textdokument exportiert. Diese Textdokumente importierte ich in ein neues MAXQDA-Projekt, in welchem ich die systematische Metaphernanalyse durchführte. Analog zum in Kapitel 6.5.1 beschriebenen Verfahren wurde zunächst die erste Forschungsfrage und damit die Vorstellungen der Lernenden adressiert und dementsprechend die Interviewtranskripte vor den wissenschaftlichen Texten analysiert. Die Analyseschritte orientieren sich an der Ablaufskizze von Schmitt (2017, S. 456–458; s. Abbildung 8).

#### *Analyseschritt a: metaphorische Textbestandteile farblich markieren*

Zur systematischen Analyse des zu beforschenden Materials wurden zunächst alle Texte in Einzelteile zerlegt und auf mögliche metaphorische Textbestandteile durchsucht. In einem ersten Materialdurchgang markierte ich alle metaphorischen Textbestandteile in MAXQDA farblich, um diese für die weiteren Analyseschritte hervorzuheben. Um möglichst keine

---

<sup>44</sup> Dies führte an einigen Stellen auch zu einer Reflexion meiner eigenen Sprache, um meinen Standpunkt zu unterstreichen (s. Begriff fachliche Klärung, Kapitel 10.2). So schrieb ich in einer früheren Textversion von der Identifizierung metaphorischer Konzepte. Das Wort Identifizierung bezieht sich aber auf den Quellbereich einer eindeutigen Bestimmung einer Person. Zu meinem konstruktivistischen Standpunkt passt der Begriff ‚Rekonstruktion‘ besser, der das metaphorische Konzept ‚Gedanken SIND Gebäude‘ widerspiegelt. Hierdurch wird mein interpretativer Anteil betont, da ich versuche die Basis der Vorstellungen systematisch ‚nachzubauen‘. Die Bezeichnung ‚Identifizierung‘ verschleiert diesen Aspekt und weckt die Illusion, dass es nur eine ‚richtige‘ Lösung gibt, die nur korrekt zugeordnet werden muss.

metaphorischen Wendungen zu übersehen, wurden die metaphorischen Bestandteile in diesem Schritt noch nicht dahingehend überprüft, ob sie sich auf Vorstellungen zu erneuerbaren bzw. nicht-erneuerbaren Energieträgern beziehen. Textbestandteile konnten in diesem Fall einzelne Lexeme bis hin zu Sinnabschnitten mit mehreren Sätzen sein (z. B., wenn es sich um metaphorische Narrationen handelte (Schmitt, 2017, S. 477–478)). Das Kriterium für die Markierung war, dass die Textbestandteile der Metapherdefinition von Lakoff und Johnson (1980, s. Kapitel 3.2.6.1) entsprechen und im verwendeten Kontext nicht nur in ihrer direkten Bedeutung verwendet wurden. Im Rahmen dieser Bedeutungsübertragung kann für die metaphorischen Wendungen ein Quell- und ein Zielbereich rekonstruiert werden. Die Ergründung dieser Bereiche wird in den nächsten Analyseschritten in den Blick genommen.

#### *Analyseschritt b: Zielbereich überprüfen und Schemata zuordnen*

Im Zuge des nächsten Materialdurchganges wurden die markierten Textbestandteile dahingehend überprüft, ob sich der Zielbereich auf die Charakterisierung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger bzw. Bestandteile dieser Begriffe bezieht und somit inhaltlich der Fragestellung entspricht. Nur metaphorische Wendungen mit diesen beschriebenen Zielbereichen wurden in diesem Schritt kodiert.

Der Quellbereich einer Metapher ist häufig schwer zu identifizieren. Oft lässt sich die ursprüngliche Bedeutung eines sprachlichen Ausdrucks auf ein erfahrungsbasiertes Schema (s. Kapitel 3.2.5) zurückführen. Zur Erleichterung der Rekonstruktion des Quellbereiches erwies es sich als hilfreich, den markierten Textbestandteilen im nächsten Schritt grundlegende Schemata zuzuordnen. Die Textbestandteile wurden bei diesem Vorgehen in MAXQDA mit Codes versehen, die den Bezeichnungen der rekonstruierten Schemata entsprechen (Abbildung 8, Schritt b). Die Schemata wurden aus der Literatur (s. Kapitel 3.2.5) abgeleitet und in MAXQDA mit Memos versehen, welche die grundlegenden Merkmale der Schemata beschreiben.

#### *Analyseschritt c: Überprüfung der Metaphern*

In einem nächsten Materialdurchgang wurden nun alle im ersten und zweiten Schritt markierten Textstellen dahingehend überprüft, ob sich ein Quell- und ein – den Zielen der Arbeit entsprechender – Zielbereich rekonstruieren lassen (Pragglejaz Group, 2007; s. Abbildung 8, Schritt c). Gestaltete sich die Identifikation des Quellbereiches schwierig, so zog

ich zur Explikation etymologische Wörterbücher (Kluge & Seebold, 2011; Paul, 1992) und eine einschlägige elektronische Datenbank, das DWDS („DWDS – Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart“, o. J.) zu Rate. Das DWDS ermöglichte, die gegenwärtige Bedeutung und den derzeitigen Sprachgebrauch zu klären und somit abzuschätzen, in welcher Bedeutung die Bezeichnung im erwähnten Kontext verwendet wird und ob diese direkt oder indirekt eingesetzt wird. Die etymologischen Quellen gaben Auskunft darüber, aus welchen Erfahrungen die Wortbedeutung ursprünglich konstruiert wurde und ermöglichten im Vergleich mit der Gegenwartsbedeutung und unter Zuhilfenahme entsprechender vom DWDS bereit gestellter Korpusanalysen (wie oft das Wort in den Texten der Datenbank in welchen Kontexten verwendet wird und mit welchen anderen Wörtern zusammen) die Abschätzung, ob im konkreten Kontext eine Bedeutungsübertragung vorlag.

#### *Analyseschritt d: Metaphorische Konzepte kodieren*

Identifizierte metaphorische Wendungen wurden nach dem Muster ‚Zielbereich IST Quellbereich‘ kodiert, dazu wurde in MAXQDA jeweils induktiv ein neuer Kode erstellt. In einem dazu gehörigen Memo erläuterte ich den Quell- und die Übertragung auf den Zielbereich zusammen mit passenden metaphorischen Wendungen aus dem Text. Im weiteren Durchgang des Materials wurden entweder neue Kodes erstellt oder die entsprechende Textstelle mit einem bereits bestehenden Kode kodiert.

#### *Analyseschritt e: Zusammenfassen von metaphorischen Konzepten*

Nach dem Durchgang ca. der Hälfte des Materials wurden die metaphorischen Konzepte mit demselben Quellbereich (Schmitt, 2017) in übergeordneten Konzepten zusammengefasst und dies entsprechend in die Kodestruktur in MAXQDA übernommen. Übergeordnete und untergeordnete metaphorische Konzepte stellte ich in MAXQDA im Kodebaum durch übergeordnete und untergeordnete Kodes dar.

Während der Analyseschritte b bis e wurde an einigen Stellen eine Explikation durchgeführt, um die Gedanken hinter den jeweiligen Äußerungen besser verstehen zu können. Das Vorgehen lehnte sich dabei an den von Mayring (2015, S. 91-97) im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse vorgeschlagenen Schritten an. Die zu analysierende Einheit stellte dabei die markierte metaphorische Wendung dar. Unklare Wortbedeutungen wurden zunächst mit Hilfe des DWDS (o. J.) expliziert (vgl. Analyseschritt c). Anschließend erfolgte die Explikation

am Kontext. Vorgegangen wurde dabei von einem eng an der zu explizierenden Äußerung liegenden Kontext hin zu einem weiten Kontext.

In Bezug auf die Interviews bedeutet dies, dass zunächst im Originaltranskript desselben Interviews nach explizierendem Material gesucht wurde. Diese Suche bezog sich zuerst auf die direkt vor der Äußerung liegenden oder ihr nachfolgenden Sätze und konnte maximal auf das ganze Interview ausgeweitet werden. Falls notwendig wurden die weiteren Transkripte herangezogen, wobei zunächst die in MAXQDA erstellten Kodings zur analysierten Hauptkategorie herangezogen wurden, bevor die Suche auf die gesamten Interviews der anderen Schüler\*innen ausgeweitet wurde.

Beispielsweise wurde während der systematischen Metaphernanalyse der Interviewtranskripte der Schüler\*innen in den Äußerungen zur Verfügbarkeit im ersten Schritt der Ausdruck ‚aufhören‘ markiert. Der Zielbereich der Äußerung entspricht der Verfügbarkeit bestimmter Energieträger. Um den Quellbereich herauszufinden, zog ich zunächst das DWDS (o. J.) heran. Hier wurde die gegenwärtige Bedeutung als „enden“ („aufhören“, o. J.) angegeben. Diese Definition deutet auf ein START-WEG-ZIEL-Schema (s. Kapitel 3.2.5.3) hin. Etymologisch wird das Wort ‚aufhören‘ auf die Sinneswahrnehmung ‚Hören‘ zurückgeführt. Das Wort ‚aufhören‘ tritt in den vom DWDS analysierten Korpora zudem häufig im Zusammenhang mit dem Wort ‚Regen‘ auf („aufhören“, o. J.). Endet Regen, dann können wir ihn auch nicht mehr hören. Die Bezeichnung ‚aufhören‘ könnte somit auf eine körperliche Erfahrung zurückzuführen sein. Gegebenenfalls kommt das spezifischere FLUSS-Schema als Erfahrungshintergrund in Betracht (s. Kapitel 3.2.5.3). Zieht man in einem weiteren Schritt den engen Kontext im Interview – das heißt die umgebenden Sätze – heran, zeigt sich, dass Karl die Aussage „irgendwann kann das ja auch aufhören“ (Z. 20) trifft, um im Gespräch mit Elsa darüber zu diskutieren, ob „Wasser“ (Z. 18) erneuerbar oder nicht-erneuerbar ist. Bezieht man das gesamte Interview ein, lässt sich in einem weiteren Beispiel erkennen, dass Karl das Verb aufhören auf einen „Stoff“ (Z. 16) bezieht. Elsa spricht in dem gleichen Zusammenhang davon, dass es von diesem Stoff „nicht mehr so viel [w: gibt]“ (Z. 17) und an anderer Stelle von dem Stoff Wasser, der „mehr [w: wird]“ (Z. 21). Hieraus lässt sich rekonstruieren, dass die beiden Schüler\*innen im Kontext des metaphorischen Ausdrucks ‚aufhören‘ von einem Stoff sprechen, der in einer bestimmten Menge vorhanden ist und dessen Verfügbarkeit sich bewegt (wird mehr, kann aufhören). Diese Merkmale passen zu den Kennzeichen eines FLUSS-Schemas und stützen die aus der etymologischen Herkunft abgeleitete Anwendung. Zieht man

weitere Interviews heran, so lassen sich auch in anderen Interviews metaphorische Wendungen finden, die auf ein FLUSS-Schema hindeuten. So spricht Olga beispielsweise von „Windströme[n]“ (Z. 10) oder Daria davon, dass „[e]rneuerbare Energie [...] [w: nicht auf]hört [...] nur weil man sie nutzt“ und „[d]as“ „nicht weniger [w: wird]“ (Z. 14-16). Durch dieses explizierende Vorgehen am engeren und weiteren Kontext konnte das metaphorische Konzept ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Fluss‘ mit den untergeordneten metaphorischen Konzepten ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST nicht aufhören zu strömen‘ und ‚Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST aufhören zu strömen‘ rekonstruiert werden (s. Kapitel 8.3.1.3).

Bei der Analyse der WBGU-Gutachten (2003, 2011) wurde bei der Explikation analog zum Vorgehen der Analyse der Interviews vorgegangen: Zunächst wurden die umgebenden Sätze der zu explizierenden metaphorischen Wendung im Ausschnitt des analysierten Gutachtens untersucht. Danach wurden gegebenenfalls der gesamte Ausschnitt des analysierten Gutachtens und anschließend die Kodings des anderen Gutachtens zur analysierten Hauptkategorie herangezogen. Anschließend konnten der gesamte untersuchte Ausschnitt des anderen Gutachtens und schließlich die gesamten Gutachten – zuerst das die explizierende Äußerung enthaltende, dann das andere – herangezogen werden. Als letzten Schritt wurde die Suche sowohl für die Interviews als auch für die wissenschaftlichen Gutachten auf den kontrastierenden Hintergrund ausgeweitet.

#### *Qualitätssicherung: Diskussion und Revision mit anderen Metaphernforschenden*

Die metaphorischen Konzepte und die hierarchische Strukturierung dieser metaphorischen Konzepte wurde vor der Analyse des restlichen Materials mit weiteren in systematischer Metaphernanalyse eingearbeiteten Personen kritisch diskutiert und die kritischen Codes und Kodierungen entsprechend der Übereinkünfte in der Diskussion überarbeitet und angepasst.

#### *Systematischer Vergleich der Ergebnisse zu Lernenden- und Wissenschaftsperspektive*

Die Ergebnisse der systematischen Metaphernanalyse zu Vorstellungen der Schüler\*innen und der Wissenschaftler\*innen werden im Rahmen des Modells der didaktischen Rekonstruktion einem systematischen Vergleich unter Vermittlungsabsicht unterzogen (s. Kapitel 7.3). Wie auch bei den inhaltsanalytischen Ergebnissen erfolgt die Gegenüberstellung auf einer Ebene mittlerer Komplexität, in diesem Fall auf der Ebene der metaphorischen

Konzepte (Gropengießer, 2008, S. 186). Die metaphorischen Konzepte aus der Perspektive der Schüler\*innen werden den metaphorischen Konzepten der wissenschaftlichen Perspektive systematisch in Bezug auf die charakteristischen Merkmale der jeweiligen Perspektive, Gemeinsamkeiten, Unterschiede und die jeweiligen Grenzen vergleichend gegenübergestellt (Gropengießer, 2008, S. 188). Handlungsleitend sind bei diesem Vergleich sowohl die Fragestellung (s. Forschungsfrage 3, Kapitel 5) als auch die Vermittlungsabsicht, das heißt, die Bewertung der Nützlichkeit hinsichtlich einer verstehensfördernden didaktischen Strukturierung. Zur Interpretation werden dabei einige der von Schmitt (2017, S. 498–518) beschriebenen Heuristiken herangezogen. Zur Ergründung von Lernchancen und Lernhindernissen eruierte ich beispielsweise im systematischen Vergleich der metaphorischen Konzepte, wo gleiche Quellbereiche zur Übertragung auf denselben abstrakten Zielbereich genutzt werden und wo verschiedene. Außerdem wurde das Highlighting und Hiding der metaphorischen Konzepte der Schüler\*innen und der Wissenschaftler\*innen analysiert (s. Kapitel 3.2.6.1). Aus dieser Analyse können beispielsweise Lernhindernisse rekonstruiert und antizipiert werden, wenn Metaphern für den Zielbereich unpassende Aspekte betonen oder wichtige Aspekte verschleiern. Zugleich können sich aus dem Bereich Lernchancen ergeben, wenn bestimmte Metaphern wichtige Aspekte betonen, die ein angemessenes Verstehen unterstützen können. Ein weiterer Aspekt der Interpretation und des Vergleichs der Ergebnisse ist die Prüfung der Kohärenz der Metaphern, da nicht-kohärente Metaphern, das Verstehen unbewusst erschweren können.

**Tabelle 10 Beispiel für die Schritte der systematischen Metaphernanalyse**

Nr.	Analyseschritte	Beispiel
a)	Farbliche Markierung metaphorischer Textbestandteile	„[I: Bei der Energie wird auf [K: Wind] umgestellt, weil] das <b>ist ja da</b> und das <b>geht jetzt nicht weg</b> . (Dirk, Z. 19)
b)	Schemata zuordnen	START-WEG-ZIEL-Schema
c)	Metapher überprüfen	<u>Zielbereich:</u> Verfügbarkeit von Wind als Energieträger <u>Quellbereich:</u> Ein Weg und eine Entität, die sich (nicht) darauf bewegt
d)	Metaphorische Konzepte kodieren	Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST da sein/IST nicht weg gehen
e)	Metaphorische Konzepte mit gleichem Quellbereich zusammenfassen	Verfügbarkeit von Energie IST ein Weg



## 7 Forschungsergebnisse I: Qualitative Inhaltsanalyse

Entlang des Modells der didaktischen Rekonstruktion wurde durch die qualitative Inhaltsanalyse zunächst die Vielfalt der Vorstellungen der Lernenden rekonstruiert. Bei diesem Analyseschritt stand im Fokus, welche inhaltlichen Aspekte von den Schüler\*innen bewusst zur Charakterisierung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger herangezogen werden. Aus dem zusammenfassenden Vorgehen mit induktiver Kategorienbildung (s. Kapitel 6.5.1.1) wird ein Kategoriensystem aus fünf thematischen Hauptkategorien mit jeweils zwei dichotomen Unterkategorien rekonstruiert. In Kapitel 7.1 werden zunächst die Forschungsergebnisse dieses Analyseschrittes ausführlich beschrieben.

Bei der anschließenden Analyse der WBGU-Gutachten (WBGU, 2003, 2011) stand im Fokus, wissenschaftliche Vorstellungen zu den thematischen Hauptkategorien zu finden, um diese in einem weiteren Schritt mit den Vorstellungen der Lernenden vergleichen zu können. Hieraus ergab sich ein inhaltsanalytisches Vorgehen, bei dem die thematischen Hauptkategorien aus dem Kategoriensystem der Lernenden deduktiv auf die wissenschaftlichen Texte angelegt wurden (s. Kapitel 6.5.1.2). Weitere thematische Hauptkategorien, In-vivo-Kodes und zusammenfassende Unterkategorien wurden induktiv ergänzt. Das daraus gebildete Kategoriensystem für die wissenschaftliche Perspektive wird in Kapitel 7.2 ausführlich vorgestellt.

In Kapitel 7.3 erfolgt ein systematischer Vergleich der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse. In dieser Gegenüberstellung werden die Eigenheiten, Gemeinsamkeiten, Verschiedenheiten und Begrenztheiten der Perspektive der Lernenden und der wissenschaftlichen Perspektive herausgestellt (s. Kapitel 6.5.1.3). Aus diesem Vergleich wird unter Vermittlungsabsicht das Material für den nächsten Analyseschritt der systematischen Metaphernanalyse (s. Kapitel 8) ausgewählt.

### 7.1 Lernendenperspektive

Vielen der interviewten Schüler\*innen ist die Energiewende kein Begriff und auch zur Bezeichnung ‚erneuerbar‘ haben einige der Schüler\*innen noch keine Vorstellungen, sondern konstruieren diese während der Befragung.

In den Vorstellungen der Schüler\*innen treten trotz des geringen Vorwissens unterschiedliche inhaltliche Kriterien zu Tage, die zur Einordnung verschiedener erneuerbarer und nicht-

erneuerbarer Energieträger herangezogen werden. Beim Sortieren der Karten der Energieträger, die während der Interviews mit den Lernenden als narrativer Impuls eingesetzt wurden (s. Kapitel 6.3.2), zeigten sich wiederkehrende Themen in der Konzeptualisierung der Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Energieträger.

Die Aussagen der Schüler\*innen, mit denen diese die spezifischen Eigenschaften erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger beschreiben, lassen sich thematisch zu fünf übergeordneten Kategorien zusammenfassen (Hüfner u. a., 2016). So unterscheiden die Lernenden erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger anhand ihrer unterschiedlichen Eigenschaften in Bezug auf 1. ihre Verfügbarkeit, 2. die Auswirkungen der Nutzung, 3. ihre Erhaltung nach der Nutzung, 4. ihre Produzierbarkeit und 5. ihre Natürlichkeit (s. Tabelle 11).

**Tabelle 11 Inhaltliche Kategorien aus der Perspektive der Schüler\*innen**

Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel
<b>Verfügbarkeit</b>	Energieträger werden durch die verfügbare „Menge“ charakterisiert.	„[I/W: Bei den nicht-erneuerbaren Ressourcen] ist der Vorrat begrenzt.“ (Olga, Z. 12-13)
<b>Auswirkungen</b>	Energieträger werden durch die Auswirkungen ihrer Nutzung durch den Menschen und die damit verbundenen Folgen auf Umwelt und Gesundheit charakterisiert.	„Die [I/W: nicht-erneuerbaren Energien] sind schädlicher für die Umwelt. Zum Beispiel Uran wird in Atomkraftwerken benutzt und wenn etwas passiert, muss das ganze Land darum herum evakuiert werden und wenn eine Windmühle umkippt passiert gar nichts. Deswegen ist das viel besser. Und das Erdöl [...] verschmutzt die Luft.“ (Hugo, Z. 7-11)
<b>Erhaltung</b>	Energieträger werden dadurch charakterisiert, ob sie bei der Nutzung verbraucht werden.	„Bei {I: nicht-erneuerbar} werden die Materialien verbraucht, bei {I: erneuerbar} nicht.“ (Martin, Z. 18-19)
<b>Produzierbarkeit</b>	Energieträger werden dadurch charakterisiert, ob sie durch den Menschen oder die Natur (wieder) hergestellt bzw. produziert werden können.	„Es gibt noch keine Methode [I: nicht-erneuerbare Energieträger] zu produzieren, im Gegensatz zur Biomasse. Da steckt man den Samen in den Boden, gießt und wartet und dann wächst da etwas. Aber wenn man einen Tropfen Erdöl in den Boden tut und den gießt wird daraus nichts, der wird ja nicht mehr. Da gibt es nur die [I: nicht-erneuerbaren Energieträger], die vorhanden sind, und es gibt nichts womit man das erneuern kann.“ (Marta, Z. 30-34)
<b>Natürlichkeit</b>	Energieträger werden dadurch charakterisiert, dass sie natürlichen Ursprungs (ohne Zutun des Menschen auf der Erde vorhanden) oder künstlichen Ursprungs sind („chemische Stoffe“, „durch den Menschen erzeugt oder manipuliert“).	„Alles Natürliche ist {I: erneuerbar} und alles, [...] was die Menschen gemacht haben, [...] ist {I: nicht-erneuerbar}.“ (Frieda, Z. 85-87)

Bei der Betrachtung der Hauptkategorien fällt auf, dass sich diese thematischen Kategorien auch auf die von Menthe (2006, S. 43–46, s. Kapitel 4.2.1) erhobenen Vorstellungen anwenden lassen. Der Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ lässt sich die Kategorie „[fossile Brennstoffe] sind endlich“, der Kategorie ‚Auswirkungen‘ die Kategorie „ [fossile Brennstoffe] verursachen Umweltverschmutzung“ und der Kategorie ‚Erhaltung‘ die Kategorie „[fossile Brennstoffe] sind nach der Verwendung weg“ zuordnen (Menthe, 2006, S. 43). Die von Menthe zur Charakterisierung erneuerbarer Energien gebildeten Kategorien ‚mehrfach nutzbar‘ und ‚natürlich‘ (Menthe, 2006, S. 43) können den Hauptkategorien ‚Erhaltung‘ und ‚Natürlichkeit‘

zugeordnet werden. Die Kategorie ‚Produzierbarkeit‘ lässt sich in Menthes Kategorie ‚herstellbar‘ als Bündelung der Antworten, warum bestimmte Energieträger genutzt werden, erkennen (2006, S. 46). Die großen inhaltlichen Ähnlichkeiten bei den Aussagen zu erneuerbaren bzw. nicht-erneuerbaren Energien zwischen den Studien von Menthe (2006) und der vorliegenden Studie lassen darauf schließen, dass Schüler\*innen ähnliche Vorstellungen davon haben, welche Aspekte zur Charakterisierung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger relevant sind.

Interessante Rückschlüsse lassen sich bezüglich der Gewichtung der thematischen Hauptkategorien über die Häufigkeit der Nennungen ziehen.

▼	●	🗨️	Energieträger	📄	0
	▶	●	🗨️	Verfügbarkeit	86
	▶	●	🗨️	Erhaltung nach der Nutzung	68
	▶	●	🗨️	Auswirkungen der Nutzung	64
	▶	●	🗨️	Produzierbarkeit	42
	▶	●	🗨️	Natürlichkeit der Energieträger	11

**Abbildung 8 Screenshot der Anzahl kodierter Textstellen in den Kategorien der Schüler\*innen**

Über die gesamten Interviews hinweg sprechen die Schüler\*innen am meisten über die ‚Verfügbarkeit‘. Dies zeigt sich darin, dass dieser Kategorie die meisten Aussagen zugeordnet werden können (s. Abbildung 9). ‚Auswirkungen‘ und ‚Erhaltung‘ werden in den Aussagen der Lernenden deutlich weniger als die Verfügbarkeit thematisiert. Eine wiederum geringere Anzahl von Aussagen lässt sich thematisch dem Aspekt der ‚Produzierbarkeit‘ zuordnen. Die wenigsten Aussagen lassen sich zur Kategorie ‚Natürlichkeit‘ finden.

Innerhalb der Hauptkategorien konnten aus den In-vivo Codes der Aussagen der Lernenden Unterkategorien gebildet werden, die dichotom organisiert sind (s. Tabelle 12). In den Interviews nutzen die Lernenden die durch die analytischen Kategorien beschriebenen inhaltlichen Merkmale, die sich jeweils auf eine der thematischen Hauptkategorien beziehen (s. Tabelle 11), um die Energieträger voneinander zu unterscheiden und gegebenenfalls den Bezeichnungen ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ zuzuordnen.

**Tabelle 12 Dichotome Vorstellungen der Schüler\*innen**

Thematische Hauptkategorien	Dichotome Unterkategorien	
	Erneuerbar	Nicht-erneuerbar
Verfügbarkeit	unbegrenzt	knapp
Auswirkungen	sauber	dreckig
Erhaltung	Erhaltung	Vernichtung
Produzierbarkeit	produzierbar	nicht-produzierbar
Natürlichkeit	natürlich	künstlich

Dadurch, dass sie zwei Begriffe miteinander in Beziehung setzen, stellen die Unterkategorien analytische Kategorien dar. Sie repräsentieren in ihrer Zusammenfassung Konzepte (s. Kapitel 3.2.3), die den Begriff erneuerbar bzw. nicht-erneuerbar jeweils mit einer bestimmten Aussage zur Hauptkategorie verknüpfen. So lässt sich die Unterkategorie ‚knapp‘ beispielsweise zusammenfassend als Konzept mit der Aussage ‚nicht-erneuerbar ist knapp‘ bezüglich des Themas der Verfügbarkeit der Energieträger darstellen.

Bei der Zuordnung der Energieträger in den Interviews verwenden die Lernenden Heuristiken, die einem dichotomen Vorgehen entsprechen. Dies schlägt sich in der dichotomen Struktur der Unterkategorien nieder (Hüfner u. a., 2016).

Beziehen sich die Schüler\*innen auf die ‚Verfügbarkeit‘ der Energieträger, so ziehen sie die Unterschiede hinsichtlich der nutzbaren *Menge* als Merkmal heran, um ‚erneuerbare‘ und ‚nicht-erneuerbare‘ Energieträger voneinander abzugrenzen. Aussagen, die sich darauf beziehen, dass diese Menge beschränkt ist, werden dabei in der Regel zur Begründung der Zuordnung zu ‚nicht-erneuerbaren‘ Energieträgern genutzt. Aussagen, die sich darauf beziehen, dass Energieträger ohne Einschränkungen verfügbar sind, werden von den Schüler\*innen bei der Zuordnung zu ‚erneuerbar‘ genutzt. Aus diesen Zuordnungen ergeben sich die dichotomen Unterkategorien, die unter den Begriffen ‚unbegrenzt‘ und ‚knapp‘ zusammengefasst werden (s. Tabelle 12).

Innerhalb der Kategorie ‚Auswirkungen‘ unterscheiden die Schüler\*innen ‚erneuerbare‘ und ‚nicht-erneuerbare‘ Energieträger anhand einer Heuristik, die zu Grunde legt, ob durch die Nutzung negative Auswirkungen auf Mensch und/oder Umwelt verursacht werden. ‚Erneuerbaren‘ Energieträgern werden geringe oder keine negativen Auswirkungen zugeschrieben. Aus den Aussagen, die diesem Unterscheidungsmuster folgen, können die

Unterkategorien ‚sauber‘ für erneuerbare und ‚dreckig‘ für nicht-erneuerbare Energieträger abgeleitet werden.

Auch in Bezug auf die thematischen Kategorien ‚Erhaltung‘, ‚Produzierbarkeit‘ und ‚Natürlichkeit‘ lässt sich in den Interviews ein ähnlich heuristisches Vorgehen beobachten, was sich in den dichotomen Unterkategorien zeigt (s. Tabelle 12). Beispiele für Aussagen, die dieses Vorgehen der Schüler\*innen belegen, sind in den Ankerbeispielen in Tabelle 11 zu finden.

Die in der Anwendung der dichotomen Heuristik getroffenen Zuordnungen der Energieträger entsprechen nicht immer der Definition erneuerbarer bzw. nicht-erneuerbarer Energieträger (s. Kapitel 3.1.3.2). Beispielsweise gehen Lars und Martin bei der Sortierung der Energieträger nach einer Heuristik entlang der dichotomen Kategorien ‚begrenzt‘ und ‚knapp‘ vor. Martin sagt (Z. 18-19): „Bei [I: erneuerbar] werden die Materialien verbraucht und bei [I: nicht-erneuerbar] nicht.“ Dies führt letztlich zur Zuordnung der Biomasse zu ‚nicht-erneuerbar‘ (Beispiel s. Abbildung 10).



**Abbildung 9 Zuordnung der Karten von Lars und Martin**

Christoph hingegen nutzt als Heuristik das Merkmal der Produzierbarkeit – abgebildet in den Kategorien ‚produzierbar‘ und ‚nicht-produzierbar‘. Dies führt zu einer ganzen Reihe unangemessener Zuordnungen. So werden beispielsweise Kohle und Erdöl den erneuerbaren Energieträgern zugeordnet, weil „Kohle würde nachgemacht werden“ (Christoph, Z. 24) und „Erdöl wird immer nachproduziert“ (Z. 38-39). Wind wird hingegen nicht-erneuerbaren Energieträgern zugeordnet, weil „[W: man] [ihn] [...] nicht [...] selber machen [W: kann]“ (Christoph, Z. 47-48).

Auch wenn Menthe (2006) in seiner Studie aus den Aussagen der Schüler\*innen keine dichotomen Kategorien ableitet (s. Kapitel 4.2), zeigen die dort aufgeführten Zitate ebenfalls ein dichotomes Vorgehen der Schüler\*innen. Die Lernenden nutzen die kategorisierten Merkmale als dichotome Entscheidungsheuristik, um erneuerbare von nicht-erneuerbaren Energieträgern abzugrenzen. So wird beispielsweise ein\*e Schüler\*in zitiert mit „Benzin und Diesel sind nicht mehr „da“[,] wenn sie verbrannt werden [...]. Wasser und Wind kann man immer nutzen, wenn sie gebraucht wurde[n], ist es immer noch Wasser & Luft“ (Menthe, 2006, S. 44).

## 7.2 Wissenschaftsperspektive

In der qualitativen Inhaltsanalyse der wissenschaftlichen Texte (WBGU, 2003, 2011) wurden Aussagen kodiert, welche die verschiedenen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträger charakterisieren (s. Kapitel 6.5.1.2). Die in der Analyse der Perspektive der Lernenden induktiv gebildeten thematischen Hauptkategorien wurden dabei deduktiv angelegt und induktiv ergänzt. Dieses Vorgehen führte zu Kodierungen, die drei thematischen Hauptkategorien zugeordnet werden konnten: ‚Verfügbarkeit‘ der Energieträger, ‚Auswirkungen‘ der Nutzung der Energieträger und ‚Kosten‘ (s. Tabelle 13). Die Kategorie ‚Kosten‘ wurde hierbei induktiv ergänzt. Für die weiteren Hauptkategorien aus der Analyse der Lernendenperspektive (s. Kapitel 7.1) ließen sich bei den Wissenschaftler\*innen keine Aussagen finden, die unter die jeweiligen Kriterien fallen. Die Beschreibungen der Hauptkategorien mussten an einzelnen Stellen leicht angepasst werden (s. Tabelle 13, vgl. Kapitel 7.1).

**Tabelle 13 Inhaltliche Kategorien aus wissenschaftlicher Perspektive**

Kategorie	Beschreibung	Ankerbeispiel(e)
<b>Auswirkungen</b>	Energieträger werden durch die Auswirkungen ihrer Nutzung durch den Menschen und ggf. die damit verbundenen Folgen für Mensch und Umwelt charakterisiert.	„Die Nutzung erneuerbarer Energien zur Stromgewinnung ist in der Regel mit erheblich niedrigeren Treibhausgasemissionen verbunden als die Nutzung fossiler Energieträger.“ (WBGU, 2011, S. 125-126) „Die Nutzung erneuerbarer Energien kann mit Umweltfolgen oder unerwünschten sozialen Effekten verbunden sein.“ (WBGU, 2011, S. 128)
<b>Verfügbarkeit</b>	Energieträger werden durch die verfügbare Menge in Abhängigkeit von Zeit und Raum charakterisiert.	„Reserven, Ressourcen und andere geschätzte oder vermutete Vorkommen beschreiben jeweils eine begrenzte Gesamtmenge an gespeicherter Energie, sind also nur für nicht erneuerbare Energieträger sinnvoll definierbar.“ (WBGU, 2011, S. 118) „Bei erneuerbaren Energien ist nicht ihre Gesamtmenge, dafür aber die potenzielle Verfügbarkeit in einem bestimmten Zeitintervall, ihr Potenzial, begrenzt.“ (WBGU, 2011, S. 118)
<b>Kosten</b>	Energieträger werden durch ihre wirtschaftlichen Kosten charakterisiert.	„Während konventionelle Energieformen sich durch Verknappung langfristig verteuern werden, ist für erneuerbare Energien der gegenteilige Trend einer kontinuierlichen Kostenreduktion absehbar.“ (WBGU, 2003, S. 47)

Im MAXQDA-Dokument, in dem die Analyse durchgeführt wurde, finden sich zahlenmäßig am meisten Kodings zu den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger, gefolgt von Kodings zur Verfügbarkeit und den Kosten (s. Abbildung 10). In den analysierten Abschnitten der WBGU Gutachten (2003, S. 47–79, 101–102, 2011, S. 117–128) scheinen somit entsprechend mehr Aussagen zu Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger gemacht zu werden.

▼ ● [Icon] Charakterisierung der Energieträger WuW	[Icon]	0
▶ ● [Icon] Auswirkungen der Nutzung	[Icon]	171
▶ ● [Icon] Verfügbarkeit	[Icon]	120
▶ ● [Icon] Kosten der Energieträger	[Icon]	43

**Abbildung 10 Screenshot der Anzahl kodierter Textstellen in den Kategorien der Wissenschaftler\*innen**

Die analytischen Unterkategorien aus der qualitativen Inhaltsanalyse der Lernendeninterviews ließen sich auf die WBGU-Gutachten (2003, 2011) nicht deduktiv anwenden. Die ergänzend gebildeten In-vivo-Kodes innerhalb der Hauptkategorien (s.



Abbildung 7) konnten zu eigenen thematischen Unterkategorien gebündelt werden (s. Tabelle 14).

**Tabelle 14 Unterkategorien als inhaltliche Ausdifferenzierung der Hauptkategorien bei den wissenschaftlichen Gutachten**

Hauptkategorien	Unterkategorien		
Auswirkungen	Mensch		Umwelt
Verfügbarkeit	stofflich	zeitlich	räumlich
Kosten	Gestehungskosten		Folgekosten

In der thematischen Hauptkategorie ‚Auswirkungen‘ wurden Aussagen kodiert, welche die Folgen der Nutzung der verschiedenen Energieträger beschreiben (s. Tabelle 13). Das Ankerbeispiel „[d]ie Nutzung erneuerbarer Energien kann mit Umweltfolgen oder unerwünschten sozialen Effekten verbunden sein“ (WBGU, 2011, S. 128) zeigt, dass der WBGU auch Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer Energieträger thematisiert. Außerdem zeigt das Ankerbeispiel, dass sich die Auswirkungen noch weiter spezifizieren lassen. Dementsprechend lassen sich die in der thematischen Hauptkategorie ‚Auswirkungen‘ induktiv gebildeten In-vivo-Kodes zu den thematischen Unterkategorien ‚Mensch‘ und ‚Umwelt‘ bündeln.

Die thematische Unterkategorie ‚Mensch‘ fasst Kodings zusammen, die Aussagen zu Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern auf die Menschen (insbesondere die Gesundheit, aber auch Sozialfolgen) enthalten. Die Aussagen beziehen sich dabei gleichermaßen auf erneuerbare wie nicht-erneuerbare Energieträger. Ein Beispiel, das sich auf gesundheitliche Auswirkungen nicht-erneuerbarer Energieträger bezieht, ist die Aussage: „[Fossile Energieträger] schädigen oft die Gesundheit der Bevölkerung“ (WBGU, 2011, S. 121). Die Aussage „[Stauseen] führ[en] in den Tropen zu einem erhöhten Risiko für an Wasser gebundene Infektionskrankheiten [...]“ (WBGU, 2003, S. 58) ist hingegen ein Beispiel für gesundheitliche Auswirkungen der Nutzung von Wasserkraft als erneuerbare Energiequelle. Die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger sind aus wissenschaftlicher Perspektive nicht ausschließlich negativ bestimmt. Dies lässt sich beispielsweise an einer Aussage des WBGU (2011) zu positiven Sozialfolgen zeigen, wonach „[e]rneuerbare Energien [...] insbesondere in Niedrigeinkommensländern den Zugang zu sauberen, sicheren und

einfach verwendbaren Energieformen ermöglichen und dadurch erheblich zum Erreichen der Millenniumsentwicklungsziele beitragen [können]" (S. 126).

Die Unterkategorie ‚Umwelt‘ beinhaltet dahingegen Folgen für die Umwelt (unterscheidbar in Folgen auf die verschiedenen Umweltkompartimente und Ökosysteme). Die Aussagen beziehen sich auch hier sowohl auf erneuerbare als auch auf nicht-erneuerbare Energieträger. Beispiele für typische Kodings sind: „Die Förderung fossiler Energie [...] ist allerdings häufig mit erheblichen Umweltbelastungen verbunden“ (WBGU, 2011, S. 120), beziehungsweise: „Während [der] Herstellung [photovoltaischer Energietechnologie] [...] lassen sich Umweltrisiken für einige Dünnschichttechnologien nicht vollständig ausschließen“ (WBGU 2003, S. 76).

Der thematischen Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ wurden Aussagen zugeordnet, die sich auf quantitative Merkmale beziehen, das heißt welche Menge eines Energieträgers für die Nutzung (potenziell) zur Verfügung steht. Innerhalb dieser Aussagen lassen sich induktiv inhaltlich drei verschiedene thematische Unterkategorien bilden, die diese Quantität unterschiedlich determinieren. Für die verfügbare Menge eines Energieträgers spielen demnach stoffliche, zeitliche und räumliche Aspekte eine Rolle (Hüfner, 2016; Hüfner, Niebert, & Abels, 2017). Die zugeordneten Aussagen beziehen sich jeweils auf bestimmte Gruppen von Energieträgern, deren Verfügbarkeit durch den jeweiligen Faktor bestimmt wird. Aussagen zur Determiniertheit der Verfügbarkeit durch ‚stoffliche‘ Aspekte lassen sich in den Ausschnitten der WBGU-Berichte (2003, S. 47–79, 101–102, 2011, S. 117–128) nur zu nicht-erneuerbaren Energieträgern – fossilen Brennstoffen und Uran – finden, die in chemisch gespeicherter Form vorliegen. Laut WBGU (2011) „[ist] eine begrenzte Gesamtmenge an gespeicherter Energie [...] nur für nicht erneuerbare Energieträger sinnvoll definierbar" (S. 118).

‚Zeitliche‘ Aspekte werden zum stark überwiegenden Teil in Aussagen über erneuerbare Energiequellen genannt, da „[b]ei erneuerbaren Energien [...] nicht ihre Gesamtmenge, dafür aber die potenzielle Verfügbarkeit in einem bestimmten Zeitintervall, ihr Potenzial, begrenzt [ist]" (WBGU, 2011, S. 118).

Vor allem zu Wind- und Solarenergie werden Aussagen zu deren fluktuierender zeitlicher Verfügbarkeit getroffen, während für Wasserenergie, Geothermie und Energie aus Biomasse kontinuierliche Verfügbarkeit angeführt wird. Beispielsweise schreibt der WBGU (2003)

„Erdwärme [...] steht im Gegensatz zu Sonnen- und Windenergie kontinuierlich zur Verfügung“ (S. 78). In Bezug auf die kontinuierliche Verfügbarkeit finden sich vereinzelt auch Aussagen über die nicht-erneuerbaren Energieträger Uran und Erdgas.

In einem deutlich geringeren Umfang werden von den Wissenschaftler\*innen auch Aussagen zur Bestimmung der Verfügbarkeit über ‚räumliche‘ Faktoren (z. B. geographische Gegebenheiten) verschiedenster erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger getroffen. So heißt es beispielsweise, dass „[die] Lagerstätten [der fossilen Energieträger] geographisch weit verbreitet [sind]“ (WBGU, 2011, S. 118).

Neben Aussagen der Wissenschaftler\*innen, die sich auf die Verfügbarkeit oder die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger beziehen, lassen sich in den WBGU-Gutachten (2003, 2011) zahlreiche Aussagen finden, welche die wirtschaftlichen Kosten der Energieträger thematisieren. So heißt es beispielsweise: „Derzeit liegen die Gestehungskosten erneuerbarer Energien oft noch über jenen, die für fossile Energieträger ermittelt werden“ (WBGU, 2011, S. 126). Zur inhaltlichen Zusammenfassung dieser Aussagen wurde in der qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kapitel 6.5.1) die thematische Hauptkategorie ‚Kosten‘ induktiv ergänzt. Innerhalb der Kategorie ‚Kosten‘ lassen sich die Aussagen inhaltlich den Kostentypen der Gestehungskosten (Kosten, die zur Errichtung von Kraftwerken nötig sind) und der Folgekosten zuordnen, woraus entsprechende thematische Unterkategorien gebildet wurden. Mit Folgekosten sind beispielsweise Betriebskosten und andere zusätzlich anfallende Kosten gemeint.

### 7.3 Systematischer Vergleich

Die im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse gebildeten Kategorien für die Perspektive der Lernenden und der Wissenschaftler\*innen werden einander gegenübergestellt. Der systematische Vergleich dient zwei Zielen. Zum einen werden aus den Ergebnissen Schlussfolgerungen gezogen, welche Aspekte bei der Erstellung der Leitlinien berücksichtigt werden müssen. Zum anderen werden Konsequenzen für das weitere analytische Vorgehen abgeleitet.

Im systematischen Vergleich werden zunächst die *Eigenheiten* der rekonstruierten Vorstellungen der Lernenden und der wissenschaftlichen Gutachten herausgestellt: 1.) Vier der thematischen Hauptkategorien (Produzierbarkeit, Erhaltung, Natürlichkeit, Kosten) lassen

sich jeweils nur entweder für die Wissenschaftler\*innen oder die Lernenden bilden. Diese Hauptkategorien werden einzeln diskutiert. 2.) In den Vorstellungen der Schüler\*innen tritt in den Unterkategorien eine dichotome Denkstruktur zu Tage.

*Gemeinsamkeiten* lassen sich vor allem in den beiden von Wissenschaftler\*innen und Lernenden geteilten Hauptkategorien Verfügbarkeit und Auswirkungen der Nutzung der Energieträger finden.

Die *Verschiedenheiten*, die sich innerhalb dieser Hauptkategorien vor allem in den Unterkategorien zeigen, werden einander gegenübergestellt. In der Diskussion der jeweiligen Unterkategorien werden auch die Begrenztheiten der jeweiligen Vorstellungen erörtert.

Unter *Vermittlungsabsicht* wird auf der Grundlage des zuvor erfolgten Vergleichs schließlich eine Auswahl des Materials für die weitere Analyse getroffen und begründet.

*Eigenheiten der Perspektiven der Lernenden und der Wissenschaftler\*innen*

Die Eigenheiten der beiden Perspektiven lassen sich am besten in der direkten Gegenüberstellung der beiden Kategoriensysteme erkennen. Tabelle 15 fasst die gebildeten und angewandten Kategorien für beide Perspektiven zusammen.

**Tabelle 15 Kategoriensystem zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern** (modifiziert nach Hüfner, 2016)

Unterkategorien Schüler*innen		Hauptkategorien	Unterkategorien Wissenschaftler*innen		
Erneuerbar	Nicht-erneuerbar				
Unbegrenzt	Knapp	Verfügbarkeit	Räumlich	Zeitlich	Stofflich
Sauber	Dreckig	Auswirkungen	Mensch	Umwelt	
Produzierbar	Nicht produzierbar	Produzierbarkeit	X <sup>45</sup>		
Erhaltung	Vernichtung	Erhaltung	X		
Natürlich	Künstlich	Natürlichkeit	X		
X		Kosten	Gestehungskosten	Folgekosten	

Beim Vergleich des Kategoriensystems fällt auf, dass es mehrere Hauptkategorien gibt, die jeweils nur für eine der Perspektiven gebildet werden konnten.

<sup>45</sup> X bedeutet, dass hierzu im Ausgangsmaterial keine entsprechenden Vorstellungen gefunden wurden.

So lassen sich den Kategorien ‚Produzierbarkeit‘, ‚Erhaltung‘ und ‚Natürlichkeit‘ der Energieträger ausschließlich Aussagen der Schüler\*innen zuordnen. Die Hauptkategorie ‚Kosten‘ hingegen ließ sich nur bei den wissenschaftlichen Gutachten bilden.

Bei der Betrachtung der Unterkategorien fällt auf, dass diese für die Perspektive der Schüler\*innen dichotom organisiert sind. Gleichzeitig unterscheiden sich die Unterkategorien in ihrer Funktion: Bei den Unterkategorien der Schüler\*innen handelt es sich um analytische Kategorien, die jeweils für ein Konzept der Lernenden stehen (s. Kapitel 7.1). Die in der Analyse der wissenschaftlichen Perspektive zusammengefassten Unterkategorien stellen dahingegen thematische Kategorien (s. Kapitel 7.2) dar.

#### *Eigenheiten in den Hauptkategorien*

Auch die Hauptkategorien, die sich nicht für beide Perspektiven rekonstruieren lassen, spielen eine große Rolle für ein fachlich angemessenes Lernen.

Hinter den thematischen Hauptkategorien, die der Lernendenperspektive eigen sind, verbergen sich möglicherweise fachlich unangemessene Vorstellungen. Wie bereits in Kapitel 6.1 diskutiert, scheinen diese Themen auch in anderen Studien von Schüler\*innen im Zusammenhang mit erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern genannt zu werden.

Die – der wissenschaftlichen Perspektive – eigene Hauptkategorie steht möglicherweise für ein Thema, das für ein angemessenes Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende notwendig ist.

Um die Relevanz und die daraus zu ziehenden Konsequenzen dieser Hauptkategorien für die didaktische Strukturierung zu beurteilen, werden diese Kategorien und die dahinter liegenden Vorstellungen im Folgenden diskutiert.

#### *Lernendenperspektive: Hauptkategorie ‚Erhaltung‘*

Die Kategorie ‚Erhaltung‘ bezieht sich auf die Konservierung des Energieträgers, sodass dieser nach der Nutzung in unverändertem Zustand weiter zur Verfügung steht (s. Tabelle 11). Diese Kategorie muss im Zusammenhang mit bekannten Problemen aus der Physikdidaktik im Kontext des Verstehens von ‚Energie‘ diskutiert werden. Insbesondere das Prinzip der Energieerhaltung scheint für Lernende sehr schwer nachvollziehbar und anwendbar zu sein (s.

Kapitel 4.1). Die Schwierigkeit der Anwendung des Energieerhaltungssatzes scheint auch bei den in dieser Studie befragten Schüler\*innen gegeben zu sein. Die Lernenden vermischen in der Kategorie ‚Erhaltung‘ der Energieträger nach der Nutzung die stoffliche und die energetische Betrachtungsebene. Wenn zum Beispiel Karl sagt: „{I: Erneuerbar} ist, wenn man zum Beispiel [...] immer wieder aus dem Wasser Energie rausholen kann. Energie aus Wasser gibt es immer, solange Wasser vorhanden ist“ (Z. 3-5). Bei der Nutzung von Energie aus Wasserkraft findet keine Stoffumwandlung – also keine chemische Reaktion – statt. Der Stoff ‚Wasser‘ bleibt erhalten. Der Schüler setzt dies mit einer Art der ‚Energieerhaltung‘ gleich, die nicht den Basisideen des Energiekonzeptes nach Duit (2014; s. Kapitel 3.1.4) entspricht. Karl beachtet in seiner Aussage nicht, dass bei der Nutzung des Energieträgers Wasser, die in dem System gespeicherte potenzielle Energie im Wasserkraftwerk durch den Antrieb der Turbinen auf ein anderes System übertragen wird. Dabei findet ein Energietransfer statt, bei dem die Menge der Energie zwar insgesamt gleich bleibt (Energieerhaltungssatz), das Ausgangssystem jedoch in einen geringeren energetischen Zustand versetzt wird und durch Solarenergie im Wasserkreislauf dem System erst wieder potenzielle Energie zugeführt werden muss, damit das Wasser erneut als Energieträger fungieren kann. Die stoffliche und energetische Ebene werden miteinander vermischt. Auch Menthe (2006) führt in seiner Studie an: „Augenscheinlich wird Energie vor allem stofflich gefasst und es wird nicht klar zwischen Energie und Energieträger unterschieden“ (S. 44).

Die Vorstellungen der Lernenden bleiben sowohl bei den erneuerbaren als auch bei den nicht-erneuerbaren Energieträgern auf der stofflichen Ebene, was sich zum Beispiel in der Aussage von Martin widerspiegelt: „Bei {I: nicht-erneuerbar} werden die Materialien verbraucht, bei {I: erneuerbar} nicht“ (Z. 18-19). Dies resultiert möglicherweise daher, dass bei fossilen Brennstoffen die Nutzung der chemisch gespeicherten Energie und der Transfer auf das gewünschte System mit einer Verbrennungsreaktion und somit einer Stoffumwandlung verbunden ist. Ob dies bei den Schüler\*innen auf stofflicher und/oder energetischer Ebene mit einem ‚Vernichtungskonzept‘ verknüpft ist, das von einem ‚Verschwinden‘ des Stoffes bzw. der Energie ausgeht, ist umstritten (vgl. Kapitel 4.3; Löfgren & Helldén, 2008; Wernecke u. a., 2018). Dieser Fokus darauf, dass der Energieträger nach der Nutzung nicht mehr vorhanden ist, ist sicherlich auch durch den allgemeinen Sprachgebrauch mitverursacht. Auch in den WBGU Berichten wird vom „Verbrauch“ (z. B. WBGU 2011, S. 121) von Energie gesprochen. Anders als bei den Lernenden beziehen sich die Wissenschaftler\*innen jedoch

nicht auf die stoffliche Erhaltung bzw. Vernichtung eines Energieträgers. Dass Ausgangsprodukte bei der Energienutzung verbraucht werden, stellt auch alleine deshalb kein geeignetes Unterscheidungskriterium für erneuerbar und nicht-erneuerbar dar, da eine Stoffumwandlung beispielsweise auch bei der Nutzung von Biomasse als Energieträger stattfindet.

#### *Lernendenperspektive: Hauptkategorie Produzierbarkeit*

Die Kategorie ‚Produzierbarkeit‘ bezieht sich auf die Genese von Energieträgern vor der Nutzung durch einen zielgerichteten mit Aufwand verbundenen Prozess (s. Tabelle 11). Genauso wie bei der Kategorie der ‚Erhaltung‘ der Energieträger spielt auch bei der ‚Produzierbarkeit‘ das Verstehen der Energieerhaltung eine Rolle. Ist für die Diskussion der Hauptkategorie ‚Erhaltung‘ der Aspekt des Energieerhaltungssatzes von höchster Relevanz (Feynman u. a., 2011; s. Kapitel 3.1.3.1), welcher besagt, dass Energie nicht vernichtet werden kann, so ist für die Diskussion der Hauptkategorie ‚Produzierbarkeit‘ der Aspekt von höchster Bedeutung, welcher betont, dass Energie ebenso wenig erzeugt werden kann. Ähnlich wie bei der Kategorie ‚Erhaltung‘ ist die Vermutung naheliegend, dass die Schüler\*innen in Bezug auf die ‚Produzierbarkeit‘ nicht ausreichend zwischen stofflicher und energetischer Ebene trennen. Beispielsweise bezieht sich Marta bei ihrer Aussage zur ‚Produzierbarkeit‘ von Biomasse auf den stofflichen Zuwachs des Energieträgers, wenn sie davon spricht, dass da etwas „wächst“ (s. Tabelle 11) und im Gegensatz hierzu Erdöl „nicht mehr wird“, wenn „man einen Tropfen in den Boden tut“ (Z. 30-34). Hierbei ist unklar, ob ihr dabei bewusst ist, dass durch die chemische Reaktion der Photosynthese keine Energie und keine Materie neu erzeugt wird, sondern eine Stoffumwandlung stattfindet, die mit einem Energietransfer einhergeht.

In der Definition der induktiv gebildeten Kategorie ‚Produzierbarkeit‘ ist enthalten, dass ein gewisser Aufwand eines Subjektes nötig ist, um Energieträger herzustellen (s. Tabelle 11). Diesen Vorstellungen der Schüler\*innen, die sich auf eine aktive Handlung beziehen, könnte ein wortwörtliches Verstehen des Ausdrucks ‚erneuerbar‘ zu Grunde liegen. Das Suffix ‚-bar‘ impliziert eine „Handlungsnotwendigkeit“ (Wehling, 2016, S. 189). Ein weiterer Erklärungsansatz ist, dass auch aktuelle Definitionen erneuerbarer Energieträger Elemente beinhalten, welche die Natur als handelndes Subjekt darstellen („replenished by nature“ Ellabban u. a., 2014, S. 749; s. Kapitel 3.1.3.1). Die Vorstellung, dass erneuerbare Energieträger

produzierbar sind, zieht in der systematischen Anwendung auf weitere Energieträger fachlich unangemessene Zuordnungen nach sich (Hüfner u. a., 2016). Jana äußert zum Beispiel: „Die Sonne ist auf keinen Fall {I: erneuerbar}. Wie will man die Sonne erneuern? [...] Zum Beispiel Wärmelampen würden gehen. Aber so viele Wärmelampen wie groß die Sonne ist?“ (Z. 23-25).

#### *Lernendenperspektive: Hauptkategorie Natürlichkeit*

Die Kategorie ‚Natürlichkeit‘ beruht auf einem NATÜRLICH-KÜNSTLICH-Schema (s. Tabelle 2), das in der Vorstellungsforschung bereits bekannt ist (siehe z. B. Niebert, 2010, S. 101). Auch bei Menthe (2006; s. Kapitel 4.2) beziehen sich die befragten Schüler\*innen darauf, dass erneuerbare Energieträger aus ihrer Perspektive „natürlich“ sind. Laut Birnbacher (2008) lässt sich beim Begriff ‚Natürlichkeit‘ zwischen einer genetischen und einer qualitativen Dimension unterscheiden. Die Definition der Kategorie ‚Natürlichkeit‘ in der vorliegenden Studie bezieht sich auf die genetische Dimension, da sie sich auf den Ursprung der Energieträger bezieht (s. Tabelle 11). Während diese Art der Genese für die Schüler\*innen ein entscheidendes Kriterium für die Zuordnung zu erneuerbaren bzw. nicht-erneuerbaren Energieträgern darstellt, werden in den WBGU Berichten (2003, 2011) prinzipiell alle Energieträger in ihrer ursprünglichen Form als natürlich angesehen. So wird der Begriff Primärenergie wie folgt definiert: „Als Primärenergie wird die natürlich vorkommende Energieform bezeichnet, bevor sie unter Verlusten in nutzbare Energie, zum Beispiel in Strom, umgewandelt wurde“ (WBGU, 2011, S. 119). In den Aussagen der Lernenden lassen sich aber durchaus auch Aspekte einer qualitativen Dimension von ‚Natürlichkeit‘ erkennen, wenn zum Beispiel Anton (Z. 56-57) davon spricht, dass Wasser, Wind und Sonne „natürliche Sachen sind, die man auf der Erde hat. [...]. Ist ja alles Bio und ökologisch.“ Und dann weiter fortfährt „Die machen gar keine giftigen Abgase oder verschmutzen das Wasser.“ In Hinblick auf die didaktische Strukturierung scheint der Aspekt der ‚Natürlichkeit‘ als mögliches Lernhindernis mitberücksichtigt werden zu müssen, indem gegebenenfalls über die Natürlichkeit fossiler Brennstoffe und Uran reflektiert wird, die von den Schüler\*innen bisweilen als unnatürliche, künstliche bzw. „chemische Stoffe“ (z. B. Jana Z. 74) angesehen werden. Hierbei ist es hilfreich, im Unterricht die genetische Dimension von Natürlichkeit und somit die Entstehungsprozesse dieser Energieträger in den Vordergrund zu stellen.



### *Wissenschaftsperspektive: Hauptkategorie Kosten*

Die Kategorie ‚Kosten‘ wurde während der Inhaltsanalyse der WBGU-Berichte (2003, 2011) induktiv ergänzt. In den wissenschaftlichen Gutachten haben Aussagen zu Kosten der Energieträger eine große Bedeutung, während sie in den Interviews mit den Schüler\*innen nicht erwähnt werden. Dass die Lernenden bei der Kategorisierung und dem Vergleich der Energieträger monetäre Aspekte unberücksichtigt lassen, liegt möglicherweise an ihrem jungen Alter. Bislang bezahlen die verantwortlichen Erwachsenen die Rechnungen für die Energienutzung – wie zum Beispiel die Stromrechnung, Heiz- und Benzinkosten –, sodass diese Einflüsse den Schüler\*innen in ihrer Lebenswelt eher weniger begegnen (Hüfner u. a., 2017). Erwachsene scheinen diesem Aspekt eine große Rolle einzuräumen (Wertgen, 2015). Dass bereits Grundschüler\*innen den Kostenaspekt verstehen können, konnten Merritt u. a. (2019) in Ihrer Studie zeigen. Nachdem das Thema im Unterricht behandelt wurde, führten die Schüler\*innen unter anderem auch ökonomische Aspekte auf, wenn sie begründen sollten, warum sie eine bestimmte Energiequelle bevorzugen. Bei Menthe (2006, S. 46) werden von den Lernenden monetäre Aspekte an erster Stelle genannt, wenn es um Kriterien für eine Entscheidung für die Verwendung bestimmter Energieträger geht. Betrachtet man die Rolle, die Kostenaspekte bei Menthe (2006) und Merritt u. a. (2019) spielen, ist der Grund dafür, dass die Schüler\*innen in der vorliegenden Studie nicht von Geld reden, eher durch die Fragestellung bedingt. In der vorliegenden Studie sollten die Lernenden die Energieträger vergleichen und zuordnen. Eine explizite Frage zur Bewertung der Energieträger wurde nicht gestellt. Dass die Kostenkategorie bei der Analyse der WBGU-Gutachten (2003, 2011) induktiv ergänzt wurde, ist vor diesem Hintergrund plausibel, da die Gutachten mit dem Ziel erstellt wurden, als Grundlage für Bewertungen und Entscheidungen politischer Akteur\*innen zu dienen. Obwohl die Kategorie ‚Kosten‘ nur indirekt mit den naturwissenschaftlichen Hintergründen der Energiewende zusammenhängt, fallen monetäre Aspekte für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende besonders ins Gewicht. Für einen Unterricht, der Schüler\*innen im Sinne einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung eine Beteiligung an der gesellschaftlichen Debatte und Bewertungen ermöglichen soll, ist es von immenser Bedeutung, Kostenaspekte mit einzubeziehen, da ökonomische Faktoren für die entsprechenden politischen Entscheidungen eine entscheidende Rolle spielen.

### *Lernendenperspektive: dichotome Vorstellungen*

In den Hauptkategorien ‚Verfügbarkeit‘, ‚Auswirkungen‘, ‚Produzierbarkeit‘, ‚Erhaltung‘ und ‚Natürlichkeit‘ befinden sich Kodings mit Aussagen, in denen die Lernenden die Energieträger entsprechend dichotomer Unterkategorien zum Beispiel ‚unbegrenzt‘ – ‚knapp‘ oder ‚sauber‘ – ‚dreckig‘ als Entscheidungsheuristik erneuerbaren respektive nicht-erneuerbaren Energieträgern zuordnen (s. Tabelle 12).

In unserem Alltag orientieren wir uns für unsere Entscheidungen häufig an Dichotomien und Heuristiken, um daraus einfache Daumenregeln abzuleiten, die oft verblüffend gute Ergebnisse hervorbringen (Gigerenzer & Brighton, 2009). Der Vergleich der hier erhobenen Perspektive der Lernenden und der Wissenschaft ermöglicht es, Unterschiede zu erkennen, die Hinweise darauf geben, welche Hindernisse in den von den Lernenden üblicherweise angewendeten Dichotomien verborgen sind, die einen Blick auf die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge verstellen und gegebenenfalls teilweise auch zu unangemessenen Zuordnungen führen (s. Kapitel 7.1). Das dichotome Vorgehen könnte auch eine Erklärung für die bereits in anderen Studien beobachteten Probleme bei der korrekten Zuordnung verschiedener Energieträger zu ‚erneuerbar‘ beziehungsweise ‚nicht-erneuerbar‘ sein (s. Kapitel 4.2).

### *Gemeinsamkeiten in den Hauptkategorien*

Lediglich bei den Hauptkategorien ‚Verfügbarkeit‘ und ‚Auswirkungen‘ lassen sich sowohl entsprechende Kodings von Aussagen der Schüler\*innen als auch der Wissenschaftler\*innen finden (s. Tabelle 15).

Die thematische Kategorie ‚Verfügbarkeit‘ bündelt Aussagen, die Aufschluss über die Vorstellungen zu Voraussetzungen für eine mögliche Nutzung unterschiedlicher Energieträger geben. In den Textabschnitten der WBGU-Gutachten (2003, 2011) finden sich Informationen über die vorhandenen Ressourcen, welche die Ausgangslage für eine erfolgreiche Transformation des Energiesektors darstellen.

Hingegen subsumiert die thematische Kategorie ‚Auswirkungen‘ Aussagen, welche die naturwissenschaftlichen Folgen der Nutzung verschiedener Energieträger beschreiben. Aus Perspektive der Wissenschaft enthält diese Kategorie Angaben, die Konsequenzen verschiedener Energieversorgungszenarien im Rahmen der Energiewende beurteilen.

Dass diese beiden Themenbereiche für ein Verstehen der Energiewende essentiell sind, zeigt sich bereits im fachlichen Rahmen zur Energiewende (s. Kapitel 3.1). Diese Bedeutung scheint auch den Schüler\*innen bewusst zu sein, da sie in den Interviews ebenfalls zahlreiche Äußerungen zur Verfügbarkeit und den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger machen. In diesen thematischen Gemeinsamkeiten könnte der Ansatzpunkt für die Förderung eines fachlich angemessenen Verstehens liegen. Um konkrete Maßnahmen für Unterrichtsleitlinien ableiten zu können, sollten diese Hauptkategorien genauer betrachtet und verglichen werden. Hierzu werden im Folgenden die Verschiedenheiten in den Hauptkategorien und die darin enthaltenen Begrenztheiten betrachtet.

#### *Verschiedenheiten in der Gewichtung der Hauptkategorien*

Im Vergleich der Anzahl der zugeordneten Aussagen aus der Perspektive der Lernenden bzw. der Wissenschaftler\*innen fällt auf, dass sich die meisten Aussagen der Schüler\*innen auf die Kategorie der ‚Verfügbarkeit‘ der Energieträger beziehen, während bei der Inhaltsanalyse der WBGU-Gutachten (2003, 2011) der Großteil der Aussagen der Kategorie ‚Auswirkungen‘ der Nutzung der Energieträger zugeordnet wurde (s. Abbildung 9, Abbildung 11). Eine mögliche Erklärung ist, dass die Debatte um erneuerbare Energien ebenso wie die Genese des Begriffs geschichtlich auf die späten sechziger Jahre zurückgeht, in welcher die nicht ausreichende Verfügbarkeit fossiler Brennstoffe im Vordergrund stand (s. Kapitel 3.1.1). Allerdings stehen in der heutigen Debatte – somit auch in den WBGU-Gutachten (2003, 2011) – die Reduktion der Treibhausgasemissionen und dadurch die Auswirkungen der Nutzung der verschiedenen Energieträger im Vordergrund. Hinsichtlich der Bedeutung des Wortes ‚erneuerbar‘ hat sich im Zuge der Veränderung des motivationalen Hintergrundes für eine Energiewende im Laufe der Zeit eine Bedeutungsverschiebung des Begriffes ereignet. Stand früher die Verfügbarkeit der Energieträger im Vordergrund, ist es nun die Nutzung der Energieträger. Dieser Bedeutungswandel zeigt sich sprachlich bei den Schüler\*innen allerdings nicht.

#### *Verschiedenheiten der Unterkategorien*

Auf der Seite der Wissenschaftler\*innen existieren innerhalb der geteilten Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ die Unterkategorien ‚räumlich‘, ‚zeitlich‘ und ‚stofflich‘. Die Hauptkategorie ‚Auswirkungen‘ unterteilt sich in die thematischen Unterkategorien ‚Mensch‘ und ‚Umwelt‘ (s. Tabelle 15). Auf Seiten der Schüler\*innen wurden die Unterkategorien ‚unbegrenzt‘ und ‚knapp‘ für die Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ beziehungsweise ‚sauber‘ und ‚dreckig‘ für die

Hauptkategorie ‚Auswirkungen‘ gebildet. Im Gegensatz zu den Unterkategorien der Schüler\*innen sind die der Wissenschaftler\*innen nicht dichotom auf erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger anwendbar.

Entsprechend der unterschiedlichen und komplexen Eigenschaften der einzelnen Energieträger wird in den wissenschaftlichen Gutachten deren Verfügbarkeit durch räumliche, stoffliche oder zeitliche Bedingungen bestimmt. Während in den Vorstellungen der Lernenden erneuerbare Energieträger unbegrenzt verfügbar sind (s. Tabelle 11), ist in den Vorstellungen der Wissenschaftler\*innen jeder Energieträger räumlich, stofflich oder zeitlich begrenzt verfügbar (s. Tabelle 13). Für erneuerbare Energiequellen wird dabei zum Beispiel eher eine zeitliche Begrenzung gesehen (WBGU, 2011, S. 118). Nicht-erneuerbare Energieträger werden in den Vorstellungen der Schüler\*innen als knapp angesehen, während in den WBGU-Gutachten die global vorhandene stoffliche Menge als so reichlich angesehen wird, dass sie sich sogar als Transformationshindernis erweisen könnte (WBGU, 2011, S. 118).

In Bezug auf die Auswirkungen werden von den Schüler\*innen erneuerbare Energieträger generell als sauber, nicht-erneuerbare Energieträger als dreckig konzeptualisiert (s. Tabelle 11). Die Unterkategorien der wissenschaftlichen Gutachten spiegeln hingegen, dass die Auswirkungen jedes Energieträgers im Hinblick auf seine Auswirkungen sowohl auf die Menschen als auch die Umwelt beschrieben werden (s. Tabelle 13). Diese möglichen Auswirkungen erstrecken sich auch auf erneuerbare Energiequellen (WBGU, 2011, S. 128).

Dass die Wissenschaftler\*innen die einzelnen Energieträger in ihren Gutachten differenzierter betrachten, liegt vermutlich auch an den unterschiedlichen Textarten, die zur Analyse herangezogen wurden. Es ist wenig verwunderlich, dass ein in einem Expert\*innengremium – mit hoher Wahrscheinlichkeit in einem langwierigen Diskussionsprozess – erstelltes und ausgehandeltes schriftliches Ergebnispapier eine sehr differenzierte Betrachtung der einzelnen Energieträger vornimmt. In einem Interview, in dem sich einzelne Lernende ad hoc mündlich zu einem Thema äußern sollen, ist diese Differenziertheit nicht zu erwarten; vor allem hinsichtlich des Aspekts, dass ihnen einführend vermittelt wird, dass es nur auf ihre Vorstellungen und nicht auf die Richtigkeit ihrer Erzählungen ankommt.

### *Begrenztheiten in den Hauptkategorien Verfügbarkeit und Auswirkungen*

Bei den Schüler\*innen ließen sich mehr Aussagen der Hauptkategorie ‚Verfügbarkeit‘ der verschiedenen Energieträger zuordnen als der Hauptkategorie ‚Auswirkungen‘ (s. Abbildung 9). Dass Schüler\*innen zahlenmäßig weniger Aussagen zu den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger machen als zu anderen Eigenschaften, lässt sich auch bei Menthe (2006) beobachten. Auch Aguirre-Bielschowsky u. a. (2017) stellten in ihrer Untersuchung fest, dass die Lernenden zwar Energiequellen benennen können, aber Probleme haben, die Auswirkungen der Nutzung zu beschreiben. In der aktuellen gesellschaftlichen Diskussion stehen jedoch die Kohlenstoffdioxidemissionen im Vordergrund (s. Kapitel 3.1). Für die Strukturierung eines Unterrichts, der sich mit der Energiewende beschäftigt, ist es daher von besonderer Wichtigkeit, die Aufmerksamkeit der Lernenden insbesondere auf die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger zu lenken.

Die in den analytischen Unterkategorien der Lernenden repräsentierten gedanklichen Konzepte ‚erneuerbar ist unbegrenzt‘ – ‚nicht-erneuerbar ist knapp‘ und ‚erneuerbar ist sauber‘ – ‚nicht-erneuerbar ist dreckig‘ mögen auf den ersten Blick plausibel und möglicherweise hilfreich für eine Orientierung im Alltag erscheinen. Dennoch ermöglichen sie den Schüler\*innen keine differenzierte Bewertung der verfügbaren Energieressourcen als Ausgangslage der Energiewende beziehungsweise der Folgen verschiedener Nutzungskonzepte zur Eindämmung der Klimakrise.

Die Konzepte der Lernenden zur Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger sind dahingehend begrenzt, dass sie zum Beispiel die fluktuierende Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie unberücksichtigt lassen. Die dichotomen Konzepte der Lernenden zu Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger erfahren ihre Grenzen zum einen in der Hinsicht, dass Energienutzung immer mit bestimmten Folgen verbunden ist und kein Szenario einer auswirkungsfreien Energienutzung gibt. Zum anderen bieten sie ebenso wie die Unterkategorien der Wissenschaftler\*innen noch keine Ansatzpunkte zur Erklärung des Zusammenhangs der Auswirkungen der Nutzung mit Kohlenstoffströmen. Aus der fachdidaktischen Forschung ist jedoch bereits bekannt, dass dieser Zusammenhang für Schüler\*innen schwer zu verstehen ist (s. Kapitel 3.3.4).

Eine weitere Grenze in den in der qualitativen Inhaltsanalyse rekonstruierten Vorstellungen der Wissenschaftler\*innen liegt darin, dass sich daraus keine alltagstauglichen Heuristiken

ergeben, die eine schnelle Einordnung und Bewertung verschiedener Energieträger hinsichtlich ihrer Verfügbarkeit und den Auswirkungen ihrer Nutzung ermöglichen.

### *Bedeutung des Kategoriensystems unter Vermittlungsabsicht*

Bei der Betrachtung des Vergleichs der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse unter Vermittlungsabsicht lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- In den Kategorien ‚Produzierbarkeit‘, ‚Erhaltung‘ und ‚Natürlichkeit‘ (s. Tabelle 11), zeigen sich bei den Lernenden *Probleme des Verstehens* des Basiskonzeptes Energie (insbesondere Energieerhaltung), die in der Lehr-Lern-Forschung bereits bekannt sind.
- Fachlich unangemessene Vorstellungen innerhalb der Kategorien ‚Produzierbarkeit‘ und ‚Erhaltung‘ sind unter anderem auf die *unzureichende Differenzierung zwischen stofflicher und energetischer Ebene* zurückzuführen.
- Der Begriff *erneuerbar* ist für fachlich angemessenes Verstehen problematisch (s. Kategorie ‚Produzierbarkeit‘).
- Hinsichtlich der Natürlichkeit von Energieträgern sollte den Lernenden ein *genetisches Verstehen von Natürlichkeit* erläutert werden, das alle Primärenergieträger miteinschließt.
- *Kostenaspekte* sollten miteinbezogen werden, auch wenn diese sich nicht auf naturwissenschaftliche Hintergründe der Energiewende beziehen. Für die erfolgreiche Umsetzung und die Einschätzung realistischer Energieversorgungszenarien sind Kosten von entscheidender Bedeutung.

Die Förderung fachlichen Verstehens der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende sollte an den geteilten thematischen Kategorien der Verfügbarkeit und der Auswirkungen der Energieträger ansetzen. Die *Verfügbarkeit* von Energieträgern stellt die *Voraussetzung zur erfolgreichen Transformation des Energiesektors* dar, während die *Auswirkungen* der Nutzung verschiedener Energieträger die *Bewertungsgrundlage* für die Zusammensetzung eines nachhaltigen Energiemixes bieten.

Der Vergleich der geteilten Hauptkategorien unter Vermittlungsabsicht führt zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Aspekte der *Auswirkungen* der Nutzung verschiedener Energieträger müssen angesichts der Gewichtung in der derzeitigen gesellschaftlichen Debatte in den Vordergrund gestellt werden.
- Die dichotomen Vorstellungen der Schüler\*innen sollten zu alltagstauglichen Heuristiken erweitert werden. Hinsichtlich der Verfügbarkeit sind Aspekte wie die fluktuierende Verfügbarkeit von Wind- und Solarenergie zu berücksichtigen. In Bezug auf die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger sollten Auswirkungen aller Energieträger diskutiert werden.

Bislang ergeben sich aus dem Vergleich der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse keine Ansatzpunkte für den Zusammenhang der Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger mit Kohlenstoffströmen. Um in den Leitlinien für den Unterricht konkrete Empfehlungen für die didaktische Strukturierung im Unterricht geben zu können, ist es nötig, die Hauptkategorien ‚Verfügbarkeit‘ und ‚Auswirkungen‘ auf ihre erfahrungsbasierten Hintergründe zu untersuchen. In diese Analyse der erfahrungsbasierten Hintergründe sollten darüber hinaus auf einer übergeordneten Ebene die Hintergründe alternativer Vorstellungen zum Begriff ‚erneuerbar‘ miteingeschlossen werden.

## 8 Forschungsergebnisse II: Systematische Metaphernanalyse

Das Ziel der qualitativen Inhaltsanalyse war es, die Vielfalt an Vorstellungen auf einer inhaltlichen beziehungsweise thematischen Ebene zu erheben. In diesem ersten Analyseschritt wurden unter einer Vermittlungsabsicht bestimmte Aspekte für das Verstehen der Energiewende als besonders relevant konstatiert. Diese Aspekte werden in der systematischen Metaphernanalyse entlang der Forschungsfragen (s. Kapitel 4) in Bezug auf die erfahrungsbasierten Hintergründe weiter untersucht.

Aus naturwissenschaftlicher Perspektive sind die Themenbereiche ‚Verfügbarkeit‘ und ‚Auswirkungen‘ der Nutzung der Energieträger besonders relevant. Sowohl Schüler\*innen als auch Wissenschaftler\*innen machen Aussagen zu diesen Themenbereichen. Im Rahmen der Metaphernanalyse wurden die erfahrungsbasierten Hintergründe über metaphorische Konzepte zu Verfügbarkeit und Auswirkungen der Energieträger rekonstruiert.

Die Bezeichnung ‚erneuerbar‘ kann zu unangemessenen Vorstellungen bei den Lernenden führen. Im Rahmen der Metaphernanalyse wurden deshalb auch metaphorische Konzepte der Schüler\*innen zum Begriff ‚erneuerbar‘ rekonstruiert.

Gleichzeitig ist den meisten Schüler\*innen in den Interviews der Ausdruck Energiewende nicht bekannt. Wie die Wissenschaftler\*innen die Energiewende als Gesamtprozess rahmen, kann Ansatzpunkte für ein lernförderliches Framing geben. Deshalb wurde das metaphorische Framing der Energiewende in den Gutachten der WBGU ebenfalls rekonstruiert.

Zunächst werden diese allgemeinen Frames der Wissenschaftler\*innen vorgestellt (s. Kapitel 8.1), anschließend die metaphorischen Konzepte zum Begriff ‚erneuerbar‘ (s. Kapitel 8.2),

bevor die spezifischeren Ergebnisse zur Verfügbarkeit (s. Kapitel 8.3) und den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger (s. Kapitel 8.4) präsentiert werden.

## 8.1 Frames der Wissenschaftler\*innen zur Energiewende

Bei der Betrachtung der Ausschnitte der wissenschaftlichen Gutachten (WBGU, 2003, 2011), die sich auf die Beschreibung der verschiedenen Energieträger beziehen, fällt auf, dass viele der dortigen Aussagen Metaphern enthalten, die drei übergeordneten metaphorischen Konzepten zugeordnet werden können. Diese metaphorischen Konzepte beziehen sich nicht nur auf die Energieträger selbst, sondern umfassen die Energiewende jeweils als Ganzes: ‚Energiewende IST ein Weg‘, ‚Energiewende IST der Umbau eines Gebäudes‘, ‚Energiewende IST Krieg‘ (s. Tabelle 16). Diese metaphorischen Konzepte sind auch im öffentlichen Sprachgebrauch (z. B. in den Medien) üblich (s. Anhang, kontrastierender Hintergrund). Da die Rahmung der Energiewende als Gesamtprozess für das Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger relevant ist und im Hinblick auf Vermittlungssituationen ein Lernhindernis bzw. eine Lernchance darstellen kann (z. B. in Hinblick auf inkonsistente oder konsistente metaphorische Konzepte zu verschiedenen Aspekten der Eigenschaften erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger), werden die entsprechenden Ergebnisse in diesem Kapitel genauer vorgestellt.



Tabelle 16 Metaphorische Konzepte zur Energiewende allgemein aus Wissenschaftsperspektive

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten	Weitere Textstellen <sup>46</sup>
<b>Energiewende IST ein Weg</b>	„Umweltauswirkungen für einen <i>Pfad</i> mit starkem Ausbau nicht fossiler Technologien und einen kohleintensiven <i>Pfad</i> “ (WBGU, 2003, S. 113) „ <i>Auslaufen</i> der Nutzung nuklearer Energieträger“ (WBGU, 2003, S. 2)	Pfad, Engpässe, Leitplanken, Fahrplan, voranschreiten, zu etwas führen, zu etwas kommen, auslaufen, einschwenken, Übergang, Fortschritt(e), Stationen, Standorte, Umkehr, Rückgang	(WBGU, 2003, S. 2, 3, 4, 5, 47, 69, 70, 103, 113, 135, 149, 156, 221, 224) (WBGU, 2011, S.3, 118, 120, 126, 285, 286)
<b>Energiewende IST Umbau eines Gebäudes</b>	„Später sollte der <i>Aufbau</i> einer <i>Infrastruktur</i> für Wasserstoffspeicherung und -verteilung unter Nutzung von Erdgas als <i>Brückentechnologie</i> erfolgen.“ (WBGU, 2003, S. 5) „Die gemeinsame Darstellung verschiedener Energieformen und -quellen in einem globalen <i>Mengengerüst</i> stellt ein prinzipielles Problem dar.“ (WBGU, 2003, S. 135)	Umbau, Ausbau, Aufbau, Struktur(en), basieren, decken, (aus-/er-) schließen, Umstrukturierung, Stabilisierung, verbunden, Gerüst, Brücken	(WBGU, 2003, S. 25, 101, 135, 149, 224) (WBGU, 2011, S. 118, 120, 124, 125, 126, 127, 128)
<b>Energiewende IST Krieg</b>	„das Energiesystem für den großskaligen Einsatz fluktuierender erneuerbarer Quellen zu <i>ertüchtigen</i> “ (WBGU, 2003, S. 5) „Die Nutzung fossiler Energieträger [...] muss möglichst so erfolgen, dass [...] Kraftwerkstechnologien leicht auf erneuerbare Energieträger <i>umgerüstet</i> werden können.“ (WBGU, 2003, S. 3-4)	schädigen, schädlich, Schaden/Schäden, Schadstoffe, Opfer, (be-) schützen, zerstören, (be-) kämpfen, verteidigen, Verluste, Konflikte, Auseinandersetzungen, zurückdrängen, ertüchtigen, Umrüstung, Rüstzeug	(WBGU, 2003, S. 3, 4, 5, 7, 51, 115, 149, 156, 224) (WBGU, 2011, S. 97, 121, 128)

### *Framing als Weg*

Bei der systematischen Metaphernanalyse (s. Kapitel 6.5.2) der WBGU Gutachten (2003, 2011) fällt auf, dass in den Schriftstücken zahlreiche metaphorische Wendungen vorkommen, die dem Frame (s. Kapitel 3.2.6.2) eines Weges entsprechen. Erkennen lässt sich diese Rahmung daran, dass viele Wörter verwendet werden, die sich dem Quellbereich eines Weges zuordnen lassen. Beispielsweise wird wiederholt von verschiedenen alternativen ‚Pfadern‘

<sup>46</sup> Zum Teil befinden sich auf einer genannten Seite mehrere Zitate mit entsprechenden Metaphern. Da in den WBGU-Berichten (2003, 2011) keine Zeilennummern angegeben sind, ist es schwierig die Textstellen präziser einzugrenzen. Eine ausführliche Auflistung der entsprechend kodierten Textstellen befindet sich im Anhang.

gesprochen wie „einem exemplarische[n] Pfad für eine nachhaltige Transformation der Energiesysteme“ (WBGU, 2003, S. 103), einem „fossil-nukleare[n] Pfad“ im Vergleich zu einem „Pfad, der auf regenerative Energieträger und Steigerung der Energieeffizienz setzt“ (WBGU, 2003, S. 2) oder verschiedenen „Konversionspfaden“ (WBGU, 2003, S. 135) für erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger und der Notwendigkeit für Entwicklungsländer einen „emissionsarmen Entwicklungspfad“ (WBGU, 2011, S. 286) einzuschlagen. Zugleich wird betont, dass sich die Welt derzeit noch auf einem „fossilen Wachstumspfad“ (WBGU, 2011, S. 285) befindet. Neben diesem wörtlichen Bezug auf einen Weg<sup>47</sup> lassen sich zahlreiche weitere Ausdrücke finden, die auf diesen Quellbereich und einen entsprechenden Frame hinweisen. So kann es zu „Engpässen“ (WBGU, 2011, S. 120) kommen, es werden „Leitplanken“ (WBGU, 2003, S. 2) definiert, die Grenzen für einen Pfad abstecken, der nachhaltigen Kriterien folgt. Zugleich wird die Transformation „vorangetrieben“ (WBGU, 2011, S. 118) und es geht darum, wie weit dieser Prozess „fortgeschritten“ (WBGU, 2003, S. 69) ist. Es gibt einen „[F]ahrplan“ (WBGU, 2003, S. 4), bestimmte Maßnahmen „führen“ (WBGU, 2003, S. 5) beziehungsweise es kann „zu“ bestimmten Folgen „kommen“ (WBGU, 2011, S. 120). Es gibt „Überg[ä]ng[e]“ (WBGU, 2003, S. 4), „Stationen“ (WBGU, 2003, S. 4) und „[S]tandort[e]“ (WBGU, 2011, S. 126) die für die Energiewende von Bedeutung sind. An manchen Stellen ist eine „Umlenkung“ (WBGU, 2003, S. 149) oder ein „Rückgang“ (WBGU, 2011, S. 120) bzw. eine „[U]mkehr“ (WBGU, 2011, S. 3) erforderlich. Es geht bei dieser Richtungsänderung um das „[E]inschwenken“ (WBGU, 2011, S. 3) auf den richtigen Pfad. Zusammenfassend lässt sich aus der Vielzahl von Metaphern, die sich auf den Quellbereich eines Weges beziehen, das allgemeine metaphorische Konzept ‚Energiewende IST ein Weg‘ rekonstruieren (s. Tabelle 16).

#### *Framing als Umbau eines Gebäudes*

Ein weiteres metaphorisches Konzept, das sich in den WBGU Gutachten (2003, 2011) finden lässt, ist ‚Die Energiewende IST der Umbau eines Gebäudes‘ (s. Tabelle 16). Ein Baustellen-Frame lässt sich an der Verwendung zahlreicher Metaphern aus diesem Quellbereich erkennen. So wird von einem „Umbau“ des Energiesystems (WBGU, 2003, S. 2), vom „Ausbau“ (WBGU, 2011, S. 128) und „Aufbau“ (WBGU, 2003, S. 5) von „[S]trukturen“ (WBGU, 2003, S. 5) zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen gesprochen. Es wird beschrieben, auf der

---

<sup>47</sup> Laut DWDS ist ein Pfad ein „schmalere Weg“ („Pfad“, o. J.).

Nutzung welcher Energieträger das neue Energiesystem „basier[en]“ (bzw. nicht basieren) soll (WBGU, 2011, S. 125) und ob erneuerbare Energieträger den Bedarf „decken“ (WBGU, 2011, S. 126) können. Beim Umbau sollen bestimmte Folgen „ausgeschlossen“ (WBGU, 2011, S. 127) und erneuerbare Energiequellen „erschlossen“<sup>48</sup> (WBGU, 2003, S. 3) werden. Bei der „Umstrukturierung“ (WBGU, 2011, S. 118) geht es auch darum, welche Strukturen miteinander „verbunden“<sup>49</sup> (WBGU, 2011, S. 124) sind. Auch die Statik spielt beim ‚Umbau‘ des Energiesystems eine große Rolle, schließlich ist das wiederholt (teilweise mit Bezug auf die Klimarahmenkonvention (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)) thematisierte Ziel die „Stabilisierung“ (WBGU, 2003, S. 2) der atmosphärischen Treibhausgaskonzentration.

### *Framing als Krieg*

In den WBGU Gutachten (2003, 2011) gibt es außerdem Metaphern, die auf den Quellbereich einer gewalttätigen Auseinandersetzung von Antagonisten, wie einen ‚Kampf‘ oder ‚Krieg‘ (s. Tabelle 2) schließen lassen, was im metaphorischen Konzept ‚Energiewende IST Krieg‘ zusammengefasst werden kann (s. Tabelle 16). Häufig ist bei den Auswirkungen der Nutzung von verschiedenen Energieträgern von „schädigen“ (WBGU, 2011, S. 121), „zerstören“ (WBGU, 2011, S. 128) und „Verlust[en]“ (WBGU, 2011, S. 128) die Rede (s. Kapitel 8.4.2.1). Dabei geht es vor allem um den „[S]chutz“ (WBGU, 2011, S. 128) von Klima und Natur, wozu wie in einem Krieg „[S]trategien“ (WBGU, 2003, S. 5) entwickelt und verwendet werden. Außerdem gibt es beispielsweise bei der Verwendung von Biomasse als Energieträger (Nutzungs-)„Konflikte“ (WBGU, 2003, S. 3) und es geht bei der Energiewende darum, dass Infrastruktur und Kraftwerkstechnologie „umgerüstet“ (WBGU, 2003, S. 3–4) werden. Fossile und Kernenergieträger sollen „zurückgedrängt“ (WBGU, 2003, S. 5) werden. Das Energiesystem muss für erneuerbare Energieträger „ertüchtig[t]“ (WBGU, 2003, S. 5) werden. Zugang zu moderner Energie soll Armut „bekämpf[en]“ (WBGU, 2003, S. 7) und es gibt bei der Energiewende antagonistische Akteur\*innen, die ihre Privilegien und Rollen „verteidigen[.]“ (WBGU, 2011, S. 97).

---

<sup>48</sup> Die direkte Bedeutung ist, etwas „Verschlossenes“ für jemanden „zugänglich“ zu machen („erschließen“, o. J.).

<sup>49</sup> „Gegenstände, besonders Bauteile, durch ein zusammenhaltendes Mittel aneinander, miteinander befestigen“ („verbinden“, o. J.).

### *Diskussion der Frames unter Vermittlungsabsicht*

Eine Diskussion des allgemeinen Framings der Energiewende in den wissenschaftlichen Gutachten (2003, 2011) als ‚Weg‘, ‚Umbau eines Gebäudes‘ beziehungsweise ‚Krieg‘ ist interessant<sup>50</sup>, da sich in dieser metaphorischen Rahmung Hindernisse und Chancen für ein angemessenes Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende erkennen lassen. Diese Erkenntnisse sollten in die didaktische Strukturierung des Themas für den Unterricht mit einfließen. Welche fachlichen Aspekte durch welche Frames betont und welche verschleiert werden, wird im Folgenden diskutiert. Diese Gegenüberstellung wird genutzt, um daraus Empfehlungen für einen bewussten Einsatz der Frames im Unterricht abzuleiten und so bestimmte fachliche Aspekte zu akzentuieren.

Wird die Energiewende als ‚Weg‘ gerahmt, so betont dieses Framing einige Aspekte, die den möglichen zeitlichen Ablauf der Energiewende gut beschreiben. Der Begriff der ‚Energiewende‘ selbst passt in diesen Frame und steht für das Einschlagen eines neuen Weges beziehungsweise die Umkehr auf dem Weg der Nutzung fossiler Brennstoffe. Insbesondere die Komplexität und die verschiedenen Möglichkeiten der Umsetzung der Energiewende lassen sich mit dieser Metapher gut erklären. So können unterschiedliche Zielorte definiert werden und verschiedene Wege bzw. Nutzungspfade dorthin führen. Außerdem lassen sich einzelne Wege, verschiedene Abschnitte eines Weges oder ein gesamter Kartenausschnitt analysieren, was die Betrachtung einer bestimmten Nutzungsweise eines bestimmten Energieträgers oder auch eines Ausschnittes der Nutzung eines Energieträgers (z. B. der Ressourcenextraktion) oder der Gesamtbilanz eines Versorgungsszenarios ermöglicht. Die Bewertung der einzelnen Pfade oder Abschnitte wird durch den ‚Weg‘-Frame allerdings erschwert, da sich der Zusammenhang verschiedener Wege mit Treibhausgasemissionen und der Erhitzung des Klimas durch die Weg-Metapher nicht erschließt und eher verschleiert wird.

Hinsichtlich des Einsatzes im Unterricht lässt sich schlussfolgern, dass sich das Framing der Energiewende als ‚Weg‘ eignet, um den zeitlichen Ablauf des Umstellungsprozesses zu betonen und mögliche Nutzungspfade einzelner Energieträger in ihrer Komplexität aufzuzeigen und miteinander zu vergleichen. Für das Verstehen, dass die Nutzung unterschiedlicher Wege an verschiedene Konsequenzen – wie zum Beispiel

---

<sup>50</sup> Diese Frames konnten auch im kontrastierenden Hintergrund anhand verschiedener Quellen zur Energiewende rekonstruiert werden (s. Anhang).

Treibhausgasemissionen – gebunden ist und wie diese mit der Klimakrise zusammenhängen, ist der ‚Weg‘-Frame hingegen eher hinderlich.

Die Energiewende als ‚Umbau eines Gebäudes‘ betont den strukturellen Umbauprozess der Energieversorgung. Es gibt bereits eine vorhandene Infrastruktur, ein vorhandenes Gebäude, das nun umgebaut werden soll. Hierfür müssen alte Strukturen durch neue Strukturen ersetzt werden. Dazu sind Arbeit und Anstrengungen nötig, wozu beispielsweise auch der Begriff *Energieträger* passt. Auch der Bilanzierungsaspekt und die Herausforderungen des Umbaus werden betont, denn bei dem Umbau muss die Statik beachtet werden, damit das Gebäude nicht zusammenstürzt. Der ‚Umbau‘-Frame stellt die architektonischen Herausforderungen und die notwendigen Anstrengungen, die mit dem Umbau des Energiesektors verbunden sind, heraus. Das Verstehen, warum dieser Umbauprozess für uns so relevant und wichtig ist, insbesondere der Zusammenhang mit dem anthropogenen Treibhauseffekt lässt sich an Hand dieses Frames hingegen nicht gut darstellen. Warum der Frame der Energiewende als ‚Umbau eines Gebäudes‘ unter dem Aspekt der Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger im Unterrichtskontext dennoch hilfreich sein könnte, wird in Kapitel 8.4.3.1 genauer dargestellt.

Im Gegensatz zum Framing der Energiewende als ‚Weg‘ oder als ‚Umbau eines Gebäudes‘, betont eine Rahmung der Energiewende als ‚Krieg‘ vor allem den Relevanzaspekt. Es gibt eine schutzbedürftige Entität (die Umwelt bzw. das Klima), die vor feindlichen Kräften verteidigt werden muss. Dieser Frame selbst bietet allerdings noch keine Definition dafür, wer oder was als ‚Feind‘ angesehen werden kann. In den WBGU-Gutachten (2003, 2011) werden schädliche und zerstörerische Auswirkungen der Nutzung sowohl für erneuerbare als auch nicht-erneuerbare Energieträger aufgeführt. Ein klares Bild der fossilen Brennstoffe und Kernenergie als antagonistische, feindliche Entität lässt sich somit nicht ausmachen. Vielmehr wird der Kriegsframe in den Berichten in einer Art und Weise genutzt, dass jegliche Nutzung von Energieträgern – unabhängig davon, ob erneuerbar oder nicht-erneuerbar – mit mehr oder weniger schädlichen Auswirkungen verbunden ist. Für den Aspekt der Umstellung der Energieträger auf erneuerbare Quellen ist diese metaphorische Rahmung daher weniger geeignet, da sie die Komplexität der unterschiedlichen Energienutzungsszenarien und den Vergleich und die Bilanzierung verschiedener Nutzungswege verschleiert. Da in den Gutachten eher die Nutzung von Energieträgern an sich als ‚schädlich‘ dargestellt wird, ist der Frame der Energiewende als ‚Kampf‘ oder ‚Krieg‘ dann geeignet, wenn im Unterricht über die persönliche

Einflussnahme der Lernenden auf die Energiewende über ihr eigenes Verhalten im Sinne einer Suffizienzstrategie, das heißt des Verzichtes auf unnötige Energienutzung, diskutiert werden soll.

Die Energiewende als Ganzes wird durch die verwendeten Metaphern unterschiedlich gerahmt: als Weg, als Umbau eines Gebäudes oder als Krieg. Diese Frames (s. Kapitel 3.2.6.2) betonen und verschleiern bestimmte Aspekte. Als Lehrperson sollte ich mir dieser Wirkung im Unterricht bewusst sein und Ausdrücke, die bei den Lernenden einen bestimmten Frame aktivieren, reflektiert einsetzen. Der weit verbreitete Weg-Frame und auch der Umbau-Frame verschleiern beide die Gründe für die Energiewende und den Zusammenhang mit der Klimaerhitzung und Treibhausgasemissionen, ermöglichen aber den Vergleich und die Bewertung verschiedener ‚Pfade‘ beziehungsweise ‚Baumaßnahmen‘. Der Kriegs-Frame hingegen fokussiert alleine auf die Relevanz der strategischen Umrüstung der Energieversorgung und die Notwendigkeit des Klimaschutzes. Allerdings hilft auch dieser Frame nicht beim Verstehen und Bewerten der Zusammenhänge zwischen Treibhausgasemissionen und der Nutzung bestimmter Energieträger. Welcher dieser Frames in welchem spezifischeren Kontext bewusst eingesetzt werden kann, um das Verstehen am besten zu unterstützen, fließt in die Formulierung der Leitlinien ein (s. Kapitel 8.4).

## 8.2 Metaphorische Konzepte der Schüler\*innen zum Begriff ‚erneuerbar‘

In den Interviews mit den Schüler\*innen finden sich zahlreiche Äußerungen, die sich auf Vorstellungen zum Adjektiv ‚erneuerbar‘ beziehen. Die Schüler\*innen versuchen, sich über die Begriffskonstruktion zur Bezeichnung ‚erneuerbar‘ entsprechende Unterscheidungsmerkmale ‚erneuerbarer‘ und ‚nicht-erneuerbarer‘ Energieträger zu erschließen. Die verschiedenen Facetten des Begriffs, den sich die Lernenden zu diesem Wort gebildet haben, lassen sich in den unterschiedlichen metaphorischen Konzepten erkennen: ‚erneuern IST recyceln‘, ‚erneuern IST säubern‘, ‚erneuern IST ersetzen‘ (s. Tabelle 17). So sagt beispielsweise Gerda (Z. 6), die vorher angibt, den Begriff ‚erneuerbar‘ noch nicht zu kennen: „[I: Ich stelle mir unter erneuerbarer Energie vor], dass Energie recycelt wird“ (s. Tabelle 17). Und Frieda begründet ihre Zuordnung von Wasser zu ‚erneuerbar‘ mit dem Argument: „Wasser ist [...] {I: erneuerbar}. Man kann es filtern“ (Z. 12).

**Tabelle 17 Vorstellungen der Lernenden zu ‚erneuerbar‘**

Metaphorisches Konzept	Beschreibung/Quellbereich	Ankerbeispiel(e)
<b>Erneuern IST recyceln</b>	Stoffe „[I]n den Kreislauf der Wiederverwendung einbringen“ („recyceln“, o. J.)	„[I/K: Ich stelle mir unter erneuerbarer Energie vor], dass Energie recycelt wird.“ (Gerda, Z. 6)
<b>Erneuern IST säubern</b>	„etw. [...] von Schmutz oder von anderen Verunreinigungen befreien; etw. von unerwünschten Dingen oder Bestandteilen befreien“ („säubern“, o. J.; s. SAUBER-DRECKIG-Schema)	„Wasser ist [...] erneuerbar. Man kann es filtern.“ (Frieda, Z. 12) „Wasser ist erneuerbar. Das dreckige kann wieder gesäubert werden.“ (Ida, Z. 9)
<b>Erneuern IST ersetzen</b>	„an die Stelle einer anderen nicht mehr vorhandenen oder ungeeigneten [...] Sache treten“ („ersetzen“, o. J.) entlang einer Äquivalenzrelation (Reflexivität, Symmetrie und Transitivität) rekonstruiert	„[I/M: Die Sonne ist nicht erneuerbar, weil] die ist einzigartig. [...] Genauso wie die Erdwärme. Die ist auch einzigartig.“ (Gerda, Z. 39-41; Reflexivität) „[I/W: Erdgas ist erneuerbar, weil] man eine [W: Gasflasche] wieder auffüllen kann. [...] Aber natürlich nicht mit demselben Gas, das drin war.“ (Frieda (Z. 71-73; Symmetrie) „Erdöl denke ich [I/K: ist auch erneuerbar], weil [...] für Heizung wird auch nicht nur Erdöl verwendet, wird auch Anderes verwendet.“ Jana (Z. 65-67; Transitivität)

Neben der Bedeutungsübertragung von ‚recyceln‘ und ‚säubern‘ auf ‚erneuerbar‘ lässt sich noch ein weiteres metaphorisches Konzept finden: ‚Erneuern IST ersetzen‘. Karin formuliert direkt: „Mit erneuerbar ist ersetzbar gemeint“ (Z. 20). In den entsprechenden Interviews zeigt sich, dass die Schüler\*innen keine Vorstellungen zu der Bezeichnung ‚erneuerbar‘ haben. Sie versuchen eine entsprechende Vorstellung entlang einer Äquivalenzrelation an Hand von Reflexivität, Symmetrie und Transitivität (s. GLEICHGEWICHTS-Schema, Kapitel 3.2.5.9) zu konstruieren.

- Reflexivität: Theoretisch könnte man die Energiequelle durch sich selbst ersetzen. Dies ist aber rein logisch nicht möglich. Deshalb spricht die ‚Einzigartigkeit‘ einer Energiequelle, wie zum Beispiel der Sonne oder der Erdwärme aus Sicht der Schüler\*innen dagegen, dass diese erneuerbar sind („nicht-erneuerbar IST einzigartig“). Gerda begründet beispielsweise: „[I/M: Die Sonne ist nicht erneuerbar, weil] die ist einzigartig. [...] Genauso wie die Erdwärme. Die ist auch einzigartig“ (Z. 39-41).
- Symmetrie: Ein Energieträger kann durch den gleichen Energieträger ersetzt werden. So sagt zum Beispiel Frieda: „[I/W: Erdgas ist erneuerbar, weil] man eine [W: Gasflasche] wieder auffüllen kann. [...] Aber natürlich nicht mit demselben Gas,

das drin war“ (Z. 71-73). Für andere Schüler\*innen wiederum existiert diese symmetrische Äquivalenz hingegen nicht und ist im Gegenteil ein Ausschlusskriterium für ‚Erneuerbarkeit‘. So sagt Ida: „Kohle ist nicht {I: erneuerbar}, weil man baut die ab und da ist nicht die gleiche Kohle, die man vorher hatte“ (Z. 41-42).

- Transitivität: Ein Energieträger kann durch einen anderen Energieträger ersetzt werden. Auch diese Relation wird von den Schüler\*innen einerseits als Ausschlusskriterium andererseits als Definitionskriterium für Erneuerbarkeit gesehen. So sagt Jana: „Erdöl denke ich [I/K: ist auch erneuerbar], weil [...] für Heizung wird auch nicht nur Erdöl verwendet, wird auch Anderes verwendet“ (Z. 65-67), wohingegen sie an anderer Stelle postuliert: „[M: Biomasse] ist nicht {I: erneuerbar}, weil dazu wird Mais oder sowas gebraucht und das kann man nicht ersetzen. Das sind ja Lebensmittel“ (Z. 57-58).

### *Diskussion unter Vermittlungsabsicht*

Die Missverständlichkeit des Ausdrucks ‚erneuerbar‘ ist erwartbar, da laut Watter (2015, S. 1) für den Begriff ‚erneuerbare Energie‘ keine fachlich angemessene Definition existiert und bestehende Definitionen aus naturwissenschaftlicher Sicht an vielen Stellen problematisch sind (s. Kapitel 3.1.3.2). In den Interviews ist die Bezeichnung manchen Schüler\*innen zudem unbekannt und die Bedeutung wird auf Grundlage des Wortes und des Kontextes ad hoc konstruiert, indem die Schüler\*innen versuchen, die Ursprungsbedeutung zu rekonstruieren und auf die Energieträger anzuwenden. Dies führt teilweise zu fachlich unangemessener Zuordnung der Energieträger zu den Kategorien ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘. So ordnen mehrere Lernende beispielsweise die Sonne den ‚nicht-erneuerbaren‘ Energieträgern zu, weil diese nicht ‚ersetzbar‘ ist. So sagt Gerda: „[M: Die Sonne ist nicht erneuerbar, weil] die ist einzigartig“ (Z. 38-39) und Jana und Karin diskutieren darüber, dass die Sonne ja nicht durch „Wärmelampen“ (Z. 25) ersetzt werden könne (Z. 23-26). In vorherigen Studien auftretende Probleme mit der angemessenen Zuordnung der Energieträger zu den Kategorien ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ (s. Kapitel 4.2) können somit auch durch die Verwendung der Bezeichnung ‚erneuerbar‘ selbst verursacht sein. Ein fachlich unangemessenes Verstehen, das durch den Ausdruck ‚erneuerbar‘ hervorgerufen wird, ist möglicherweise ursächlich für die beobachteten Zuordnungsprobleme.

Da die Verwendung des Ausdrucks ‚erneuerbar‘ im Sprachgebrauch sehr weit verbreitet ist, wird sich die Verwendung dieses Wortes nicht vermeiden lassen. Lehrkräfte sollten sich der Problematik, die mit der Bezeichnung ‚erneuerbar‘ verknüpft ist, zumindest bewusst sein, um sensibel auf ein mögliches fachliches unangemessenes Verstehen reagieren zu können.



Außerdem könnten von den Lehrpersonen zusätzlich alternative Bezeichnungen zu ‚erneuerbar‘ im Unterricht bewusst eingesetzt werden, um jeweils für den Lerngegenstand relevante Aspekte zu betonen. Für das naturwissenschaftliche Verstehen der im Kontext der Energiewende relevanten Kategorien ‚Verfügbarkeit‘ und ‚Auswirkungen‘ der Nutzung der Energieträger wird die Entwicklung alternativer Bezeichnungen unter den jeweiligen spezifischen Blickwinkeln ausführlich diskutiert (s. Kapitel 8.3 und 8.4) und in den Leitlinien in entsprechende Empfehlungen formuliert (s. Kapitel 8.4).

### 8.3 Metaphorische Konzepte zur Verfügbarkeit der Energieträger

Voraussetzung für die Nutzung erneuerbarer wie nicht-erneuerbarer Energieträger ist deren ausreichende Verfügbarkeit. In der systematischen Metaphernanalyse wurden die der Hauptkategorie Verfügbarkeit zugeordneten Aussagen (s. Kapitel 7.3) auf ihren erfahrungsbasierten Hintergrund hin untersucht. Entlang der Forschungsfragen (s. Kapitel 5) werden zunächst die Ergebnisse für die Perspektive der Schüler\*innen (s. Kapitel 8.3.1) und anschließend die Ergebnisse der Wissenschaftler\*innen (s. Kapitel 8.3.2) vorgestellt. Anschließend werden diese unter Vermittlungsabsicht systematisch miteinander verglichen (s. Kapitel 8.3.3).

#### **8.3.1 Lernendenperspektive**

Die von den Schüler\*innen in ihren Aussagen zur Verfügbarkeit verwendeten Metaphern lassen sich im Wesentlichen drei verschiedenen Schemata (s. Kapitel 3.2.5) zuordnen: dem START-WEG-ZIEL-Schema, dem FLUSS-Schema und dem BEHÄLTER-Schema. Diese Schemata werden von den Schüler\*innen als Quellbereich – basierend auf ihren persönlichen Erfahrungen – genutzt und auf die Verfügbarkeit von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern übertragen. Die entsprechend konstruierten metaphorischen Konzepte ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Weg‘, ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Behälter‘ und ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Fluss‘ werden in den folgenden Abschnitten genauer erläutert.

##### *8.3.1.1 Verfügbarkeit von Energie IST ein Weg*

In den Aussagen einiger Schüler\*innen lassen sich Metaphern finden, die darauf hindeuten, dass zur Konstruktion von Vorstellungen über die Verfügbarkeit sowohl erneuerbarer als auch nicht-erneuerbarer Energieträger das START-WEG-ZIEL-Schema genutzt wird (s. Kapitel 3.2.5.3).

Am deutlichsten zeigt sich das START-WEG-ZIEL-Schema in den Äußerungen der Schüler\*innen an metaphorischen Wendungen wie ‚weggehen‘, ‚kommen‘, ‚dableiben‘ oder ‚liefern‘ (s. Tabelle 18). So sagt beispielsweise Georg (Z. 24-26): „Ich würde den Erdkern [I/K: zu erneuerbar] nehmen, [weil er] immer da ist und Wärme liefert.“ Weniger offensichtlich lässt sich dieser Quellbereich eines Weges aber auch in Ausdrücken wie ‚verschwinden‘ oder ‚weg sein‘ erkennen. Wenn ich auf einer Stelle des Weges stehe, dann verschwindet eine sich von mir wegbewegende Entität mit der Zeit aus meinem Blickfeld (vgl. Wortdefinition des DWDS („verschwinden“, o. J.): „jmd., etw. geht weg, bewegt sich weg und gerät aus jmds. Gesichtskreis, kann nicht mehr gesehen werden“). Ähnlich verhält es sich mit dem Ausdruck ‚weg sein‘ (s. DWDS-Definition („weg“, o. J.): „bezeichnet das Ergebnis einer Bewegung, die von einem Ausgangspunkt aus gesehen wird“). Ein Beispiel hierzu ist die Ausführung von Christin (Z. 27-28): „Kohle würde ich zu {I: nicht-erneuerbarer Energie} tun, weil [...] irgendwann [ist] keine mehr da. - Dann ist sie weg.“

Das START-WEG-ZIEL-Schema wird von den Schüler\*innen verwendet, um nicht-erneuerbare Energie von erneuerbarer Energie abzugrenzen.<sup>51</sup>

Zu erneuerbarer Energie lassen sich zwei metaphorische Konzepte rekonstruieren. Zum einen wird von den Schüler\*innen das metaphorische Konzept ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST dableiben‘ genutzt, zum anderen das metaphorische Konzept ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST wiederkommen‘ (s. Tabelle 18).

Beim metaphorischen Konzept ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST dableiben‘ nimmt die sprechende Person einen festen Standpunkt auf einer Stelle des Weges ein. Die Energie wird als eine Entität angesehen, die sich auf diesem Weg bewegt. Dementsprechend kann die Energie auf den Standpunkt zukommen, sich von diesem entfernen oder an diesem Standpunkt bleiben. Beim metaphorischen Konzept ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST wiederkommen‘ liegt hingegen eine Sonderform des START-WEG-ZIEL-Schemas zu Grunde: das ZYKLUS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.4).

Beispielsweise sagt Dirk: „[I: Bei der Energie wird auf Wind umgestellt, weil,] das ist ja da und das geht jetzt nicht weg. Wenn Wind da ist, dann kann man das benutzen und das wird immer

---

<sup>51</sup> Die Schüler\*innen sprechen selbst fast ausschließlich von erneuerbarer und nicht-erneuerbarer ‚Energie‘. Da es in diesem Teil der Arbeit um die möglichst genaue Rekonstruktion der Vorstellungen der Schüler\*innen geht, übernehme ich deren Ausdrücke in der Darstellung der Ergebnisse.

wieder benutzt“ (Z. 18-20). Karl sagt zum Beispiel: „[K: Wasser] ist [I: erneuerbar], [weil es] kommt ja auch wieder“ (Z. 22).

Das metaphorische Konzept für nicht-erneuerbare Energieträger ist – analog zu den oben vorgestellten Konzepten für erneuerbare Energiequellen – ‚Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST weg sein‘ beziehungsweise ‚Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST nicht wiederkommen‘. Dies lässt sich beispielsweise an der Äußerung von Ida aufzeigen. Sie sagt: „[I: Erdöl ist nicht erneuerbar], weil das immer nur aus einer Stelle kommt und wenn da nichts mehr ist, dann kommt da auch nichts mehr“ (Z. 44-45). Dies beruht auf der Erfahrung, dass wenn ich auf der Stelle eines Weges stehe und beispielsweise eine Person oder ein Vehikel auf diesem Weg an meinem Standpunkt vorbeikommt, dann stehen diese mir einmalig zur Nutzung zur Verfügung so lange sie sich mit mir auf einer Höhe befinden. Wenn sie sich weiter bewegen sind sie irgendwann weg und kommen nicht wieder, sind also nicht mehr in meinem Zugriff.

**Tabelle 18 Zitate der Schüler\*innen zu ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Weg‘**

<b>Metaphorisches Konzept</b>	<b>Ankerbeispiel(e)</b>	<b>Metaphorische Wendungen aus den Interviews</b>	<b>Weitere Textstellen</b>
<b>Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST dableiben</b>	„[I: Bei der Energie wird auf Wind umgestellt, weil,] das ist ja da und das geht jetzt nicht weg. Wenn Wind da ist, dann kann man das benutzen und das wird immer wieder benutzt.“ (Dirk, Z. 18-20)	<i>geht nicht weg, ist immer da,</i>	(Georg, Z. 24-26)
<b>Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST wiederkommen</b>	„[K: Wasser] ist [I: erneuerbar], [weil es] kommt ja auch wieder.“ (Karl, Z. 22)	<i>kommt wieder</i>	(Olga, Z. 9-11)
<b>Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST weg sein/nicht wiederkommen</b>	„Kohle würde ich zu {I: nicht-erneuerbarer Energie} tun, weil [...] irgendwann [ist] keine mehr da. - Dann ist sie weg.“ (Christin, Z. 27-28)	<i>ist weg/ nicht mehr da, kommt nichts mehr</i>	(Ida, Z. 43-45)

### 8.3.1.2 Verfügbarkeit von Energie IST ein Behälter

Neben dem oben beschriebenen WEG-Schema finden sich in einigen Aussagen der Schüler\*innen metaphorische Wendungen, die nahe legen, dass sich die Vorstellungen der Lernenden zur Verfügbarkeit von Energie auf ein BEHÄLTER-Schema (s. Kapitel 3.2.5.2) beziehen. Die Verfügbarkeit hängt dabei von der Vorratsmenge ab, die sich in einem Behälter befindet. Typische metaphorische Wendungen sind beispielsweise ‚in‘, ‚(her)aus‘, aber auch ‚begrenzt‘. Weitere metaphorische Ausdrücke nehmen Bezug auf den Behälterinhalt, wie zum Beispiel ‚leer‘, ‚alle‘ oder ‚aufgebraucht‘ für einen vollständig geleerten Behälter. Andere deuten eine skalierende Einschätzung der beinhalteten Menge an, wie ‚häufig(er)‘, ‚knapp‘ oder ‚nicht mehr so viel‘.

Für nicht-erneuerbare Energieträger lässt sich aus den Aussagen der Schüler\*innen das metaphorische Konzept ‚Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST ein leer(er) werdender Behälter‘ ableiten. Dies beruht zum Beispiel auf der Erfahrung, dass der Vorrat eines bestimmten Stoffes in einem Behälter, durch Entnahme dieser Vorräte immer mehr abnimmt und der Behälter schließlich vollständig geleert ist. Dieses metaphorische Konzept wird von den Lernenden (ähnlich wie schon oben in Bezug auf das WEG-Schema beschrieben) zur Abgrenzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energie verwendet und in seiner Negation ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST nicht leer werdender Behälter‘ auf nicht-erneuerbare Energie angewandt. Zu diesem metaphorischen Konzept zu nicht-erneuerbarer Energie gibt es mehrere untergeordnete metaphorische Konzepte. Einige Schüler\*innen beziehen sich auf die Entnahme aus dem Behälter (‚nicht leer werdender Behälter‘), einige auf die Füllung (‚nicht aufbrauchbarer Vorrat‘) und einige auf die Möglichkeit, diesen wieder aufzufüllen (‚wieder auffüllbarer Behälter‘). Das metaphorische Konzept ‚Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie IST ein wieder auffüllbarer Behälter‘ beruht dabei auf der Erfahrung, dass Behälter wieder aufgefüllt werden können. Dahingegen ist bei den metaphorischen Konzepten ‚Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie IST nicht leer werdender Behälter bzw. nicht aufbrauchbarer Vorrat‘ unklar, auf welche Erfahrungen die Lernenden dabei zurückgreifen. Möglich wäre einerseits eine nicht explizit artikulierte Vorstellung eines Auffüllens oder einer Rückführung des Entnommenen in den Behälter. Andererseits wäre auch eine inkonsistente

Vorstellung denkbar. Die Vorstellung, dass der Behälter nicht leer werden kann, widerspricht dabei den eigenen Erfahrungen mit Behältern.<sup>52</sup>

**Tabelle 19 Zitate der Schüler\*innen zu ‚Verfügbarkeit von Energie ist Füllung eines Behälters‘**

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den Interviews	Weitere Textstellen
<b>Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST nicht leer werdender Behälter</b>	<p>„[!: Erneuerbar} ist, wenn man zum Beispiel [...] immer wieder aus dem Wasser Energie rausholen kann. Energie aus Wasser gibt es immer, solange Wasser vorhanden ist.“ (Karl, Z. 3-5)</p> <p>„Wind [kann man] [!: erneuern] [, weil] Wind weht ja immer, fliegt die ganze Zeit durch die Luft. Das wird immer mit frischer Luft wieder aufgefüllt.“(Frieda, Z. 42-43)</p>	immer wieder <i>rausholen</i> , nicht <i>leer</i> , <i>aufgefüllt</i> , nicht <i>aufgebraucht</i> , nicht <i>aufbrauchbar</i>	(Hugo, Z. 5-7) (Frieda, Z. 69-72) (Marta, Z. 39-42) (Olga, Z. 9) (Christin, Z. 54-55)
<b>Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST leer(er) werdender Behälter</b>	„Zum Beispiel Erdöl kann man nicht {!: erneuern}, weil, irgendwann ist das Erdöl in der Erde alle.“ (Gerda, Z. 36-37)	<i>in der Erde alle</i> , Nicht <i>häufig</i> , wird <i>knapp</i> , <i>begrenzt</i> , Stoff <i>im Boden</i> , <i>aus einer Stelle</i> , da ist nichts mehr	(Ben, Z. 34, 50-52) (Elsa, Z. 15-17) (Karl, Z. 15-16) (Ida, Z. 44-45)

### 8.3.1.3 Verfügbarkeit von Energie IST ein Fluss

Einige der Lernenden verwenden in den Interviews Wörter, die auf ein FLUSS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.6) als Quellbereich für die Verfügbarkeit von Energie hindeuten. Dieses Schema wird von den Lernenden ebenso wie das WEG- und das BEHÄLTER-Schema genutzt, um erneuerbare und nicht-erneuerbare Energie voneinander abzugrenzen. Entlang des FLUSS-Schemas lassen sich die dichotomen metaphorischen Konzepte ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST nicht aufhören zu strömen‘ und ‚Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST aufhören zu strömen‘ rekonstruieren. Das FLUSS-Schema aus der Erfahrung, dass das Wasser eines Flusses kontinuierlich in eine Richtung fließt und andauernd neues Wasser nachströmt (entsprechende metaphorische Wendungen sind zum Beispiel ‚hört nicht auf‘, ‚wird nicht weniger‘), wird auf die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie übertragen. Bei nicht-

<sup>52</sup> Ähnlich verhält es sich in dem Märchen ‚Der süße Brei‘ in dem ein Zaubertopf auf einen bestimmten Spruch hin unbegrenzt Brei produziert (Brüder Grimm, 1857, S. 90).

erneuerbarer Energie hört dieser Strom auf. Erfahrungshintergrund könnte beispielsweise eine versiegende Quelle sein.

**Tabelle 20 Zitate der Schüler\*innen zu ‚Verfügbarkeit von Energie IST ein Fluss‘**

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den Interviews	Weitere Textstellen
<b>Verfügbarkeit erneuerbarer Energie IST nicht aufhören zu strömen</b>	„Erneuerbare Energie [...] hört nicht auf. Erdwärme hört nicht auf, nur weil man sie nutzt und das ist mit der Sonne auch so und mit dem Wind auch. Das wird ja nicht weniger.“ (Daria, Z. 14-16)	<i>hört nicht auf, wird nicht weniger, Windströme, kann man nicht abschalten</i>	(Olga, Z. 9-11) (Ben, Z. 25-27)
<b>Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie IST aufhören zu strömen</b>	„Wasser wäre eigentlich auch nicht erneuerbar, [M: weil es davon nicht mehr so viel gibt]. [...] Irgendwann kann das aufhören.“ (Karl, Z. 18-20)	<i>aufhören, erlöschen</i>	(Karl, Z. 16) (Elsa, Z. 38)

### 8.3.2 Wissenschaftsperspektive

Um die Ergebnisse der Analyse der Perspektive der Wissenschaftler\*innen gewinnbringend für eine effektive Gestaltung des Unterrichtes nutzen zu können, ist es notwendig, weiter zu ergründen, was die konzeptuellen Hintergründe der gefundenen inhaltlichen Unterkategorien der ‚stofflich‘, ‚zeitlich‘ und ‚räumlich‘ determinierenden Aspekte der Verfügbarkeit der Energieträger sein könnten (s. Kapitel 7.2). In der systematischen Metaphernanalyse (s. Kapitel 6.5.2) fällt auf, dass sich in den WBGU Berichten (2003, 2011) metaphorische Wendungen finden lassen, die auf zwei sehr unterschiedliche und dabei auch sehr komplexe metaphorische Konzepte für die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen im Gegensatz zur Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energieträger hindeuten. Für erneuerbare Energiequellen lässt sich aus den in den Texten enthaltenen Metaphern ein übergeordnetes metaphorisches Konzept ‚Erneuerbare Energiequellen nutzen IST ein Fließgleichgewicht herstellen‘ rekonstruieren. Demgegenüber lässt sich hinter den sprachlichen Äußerungen über nicht-erneuerbare Energieträger das metaphorische Konzept ‚Fossile Energieträger und Kernbrennstoffe SIND Behälter für Energie‘ erkennen. Dass diese sich von den an den WBGU-Berichten (2003, 2011) beteiligten Wissenschaftler\*innen geteilten Denkfiguren in Bezug auf erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger grundlegend unterscheiden, ist ein Hinweis auf grundlegend unterschiedliche Eigenschaften dieser beiden Gruppen von Energieträgern und könnte von entscheidender Bedeutung für den Ausgangspunkt einer erfolgreichen

didaktischen Strukturierung sein. Die beiden metaphorischen Konzepte sollen deshalb im Folgenden im Detail erläutert werden.

#### *8.3.2.1 Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fließgleichgewicht herstellen*

Die Metaphern in den Aussagen der Wissenschaftler\*innen zur Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen lassen sich verallgemeinernd unter dem übergeordneten metaphorischen Konzept ‚Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fließgleichgewicht herstellen‘ zusammenfassen. Der Quellbereich eines Fließgleichgewichtes entspricht einem Behälter, in den eine Flüssigkeit (z. B. Wasser) fließt und auch abfließt. Dabei kann es einen oder mehrere Zuflüsse und Abflüsse geben. Unterschiede in der zu- und abfließenden Menge führen zu Schwankungen des Pegels im Behälter und somit zu einem Ungleichgewicht. Ein Ausgleich zwischen der Menge des zufließenden und abfließenden Stoffes in einem bestimmten Zeitraum führt zu einem gleichbleibenden Pegel und beendet die Schwankungen. Ein möglicher erfahrungsbasierter Quellbereich könnte ein See sein mit einem oder mehreren Flüssen, die in diesen See münden und einem oder mehreren Abflüssen. Übertragen auf erneuerbare ‚Energie‘<sup>53</sup> bedeutet dies, dass die Verfügbarkeit (der ‚Zustrom‘) schwankt und Speicher (‚Ausgleichsbehälter‘) nötig sind, um eine kontinuierliche Nutzung einer bestimmten Energiemenge zu ermöglichen.

Metaphern in den WBGU-Berichten (2003, 2011), die auf den Quellbereich eines Fließgleichgewichtes hindeuten, lassen sich zum Beispiel sehr gut an einer Aussage erkennen, die sich auf die Nutzung von Erdwärme bezieht: „Um die Nachhaltigkeit der globalen Erdwärmennutzung nicht zu gefährden, sollte [...] nicht mehr Erdwärme abgeschöpft werden als der natürliche Wärmestrom der Erde nachliefert“ (WBGU 2003, S. 77). An diesem Zitat lassen sich die auch dem übergeordneten metaphorischen Konzept zu Grunde liegenden erfahrungsbasierten Schemas beispielhaft darstellen. Dem ‚Fließgleichgewicht‘ liegt ein SPEICHER-FLUSS-Schema zu Grunde, das eine spezielle Variante des START-WEG-ZIEL-Schemas darstellt und ein BEHÄLTER-Schema integriert (s. Kapitel 3.2.5.6). Im oben genannten Beispiel weisen die Wörter ‚abgeschöpft‘ und ‚Wärmestrom‘ darauf hin, dass die Energie als Flüssigkeit konzeptualisiert wird. Diese bewegt sich mit dem ‚Strom‘ in eine bestimmte Richtung, zumal neue Flüssigkeit ‚nachgeliefert‘ wird (START-WEG-ZIEL-Schema). Ein

---

<sup>53</sup> Auf den Zusatz ‚-quelle‘ wird hier verzichtet, weil dieser ebenfalls eine Metapher darstellt und dem Quellbereich entstammt (s. Tabelle 4).

metaphorischer Hinweis auf das BEHÄLTER-Schema lässt sich im Wort ‚abgeschöpft‘ finden (s. Kapitel 3.2.6.1): Abschöpfen lässt sich eine Flüssigkeit, die sich in einem Behälter gesammelt hat. Diese Kombination aus BEHÄLTER-Schema und FLUSS- bzw. START-WEG-ZIEL-Schema lässt sich in dem metaphorischen Konzept ‚Fluktuierende Energiequellen SIND schwankender Zustrom in Behälter‘ wiederfinden. In den WBGU-Berichten (2003, 2011) weist das Wort ‚in‘ (z. B. „[i]m Tages- und Jahresverlauf“, „in den meisten Regionen“, „in den Wintermonaten“, s. Tabelle 21) darauf hin, dass hier das Behälterschema als Erfahrungshintergrund herangezogen wird, um abstrakte zeitliche oder geographische Dimensionen zu versprachlichen. In diesen zeitlichen bzw. geographischen Behältern ist eine bestimmte Menge an einer Substanz (hier: Energie) vorhanden und somit verfügbar. Die beschränkte Verfügbarkeit der jeweiligen Energiequellen durch die Zeit beziehungsweise die geographischen Gegebenheiten (s. Kapitel 7.2) werden als sehr abstrakter Zielbereich durch das BEHÄLTER-Schema konzeptualisiert (‚Zeit IST ein Behälter für erneuerbare Energien‘, ‚Geographischer Bereich IST ein Behälter für erneuerbare Energien‘).

Das zweite zentrale Schema neben dem SPEICHER-FLUSS-Schema, das einem ‚Fließgleichgewicht‘ zu Grunde liegt, ist das GLEICHGEWICHTS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.9). In obigem Zitat zur Erdwärme soll ‚nicht mehr‘ abgeschöpft werden als ‚nachgeliefert wird‘. An diesem beispielhaften Zitat für eine erneuerbare Energiequelle zeigt sich die Komplexität des metaphorischen Konzeptes ‚Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fließgleichgewicht herstellen‘, insofern, dass die zugehörigen metaphorischen Konzepte und Schemas komplex und teilweise ineinander verschachtelt sind (s. Abbildung 12).

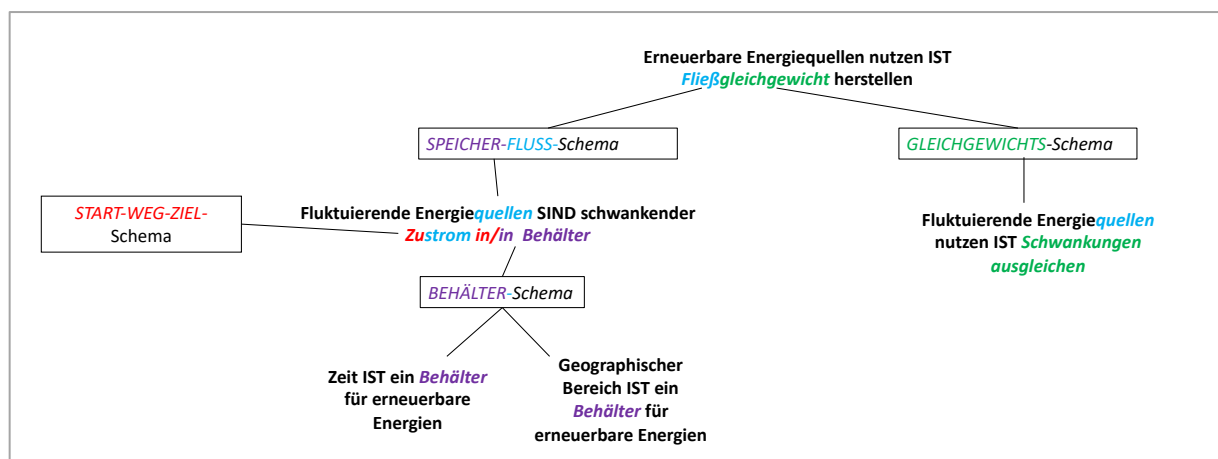


Abbildung 11 Verschachtelung Metaphern Fließgleichgewicht



Im Zusammenhang mit der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energiequellen in den WBGU-Berichten (2003, 2011) häufig genutzte Metaphern sind ‚fluktuieren‘<sup>54</sup>, ‚schwanken‘ und ‚ausgleichen‘ (s. Tabelle 21). Diese Wörter lassen einen Bezug zum GLEICHGEWICHTS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.9) erkennen. An Hand der Aussagen der Wissenschaftler\*innen lässt sich entlang dieser Metaphern mit Bezug auf das GLEICHGEWICHTS-Schema das metaphorische Konzept ‚fluktuierende Energiequellen nutzen IST Schwankungen ausgleichen‘ rekonstruieren.

---

<sup>54</sup> Fluktuieren bedeutet nach DWDS („fluktuieren“, o. J.) ‚hin- und herfließen‘ beziehungsweise ‚schwanken‘ und kommt etymologisch vom lat. fluctuare, was soviel wie Wellen schlagen bedeutet.

**Tabelle 21 Zitate aus den WBGU-Berichten (2003, 2011) zu ‚Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fließgleichgewicht halten‘**

<b>Metaphorisches Konzept</b>	<b>Ankerbeispiel(e)</b>	<b>Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten</b>	<b>Weitere Beispiele<sup>55</sup></b>
<b>Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fließgleichgewicht herstellen</b>	„In höheren Breiten sind allerdings die jahreszeitlichen <i>Schwankungen [des Solarenergieflusses]</i> beträchtlich, so dass zu deren <i>Ausgleich</i> weitere Technologien eingesetzt werden müssen.“ (WBGU, 2003, S. 70)	fluktuierende Einspeisung, Schwankung der Einstrahlung, Schwankungen des Energieflusses, Überschuss- und Mangel Ausgleich, ausgeglichen, gleichen aus	(WBGU, 2003, S. 70, 83, 85) (WBGU, 2011, S. 126)
<b>Fluktuierende Energiequellen SIND schwankender Zustrom in Behälter</b>	„In höheren Breiten sind allerdings die jahreszeitlichen <i>Schwankungen [des Solarenergieflusses]</i> beträchtlich, so dass zu deren Ausgleich weitere Technologien eingesetzt werden müssen.“ (WBGU, 2003, S. 70) „Die Jahreszeitschwankung des Windkraftangebots ist stärker lokal geprägt und schlechter prognostizierbar als die Sonneneinstrahlung.“ (WBGU, 2003, S. 83)	Schwankungen in Zeitbereich/ in höheren Breiten, fluktuierende Einspeisung, Schwankung der Einstrahlung, Schwankungen des Energieflusses, Überschuss- und Mangel	(WBGU, 2003, S. 70, 83, 85) (WBGU, 2011, S. 126)
<b>Zeit IST ein Behälter für erneuerbare Energien</b>	„Bei erneuerbaren Energien ist nicht ihre Gesamtmenge, dafür aber die potenzielle Verfügbarkeit <i>in einem bestimmten Zeitintervall</i> , ihr Potenzial, begrenzt.“ (WBGU, 2011, S. 118)	<i>in</i> einem Zeitintervall, <i>im</i> Tages- und Jahresverlauf, <i>in</i> den Wintermonaten, Jahreszeitschwankung <sup>56</sup> , <i>in</i> diesem Zeitbereich, <i>im</i> Stundenbereich	(WBGU, 2003, S. 83, 85) (WBGU, 2011, S. 118)
<b>Geographischer Bereich IST Behälter für erneuerbare Energiequellen</b>	„Das Wasserkraftangebot zeigt <i>in den meisten Regionen</i> einen deutlichen Jahresgang (z. B. durch Regenzeiten), der teilweise durch Speicherung in Stauseen ausgeglichen werden kann.“ (WBGU, 2003, S. 83)	<i>in</i> höheren Breiten, <i>in</i> den meisten Regionen	(WBGU, 2003, S. 70, 83)
<b>Fluktuierende Energiequellen nutzen IST Schwankungen ausgleichen</b>	„In höheren Breiten sind allerdings die jahreszeitlichen <i>Schwankungen [des Solarenergieflusses]</i> beträchtlich, so dass zu deren <i>Ausgleich</i> weitere Technologien eingesetzt werden müssen.“ (WBGU, 2003, S. 70)	fluktuierende Einspeisungen, Fluktuationen, Schwankungen Ausgleich, ausgeglichen, gleichen aus	(WBGU, 2003, S. 70, 83) (WBGU, 2011, S. 126)

<sup>55</sup> Zum Teil befinden sich auf einer genannten Seite mehrere Zitate mit entsprechenden Metaphern.

<sup>56</sup> Das Kompositum Jahreszeitschwankungen steht für Schwankungen in den Jahreszeiten.

Der auf dem SPEICHER-FLUSS-SCHEMA basierende Quellbereich, der wie oben beschrieben auf den Zielbereich Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen übertragen werden kann, findet darüber hinaus in weiteren Kontexten Anwendung, die sich wiederum auch auf den hier angesprochenen Zielbereich der erneuerbaren Energiequellen übertragen lassen. In den analysierten Aussagen der wissenschaftlichen Gutachten des WBGU (2003, S. 47-78, 101-102, 2011, S. 118-128) lassen sich zahlreiche Bezeichnungen finden, die aus einem marktwirtschaftlichen Kontext stammen und sich auf die Regulierung von Angebot und Nachfrage beziehen (s. Tabelle 22). Verwendete Wörter, die diesem Bereich entstammen, sind zum Beispiel Management, Angebot, Nachfrage, Überschuss, Mangel, Schwankungen, prognostizieren, rechnen, ausgleichen, dominieren, produzieren. Energie aus erneuerbaren Quellen wird dabei wie ein Wirtschaftsprodukt kalkuliert. Angebot und Nachfrage schwanken, sodass Überschuss- und Mangelsituationen entstehen können. Dazu müssen Prognosen getroffen und Beträge berechnet werden, um einen entsprechenden Ausgleich herbeizuführen. Elektrischer Strom und fossile Brennstoffe werden jedoch tatsächlich auch an Börsen gehandelt. Trotzdem sind die oben aufgeführten sprachlichen Wendungen als Metaphern zu sehen, da in den entsprechenden Sätzen nicht dieser Handel an der Börse gemeint ist. Es ist allerdings anzuzweifeln, ob diese marktwirtschaftlichen Metaphern geeignet sind, um das Verstehen der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Verfügbarkeit der Energieträger zu unterstützen. Hier ist es meines Erachtens besser, den ursprünglicheren Quellbereich eines Gleichgewichtes heranzuziehen, der darüber hinaus auch eher der Erfahrungswelt der Schüler\*innen entstammt.

**Tabelle 22 Zitate Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen als Wirtschaftsgut**

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten	Weitere Textstellen
<b>Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen als Wirtschaftsgut</b>	<p>„Das <i>Angebot</i> erneuerbarer Energiequellen wie Wind und Sonne ist starken Schwankungen unterworfen.“ (WBGU, 2003, S. 83)</p> <p>„Ist die Stromerzeugung durch Windkraft <i>dominiert</i>, dann ist in den Wintermonaten eher mit <i>Stromüberschüssen</i> zu rechnen.“ (WBGU, 2003, S. 85)</p>	<p>Lastmanagement, fluktuierender, Überschusssituationen, Mangelsituationen, Unterschiede, Wärmenachfrage, Wärmeangebot, ausgeglichen, Schwankungen, dominiert, rechnen, prognostizierbar, Stromproduktion, produzieren</p>	<p>(WBGU, 2003, S. 74, 76, 83, 85)<sup>57</sup></p> <p>(WBGU, 2011, S. 160)</p>

### 8.3.2.2 Fossile Energieträger und Kernbrennstoffe SIND Behälter für Energie

Ähnlich wie bei den Schüler\*innen (s. Kapitel 8.3.1.2) lässt sich auch bei den Wissenschaftler\*innen des WBGU (2003, 2011) die Verwendung des BEHÄLTER-Schemas erkennen. Dieses Schema findet sich in sprachlichen Ausdrücken in Aussagen, die sich auf fossile Energieträger und Kernbrennstoffe beziehen (s. Tabelle 23).<sup>58</sup> Quellbereich ist ein gefüllter Behälter, der eine bestimmte Menge eines Stoffes enthält. Diese Menge ist durch den begrenzten Innenraum des Behälters limitiert (s. Kapitel 3.2.5.2). Im Zusammenhang mit nicht-erneuerbaren Energieträgern werden im Bericht zum Beispiel Wörter wie ‚speichern‘ oder ‚Lager‘ verwendet, die auf einen Bezug zum Quellbereich eines gefüllten Behälters hinweisen (s. Tabelle 23). Die entsprechenden Fachbegriffe, welche die Menge eines nicht-erneuerbaren Energieträgers in Bezug zu seiner Erschließung und Zugänglichkeit definieren, ‚Reserven‘ für bekannte Quellen, die jederzeit abbaubar sind und ‚Ressourcen‘ für Reserven inklusive weiterer geschätzter Vorkommen, die derzeit noch nicht abbaubar sind (WBGU,

<sup>57</sup> Da hier hauptsächlich Beispiele aus den WBGU-Gutachten von 2003 aufgeführt sind, könnte der Eindruck entstehen, dass zur Erstellung des zweiten Gutachtens ein Konzeptwechsel stattgefunden hat. Die Ursache liegt meines Erachtens aber in der Auswahl der Textstellen zur Analyse. Im Gutachten von 2011 tauchen Metaphern über die Verfügbarkeit neuer Energiequellen als Wirtschaftsgut eher in den Abschnitten auf, in denen mögliche Zukunftsszenarien beschrieben werden (S. 155-163) und nicht im Zuge der Beschreibung der Eigenschaften der einzelnen Energieträger. Da diese Seiten allerdings nicht Gegenstand der systematischen Metaphernanalyse waren, sei hier nur exemplarisch eine Stelle aufgeführt. Dennoch muss die Auswahl der Textstellen insbesondere vor diesem Hintergrund kritisch diskutiert werden (s. Kapitel 10.2).

<sup>58</sup> In den Aussagen, die sich auf das BEHÄLTER-Schema zurückführen lassen, werden anstatt nicht-erneuerbare Energieträger die spezifischeren Bezeichnungen ‚fossile Energieträger‘ und ‚Kernbrennstoffe‘ verwendet. Um den metaphorischen Gehalt möglichst genau wieder zu geben, greife ich in der Beschreibung der Ergebnisse die in den WBGU-Gutachten (2003, 2011) verwendeten Bezeichnungen auf.

2011, S. 118) weisen ebenfalls darauf hin, dass hier wahrscheinlich das BEHÄLTER-Schema zu Grunde liegt.

**Tabelle 23 Metaphorische Konzepte zur Verfügbarkeit als BEHÄLTER**

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten	Weitere Textstellen <sup>59</sup>
<b>Verfügbarkeit fossiler Energieträger und Kernbrennstoffe IST Füllung eines Behälters (Erde)</b>	„Die Rohstoffversorgung für Kernbrennstoffe kann über Jahrzehnte <i>aus</i> bekannten geologischen <i>Lagern</i> gewährleistet werden.“ (WBGU, 2011, S. 124)	aus, Reserven, <i>ausnutzen</i> , fördern, Förderung, Ressourcenextraktion, Reservoirgestein, Lager	(WBGU, 2003, S. 48, 51, 52) (WBGU, 2011, S. 120, 121)
<b>Fossile Energieträger SIND Behälter für Energie</b>	„In den heutigen Reserven [fossiler Brennstoffe] ist ein Wert von mindestens gleicher Größenordnung [des kumulierten globalen Energieeinsatzes von 1860–1998] <i>gespeichert</i> .“ (WBGU, 2003, S. 48)	in, gespeichert, aus, <i>Energiegehalt</i>	(WBGU, 2003, S. 52) (WBGU, 2011, S. 118, 120)

Einem gefüllten Behälter kann bei Bedarf etwas vom Inhalt entnommen werden. Wortbestandteile und Wörter wie ‚aus‘ oder ‚fördern‘, die in den wissenschaftlichen Quellen (WBGU, 2003, 2011) verwendet werden, lassen sich in Bezug auf den Quellbereich des Behälters auf eine Bewegung oder Entnahme einer Entität aus einem Behälter beziehen (s. Tabelle 23). Der Quellbereich des Behälters wird in den Aussagen über fossile Energieträger und Kernbrennstoffe auf deren Verfügbarkeit übertragen. Es gibt eine begrenzte Menge der entsprechenden Rohstoffe (Kohle, Erdgas, Erdöl, Uran) und durch diese begrenzte stoffliche Menge auch eine begrenzte Menge an Energie, die in den entsprechenden Systemen gespeichert ist und bei Bedarf gefördert beziehungsweise genutzt werden kann. In den Texten fehlen metaphorische Wendungen, die sich auf eine Bewegung in den Behälter und somit die Füllung des Behälters beziehen. Gleichzeitig werden Bezeichnungen und Skalierungen verwendet, die nahe legen, dass im Vergleich zur Füllmenge des Behälters nur ein geringer Anteil entnommen wird und der ‚Vorrat‘ dementsprechend noch über eine bestimmte Zeit ausreicht. So heißt es beispielsweise: „Allein die gegenwärtig bekannten Kohleressourcen und -reserven übertreffen die derzeit jährlich geförderte Menge möglicherweise um den Faktor 3.000“ (WBGU, 2011, S. 120). Interessant ist, dass die metaphorischen Konzepte, die sich auf

<sup>59</sup> Zum Teil befinden sich auf einer genannten Seite mehrere Zitate mit entsprechenden Metaphern.

das BEHÄLTER-Schema als Quellbereich beziehen, ineinander verschachtelt sind. So wird die Verfügbarkeit der Rohstoffe als eine Füllung eines Behälters konzeptualisiert (,Verfügbarkeit fossiler Energieträger IST Füllung eines Behälters‘) wobei der Behälter durch die Erde repräsentiert wird (,Erde IST Behälter für fossile Brennstoffe‘). Andererseits werden die nicht-erneuerbaren Energieträger selbst wiederum als Behälter konzeptualisiert, die eine bestimmte Menge an Energie enthalten (,fossile Energieträger SIND Behälter für Energie‘).

### 8.3.3 Systematischer Vergleich

Im systematischen Vergleich werden zunächst die Eigenheiten der metaphorischen Konzepte der Lernenden und der metaphorischen Konzepte der wissenschaftlichen Gutachten herausgestellt. Anschließend werden Gemeinsamkeiten ausgemacht. Wie sich die metaphorischen Konzepte trotz Gemeinsamkeiten unterscheiden, wird daraufhin in den Blick genommen. Schließlich werden die Grenzen der jeweiligen metaphorischen Konzepte erörtert. Hierfür spielt das durch Übertragung der Quellbereiche auftretende Highlighting und Hiding eine große Rolle. Abschließend werden die Vergleichspunkte im Hinblick auf ihren Nutzen für die unterrichtliche Vermittlung diskutiert.

#### Eigenheiten

In der Gegenüberstellung der metaphorischen Konzepte zur Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger werden die Eigenheiten der Perspektive der Schüler\*innen und der Perspektive der Wissenschaftler\*innen deutlich (s. Abbildung 13). Es lassen sich Eigenheiten auf zwei Betrachtungsebenen ausmachen.

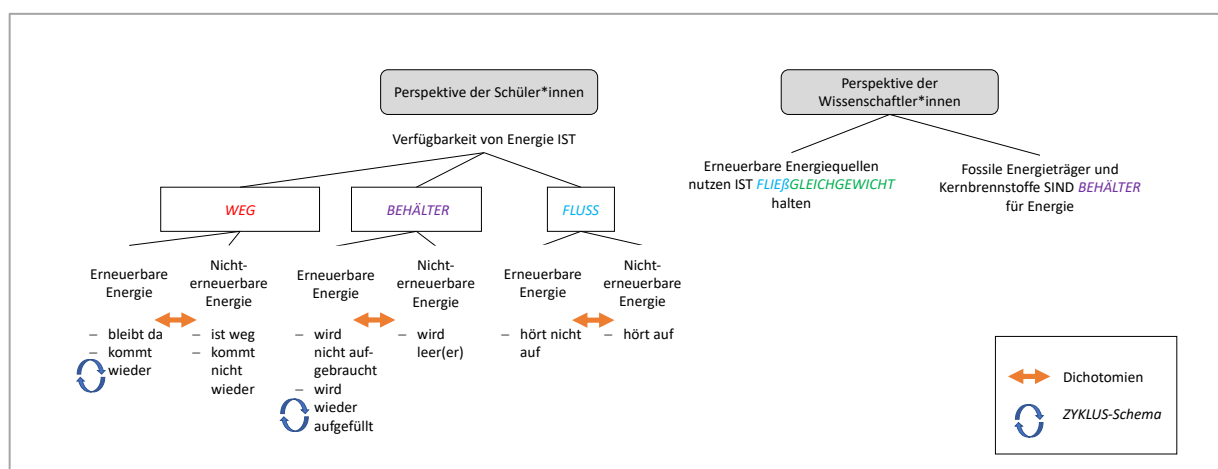


Abbildung 12 Metaphorische Konzepte innerhalb der Vorstellungen zur Verfügbarkeit

Erstens wenden die Lernenden die metaphorischen Konzepte dichotom auf erneuerbare und nicht-erneuerbare Energie an. Die Wissenschaftler\*innen hingegen verwenden verschiedene metaphorische Konzepte für erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger, die inkohärent sind. Diese Eigenheit der wissenschaftlichen Perspektive könnte ein Hindernis für das Verstehen der jeweiligen naturwissenschaftlichen Hintergründe zur Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger darstellen. Die Verfügbarkeit erneuerbarer bzw. nicht-erneuerbarer Energieträger kann nicht intuitiv durch die Übertragung ein- und desgleichen Quellbereiches auf den jeweiligen Zielbereich verstanden werden.

Zweitens fällt auf der Ebene der Schemata auf, dass sich ausschließlich bei den Lernenden metaphorische Konzepte rekonstruieren lassen, die sich auf ein ZYKLUS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.4) beziehen. Dieses Schema wird dabei ausschließlich für den Zielbereich erneuerbarer Energien benutzt (s. Abbildung 13).

Dahingegen lassen sich ausschließlich bei den Wissenschaftler\*innen Metaphern finden, die auf die Anwendung eines GLEICHGEWICHTS-Schemas schließen lassen. Dieses Schema wird in Verbindung mit dem FLUSS-Schema für den Zielbereich erneuerbarer Energiequellen genutzt.

#### *Gemeinsamkeiten*

Gemeinsamkeiten zwischen den metaphorischen Konzepten der beiden Perspektiven lassen sich auf der Ebene der Schemata feststellen. Sowohl das BEHÄLTER- als auch das FLUSS-Schema werden von Lernenden und wissenschaftlichen Gutachten in den metaphorischen Konzepten für den Zielbereich der Verfügbarkeit der Energieträger genutzt (s. Abbildung 13).

#### *Verschiedenheiten*

Trotz der gemeinsamen Nutzung des BEHÄLTER-Schemas und des FLUSS-Schemas für den Zielbereich der Verfügbarkeit der Energieträger unterscheidet sich die spezifischere Anwendung auf den Zielbereich. Die Lernenden wenden beide Schemata sowohl für den Zielbereich nicht-erneuerbarer Energie, als auch für den Zielbereich erneuerbarer Energie an. Die Wissenschaftler\*innen beschränken die Anwendung des BEHÄLTER-Schemas auf den Zielbereich nicht-erneuerbarer Energieträger. Die Anwendung des FLUSS-Schemas wird hingegen auf den Zielbereich erneuerbarer Energiequellen beschränkt (s. Abbildung 13).

Die Ursachen für diese Verschiedenheiten lassen sich durch die genauere Betrachtung der Grenzen der jeweiligen metaphorischen Konzepte besser verstehen. Hierfür wird das durch die entsprechenden Quellbereiche verursachte Highlighting und Hiding genutzt.

#### *Begrenztheiten: Highlighting und Hiding*

Bei der Übertragung der Quellbereiche werden bestimmte Aspekte der Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger betont, andere verschleiert. Im Folgenden werden die Grenzen dieses Übertragungsprozesses für das BEHÄLTER- und das FLUSS-Schema genauer erläutert. Ein Vergleich des Highlightings und Hiding weiterer metaphorischer Konzepte findet sich in Tabelle 24.

Durch die Übertragung des BEHÄLTER-Schemas (s. Kapitel 3.2.5.2) auf den Zielbereich der Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energieträger wird betont, dass die Verfügbarkeit von fossilen Brennstoffen und Kernbrennstoffen stofflich bedingt ist. Außerdem wird die Lagerbarkeit der Energieträger verdeutlicht. Wird das BEHÄLTER-Schema wie von den Lernenden auch auf die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen übertragen, so wird verschleiert, dass diese (mit der Ausnahme von Biomasse) nicht stofflich verfügbar sind. Ebenso wird die fluktuierende Verfügbarkeit verdeckt, die bei Wind- und Solarenergie gegeben ist (s. Kapitel 3.1.3.2). Sowohl bei der Übertragung auf den Zielbereich erneuerbarer als auch auf den Zielbereich nicht-erneuerbarer Energieträger wird verschleiert, dass es neben der stofflichen eine energetische Betrachtungsebene gibt. In einer Energieform, in der Energie chemisch gebunden ist – wie in fossilen Brennstoffen und Kernbrennstoffen –, fallen die energetische und stoffliche Ebene zeitweise zusammen. Insbesondere in Hinblick auf die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger ist es jedoch wichtig, diese Ebenen auch getrennt betrachten zu können (s. Kapitel 8.4).



**Tabelle 24 Vergleich der Perspektiven zur Verfügbarkeit**

<b>Perspektive</b>	<b>Schüler*innen</b>	<b>Wissenschaftler*innen</b>
Zielbereich	Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger	Verfügbarkeit fossiler Energieträger und Kernbrennstoffe
Schema als Quellbereich	START-WEG-ZIEL	BEHÄLTER FLUSS BEHÄLTER
Betonung (Highlighting)	Bewegung in eine Richtung Verfügbarkeit der Energieträger vom Standort abhängig	Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger als dynamischer Prozess Schwankende Verfügbarkeit Prozess läuft in eine Richtung
Verschleierung (Hiding)	Ursachen für die Verfügbarkeit kein ZYKLUS möglich	Trennung zwischen stofflicher und energetischer Ebene
	Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger nicht stofflich bedingt kein (Stoff-)ZYKLUS	Stabile Speicherform erneuerbarer Energieträger als stoffliche gebundene innere Energie

Durch die Übertragung des FLUSS-Schemas auf den Zielbereich der erneuerbaren Energiequellen wird betont, dass es sich bei der Verfügbarkeit um einen dynamischen Prozess handelt. Bei erneuerbaren Energiequellen ist in einem bestimmten Zeitintervall eine bestimmte Menge an Energie verfügbar (s. Kapitel 3.1.3.2).<sup>60</sup> Diese Energie wird auch ohne menschliches Zutun transferiert. Der Transfer läuft in eine bestimmte Richtung ab. An einem bestimmten Tag an einem bestimmten Ort ist eine bestimmte Menge an Solarenergie verfügbar. Auch ohne menschliches Zutun findet ein Energietransfer der Solarstrahlung auf ein anderes System statt. So erwärmt sich beispielsweise die Erdoberfläche. Verschleiert wird bei der Übertragung des FLUSS-Schemas, dass sich beim Energietransfer die Energieform verändert. Die Fluktuation der Verfügbarkeit bei Wind- und Solarenergie ist prinzipiell anschlussfähig an ein FLUSS-Schema, weil die Durchflussrate je nach Witterung in einem Fluss auch schwanken kann. Sie wird durch das Schema an sich allerdings auch nicht besonders hervorgehoben. Verschleiert wird, dass erneuerbare Energiequellen (bis auf Biomasse) nicht in chemisch gebundener Form – also nicht stofflich – vorliegen.

Wird das FLUSS-Schema auf den Zielbereich der Verfügbarkeit nicht-erneuerbarer Energie übertragen, wird verschleiert, dass fossile Brennstoffe und Kernbrennstoffe in einer stabilen Form vorliegen. Ein Energietransfer findet nur unter menschlichem Zutun statt.

#### *Diskussion unter Vermittlungsabsicht*

Zwei Aspekte scheinen unter Vermittlungsabsicht besonders relevant. Zum einen scheinen fachlich unangemessene Vorstellungen verbreitet zu sein, die erneuerbare Energiequellen mit einem ZYKLUS-Schema in Verbindung bringen. Fachlich angemessen wäre in Bezug auf den Energiefluss jedoch die Vorstellung eines Prozesses, der aufgrund der Energieentwertung in eine Richtung abläuft (s. Kapitel 3.1.3.1). Hier stellt sich die Frage, wo sich im Vergleich der Ergebnisse der systematischen Metaphernanalyse Ansatzpunkte finden lassen, welche diese Richtungsaspekte adressieren.

Zum anderen scheint es schwierig zu verstehen, welche grundlegenden Unterschiede zwischen der Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger bestehen. Fossile Brennstoffe und Kernbrennstoffe enthalten innere Energie. Energieträger dieser Form sind ohne äußeres Zutun stabil. Die Menge der Energie wird durch die Menge des Brennstoffes

---

<sup>60</sup> Die Rolle von Biomasse ist jedoch kritisch zu betrachten (s. Kapitel 3.1.3.2).

bestimmt. Die Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen wird hingegen durch dynamische Prozesse bestimmt. Hierdurch kommt es zu Schwankungen, die ausgeglichen werden müssen (s. Kapitel 3.1.3.2). Auch Ansatzpunkte für das Verstehen der Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit sollen im Folgenden genauer diskutiert werden.

### *Richtungsaspekte der Verfügbarkeit unter Vermittlungsabsicht*

Betrachtet man die Eigenheiten der Perspektive der Schüler\*innen, ist interessant, dass das ZYKLUS-Schema ausschließlich für erneuerbare Energiequellen verwendet wird. Auch aus anderen Kontexten ist bekannt, dass Lernende Energie als eine Substanz konzeptualisieren, die sich im Kreis bewegt (Burger, 2001; Lancor, 2014a; Wernecke u. a., 2018). Möglicherweise hängt dies mit dem Wort ‚erneuerbar‘ zusammen. Einige Schüler\*innen scheinen diese Bezeichnung im Sinne von „wieder ‚neu‘ machen“ (Wehling, 2016, S. 189) zu verstehen (s. Kapitel 8.2, ‚Erneuern IST Recyclen‘).

Wernecke u. a. (2018) beschreiben mit dem metaphorischen Konzept ‚Energie IST kein Kreislauf‘ die Verwendung des ZYKLUS-Schemas in seiner negierten Form auch in Biologie-Schul- beziehungsweise Fachbüchern. Durch die Negierung des Kreislaufs der Energie wird genauso wie durch den gebräuchlichen Ausdruck Einbahnstraße der Energie betont, dass der Energietransfer in einer bestimmten Richtung abläuft.

In der Anwendung auf den Zielbereich der Verfügbarkeit von Energieträgern lässt sich sowohl bei den Lernenden als auch bei den Wissenschaftler\*innen die Verwendung eines FLUSS-Schemas rekonstruieren (s. o.). Die Anwendung des FLUSS-Schemas ist in Zusammenhang mit Energie weit verbreitet (s. Kapitel 4.1). Es wird eingesetzt, um die prozesshaften Aspekte des Energietransfers zu betonen: Eine bestimmte Energiemenge befindet sich zu einer bestimmten Zeit jeweils an aufeinander folgenden ‚Orten‘ (Wernecke u. a., 2018).

Im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion stellt sich die Frage, welche metaphorischen Alternativen der fachlich unangemessenen Vorstellung eines Energiekreislaufes am besten entgegenwirken: ‚Einbahnstraße‘, ‚Nicht-Kreislaufs‘ oder ‚Fluss‘. Dies soll nachfolgend diskutiert werden.

Die Einbahnstraßen-Metapher beruht auf einem Quellbereich, dem ein START-WEG-ZIEL-Schema (s. Kapitel 3.2.5.3) zu Grunde liegt. Der Quellbereich eines ‚Weges‘ lässt sich auch in den metaphorischen Konzepten der Schüler\*innen zur Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-

erneuerbarer Energieträger wiederfinden (s. Abbildung 13). Die Metapher der Einbahnstraße könnte somit potentiell anschlussfähig an die Vorstellungen der Schüler\*innen sein. Das Highlighting und Hiding ermöglicht eine genauere Beurteilung der Eignung für den Unterricht. Die Einbahnstraße erlaubt nur eine ‚(Fahrt-)Richtung‘. Dies betont, dass ein Energietransfers in eine bestimmte Richtung erfolgt. Begrenzt wird diese Betonung aber dadurch, dass sich der Quellbereich auf eine (willkürlich) festgesetzte Regel bezieht. Aus dem körperlichen Erfahrungsbereich hindert einen Menschen nichts daran, sich dieser Regel zu widersetzen. In den rekonstruierten Vorstellungen der Schüler\*innen wenden diese die Weg-Metapher auch in Kombination mit dem ZYKLUS-Schema an, wenn sie zum Beispiel davon sprechen, dass erneuerbare Energie „wiederkommt“ (s. Tabelle 18; Abbildung 13). Es ist fraglich, ob die Spezifizierung des ‚Weges‘ als ‚Einbahnstraße‘ den Aufbau einer Vorstellung, die auf dem ZYKLUS-Schema beruht, verhindert.

Weder die Äußerungen der Lernenden noch die der Wissenschaftler\*innen lassen sich in dieser Studie auf einen Nicht-Kreislauf als Quellbereich zurückführen. Um eine Negierung zu verstehen, müssen Menschen zunächst immer an den negierten Begriff, in diesem Fall einen Kreislauf, denken. Dies führt in der Regel zu einer gedanklichen Verstärkung zwischen den Begriffen in ihrer nicht negierten Form (Lakoff, 2004). Da Kreislaufvorstellungen der Energie nicht verstärkt werden sollen, ist von der metaphorischen Alternative eines Nicht-Kreislaufs abzuraten.

Die Verwendung des FLUSS-Schemas als Quellbereich betont Aspekte, die einer Kreislauf-Vorstellung entgegenstehen. Ein Fluss fließt nur in eine Richtung und es bedeutet körperliche Anstrengung, gegen den Strom<sup>61</sup> zu schwimmen. Wie oben beschrieben wird dieses Schema sowohl von den Wissenschaftler\*innen als auch von den Schüler\*innen in Bezug auf die Verfügbarkeit der Energieträger verwendet. Auffällig ist auch, dass sich bei den Lernenden, die das FLUSS-Schema verwendeten, keine Hinweise auf die gleichzeitige Verwendung eines ZYKLUS-Schemas finden ließen (s. Abbildung 13). Das FLUSS-Schema scheint für den Einsatz im Unterricht vielversprechend. Es greift sowohl Vorstellungen der wissenschaftlichen

---

<sup>61</sup> Die Ausdrücke ‚Fluss‘ und ‚Strom‘ bezeichnen in ihrer ursprünglichen Bedeutung ein Fließgewässer, wobei der Strom sich sprachlich auf eine größere Wassermenge bezieht („Fluss“, „Strom“, o. J.). Insofern können für den Quellbereich eines Fließgewässers sowohl die Ausdrücke ‚Fluss‘ und ‚fließen‘ als auch die Wörter ‚Strom‘ und ‚strömen‘ verwendet werden. Es sollte aber darauf geachtet werden, dass insbesondere im Zusammenhang mit Energie durch den Ausdruck ‚Strom‘ keine Verwirrung erzeugt wird, da dieser Ausdruck auch als Begriff für den „Transport elektrischer Ladungen in eine bevorzugte Richtung“ verwendet wird („Strom“, o. J.).

Perspektive als auch Vorstellungen von Lernenden auf und ist geeignet, um Kreislaufvorstellungen entgegenzuwirken. Einschränkend muss erwähnt werden, dass die Wissenschaftler\*innen das FLUSS-Schema nur auf den Zielbereich erneuerbarer Energiequellen übertragen. Wie im Abschnitt zur Verschiedenheit beschrieben, werden dadurch Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit bei erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern betont (s. o). Deshalb werden die dynamischen Aspekte der Verfügbarkeit im nächsten Absatz genauer diskutiert.

#### *Dynamische Aspekte der Verfügbarkeit unter Vermittlungsabsicht*

Definitionen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern beziehen sich in der Regel auf die Verfügbarkeit der Energieträger (s. Kapitel 3.1.3.2). Sie rekurren dabei auch auf Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit dieser Quellen. So unterscheiden zum Beispiel Wesselak u. a. regenerative Energieträger von nicht-erneuerbaren dadurch, dass sie sich „innerhalb menschlicher Zeitmaßstäbe erneuern“ (2013, S. 109). Twidell und Weir setzen dem „naturally repetitive and persistent flow of energy“ (2015, S. 3) als Charakteristikum erneuerbarer Energiequellen „static stores of energy“ (2015, S. 3) der nicht-erneuerbaren Energieträger entgegen. Insofern scheinen die Unterschiede in der Dynamik, ein entscheidendes Unterscheidungskriterium zwischen erneuerbaren Energiequellen und nicht-erneuerbaren Energieträger zu sein.

Sowohl Lernende als auch Wissenschaftler\*innen nutzen FLUSS- und BEHÄLTER-Schema (s. Gemeinsamkeiten). Das FLUSS- Schema beruht auf Erfahrungen, die mit der Bewegung von Wasser über eine Strecke verbunden sind. Das bedeutet, sie beruhen auf Erfahrungen, die eine Dynamik aufweisen. Bei den metaphorischen Übertragungen auf die Verfügbarkeit von Energie wird dieser dynamische Aspekt betont. Dahingegen ist der mit dem BEHÄLTER-Schema verknüpfte Erfahrungshintergrund eher statisch. Ein Behälter kann über längere Zeit ungenutzt herumstehen, ohne dass sich an der Füllung etwas ändert.

Eine dichotome Anwendung des FLUSS- oder BEHÄLTER-Schemas wie bei den befragten Schüler\*innen (s. Eigenheiten) verschleiert die dynamischen Unterschiede bezüglich der Verfügbarkeit erneuerbarer und nicht-erneuerbare Energieträger.

Die Wissenschaftler\*innen wenden das FLUSS-Schema spezifisch auf den Zielbereich erneuerbarer und das BEHÄLTER-Schema auf den Zielbereich nicht-erneuerbarer Energieträger an. Dadurch werden Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit betont.

Für die didaktische Strukturierung stellt sich eine besondere Herausforderung dar: Einerseits eignet sich das FLUSS-Schema, um Kreislaufvorstellungen entgegenzuwirken. Andererseits verschleiert die dichotome Anwendung Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit. Es stellt sich die Frage, wie damit im Unterricht konstruktiv umgegangen werden kann. Gibt es eine Möglichkeit FLUSS-Schema und BEHÄLTER-Schema miteinander zu kombinieren? Welche metaphorischen Konzepte und Schemata eignen sich am besten, um die Vorstellungen der Schüler\*innen hinsichtlich eines differenzierteren Verständnisses der Verfügbarkeit zu erweitern?

### *Ansätze für den Unterricht*

Nachdem der Ausdruck ‚erneuerbar‘ Vorstellungen zu fördern scheint, die auf einem ZYKLUS-Schema beruhen, stellt sich die Frage, ob es *alternative sprachliche Bezeichnungen* gibt, die das FLUSS-Schema aufgreifen. ‚Nachströmende‘ und ‚erschöpfbare‘ Energiequellen sind alternative Bezeichnungen für ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘, die der Fluss-Metapher folgen und keine Hinweise auf Zyklizität beinhalten.

Mit diesen alternativen Bezeichnungen werden auch die metaphorischen Konzepte aufgegriffen, die aus den WBGU-Berichten (2003, 2011) rekonstruiert werden konnten (s. Abbildung 13). Die Wissenschaftler\*innen rekurren hier einerseits auf ein FLIEßGLEICHGEWICHT und andererseits auf einen BEHÄLTER. Die Ausdrücke ‚nachströmend‘ und ‚erschöpfbar‘, beziehen sich beide auf den Quellbereich einer Flüssigkeit. Diese Konsistenz könnte das Verstehen erleichtern. Gleichzeitig werden in der Verwendung der alternativen Ausdrücke die Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit ‚erneuerbarer‘ und ‚nicht-erneuerbarer‘ Energieträger deutlich. Der dynamische Quellbereich eines sich kontinuierlich bewegendes Flusses – bei den Wissenschaftler\*innen durch den rekonstruierten Quellbereich des „Fließgleichgewichtes“ repräsentiert – wird im Ausdruck ‚nachströmend‘ auf erneuerbare Energiequellen übertragen. Der statische Quellbereich eines Behälters, der mit einer Flüssigkeit gefüllt ist, wird mit dem Ausdruck ‚erschöpfbar‘ auf nicht-erneuerbare Energieträger übertragen. Dies entspricht auch der fachlichen Darstellung

gängiger Definitionen, die sich auf die Verfügbarkeit der Energieträger beziehen (Twidell & Weir, 2015, S. 3; Wesselak u. a., 2017, S. 111).

Die vorgeschlagenen alternativen Bezeichnungen ‚nachströmende‘ und ‚erschöpfbare‘ Energiequellen betonen die Aspekte der Verfügbarkeit fachlich angemessener als die Bezeichnungen ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘. Diese Ausdrücke können im Unterricht bewusst verwendet werden. Je nach den Voraussetzungen und Präkonzepten der Lerngruppe sollten die Metaphern mit den Schüler\*innen hinsichtlich ihres Highlightings und Hidings aktiv reflektiert und diskutiert werden.

Diese Bezeichnungen allein sind nicht in der Lage, eine differenzierte Sichtweise einzelner Aspekte der Verfügbarkeit wie zeitliche und räumliche Schwankungen (s Kapitel 7.2 und 8.3.2.1) zu vermitteln. So bezieht sich der Ausdruck ‚nachströmend‘ alleine auf den Energiefluss. Das GLEICHGEWICHTS-Schema, das im metaphorischen Konzept der Wissenschaftler\*innen zur Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen gleichermaßen enthalten ist (s. Kapitel 8.3.2.1), wird hierdurch nicht aufgegriffen.

Das metaphorische Konzept ‚erneuern IST nachströmen‘ bietet Anknüpfungspunkte, um die *Perspektive der Lernenden Schritt für Schritt zu erweitern*. Das Konzept ist mit dem übergeordneten metaphorischen Konzept ‚Erneuerbare Energieträger nutzen IST Fließgleichgewicht halten‘ konsistent. An Hand des verwendeten FLUSS-Schemas lassen sich auch Gleichgewichtsaspekte verdeutlichen. Somit entstehen weniger Widersprüche, wenn die Komplexität im Unterricht schrittweise erhöht wird, um das Verstehen der Abhängigkeit der Verfügbarkeit von zeitlichen und räumlichen Faktoren zu fördern.

Mit Hilfe des GLEICHGEWICHTS-Schemas (s. Kapitel 3.2.5.9) kann verdeutlicht werden, dass zu einer bestimmten Zeit nicht mehr Energie genutzt werden kann, als Energie nachströmt. Es muss ein GLEICHGEWICHT zwischen Zu- und Abfluss gehalten bzw. hergestellt werden. Bei der Übertragung des FLUSS- in Kombination mit dem GLEICHGEWICHTS-Schema auf den Zielbereich entspricht der Zufluss der Verfügbarkeit der Energieträger. Die Menge des Zuflusses wird durch zeitliche und räumliche Faktoren bestimmt – zum Beispiel durch die Tages- oder Jahreszeit und/oder die geographische Lage. Der Abfluss entspricht der potenziell zu einem bestimmten Zeitpunkt nutzbaren Energiemenge. In einem weiteren Schritt kann verdeutlicht werden, dass Speicher nötig sind, um Schwankungen im Zustrom auszugleichen. Die zu einem Zeitpunkt oder an einem geographischen Ort im Überfluss verfügbare Menge an

Energie wird durch die Speicherung unabhängig von Ort und Zeit nutzbar gemacht. Die beschriebene Übertragung der Schemata auf die schwankende Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen lässt sich in einem Speicher-Fluss-Modell darstellen. Niebert (2010, 2017) konnte ein solches Badewannenmodell des Fließgleichgewichtes im Kontext der Abhängigkeit der Kohlenstoffdioxidkonzentration von Zu- und Abflüssen in die Atmosphäre in der Intervention mit Lernenden bereits erfolgreich erproben.

Problematisch bleibt bei der Verwendung des FLUSS-Schemas durch die Ausdrücke ‚nachströmend‘ und ‚erschöpfbar‘ einerseits die Abgrenzung *von der stofflichen zur energetischen Ebene* (insbesondere in Bezug auf ‚Wasserkraft‘), andererseits wird durch die Flussmetapher die Energieumwandlung in verschiedene *Energieformen verschleiert* (Lancor, 2014a, S. 1255).

Auch die *Problematik der Kategorisierung* der Energieträger in zwei verschiedene Gruppen, lässt sich durch die alternativen Bezeichnungen ‚nachströmend‘ und ‚erschöpfbar‘ nicht auflösen. So würde man Biomasse als Energieträger prinzipiell den ‚nachströmenden‘ Energieträgern zuordnen. Allerdings ‚strömt‘ die Biomasse nicht wie bei einem Fluss ohne menschliches Zutun ‚nach‘. Hierzu ist der gezielte Anbau von Biomasse zur energetischen Nutzung nötig. Gleichzeitig erscheint Biomasse aber auch nicht ‚erschöpfbar‘, da das Potenzial für den Anbau unter den Bedingungen, die auch den Menschen das Leben auf der Erde ermöglichen, prinzipiell vorhanden ist.

Wenn die Aufmerksamkeit der Schüler\*innen auf die Verfügbarkeit der verschiedenen Energieträger gerichtet werden soll, können die alternativen Bezeichnungen ‚nachströmend‘ und ‚erschöpfbar‘ ein angemessenes fachliches Verstehen unterstützen. Sie betonen die charakteristischen Aspekte der Richtung des Energietransfers und die Unterschiede in der Dynamik des Energietransfers. Außerdem bietet die Verwendung des FLUSS-Schemas Anknüpfungspunkte für eine schrittweise Erweiterung der Lernendenperspektive auf die schwankende Verfügbarkeit erneuerbarer Energiequellen. Die Grenzen der Übertragung der verwendeten Quellbereiche müssen dabei offengelegt und mit den Schüler\*innen kritisch diskutiert werden.



## 8.4 Metaphorische Konzepte zu Auswirkungen der Nutzung der Energieträger

In der öffentlichen Debatte um die Energiewende stehen die Auswirkungen der Nutzung bestimmter Energieträger im Fokus. Sowohl die Interviews der Schüler\*innen als auch die WBGU-Gutachten (2003, 2011) enthalten Aussagen zu den Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger (s. Kapitel 7.3). In der systematischen Metaphernanalyse wurden diese Aussagen auf ihre erfahrungsbasierten Hintergründe untersucht.

Entlang der Forschungsfragen werden zunächst die Ergebnisse für die Perspektive der Lernenden (s. Kapitel 8.4.1), dann die Ergebnisse aus der Wissenschaftsperspektive (s. Kapitel 8.4.2) vorgestellt. Anschließend werden die Ergebnisse in einem systematischen Vergleich gegenübergestellt und unter Vermittlungsabsicht diskutiert (s. Kapitel 8.4.3).

### 8.4.1 Lernendenperspektive

Neben der Verfügbarkeit der Energieträger spielen unter fachlichen Aspekten die Auswirkungen der Nutzung der Energieträger eine entscheidende Rolle für ein Verstehen der Debatte um die Energiewende (s. Kapitel 3.1). Aus der Perspektive der Schüler\*innen sind auch die Auswirkungen der Nutzung dichotom organisiert (s. Tabelle 11). Hiernach hat die Nutzung nicht-erneuerbarer Energieträger im Gegensatz zur Nutzung erneuerbarer Energieträger negative Auswirkungen. Hierzu lassen sich über die systematische Metaphernanalyse zwei metaphorische Konzepte rekonstruieren. Bei dem einen metaphorischen Konzept (‚nicht-erneuerbare Energie nutzen IST verschmutzen‘) liegt der Fokus darauf, dass etwas an eine Stelle gelangt, an der es nicht erwünscht ist, wohingegen das zweite metaphorische Konzept (‚nicht-erneuerbare Energie nutzen IST Umwelt schädigen‘) den Fokus auf die Wirkung der Nutzung auf die Umwelt legt.<sup>62</sup>

#### 8.4.1.1 Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST verschmutzen

Aus den Ergebnissen der Inhaltsanalyse geht hervor, dass sich die Aussagen der Schüler\*innen zu Auswirkungen der Nutzung von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern den dichotomen Kategorien ‚sauber‘ und ‚dreckig‘ zuordnen lassen (s. Kapitel 7.1). Bereits in der Benennung der Kategorien, die möglichst eng an den wörtlichen Äußerungen der Schüler\*innen gewählt sind (s. Kapitel 6.5.1), lässt sich erkennen, dass die Lernenden

---

<sup>62</sup> Dies entspricht interessanterweise den beiden Bestandteilen des Wortes ‚Auswirkungen‘. Das Präfix ‚aus‘ fokussiert auf den Weg, den eine Entität (beispielsweise ein Stoff) zurücklegt. Der Wortteil ‚Wirkung‘ verweist auf den verändernden Charakter, den diese Entität hat.

Metaphern verwenden. Die in diesem Zusammenhang metaphorisch verwendeten Ausdrücke wie zum Beispiel ‚sauber‘, ‚dreckig‘, und ‚schmutzig, aber auch ‚verpesten‘, ‚verseuchen‘, ‚giftig‘ und ‚toxisch‘ (s. Tabelle 25) deuten darauf hin, dass hier auf ein SAUBER-DRECKIG-Schema rekuriert wird (s. Kapitel 3.2.5.7): Ein bestimmter Stoff befindet sich an einem Ort (in einem BEHÄLTER oder an einer Oberfläche), an dem er nicht erwünscht ist. Bei den meisten Lernenden bleibt es (relativ)<sup>63</sup> unspezifisch, um welchen Stoff es sich dabei handelt.<sup>64</sup> Lediglich Julian erwähnt in diesem Zusammenhang CO<sub>2</sub> und benennt den Stoff Kohlenstoffdioxid (s. Tabelle 25). Die Veränderung der Lokalisation dieses Stoffes hin zu einem unerwünschten Ort (z. B. ‚in die Atmosphäre/Umwelt/Luft‘) lässt sich in den wörtlichen Äußerungen mehrerer Schüler\*innen erkennen. Worte wie ‚in‘ und ‚voller‘ weisen dabei auf einen Bezug zu einem SAUBER-DRECKIG-Schema, das ein BEHÄLTER-Schema (s. Kapitel 3.2.5.2) integriert, hin. In den Äußerungen der Schüler\*innen, die den Kategorien ‚sauber‘ und ‚dreckig‘ zugeordnet wurden, lassen sich mehrere metaphorische Konzepte rekonstruieren, die auf dem SAUBER-DRECKIG-Schema beruhen. Das metaphorische Konzept ‚nicht-erneuerbare Energie nutzen IST verschmutzen‘ habe ich hierbei zum einen aus der wörtlichen Verwendung der Verschmutzungsmetapher abgeleitet. Zum anderen konnte das metaphorische Konzept aus der Rekonstruktion des SAUBER-DRECKIG-Schemas abgeleitet werden: Eine Verschmutzung liegt demnach vor, wenn in den Aussagen Bezug darauf genommen wird, dass durch die Nutzung erneuerbarer Energieträger ein Stoff an einen Ort gelangt, an dem dieser implizit unerwünscht ist (s. Tabelle 25). In seiner Negation wird dieses metaphorische Konzept von den Lernenden auf erneuerbare Energien angewendet, da hier nicht immer explizit auf den Prozess der Verschmutzung eingegangen wird, allgemeiner formuliert als ‚erneuerbare Energie IST sauber‘. Aus den Vorstellungen, die auf dem SAUBER-DRECKIG-Schema beruhen, lassen sich in der Folge noch zwei weitere metaphorische Konzepte ableiten. Zum einen führt die Verschmutzung in den Vorstellungen der Schüler\*innen dazu, dass sich nicht-erneuerbare Energie nicht wiederverwenden lässt (‚nicht-erneuerbar IST nicht wiederverwendbar‘). In bestimmten Fällen – hier werden von den Schüler\*innen Atomkraftwerke erwähnt – führt dies dazu, dass ‚Müll‘ entsteht, der dann

---

<sup>63</sup> Einige Schüler\*innen erwähnen Gase, bei anderen wird der Stoff nicht näher bezeichnet.

<sup>64</sup> Aus metaphorischer Sicht müsste man streng genommen zwischen dreckig und giftig unterscheiden, da bei Gift als Quellbereich die (potenziell) schädigende Wirkung betont wird (vgl. Kapitel KRAFT- bzw. MANIPULATIONS-Schema als Quellbereich für Auswirkungen), bei Dreck hingegen der unerwünschte Ort, an dem sich der Stoff befindet. Allerdings treten diese beiden Quellbereiche oft in Kombination auf (s. Tabelle 27): Ein giftiger Stoff befindet sich bzw. gelangt an einen unerwünschten Ort.

‚entsorgt‘ werden muss. Zum anderen führen die lebensweltlichen Erfahrungen der Schüler\*innen zu der Annahme, dass in bestimmten Fällen der Schmutz auch wieder entfernt werden kann, was sich im metaphorischen Konzept ‚Erneuern IST Säubern‘ zeigt (s. Kapitel 8.2).

**Tabelle 25 Zitate der Schüler\*innen zu Sauber-Dreckig Schema**

<b>Metaphorisches Konzept</b>	<b>Ankerbeispiel(e)</b>	<b>Metaphorische Wendungen aus den Interviews</b>	<b>Weitere Textstellen</b>
<b>Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST verschmutzen</b>	„Das Erdöl [...] verschmutzt die Luft [...]“ (Hugo, Z. 10-11)  „Wenn [Uran] im Atomkraftwerk verwendet wird, fängt es die Strahlen auf. Dann muss es entsorgt werden, weil es voller Strahlen ist.“ (Frieda, Z. 78-79)	<i>verschmutzt die Luft; CO<sub>2</sub> bleibt in der Atmosphäre hängen; ist voller Strahlen, muss entsorgt werden; giftige toxische Gase kommen in die Umweltluft; verseucht; verpestet</i>	(Julian, Z. 12-13) (Hugo, Z. 20-21, 23-24) (Anton, Z. 234-236) (Jana, Z. 9-10)
<b>Erneuerbare Energie IST saubere Energie</b>	„Ich glaube [I: Windkraftanlagen] [sollen] [W: gebaut werden], weil es eine saubere Energie ist, weil es umweltfreundlich ist.“ (Anton, Z. 27)	<i>machen keine giften Abgase; verschmutzen [nicht] das Wasser; sauber; umweltfreundlich</i>	(Anton, Z. 61-64)
<b>Nicht-erneuerbar IST nicht-wiederverwendbar</b>	„Es gibt [I: nicht-erneuerbare] Energie, die giftig ist, die man nicht wiederverwenden kann.“ (Frieda, Z. 7-8)	<i>wird nicht nochmal verwendet; kann man nicht wiederverwenden; muss entsorgt werden; Atommüll bleibt übrig</i>	(Frieda, Z. 78-80, 78-81) (Julian, Z. 9-11)

#### 8.4.1.2 Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST Umwelt schädigen

Die oben beschriebenen Konzepte fokussieren die Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern und die dabei entstehenden unerwünschten Stoffe. Einige Aussagen enthalten jedoch Metaphern, die speziell auf die schädigende Wirkung dieser Stoffe auf die Umwelt abzielen. Wörtlich wird an einigen Stellen direkt von ‚umweltschädlich‘ gesprochen. Aber auch Bezeichnungen wie ‚verpesten‘, ‚verseuchen‘, ‚giftig‘ und ‚toxisch‘ beruhen auf Quellbereichen, die auf einer schädigenden Wirkung basieren (s. Tabelle 26). Die Quellbereiche lassen einen Bezug zum MANIPULATIONS-Schema (s. Tabelle 2) erkennen, wobei in Bezug auf (bestimmte) nicht-erneuerbare Energieträger hier ausschließlich eine destruktive Wirkweise in den Blick genommen wird. In Bezug auf erneuerbare Energie sprechen die Schüler\*innen von ‚umweltfreundlicher‘ Energie (s. Tabelle 26). Bei einer Ausweitung des Analyseblickes, der diese dichotome Perspektive mit einschließt, ergibt sich hierdurch ein Hinweis, dass in einem größeren Maßstab möglicherweise ein KAMPF-Schema

(s. Tabelle 2) zu Grunde liegt. Zielbereich als antagonistische Kräfte sind erneuerbare Energie als ‚Freund‘ und nicht-erneuerbare Energie als ‚Feind‘ der Umwelt. Auf der Ebene der Auswirkung der Nutzung der Energieträger ergeben sich dabei die metaphorischen Konzepte ‚Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST Umwelt schädigen‘ bzw. ‚Erneuerbare Energie nutzen IST umweltfreundlich‘.

**Tabelle 26 Zitate der Schüler\*innen zu KAMPF-Schema**

<b>Metaphorisches Konzept</b>	<b>Ankerbeispiel(e)</b>	<b>Metaphorische Wendungen aus den Interviews</b>	<b>Weitere Textstellen</b>
<b>Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST Umwelt schädigen</b>	„Die [W: Nicht-Erneuerbaren] sind [...] mehr schädlich für die Umwelt.“ (Hugo, Z. 7-8)	<i>(umwelt-)schädlich(er), gefährlich, schadet der Umwelt, belastet die Umwelt</i>	(Olga, Z. 36-38) (Anton, Z. 230-231) (Julian, Z. 7-9)
<b>Erneuerbare Energie nutzen IST umweltfreundlich</b>	„Unter {I: erneuerbarer Energie} verstehe ich sowas wie Windkraft und Wasserkraft, womit man umweltfreundliche Energie erzeugen kann.“ (Christin, Z. 4-5)	<i>Umweltfreundlich(er), Umwelt nicht belasten</i>	(Anton, Z. 29) (Christin, Z. 18-21)

#### **8.4.2 Wissenschaftsperspektive**

In Bezug auf die Auswirkung der Nutzung verschiedener Energieträger sind unter Vermittlungsabsicht zwei Aspekte aus wissenschaftlicher Perspektive besonders bedeutsam: Zum einen ist jegliche Energienutzung mit Folgen verbunden (s. Kapitel 7.2). Zum anderen stehen Kohlenstoffdioxidemissionen als Folgen der Energienutzung aufgrund ihrer Klimaschädlichkeit besonders im Fokus (s. Kapitel 3.1.1).

Zunächst werden metaphorische Konzepte vorgestellt, welche die Auswirkungen der Energienutzung allgemein in den Blick nehmen (s. Kapitel 8.4.2.1).

Anschließend werden die spezifischeren metaphorischen Konzepte zum Zusammenhang der Auswirkungen der Energienutzung mit Kohlenstoffdioxidemissionen präsentiert. Es lassen sich zwei übergeordnete metaphorische Konzepte erkennen: ‚Energie nutzen IST Stoffe freisetzen‘ (s. Kapitel 8.4.2.2) und ‚Energienutzung IST Bilanzierung von Treibhausgasen‘ (s. Kapitel 8.4.2.3).

#### 8.4.2.1 Auswirkungen der Energienutzung allgemein

Bei der systematischen Metaphernanalyse zu allgemeinen Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger zeigt sich, dass sich für die inhaltlich unterschiedenen Unterkategorien der Auswirkungen auf den ‚Menschen‘ und der Auswirkungen auf die ‚Umwelt‘ keine unterschiedlichen metaphorischen Konzepte rekonstruieren lassen, sondern dass sich diese gleichermaßen über beide Unterkategorien erstrecken. Für das konzeptuelle Verstehen der Auswirkungen der Energienutzung scheint die inhaltliche Differenzierung zwischen Effekten für den Menschen und die Umwelt insofern wenig relevant zu sein. Auch zwischen der Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger lassen sich keine Unterschiede in der Verwendung bestimmter metaphorischer Wendungen erkennen. Die Nutzung aller Energieträger lässt sich metaphorisch als ‚Energienutzung IST verbunden mit Folgen‘, ‚Energie nutzen IST belasten‘ und ‚Energie nutzen IST schädigen‘ rekonstruieren.

In den wissenschaftlichen Gutachten fällt auf, dass im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger häufig Metaphern benutzt werden, die sich auf das Gewicht dieser Folgen beziehen. In der systematischen Metaphernanalyse wurden diese konzeptuellen Metaphern im metaphorischen Konzept ‚Energie nutzen IST belasten‘ zusammengefasst (s. Tabelle 27).

In den Gutachten werden diese Gewichtsmetaphern dabei sowohl für Auswirkungen auf den Menschen als auch für die Umwelt verwendet. So werden zum Beispiel auf den Menschen bezogen allgemein „Belastung der Bevölkerung“ (WBGU, 2003, S. 51) oder spezifischer „gesundheitliche Belastungen“ (S. 51) beziehungsweise „Krankheitsbelastungen“ (S. 67) oder auch „akustische Belastungen“ (WBGU, 2011, S. 128) (im Zusammenhang mit Windenergie) thematisiert. Auf die Umwelt bezogen, wird von der Belastung von „Regionen“ oder auch „Umweltbelastungen“ (WBGU, 2011, S. 121) (z. B. auf Gewässer) geschrieben. Es finden sich in den Texten aber auch weitere Metaphern, die im Bezug zum Gewicht und einem GLEICHGEWICHTS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.9) stehen. So wird von am „schwersten wiegen[den]“ Folgen im Zusammenhang mit der Nutzung fossiler Brennstoffe gesprochen und bei Wasserkraftprojekten sollen beispielsweise ökologische und soziale Nachteile „ab[ge]w[o]gen“ werden. Häufig findet sich auch das Adjektiv „erheblich“ (z. B. WBGU, 2011, S. 125–126) in Zusammenhang mit den genannten Auswirkungen, unabhängig ob es sich bei den Folgen um ein höheres Gewicht der Mengen, Gefahren oder die Überschreitung von Grenzwerten handelt. In Hinblick auf die verwendeten Metaphern und das zu Grunde liegende

GLEICHGEWICHTS-Schema lassen sich hier Zusammenhänge mit dem allgemeinen metaphorischen Konzept ‚Energiewende IST Umbau eines Gebäudes‘ herstellen (s. Kapitel 3.2.5.9 und 8.1).

**Tabelle 27 Metaphorische Konzepte zu Auswirkungen der Energienutzung allgemein aus der Perspektive der wissenschaftlichen Gutachten**

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten	Weitere Textstellen <sup>65</sup>
<b>Energie nutzen IST belasten</b>	<p>„Am <i>schwersten wiegen</i> die Folgen des Klimawandels, die bei ungemindert fortgesetzter Nutzung fossiler Brennstoffe zu befürchten sind [...]“ (WBGU, 2003, S. 52)</p> <p>„Fossile Energieträger verursachen über ihren gesamten Lebenszyklus, von der Ressourcenextraktion bis zur Entsorgung, unterschiedlichste <i>Umweltbelastungen</i>.“ (WBGU, 2011, S. 121)</p>	Belastung, belasten, schwer wiegen, erheblich, Nachteile abwiegen	<p>(WBGU 2003, S. 51, 52, 57, 58, 60, 66, 67)</p> <p>(WBGU, 2011, S. 120, 121, 125, 126, 128)</p>
<b>Energie nutzen IST verbunden mit Folgen</b>	<p>„Einzelne Nutzungspfade der Bioenergie können durchaus mit höheren Emissionen <i>verbunden</i> sein als die Nutzung fossiler Energieträger.“ (WBGU, 2011, S. 126)</p> <p>„Dabei ist der gemittelte CO<sub>2</sub>-Ausstoß pro kWh Windstrom vom Strommix im Herstellungsland der Anlage <i>abhängig</i>.“ (WBGU, 2003, S. 69)</p>	verbunden (mit), an etwas gebunden, abhängig, (aus)lösen, komplex	<p>(WBGU, 2003, S. 51, 52, 55, 56, 57, 58, 69, 101)</p> <p>(WBGU, 2011, S. 120, 121, 124, 125, 126, 128)</p>
<b>Energie nutzen IST schädigen</b>	<p>„Sie [fossile Energieträger] <i>schädigen</i> oft die Gesundheit der Bevölkerung.“ (WBGU, 2011, S. 121)</p> <p>„Die nicht nachhaltige Biomassenutzung <i>zerstört</i> Wälder, degradiert Böden, mindert die biologische Vielfalt und <i>schädigt</i> die Wasserressourcen.“ (WBGU, 2003, S. 66)</p>	schädigen, Schaden/Schäden, Schadstoffe, Opfer, zerstören, schädlich	<p>(WBGU, 2003, S. 51, 52, 57, 58, 66)</p> <p>(WBGU, 2011, S. 121)</p>

In Zusammenhang mit den Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger werden von den Wissenschaftler\*innen häufig Metaphern verwendet, die sich auf ein VERBINDUNGS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.5) zurückführen lassen. Zusammenfassend lässt sich daraus das metaphorische Konzept ‚Energie nutzen IST verbunden mit Folgen‘ rekonstruieren

<sup>65</sup> Zum Teil befinden sich auf einer genannten Seite mehrere Zitate mit entsprechenden Metaphern. Da in den WBGU-Berichten (2003, 2011) keine Zeilennummern angegeben sind, ist es schwierig, die Textstellen präziser einzugrenzen.

(s. Tabelle 27). Neben dem häufig verwendeten Ausdruck ‚verbunden‘, der Nutzung und Folgen wie zum Beispiel Emissionen und die Nutzung verschiedener Energieträger wie Biomasse oder fossiler Brennstoffe ‚aneinander bindet‘, wird auch beschrieben, wie bestimmte Auswirkungen der Nutzung von bestimmten Faktoren der Nutzung ‚abhängig‘ sind (wie z. B. der Treibhausgasemissionen vom Standort bei der Nutzung der Geothermie). Des Weiteren können durch die Nutzung auch bestimmte Verbindungen – wie zum Beispiel der Flächenverbrauch bei der Windenergienutzung – (positiv konnotiert) ‚gelöst‘ werden oder in einem negativen Sinne bestimmte Folgen ‚auslösen‘, wie zum Beispiel ‚komplexe<sup>66</sup>‘ Nebeneffekte auf die Umwelt beim Bau von großen Staudämmen zur Wasserkraftnutzung. Im Gesamtbild entsteht dadurch metaphorisch ein nahezu unüberblickbares Geflecht aus Nutzungsmöglichkeiten und Folgen, die miteinander verwoben sind. In der Komplexität und den vielfältigen Zusammenhängen und dem zu Grunde liegenden VERBINDUNGS-Schema lassen sich interessante Zusammenhänge zu dem allgemeinen metaphorischen Konzept ‚Energiewende IST ein Weg‘ erkennen (s. Kapitel 3.2.5.5 und 8.1).

Andere Ausdrücke, die in den WBGU-Gutachten (2003, 2011) im Zusammenhang mit den Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger genutzt werden, beziehen sich im Gegensatz zu den oben beschriebenen metaphorischen Konzepten auf ein KRAFT-Schema, das MANIPULATIONS-Schema (s. Tabelle 2) und können mit dem metaphorischen Konzept ‚Energie nutzen IST schädigen‘ (s. Tabelle 27) zusammengefasst werden. Die mit der Nutzung metaphorisch verbundenen ‚Kräfte‘ haben eine deformierende Wirkung, was sich durch Metaphern wie ‚schädigen‘ zeigt, die sich im Quellbereich darauf beziehen, dass durch jemanden ein materieller Schaden verursacht wird. Der ‚Akteur‘ kann dabei sowohl ein fossiler Energieträger als auch eine erneuerbare Energiequelle sein und der ‚Schaden‘ sich sowohl auf Menschen als auch die Umwelt erstrecken. So ‚schädigen‘ fossile Brennstoffe beispielsweise die Gesundheit unter anderem durch ‚Luftschadstoffe‘, können aber zum Beispiel durch Förderung und Transport auch ‚ökologische Schäden‘ verursachen. Aber auch die Nutzung erneuerbarer Energiequellen – wie die Wasserkraftnutzung (durch Auswirkungen des Dammbaus oder Damnbrüche) und die traditionelle Biomassenutzung – führen zu ‚Schäden‘ an Menschen und Umwelt. Bei der traditionellen Biomassenutzung wird die

---

<sup>66</sup> Eine direkte Bedeutung des Wortes „komplex“ wird als vielfältig miteinander verflochten definiert und geht auch etymologisch auf lat. *complecti* bzw. *complexus* zurück, was als ‚umschlingen‘ bzw. ‚Verknüpfung‘ übersetzt werden kann („komplex“, o. J.).

‚gesundheitsschädliche‘ Wirkung angeführt und dass durch diese nicht nachhaltige Art der Nutzung Ökosysteme ‚zerstört‘ und Wasserressourcen ‚geschädigt‘ werden. Wie schon bei den anderen beiden metaphorischen Konzepten zu Auswirkungen der Nutzung der verschiedenen Energieträger lassen sich auch bei diesem metaphorischen Konzept ‚Energie nutzen IST schädigen‘ Parallelen zu einem der rekonstruierten allgemeinen metaphorischen Konzepte, nämlich ‚Energiewende IST Krieg‘ erkennen (s. Kapitel 3.2.5.8, 8.1), was sich unter anderem auch an weiteren Metaphern wie zum Beispiel ‚Opfer‘ und ‚degradiert‘ erkennen lässt. Diese Metaphern weisen auch auf ein weiteres KRAFT-Schema, das KAMPF-Schema hin (s. Kapitel 3.2.5.8). Antagonisten sind hierbei der Mensch (oder die menschliche Gesundheit) beziehungsweise die Natur und die Energieträger (bzw. die Nutzung der Energieträger), die sprachlich personifiziert werden (s. Tabelle 27).

#### 8.4.2.2 Freisetzung von Stoffen

Einige metaphorische Wendungen, die in den wissenschaftlichen Gutachten (WBGU, 2003, 2011) in Hinblick auf den Zusammenhang der Auswirkungen von Energienutzung und Treibhausgasen verwendet werden, deuten darauf hin, dass die entsprechenden Vorstellungen auf einem SPEICHER-FLUSS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.6) basieren. Der Fokus liegt aus Perspektive der Wissenschaftler\*innen auf dem Prozess der Freisetzung von Treibhausgasen. In den analysierten Texten finden sich Ausdrücke, wie ‚Ausstoß‘, ‚frei setzen‘, auch die Wörter ‚Emission(en)‘ oder ‚emittieren‘<sup>67</sup> werden sehr häufig verwendet (s. Tabelle 28). Diese Ausdrücke lassen auf einen Quellbereich schließen, der auf dem SPEICHER-FLUSS-Schema beruht und einen Fluss *hinaus* aus einem Speicherbehälter betont. Der Zielbereich sind Emissionen die durch die Nutzung von Energieträgern verursacht werden. Mit Emissionen sind hier einerseits Kohlenstoffdioxid und Treibhausgase gemeint, andererseits werden die oben genannten Metaphern und dementsprechend der dahinter liegende Quellbereich auch auf Emissionen anderer Art wie zum Beispiel Strahlen-, Geräuschemission oder den Ausstoß anderer Abfallstoffe aus unvollständigen Verbrennungsprozessen übertragen (s. Tabelle 29). Dieser breiten Anwendung der oben genannten Metaphern entspricht das übergeordnete metaphorische Konzept ‚Energie nutzen IST Stoffe freisetzen‘.

---

<sup>67</sup> Laut DWDS bedeutet emittieren im physikalischen Sinne „potenziell schädliche Stoffe oder Wellen in die Umgebung abgeben“ („emittieren“, o. J.).



Tabelle 28 Perspektive der Wissenschaft zur Energienutzung als Freisetzung von Stoffen

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten	Weitere Textstellen
<b>Energieträger SIND Behälter für Kohlenstoff</b>	„Erdöl hat, bezogen auf die gespeicherte Energiemenge, einen geringeren Kohlenstoffgehalt als Kohle [...]“ (WBGU, 2011, S. 120)	Gehalt, kohlenstoffhaltig, kohlenstoffreich, kohlenstoffintensiv, kohlenstoffärmer, CO <sub>2</sub> -emissionsfrei, treibhausgasfrei	(WBGU, 2003, S. 16)  (WBGU, 2011, S. 120, 136, 416)
<b>Energienutzung IST Behälter für Kohlenstoffdioxid</b>	„Die weltweiten CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Nutzung von Erdöl, Kohle und Erdgas betragen 1990 ca. 6,0 GtC [...]“ (WBGU, 2003, S. 50)	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der Nutzung	(WBGU, 2003, S. 50, 51)
<b>Energienutzung/ Energie nutzbar machen IST Treibhausgase freisetzen</b>	„[...] [Die] Nutzung [von Erdöl] verursacht daher auch geringere spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen.“ (WBGU, 2011, S. 120)  „Die Umwandlung naturnaher Flächen verstärkt u. a. den Verlust biologischer Vielfalt und setzt in der Regel Treibhausgase frei.“ (WBGU, 2011, S. 128)	freisetzen, Emission(en), emittieren	(WBGU, 2003, S. 69)  (WBGU, 2011, S. 120, 124, 125-126, 128)
<b>Energie nutzen IST Stoff aus Behälter freisetzen</b>	Die Emissionen von Benzol, Ruß und anderen Teilchen aus industriellen Verbrennungsprozessen, Kraftwerken und dem Verkehr [...]“ (WBGU, 2003, S. 51)  „Bei der Wiederaufbereitung sind mehrfach Strahlungsmengen freigesetzt worden, [...]“ (WBGU, 2003, S. 55)	Emissionen aus, Ausstoß	(WBGU, 2003, S. 51, 55)  (WBGU, 2011, S. 126, 127)
<b>Atmosphäre IST Behälter für Treibhausgase</b>	„[Durch die Verwendung fossiler Energieträger] wurden insgesamt mehr als 1.300 Gt CO <sub>2</sub> in die Atmosphäre freigesetzt [...]“ (WBGU, 2011, S. 117)	in die Atmosphäre freigesetzt, Anstieg in der Atmosphäre, Aufnahmefähigkeit der Atmosphäre	(WBGU, 2003, S. 57, 122, 190)  (WBGU, 2011, S. 117)

Sprechen die Wissenschaftler\*innen in Bezug auf die Energieträger über deren ‚Kohlenstoffgehalt‘ beziehungsweise darüber, dass diese ‚kohlenstoffhaltig‘ sind und vergleichen ‚kohlenstoffreiche‘ beziehungsweise ‚kohlenstoffintensive‘ mit ‚kohlenstoffarmen‘, ‚treibhausgasarmen‘ oder ‚emissionsfreien‘ Energieträgern, ist dies ein Hinweis auf den metaphorischen Quellbereich eines BEHÄLTER-Schemas (als Bestandteil des oben genannten SPEICHER-FLUSS-Schemas, s. Kapitel 3.2.5.6). Wesentliche Elemente sind ein

begrenztes Gefäß und eine Füllung, die sich in diesem Gefäß befinden kann. Die Füllung wird durch die Verwendung in den oben genannten Bezeichnungen auf Kohlenstoff, Treibhausgase bzw. Emissionen übertragen. Die Behälter-Metapher kann einerseits für den Energieträger selbst stehen (insbesondere für fossile Brennstoffe), wie im metaphorischen Konzept ‚fossile Brennstoffe SIND Behälter für Kohlenstoff‘ zusammengefasst ist. Andererseits findet insbesondere bezogen auf erneuerbare Energiequellen auch eine Übertragung auf sämtliche mit der Nutzung verbundenen Prozesse „von der Ressourcenextraktion bis zur Entsorgung“ (WBGU, 2011, S. 121)<sup>68</sup> als Behälter statt, wie in den Zitaten zu den metaphorischen Konzepten ‚Energienutzung ist Behälter für Kohlenstoffdioxid‘ oder indirekt auch ‚Energie nutzbar machen IST Treibhausgase freisetzen‘ zu erkennen ist, wobei letzteres den Fokus mehr auf den Prozess der Freisetzung legt. Während die Energieträger oder auch deren Nutzung unter Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs dem Startbehälter entsprechen, weisen metaphorische Wendungen wie ‚in die Atmosphäre gelangen‘ oder ‚in die Atmosphäre freisetzen‘ (s. Tabelle 28) darauf hin, dass die Atmosphäre den Zielbehälter der metaphorischen Übertragung des SPEICHER-FLUSS-Schemas repräsentiert. Wenn von einem ‚Anstieg‘ des CO<sub>2</sub>, der ‚Aufnahmefähigkeit‘ der Atmosphäre und der ‚Deckelung‘ von Emissionen die Rede ist (s. Tabelle 28), weisen diese Ausdrücke ebenfalls darauf hin, dass der Quellbereich – der Fluss einer Substanz in einen Behälter – auf den Eintrag von Treibhausgasen bzw. Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre transferiert wird. Analog hierzu wurde das metaphorische Konzept ‚Atmosphäre IST Behälter für Treibhausgase‘ formuliert.

**Tabelle 29 Metaphorische Übertragung: Emissionen im SPEICHER-FLUSS-Schema**

Quellbereich	Zielbereich	Metaphorisches Konzept
SPEICHER-FLUSS-Schema	Freisetzung von Stoffen in die Atmosphäre bei der Energienutzung	Energie nutzen IST Stoffe freisetzen
StartBEHÄLTER	Energieträger (insbesondere fossile Brennstoffe)	Fossile Brennstoffe SIND Behälter für Kohlenstoff
	Energienutzung insgesamt (von Ressourcenextraktion bis Entsorgung)	Energie nutzen IST Stoffe freisetzen Energie nutzbar machen IST Treibhausgase freisetzen

<sup>68</sup> Im WBGU Gutachten (2011, S. 121) wird der Ausdruck „Lebenszyklus“ für fossile Energieträger verwendet. Um in meiner Darstellung den Stoffkreislauf des Kohlenstoffes sprachlich vom Weg der fossilen Energieträger von der Ressourcenextraktion bis zur Entsorgung abzugrenzen, vermeide ich den Ausdruck in diesem Kontext.

StoffFLUSS	Kohlenstoff(-dioxid), Treibhausgase	Energienutzung/Energie nutzbar machen IST Treibhausgase freisetzen
	Andere Entitäten (z. B. Strahlen, Geräusche, Produkte unvollständiger Verbrennungsprozesse)	Energie nutzen IST Stoffe freisetzen
ZielBEHÄLTER	Atmosphäre	Atmosphäre IST Behälter für Treibhausgase

#### 8.4.2.3 Bilanzierung von Treibhausgasen

Bezüglich des Zusammenhangs der Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger mit Treibhausgasemissionen lässt sich in den Aussagen der Wissenschaftler\*innen in den WBGU-Berichten (2003, 2011) neben dem SPEICHER-FLUSS-SCHEMA noch ein weiteres Schema – das GLEICHGEWICHTS-Schema – erkennen.

Im Text finden sich in der Beschreibung der Verbindung von Emissionen und Energienutzung Substantive wie ‚Bilanz‘, ‚Gleichung‘, ‚Gesamtsumme‘, aber auch Verben wie zum Beispiel ‚verrechnen‘, ‚vergleichen‘ oder ‚einsparen‘ (s. Tabelle 30). Alle diese Worte werden häufig in wirtschaftlichen Kontexten verwendet und beziehen sich auf ein wertvolles Gut (i. d. R. Geld). Eine bestimmte Menge dieses Gutes wird gegenüberstellend verglichen, verrechnet und daraus eine Bilanz<sup>69</sup> oder Gleichung ermittelt. Diesem buchhalterischen Quellbereich liegt ein GLEICHGEWICHTS-Schema zu Grunde (s. Kapitel 3.2.5.9), wie an den Worten ‚vergleichen‘ und ‚Gleichung‘ noch direkt ersichtlich ist. Auch die Worte, die im Text der Wissenschaftler\*innen die Menge des bilanzierten Gutes quantifizieren – wie ‚niedriger‘ oder ‚übersteigen‘ – deuten auf einen erfahrungsbasierten Quellbereich hin, bei dem konkrete Materialien gegeneinander abgewogen werden. Entsprechend den metaphorischen Konzepten ‚weniger IST unten‘ und ‚mehr IST oben‘ wird hierbei die Menge – im Falle des GLEICHGEWICHTS-Schemas zum Beispiel die Füllung von Waagschalen – mit Metaphern aus dem konkreten Erfahrungsraum beschrieben (Lakoff, 1987, S. 276). Von den Wissenschaftler\*innen wird diese Ursprungsbedeutung übertragen auf den Vergleich der Menge der Treibhausgas-beziehungsweise Kohlenstoffdioxidemissionen. Dabei befinden sich auf den verschiedenen Seiten der ‚Gleichung‘ (bzw. in den beiden Waagschalen) jeweils die Emissionen der Nutzung verschiedener (Gruppen) von Energieträgern (z. B. Kohle vs. Kernkraft, erneuerbare vs. fossile

<sup>69</sup> Die gegenwärtige Bedeutung des Begriffes ‚Bilanz‘ ist die „vergleichende Gegenüberstellung von Einnahmen und Ausgaben und geht etymologisch auf das spätlateinische Wort ‚bilanx‘ zurück, was soviel bedeutet wie ‚Waage mit zwei Waagschalen‘ („Bilanz“, o. J.).

Energieträger, s. Tabelle 30) oder die unterschiedlichen Emissionen in der verschiedenen Art der Nutzung eines Energieträgers unter Einbezug aller Phasen der Nutzbarmachung, Nutzung und Entsorgung (s. Tabelle 30). Dass in diese Kalkulation alle Phasen der Nutzung mit einbezogen werden, lässt sich zum Beispiel am Ausdruck ‚Gesamtsumme‘ erkennen (s. Tabelle 30). Aus dieser metaphorischen Übertragung lässt sich das übergeordnete metaphorische Konzept ableiten ‚Energie nutzen IST Treibhausgase bilanzieren‘ (s. Tabelle 30).

**Tabelle 30 Perspektive der Wissenschaft: Treibhausgase im Gleichgewicht**

Metaphorisches Konzept	Ankerbeispiel(e)	Metaphorische Wendungen aus den WBGU-Gutachten	Weitere Textstellen
<b>Energie nutzen IST Treibhausgase bilanzieren</b>	<p>„Die einfache Gleichung, dass Bioenergie in der Gesamtsumme keine CO<sub>2</sub>-Emissionen verursacht, weil bei der Verbrennung nur so viel CO<sub>2</sub> abgegeben wird wie vorher durch die Pflanzen aufgenommen wurde, ist also nicht zutreffend.“ (WBGU, 2011, S. 128)</p> <p>„Für die Beurteilung der Klimawirkung von Wasserkraftwerken müssten für jeden Einzelfall die langfristigen Treibhausgasbilanzen vor und nach der Überflutung miteinander verrechnet und dabei auch die Sekundäreffekte berücksichtigt werden [...]“ (WBGU, 2003, S. 57-58)</p>	Treibhausgas- /Klimabilanz, mehr freisetzen als einsparen, Gleichung, Gesamtsumme, miteinander verrechnen, im Vergleich gering, übersteigen	<p>(WBGU, 2003, S. 57–58)</p> <p>(WBGU 2011, S. 118, 120, 124, 125, 126, 128)</p>

### 8.4.3 Systematischer Vergleich

Im Vergleich der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kapitel 7.3) wurde bereits die Bedeutung der Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger herausgestellt. Diese besondere Bedeutung ergibt sich einerseits aus der aktuellen gesellschaftlichen Debatte (s. Kapitel 3.1.1). In dieser werden die Kohlenstoffdioxidemissionen und die damit verbundenen Klimafolgen in den Vordergrund gestellt. Andererseits zeigen die Aussagen der Lernenden, dass diese eine wenig differenzierte Sichtweise auf die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger haben (s. Kapitel 7.1). Bei den Schüler\*innen ließen sich zudem wesentlich mehr Aussagen zu der Verfügbarkeit der Energieträger als zu den Auswirkungen finden (s. Kapitel 7.1).

Für die didaktische Strukturierung ergeben sich dadurch folgende Fragen: Wie kann die Aufmerksamkeit der Lernenden darauf gelenkt werden, welche Auswirkungen die Nutzung

verschiedener Energieträger hat? Wie kann eine spezifischere und differenziertere Sichtweise gefördert werden?

Um Antworten auf diese Fragen zu finden, werden die Ergebnisse der Metaphernanalyse zu den Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger nachfolgend in einem systematischen Vergleich gegenübergestellt.

Zunächst werden in Kapitel 8.4.3.1 die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger auf Mensch und Umwelt aus einer übergeordneten Perspektive der Wissenschaftler\*innen diskutiert. Auf dieser Ebene finden sich keine vergleichbaren Vorstellungen der Lernenden. Unter Vermittlungsabsicht wird die Kompatibilität der rekonstruierten metaphorischen Konzepte mit allgemeinen Framings der Energiewende diskutiert (s. Kapitel 8.1). Hierdurch sollen Anhaltspunkte gewonnen werden, wie die Aufmerksamkeit der Schüler\*innen auf die thematisierten Auswirkungen gelenkt werden könnte.

In Kapitel 8.4.3.2 und 8.4.3.3 werden die spezifischeren Auswirkungen in den Blick genommen, die sich auf den Eintrag von Stoffen in die Umwelt beziehen. Die beiden metaphorischen Konzepte der Wissenschaftler\*innen ‚Energie nutzen IST Stoffe freisetzen‘ und ‚Energie nutzen IST Treibhausgase bilanzieren‘ werden mit dem metaphorischen Konzept der Lernenden ‚Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST verschmutzen‘ verglichen. Der Vergleich wird dabei hauptsächlich auf der Ebene der zu Grunde liegenden Schemata durchgeführt. Diese werden unter Vermittlungsabsicht diskutiert.

Eigenheiten und Verschiedenheiten der beiden Perspektiven zu Auswirkungen wurden bereits in den Ergebnissen der qualitativen Inhaltsanalyse ausführlich dargestellt (s. Kapitel 7.3). Das vorliegende Kapitel konzentriert sich daher darauf, die bereits festgestellten Begrenztheiten näher zu beleuchten. Hierfür werden Highlighting und Hiding ausführlich diskutiert. Aus dem Highlighting und Hiding ergeben sich nicht nur Lernhindernisse, sondern auch Lernchancen. Diese werden unter Vermittlungsabsicht diskutiert, um für den Unterricht Möglichkeiten abzuleiten, wie die dahinter liegenden Vorstellungen gezielt adressiert werden können.

#### *8.4.3.1 Wissenschaftsperspektive: Auswirkungen auf Mensch und Umwelt*

Die Vorstellungen der Schüler\*innen sind von einer streng dichotomen Sichtweise der erneuerbaren Energieträger als ‚sauber‘ und der nicht-erneuerbaren Energieträger als

‚dreckig‘ bestimmt (s. Kapitel 7.1). In den wissenschaftlichen Gutachten hingegen wird rein inhaltlich zwischen Auswirkungen auf den Menschen und die Umwelt unterschieden. Dies geschieht für erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger gleichermaßen (s. Kapitel 7.2). Die interviewten Lernenden haben ausschließlich eine stoffliche Verschmutzung im Blick, wogegen die Perspektive in den wissenschaftlichen Gutachten wesentlich allgemeiner gehalten ist. Auf den Vergleich der verschiedenen Vorstellungen von Schüler\*innen und Wissenschaftler\*innen zu der stofflichen Freisetzung wird in Kapitel 8.4.3.2 noch genauer eingegangen. Nachfolgend wird zunächst die übergeordnete Perspektive der Wissenschaftler\*innen zu Mensch und Umwelt diskutiert. Die identifizierten metaphorischen Konzepte zu Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger werden in Bezug auf ihren Wert für die didaktische Strukturierung diskutiert.

Wie in Kapitel 8.4.2.1 beschrieben, wurden innerhalb der wissenschaftlichen Vorstellungen drei metaphorische Konzepte zu allgemeinen Auswirkungen der Nutzung der Energieträger rekonstruiert: 1. ‚Energienutzung IST verbunden mit Folgen‘, 2. ‚Energie nutzen IST belasten‘ und 3. ‚Energie nutzen IST schädigen‘ (s. Tabelle 16).

Alle drei metaphorischen Konzepte lassen sich mit den in Kapitel 8.1 beschriebenen Frames zur Energiewende aus Perspektive der wissenschaftlichen Gutachten in Verbindung bringen.

Zu 1.: Beim metaphorischen Konzept ‚Energienutzung IST verbunden mit Folgen‘ lassen sich sowohl die Metapher ‚Verbindung‘ als auch die Metapher ‚Folgen‘ auf den Frame der Energiewende als ‚Weg‘ beziehen. Angewandt auf diesen Frame sind bei der Energienutzung verschiedene Wege als Wegenetz miteinander verbunden und auf einen Weg ‚folgen‘ bestimmte Konsequenzen. Das hier zu Grunde liegende VERBINDUNGS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.5) könnte zugleich aber auch in Zusammenhang mit dem Frame der Energiewende als ‚Umbau eines Gebäudes‘ gesehen werden, da auch hier verschiedene Bauelemente miteinander verbunden sind bzw. verbunden werden. Versteht man das metaphorische Konzept ‚Energienutzung IST verbunden mit Folgen‘ als Teil eines Weg-Frames<sup>70</sup>, so wird hierdurch die Komplexität der Auswirkungen der Nutzung betont. Das entstehende Geflecht an Zusammenhängen lässt sich schwer überblicken und die Gefahr, die bei der Nutzung bestimmter Wege folgt, bleibt unkonkret.

---

<sup>70</sup> Hierfür spricht auch, dass das Wort ‚verbunden‘ sehr oft im Zusammenhang mit dem Wort ‚Folgen‘ auftritt, das sich eindeutiger dem Quellbereich einer Bewegung auf einem Weg zuordnen lässt (s. Kapitel 8.4.2.1).

Zu 2.: Das metaphorische Konzept ‚Energie nutzen IST belasten‘ hingegen lässt sich im Kontext des Frames eines ‚Gebäudeumbaus‘ betrachten. Die Nutzung verschiedener Energieträger könnte metaphorisch als die Verwendung verschiedener Bauteile und der Umbau zu der Verwendung als Bauabschnitte betrachtet werden. Diese Baupläne und Umbauten bringen gegebenenfalls zusätzliches Gewicht auf bestimmte Strukturelemente (z. B. die Natur). Die Auswirkungen der Energienutzung stellen bei diesem Gebäudeumbau immer besondere Herausforderungen an die Wahrung eines statischen Gleichgewichtes, um einen Einsturz des Gebäudes zu verhindern. Auch bei dieser Lesart bleibt die Gefahr des Einsturzes abstrakt. Positiv im Hinblick auf das Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende ist allerdings hervorzuheben, dass bei dem Frame eines Gebäudeumbaus betont wird, dass eine begründete Auswahl bestimmter Energieträger, sowie eine sorgsame Planung der Art der Nutzung von Nöten sind, um diese Stabilität herbeizuführen. Darüber hinaus ist zum Beispiel vorstellbar, dass es auch vorübergehende Stützgerüste geben kann, die zunächst für Stabilität sorgen, wie zum Beispiel, dass in einer Übergangsphase Erdgaskraftwerke zunächst zum Ausgleich von Leistungsschwankungen bei der Nutzung erneuerbarer Energieträger nötig sind. Diese aber durch technologische Weiterentwicklung von Speichermöglichkeiten und anderen Energienutzungskonzepten durch beständigere Strukturen ersetzt werden können.

Zu 3.: Das metaphorische Konzept ‚Energie nutzen IST schädigen‘ lässt sich dem allgemeinen Frame der Energiewende als ‚Krieg‘ (s. Kapitel 8.1) zuordnen. In diesem Frame werden die Auswirkungen jeder Form der Energienutzung zur Bedrohung und Gefahr für Mensch und Umwelt. Betont wird hierbei, dass jegliche Form der Energienutzung, erneuerbarer wie nicht-erneuerbarer Energieträger, mit Konsequenzen verbunden ist. Aus dieser Perspektive gerät der Mensch in die Defensive, drohende Gefahren der Auswirkungen der Energienutzung abwenden zu müssen. Dieser Frame eines Krieges kann, wie bereits in Kapitel 8.1 beschrieben, dazu genutzt werden, die Notwendigkeit einer Suffizienzstrategie (s. Kapitel 3.1.2) zu verdeutlichen, bei der nur so viel Energie wie nötig genutzt werden sollte.

#### *Diskussion unter Vermittlungsabsicht*

In Bezug auf die didaktische Strukturierung von Unterricht zur Energiewende bieten die wissenschaftlichen Berichte der WBGU (2003, 2011) drei verschiedene Frames an. Betrachtet man die metaphorischen Konzepte zu allgemeinen Auswirkungen der Nutzung der

Energieträger unter den Frames eines ‚Weges‘ bzw. ‚Wegnetzes‘ und eines ‚Krieges‘, so kann dies meines Erachtens schnell zu Überforderung führen. Bei der Komplexität und der Verwirrung durch ein Wegenetz ist nicht schnell zu erfassen, welcher Weg zielführend ist und auch die daraus folgenden Konsequenzen sind nicht leicht nachzuvollziehen. Bei einem ‚Kriegs‘- Frame gelangt der\*die Betrachtende in eine Defensive, die auch zu Angst und Überforderung führen kann. Wie soll hier die richtige ‚Verteidigungsstrategie‘ gewählt werden, wenn doch jegliche Form der Energienutzung in einem bestimmten Maße Mensch und Umwelt Schaden zufügt?

Den konstruktivsten Ansatz bietet meines Erachtens der Frame des ‚Umbaus eines Gebäudes‘, wenn die Auswirkungen der Nutzung der verschiedenen Energieträger betrachtet werden sollen: Der Umbau kann aktiv gestaltet werden, instabile Strukturen können ersetzt werden, Belastungen können ausgeglichen und wenn nötig, Gerüste und Stützpfeiler verwendet werden. Dieser Frame ermöglicht es somit einerseits die Komplexität des Umbaus des Energiesektors und die jeweiligen Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger aufzuzeigen, andererseits aber auch diesen Prozess aktiv und konstruktiv mitzugestalten.

Da alle vorgestellten metaphorischen Rahmungen der Energiewende und auch die metaphorischen Konzepte zu Auswirkungen der Energienutzung unter allgemeinen Gesichtspunkten noch sehr unkonkret sind, sollen in den folgenden Kapiteln 8.4.3.2 und 8.4.3.3 die spezifischeren Auswirkungen genauer diskutiert und daraus spezifischere Implikationen für den naturwissenschaftlichen Unterricht abgeleitet werden.

#### *8.4.3.2 Vergleich der Perspektiven: Eintrag von Stoffen in die Umwelt*

In der derzeitigen Debatte der Energiewende stehen die Treibhausgasemissionen im Fokus (s. Kapitel 3.1.1). Es geht somit um den Eintrag von Stoffen in die Atmosphäre, die mit der Nutzung von Energieträgern verbunden sind.

Sowohl bei den Lernenden als auch in den WBGU-Gutachten lassen sich verschiedene metaphorische Konzepte zu Auswirkungen der Nutzung der Energieträger rekonstruieren. Der Eintrag von Stoffen in die Umwelt wird dabei sehr unterschiedlich konzeptualisiert (s. Kapitel 8.4.1 und 8.4.2). Im Vergleich fällt auf, dass die Schüler\*innen auf ein anderes Schema als die Wissenschaftler\*innen zurückgreifen. Während sich bei den Lernenden ein SAUBER-DRECKIG-Schema rekonstruieren lässt, werden in den WBGU-Gutachten (2003, 2011) Metaphern verwendet, die auf dem SPEICHER-FLUSS-Schema beruhen (s. Kapitel 8.4.2.2, Tabelle 28).



Wie können aus diesem Vergleich Schlussfolgerungen für die didaktische Strukturierung gezogen werden? Inhaltlich geht es um den Zusammenhang zwischen der Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger und dem Eintrag von Stoffen in die Umwelt, insbesondere den Kohlenstofffluss. Für ein genaues Verstehen von Lernhindernissen und Lernchancen ist es nötig, zunächst zu analysieren, welche für das Verstehen relevanten Aspekte durch die genutzten Schemata betont bzw. verschleiert werden (s. Tabelle 31).

**Tabelle 31 Vergleich der Perspektiven zu Auswirkungen der Energienutzung: Eintrag von Stoffen in die Umwelt**

Eintrag von Stoffen in die Umwelt			
Perspektive	Schüler*innen	Wissenschaftler*innen	
<b>Zentrale Metapher</b>	Verschmutzen	Freisetzen	Bilanzieren
<b>Schema</b>	SAUBER-DRECKIG	SPEICHER-FLUSS	GLEICHGEWICHT
<b>Betonung (Highlighting)</b>	<u>Zustand:</u> Unspezifischer unerwünschter Stoff an einer unerwünschten Stelle	<u>Prozess:</u> Weg eines spezifischen Stoffes (Kohlenstoffdioxid, Treibhausgase), Ursprung wird betont	<u>Differenzierter Vergleich:</u> Menge der freigesetzten Stoffe wird gegeneinander abgewogen
<b>Verschleierung (Hiding)</b>	Ursprung und Spezifizierung des Stoffes  Kann nicht einfach wieder entfernt oder gesäubert werden (kein Recycling, Kreislauf)	Keine Wertung Systeme werden als Behälter konzeptualisiert	Betrachteter Systemausschnitt (Umwandlungsprozess oder gesamter Nutzungsweg)  Größe des Mengenunterschiedes
<b>Handlungskonsequenz</b>	Fokus auf Reinigung	Fokus auf Vermeidung	Fokus auf Vergleich

### *Highlighting des SAUBER-DRECKIG-Schemas*

Das SAUBER-DRECKIG-Schema bezieht sich auf einen Zustand. Nach der Nutzung der verschiedenen Energieträger ist ein bestimmtes Medium ‚sauber‘ beziehungsweise ‚dreckig‘, das heißt in oder an ihm befindet sich ein anderer nicht erwünschter Stoff („Dreck“), der die Verunreinigung darstellt (s. Kapitel 3.2.5.7). Die Schüler\*innen verwenden dabei unspezifische Bezeichnungen für diesen ‚Dreck‘ die wenigsten sprechen von Kohlenstoffdioxid oder Treibhausgasen (s. Tabelle 25). Einen Zusammenhang mit der chemischen, kohlenstoffbasierten Zusammensetzung der fossilen Brennstoffe stellt keiner der befragten Lernenden explizit dar.

Dies korrespondiert mit den Ergebnissen zahlreicher Studien (z. B. Jin & Anderson, 2012; Trauschke, 2016; Zangori u. a., 2017; s. Kapitel 4.4), wonach Schüler\*innen Probleme haben, diese Zusammenhänge zwischen Energie- und Stoffflüssen zu erkennen. Diese Trennung wird allerdings auch in fachlichen Definitionen für erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger nicht vollzogen (s. Kapitel 3.1.3.2). Eine mögliche Ursache für die Schwierigkeit, den Zusammenhang der Energienutzung mit Kohlenstoffdioxidemissionen zu verstehen, könnte in der Rekursion auf das SAUBER-DRECKIG-Schema liegen.

#### *Hiding des SAUBER-DRECKIG-Schemas*

Das SAUBER-DRECKIG-Schema verschleiert, woher der unerwünschte Stoff, der ‚Dreck‘ oder ‚Schmutz‘ kommt und um welchen spezifischen Stoff es sich handelt (s. Kapitel 3.2.5.7).

Ein Bezug auf diesen Erfahrungsbereich legt zudem nahe, dass ‚Dreck‘ unter Umständen – in diesem Fall bei erneuerbaren Energieträgern – auch wieder entfernt werden kann, was sich in den metaphorischen Konzepten der Schüler\*innen ‚Erneuern IST Säubern‘ und damit verbunden auch ‚Erneuern IST Recyceln‘ (s. Tabelle 25) zeigt. Auf der Basis des SAUBER-DRECKIG-Schemas werden von den Lernenden erneuerbare Energieträger entweder per se als ‚sauber‘ verstanden oder als ‚säuberbar‘, was eine Wiederverwendung ermöglicht. Bei der Möglichkeit der Reinigung beziehen sich die Schüler\*innen auf Wasser und Wind, was zeigt, dass sie hier das Kompartiment fachlich unangemessen mit dem energieenthaltenden System gleichsetzen. Diese Sichtweise wird möglicherweise durch die übliche Benennung in der Definition erneuerbarer Energieträger gefördert (z. B. Ellabban u. a., 2014; Twidell & Weir, 2015; s. Kapitel 3.1.3.2). *Wasserenergie* und *Windenergie* werden als erneuerbare Energiequellen nach den Kompartimenten benannt. Auch die als Redeimpuls in den Interviews eingesetzten Karten zeigen Wasser beziehungsweise eine Windhose und differenzieren ebenfalls nicht zwischen System und Kompartiment (s. Abbildung 10).

#### *Diskussion des SAUBER-DRECKIG-Schemas*

Die Möglichkeit der ‚Reinigung‘ der Atmosphäre ergibt aus fachlicher Sicht Sinn, wenn das SAUBER-DRECKIG-Schema so eingesetzt wird, dass es auf die Verschmutzung der Atmosphäre mit Kohlenstoffdioxid fokussiert. Das SAUBER-DRECKIG-Schema könnte das Verstehen unterstützen, dass Kohlenstoffdioxid auch aktiv aus der Atmosphäre entfernt werden kann, um die Klimaerhitzung zu begrenzen. So werden in diesem Zusammenhang technologische

Ansätze zur Speicherung von Kohlenstoffdioxid unter der Erde (CCS) diskutiert. Einen anderen Ansatz stellen Ausgleichsmaßnahmen dar. Dabei werden Ökosysteme geschaffen (z. B. Wälder), die Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre in Biomasse binden (WBGU 2011, S. 122–124; 131). Um diese Maßnahmen verstehen und bewerten zu können, müssen die Lernenden jedoch globale Kohlenstoffströme und -kreisläufe verstehen und mit der Energienutzung in Beziehung setzen. Genau dieses Verstehen wird durch das SAUBER-DRECKIG-Schema aber eher behindert. Dies trifft selbst dann zu, wenn die Schüler\*innen den ‚Dreck‘ beispielsweise als Kohlenstoff beziehungsweise Kohlenstoffdioxid identifizieren. Im SAUBER-DRECKIG-Schema ist bereits eine Wertung enthalten. Dieses Schema ist sehr stark mit moralischem Denken verknüpft (s. Kapitel 3.2.5.7; Zhong & Liljenquist, 2006). Dementsprechend würden anthropogene Kohlenstoffdioxidemissionen aus der Energienutzung als ‚Dreck‘ bewertet, der die Atmosphäre verschmutzt. Dabei wird verschleiert, dass in der Atmosphäre auch durch geologische und biologische Prozesse emittiertes Kohlenstoffdioxid vorhanden ist. Eine gewisse Konzentration von Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre ist für das Leben auf der Erde sogar essentiell. Niebert (2010, S. 101) fand in seinen Untersuchungen heraus, dass Lernende trotz der identischen Zusammensetzung der Moleküle dazu tendieren, zwischen ‚natürlichem‘ und ‚künstlichem‘ Kohlenstoffdioxid zu unterscheiden.

#### *Highlighting des SPEICHER-FLUSS-Schemas*

Im Gegensatz zum SAUBER-DRECKIG-Schema, das einen Zustand beschreibt, betont das SPEICHER-FLUSS-Schema einen Prozess: Ein bestimmter Stoff (Kohlenstoffdioxid, Treibhausgase) fließt von einem Behälter in einen anderen. Als eine spezielle Variante des START-WEG-ZIEL-Schemas (s. Kapitel 3.2.5.3) wird dabei die Herkunft und der Weg des ‚fließenden‘ Stoffes betont. Startpunkt ist in diesem Fall ein konzeptualisierter Behälter, zum Beispiel der Energieträger (‚Energieträger SIND ein Behälter für Kohlenstoff‘, s. Kapitel 8.4.2.2).

Auch im Kontext des Energieflusses in Ökosystemen scheinen sich Wissenschaftler\*innen im Gegensatz zu Lernenden eher auf das Prozesshafte zu fokussieren (Wernecke u. a., 2018).

Dass Wissenschaftler\*innen in Bezug auf globale Kohlenstoffströme auf das SPEICHER-FLUSS-Schema zurückgreifen, konnte bereits Niebert (2010, S. 45–48) nachweisen. Auch bei Niebert werden fossile Energieträger dabei als Kohlenstoffspeicher konzeptualisiert. Anders als in der vorliegenden Studie bezieht sich Niebert in seiner Untersuchung allerdings auf globale

Kohlenstoffströme, die alle Umweltkompartimente miteinschließen. Bei der Betrachtung des Zusammenspiels dieser Vielzahl an einzelnen Komponenten rekurren die Wissenschaftler\*innen bei Niebert neben dem SPEICHER-FLUSS-Schema auch auf ein KREISLAUF-SCHEMA<sup>71</sup> mit Vorstellungen vom Kohlenstoffkreislauf beziehungsweise mehreren Kohlenstoffkreisläufen. In den WBGU-Berichten (2003, 2011) steht hingegen ein einzelner Ausschnitt des Kohlenstoffkreislaufs im Fokus: Es werden hauptsächlich die Kohlenstoffdioxid-Emissionen durch die Energienutzung betrachtet. Dies erklärt, warum in diesem Fall lediglich das SPEICHER-FLUSS-Schema angewendet wird. Auch bei Niebert (2010, S. 51) beziehen sich die Wissenschaftler\*innen auf einen linearen Prozess, wenn sie von anthropogenen Treibhausgasemissionen sprechen. Diese werden zum Großteil durch die Nutzung fossiler Brennstoffe als Energieträger verursacht.

#### *Hiding des SPEICHER-FLUSS-Schemas*

Anders als das SAUBER-DRECKIG-Schema transportiert das SPEICHER-FLUSS-Schema keine Wertung. Dass die mit dem Energiefluss verbundenen Stoffströme unerwünscht sind, wird so eher verschleiert.

Problematisch für das Verstehen könnte außerdem sein, dass die Anwendung des SPEICHER-FLUSS-Schemas in den WBGU-Berichten (2003, 2011) auf zwei Ebenen erfolgt. Auf der einen Ebene werden die Energieträger selbst als Behälter für Kohlenstoff verstanden. Das erscheint insbesondere für die fossilen Energieträger leicht nachvollziehbar: Ein Stoff kann eine bestimmte Menge eines anderen Stoffes enthalten. Auf der anderen Ebene wird der Nutzungsprozess als Behälter für Emissionen konzeptualisiert. Dieser Prozess schließt bisweilen den kompletten ‚Lebensweg‘ der Energieträger mit ein. Dazu gehören auch die mit der Nutzung erneuerbarer Energiequellen verbundenen Stoff- und Energieströme. Besonders auf der zweiten Betrachtungsebene beschränken sich die ‚Stoff‘-Ströme zudem nicht nur auf Kohlenstoffdioxid und Treibhausgase, sondern schließen auch andere als Stoff konzeptualisierte Entitäten mit ein (s. Kapitel 8.4.2.2, Tabelle 28).

#### *Diskussion unter Vermittlungsabsicht*

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Schüler\*innen durch die Anwendung des SAUBER-DRECKIG-Schemas und die damit verbundene Bewertung ein grundlegendes

---

<sup>71</sup> In dieser Arbeit verwende ich die Bezeichnung ZYKLUS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.4).

Bewusstsein dafür mitbringen, dass sich erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger hinsichtlich ihrer Wirkung unterscheiden. Deshalb müssen sie unterschiedlich bewertet werden. Die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger ist hochrelevant für Entscheidungen, die im Zusammenhang mit der Energiewende getroffen werden. Hierfür lässt sich ein generelles Bewusstsein bei den Lernenden erkennen, die Aussagen zu den Auswirkungen treffen. Wie bereits zahlreiche andere Studien zeigen, fällt es den Schüler\*innen schwer, den Zusammenhang mit Kohlenstoffflüssen zu erkennen und zu benennen (s. Kapitel 4.4). Um diesen *Ursache-Wirkungszusammenhang* für die Lernenden zugänglicher zu machen, bietet es sich an, die metaphorischen Bezeichnungen der Wissenschaftler\*innen zu übernehmen: Diese benennen explizit den Zusammenhang mit Kohlenstoff, indem sie beispielsweise von ‚kohlenstoffreichen‘, ‚kohlenstoffarmen‘ oder ‚kohlenstofffreien‘ Energieträgern sprechen. Darüber hinaus ist es wichtig, bewusst weitere Metaphern einzusetzen, die das Prozesshafte des SPEICHER-FLUSS-Schemas vermitteln. Dadurch soll vermieden werden, dass es zu einer statischen Sichtweise kommt, welche die Energieträger nur nach ihrem Kohlenstoffgehalt einteilt. Es muss klar werden, dass dieser Kohlenstoffgehalt durch die Nutzung der Energieträger freigesetzt wird.

Die Betrachtung der Wissenschaftler\*innen auf einer höheren Ebene bietet die Chance für die Erweiterung der oben beschriebenen kohlenstoffbasierten Sichtweise. Auf dieser Ebene werden *sämtliche Stationen der Nutzung, Nutzbarmachung und Entsorgung* der verschiedenen Energiequellen als Ursprungsbehälter für Kohlenstoffdioxidemissionen konzeptualisiert. Dadurch wird betont, dass Energienutzung immer mit Emissionen verbunden ist. Dies ist unabhängig davon, ob es sich um erneuerbare oder nicht-erneuerbare Energieträger handelt. In einem nächsten Schritt kann diese Sichtweise noch erweitert werden: weg von Kohlenstoffdioxid und Treibhausgasemissionen hin zu verschiedensten freigesetzten Entitäten. Die Verbrennung fossiler Energieträger ist mit der Emission weiterer umweltschädlicher Stoffe verbunden. Genauso fallen bei der Nutzung von Kernenergie Abfälle als Nebenprodukt an, die potenziell freigesetzt werden können und in der Folge schwere Schäden verursachen. Diese Perspektive liefert beispielsweise auch in der Diskussion mit Klimawandelleugner\*innen gute Argumente für eine Energiewende.

Um diese Sichtweise den Schüler\*innen zugänglich zu machen, könnten die allgemeineren Formulierungen ‚abfallfreie‘ beziehungsweise ‚abfallarme‘ Energieträger verwendet werden.

„Abfälle“<sup>72</sup> stellen den anfallenden Überrest als Nebenprodukt eines intendierten Prozesses dar. Dies entspricht eher einem *Produktionsframe* als dem BEHÄLTER-FLUSS-Schema. Im Zusammenhang mit Energie und Energienutzung konnte die Verwendung eines Produktionsframes bei Wissenschaftler\*innen bereits rekonstruiert werden (Trauschke, 2018, S. 83). Auch bei Trauschke (2018) spielen „Abfälle“ als nicht-intendierte Nebenprodukte eine große Rolle.

Der Produktionsframe ist bei einer Betrachtung der Auswirkungen der Energienutzung auf übergeordneter Ebene hilfreich. Eine solche Ebene bezieht sich auf die gesamten, mit der Nutzung verschiedener Energieträger verbundenen Prozesse, von der Förderung über den Bau und Betrieb der Umwandlungseinheiten (Kraftwerke, Autos, Heizungen) bis zur Entsorgung.

Die Begriffe „abfallarm“ und „abfallfrei“ enthalten eine implizierte Bewertung. Eine ähnliche Bewertung ist bei den Lernenden durch die Nutzung des SAUBER-DRECKIG-Schemas zu erkennen. In den rekonstruierten metaphorischen Konzepten der Lernendenperspektive (s. Kapitel 8.4.1) lässt sich erkennen, dass die Lernenden Auswirkungen eher auf einer unspezifischen Ebene verstehen. Um einen Perspektivwechsel herbeizuführen, ist es jedoch wichtig, den Blickwinkel auf die Herkunft und Ursache der „Verschmutzung“ auszudifferenzieren. Metaphern, wie „sauber“ und „dreckig“ oder „schmutzig“, die auf einem SAUBER-DRECKIG-Schema beruhen, sollten in fachlichen Zusammenhängen dabei vermieden werden. Diese Wörter scheinen bei einigen Lernenden im Zusammenspiel mit einem ZYKLUS-Schema zur Vorstellung zu führen, dass „erneuerbar“ synonym für „säuberbar“ beziehungsweise „recyclbar“ steht (s. metaphorische Konzepte „erneuern IST säubern“ bzw. „erneuern IST recyceln“ s. Tabelle 17).

Die *schrittweise Erweiterung der Perspektive der Lernenden* lässt sich gut im Sinne einer *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung* einsetzen. Die Erweiterung erstreckt sich von einem Blick auf die unmittelbaren Zusammenhänge zwischen dem Kohlenstoffgehalt verschiedener Energieträger und den Kohlenstoffdioxidemissionen bis hin zu einer Perspektive, die alle „Abfälle“ aller Nutzungsschritte der verschiedenen Energieträger einschließt. Aus dieser übergeordneten Sicht können die drei Nachhaltigkeitsstrategien (Huber, 1995) in Bezug auf die Energiewende verdeutlicht werden: Erstens beinhaltet die Konsistenzstrategie die Veränderung und Umstellung des Energiemix von „abfallintensiven“ zu „abfallarmen“

---

<sup>72</sup> „([U]nverwertbarer) Überrest, der bei der Arbeit entsteht“ („Abfall“, o. J.).

Energieträgern. Auf dieser Strategie liegt der Fokus dieser Arbeit. Dennoch ist selbst die Verwendung abfallarmer Energieträger *immer* mit Abfällen verbunden. Dies wird durch die oben beschriebene schrittweise Perspektiverweiterung deutlich. Die Konsistenzstrategie alleine reicht zur Eindämmung der Klimakrise nicht aus. Deshalb werden zweitens durch die Effizienzstrategie Effizienzsteigerungen angestrebt: Bei mindestens gleicher Energieausbeute werden weniger ‚Abfälle‘ produziert. Drittens können Lernende unterstützt werden, den Sinn der Suffizienzstrategie zu verstehen. Als Endnutzer\*innen erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger sind sie dafür verantwortlich, wieviel Energie sie nutzen. Bei jeder Nutzung entstehen – oft an anderer Stelle – ‚Abfälle‘. Jeder Nutzungsverzicht bedeutet somit auch ein weniger an ‚Abfällen‘.

#### *8.4.3.3 Vergleich der Perspektiven: Bilanzierung von Emissionen*

‚Energie nutzen IST Treibhausgase bilanzieren‘ ist ein metaphorisches Konzept der Wissenschaftler\*innen, das keine Entsprechung bei den Lernenden findet (s. Kapitel 8.4.1, Kapitel 8.4.2.3). Auch dieses metaphorische Konzept soll in den Blick genommen und mit der Perspektive der Schüler\*innen in Beziehung gesetzt werden. Nur so lässt sich eine Antwort auf die Frage finden, wie eine differenzierte Sichtweise der Schüler\*innen gefördert werden kann, welche Auswirkungen die Nutzung verschiedener Energieträger hat.

In den WBGU-Berichten (2003, 2011) verwenden die Wissenschaftler\*innen im Hinblick auf Treibhausgasemissionen Metaphern der Bilanzierung, die auf einem GLEICHGEWICHTS-Schema beruhen (s. Kapitel 8.4.2.3). Die Schüler\*innen hingegen wenden das oben beschriebene SAUBER-DRECKIG-Schema an (s. Tabelle 25). Nur bei einer der interviewten Schüler\*innen lässt sich der Bilanzierungsgedanke in einer Aussage zu den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger rekonstruieren. So sagt Olga: „[...] [A]uf lange Sicht, wenn man einmal größere Verschmutzung in Kauf genommen hat, sind die [I: erneuerbaren Energien] glaube ich viel nützlicher“ (Z. 45-46). Diese Aussage macht sie, nachdem sie aufgefordert wurde, erneuerbare und nicht-erneuerbare Energieträger zu vergleichen.

Das Highlighting und Hiding der Anwendung des SAUBER-DRECKIG-Schemas auf den Zielbereich der Auswirkungen der Nutzung der Energieträger wurde oben bereits ausführlich dargestellt und diskutiert. Aus diesem Grund werden nachfolgend ausschließlich für das GLEICHGEWICHTS-Schema Aspekte dargestellt, die durch die Übertragung betont beziehungsweise verschleiert werden.

### *Highlighting und Hiding*

Das GLEICHGEWICHTS-Schema und die Bilanzierungsmetapher betonen bestimmte Aspekte der Energienutzung. Durch die Quellbereiche wird hervorgehoben, dass die Nutzung bestimmter Energieträger immer zwei Seiten hat. Diese müssen gegeneinander abgewogen werden, um zu einer fundierten Entscheidung zu gelangen. In der Regel steht auf beiden Seiten eine bestimmte Stoffmenge. Bezogen auf den Zielbereich bedeutet dies, dass jegliche Nutzung mit einer bestimmten Menge an Kohlenstoffdioxid beziehungsweise Treibhausgasen verbunden ist. Im Vergleich kann nur das geringste Übel gewählt werden.

Gleichzeitig gibt es jedoch auch bestimmte Aspekte, die durch die Nutzung des GLEICHGEWICHTS-Schemas beziehungsweise der Bilanzierungsmetapher verschleiert werden. Dies erschwert das Verstehen der entsprechenden Aspekte. So wird durch die Bilanzierungsmetapher zwar das Ergebnis eines Vergleiches dargestellt, jedoch bleibt das Verhältnis der verglichenen Mengen zueinander unklar. Es wird betont, dass bei jedem Energieträger auf dem gesamten Nutzungsweg von der Nutzbarmachung bis zur Entsorgung eine bestimmte Menge an Emissionen anfällt. Diese Menge kann bilanziert werden. Bei den erneuerbaren Energiequellen könnte dies dazu führen, dass die Höhe der Emissionen überschätzt wird. Es wird verschleiert, wie groß der Unterschied der Gesamtemissionen beim Vergleich von erneuerbaren Energiequellen – insbesondere Windkraft und Solarkraft – mit fossilen Brennstoffen ist. Hinzu kommt, dass bei fossilen Brennstoffen oft nur die CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus der Verbrennung aufgeführt werden (WBGU, 2011, S. 122). Im Gegensatz dazu findet man für erneuerbare Energieträger CO<sub>2</sub>-Äquivalente des gesamten Lebensweges (WBGU, 2011, S. 126). Die immensen Unterschiede der Gesamtemissionen von Wind- und Solarkraft im Vergleich zu fossilen Brennstoffen sind durch diese nicht vergleichbaren Angaben sehr schwer nachvollziehbar.

Bei Niebert (2010) wird der Kohlenstofffluss in die Atmosphäre in Zusammenhang mit der Begrenzung des Klimawandels als FLIEßGLEICHGEWICHT konzeptualisiert. Hierbei werden das SPEICHER-FLUSS- und GLEICHGEWICHTS-Schema kombiniert (s. Tabelle 2, vgl. Kapitel 3.2.5). Niebert (2010) zeigt, dass ein FLIEßGLEICHGEWICHT für Schüler\*innen sehr schwer nachvollziehbar zu sein scheint. Möglicherweise liegt das daran, dass es keinen alltagsnahen Quellbereich für die Lernenden gibt. Selbst das häufig verwendete Badewannenmodell (Sweeney & Sterman, 2000) hat seine Schwächen: Normalerweise sind Zu- und Abfluss nicht



gleichzeitig geöffnet, sondern finden eher zeitversetzt statt. Außerdem kann ein Gleichgewicht in einer Badewanne oder einem Waschbecken nur indirekt über einen gleichbleibenden Pegelstand nachvollzogen werden. Die zu- beziehungsweise abfließende Menge wird für die Lernenden nicht unmittelbar sicht- und somit erfahrbar.

#### *Diskussion unter Vermittlungsabsicht*

Metaphern die sich auf ein GLEICHGEWICHTS-Schema beziehen, werden häufig in Bewertungs- und Entscheidungskontexten verwendet (s. Kapitel 3.2.5.9). Die Verwendung des GLEICHGEWICHTS-Schemas in Aussagen zu Auswirkungen der Energiewende ist deshalb nicht weiter verwunderlich. Auch die Schülerin Olga (s. o., Z. 45-46) macht ihre Aussage, in der sie die metaphorische Wendung ‚in Kauf nehmen‘ in einem Bewertungskontext benutzt. Da die WBGU-Gutachten den Auftrag erfüllen, eine Bewertung verschiedener Energieträger für die Bundesregierung vorzunehmen, ist auch hier der Einsatz des GLEICHGEWICHTS-Schemas erwartbar. Die Metapher der ‚Stabilisierung‘ der Treibhausgase in der Atmosphäre wird in den WBGU-Berichten immer wieder benutzt (z. B. WBGU, 2003, S. 108, 2011, S. 135). Durch die ‚Stabilisierung‘ der Treibhausgaskonzentration soll das Klima im Gleichgewicht gehalten werden. Diese „Klimastabilisierung“ stellt nach Angaben der Wissenschaftler\*innen das übergeordnete Ziel der Energiewende dar (WBGU, 2011, S. 142). Sie bildet den Bewertungsmaßstab der Gutachten.<sup>73</sup>

Eine Bewertung wird auch in der Anwendung des SAUBER-DRECKIG-Schemas durch die Lernenden betont (s. Kapitel 8.4.1.1). Allerdings zeichnet sich durch die Verwendung der Bilanzierungsmetapher und des GLEICHGEWICHTS-Schemas bei den Wissenschaftler\*innen ein differenzierteres Bild ab. Erst die Anwendung des GLEICHGEWICHTS-Schemas auf die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger ermöglicht eine fachlich fundierte Bewertung.

In erster Linie geht es aus naturwissenschaftlicher Sicht bei der Bilanzierung der verschiedenen Energieträger um die quantifizierbare Menge des Kohlenstoffdioxidausstoßes bei der Nutzung. Für die didaktische Strukturierung kann der Emissionsvergleich wertvolle Ansatzpunkte für ein differenzierteres Verstehen der Energiewende geben. Der Umstellung der Energieversorgung auf klimafreundlichere Energiequellen liegen ständige

---

<sup>73</sup> Hier gibt es Überschneidungen zum Framing der Energiewende als Umbau einer Baustelle (s. Kapitel 8.1).

*Abwägungsprozesse* zu Grunde. Wichtig ist es, jeweils die betrachteten Systemausschnitte sehr deutlich zu benennen und voneinander abzugrenzen. Hier könnte ein sukzessiver Aufbau der Lern- und Reflexionsschritte von einem sehr eng begrenzten *Systemausschnitt* zu einer letztendlich den gesamten Nutzungsweg umfassenden Perspektiverweiterung führen.

Beginnend bei der *Umwandlung in die Nutzenergieform* (z. B. in einem Windrad oder einem Kohlekraftwerk) könnte zunächst der Unterschied in diesem Ausschnitt sichtbar gemacht werden.

Dadurch wird einerseits veranschaulicht, dass erneuerbare Energiequellen wie Sonne, Wind und Geothermie in der reinen Umwandlung emissionsfrei sind (wenn man Betriebs- und Instandhaltungsprozesse zunächst vernachlässigt). Andererseits wird sichtbar, dass Biomasse als erneuerbarer Energieträger eine Sonderstellung bei den erneuerbaren Energiequellen einnimmt, weil diese in der Umwandlung Emissionen verursacht. Die Bilanz der Nutzung von Biomasse ist dabei keineswegs immer günstiger als die Bilanz der Nutzung fossiler Brennstoffe (WBGU, 2011, S. 126).

Bei den fossilen Brennstoffen wird im Vergleich der Emissionsunterschied zwischen Erdgas, Erdöl und Kohle ersichtlich. Hierdurch wird verständlich, dass Erdgaskraftwerke geringere Kohlenstoffdioxidemissionen verursachen als Kohlekraftwerke (WBGU, 2011, S. 120). Aus naturwissenschaftlicher Sicht sind somit Erdgaskraftwerke vorzuziehen.

Auch die Sonderstellung der Kernkraft bei den nicht-erneuerbaren Energieträgern wird im Emissionsvergleich deutlich. Kernkraftwerke verursachen in der Energieumwandlung keine Kohlenstoffdioxidemissionen.

In Bezug auf die einzelnen Energieträger kann darüber hinaus der Vergleich einzelner Nutzungspfade sehr interessant sein. So kann beispielsweise der deutliche Unterschied in der Bilanz in der Nutzung „traditioneller“ versus „moderner“ Biomasse (WBGU, 2003, S. 60-67) gezeigt werden.

Die *Betrachtung eines größeren Systemausschnittes* erstreckt sich über die Förderung beziehungsweise Nutzbarmachung der jeweiligen Energieträger bis hin zur Entsorgung. Auch hier ist insbesondere der Vergleich beziehungsweise die Bilanzierung der Menge der jeweiligen Emissionen von essentieller Bedeutung. So wird erst durch den Vergleich sichtbar, dass beispielsweise Emissionen durch die Herstellung von Solaranlagen, die häufig von

Kritiker\*innen der Solarenergie angeführt werden, bei der Betrachtung des gesamten Nutzungsweges kaum ins Gewicht fallen. Dies wird insbesondere im Vergleich des gesamten Nutzungsweges anderer nicht-erneuerbarer Energieträger deutlich. Hierbei ist es wichtig, für die Lernenden deutlich zu machen, dass es sich bei den Vergleichen jeweils um vergleichbare Systemausschnitte handeln muss. Wird beispielsweise der gesamte Nutzungsweg eines erneuerbaren Energieträgers dem reinen Umwandlungsprozess eines fossilen Brennstoffes gegenübergestellt, führt dies zu einer verfälschten Bilanz.

Unabhängig von der Größe des gewählten Systemausschnittes ist es bei den jeweiligen Vergleichen der Energieträger sinnvoll, die *Mengenunterschiede* für die Schüler\*innen *sichtbar zu machen*. Niebert (2017) zeigt die Möglichkeit, Kohlenstoffmengen mit Hilfe des BEHÄLTER-Schemas zu verdeutlichen. Verschiedene Energieträger könnten als BEHÄLTER dargestellt werden. Je nach Kohlenstoffgehalt beziehungsweise Emissionen im Umwandlungsprozess unterscheidet sich die Füllung der BEHÄLTER. BEHÄLTER können aber auch größere Systemausschnitte wie beispielsweise den gesamten Nutzungsweg eines Energieträgers repräsentieren. Die Füllung sollte Kohlenstoffdioxidäquivalente repräsentieren, da diese Rechengröße in der Regel für wissenschaftliche Vergleiche herangezogen wird. Für den Vergleich und die Bilanzierung der jeweiligen Mengen muss die Füllung der BEHÄLTER miteinander verglichen werden. Über die unterschiedliche Füllhöhe werden Mengenunterschiede sichtbar.

## 9 Forschungsziel: Leitlinien für den Unterricht

Im Vergleich der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kapitel 7.3) und der systematischen Metaphernanalyse (s. Kapitel 8.3.3 und 8.4.3) wurden Lernhindernisse und Lernchancen identifiziert. Diese sollen im vorliegenden Kapitel in konkreten Leitlinien zusammengefasst werden. Sie sollen Lehrpersonen einen schnellen Überblick ermöglichen, wie das Verstehen naturwissenschaftlicher Schlüsselprinzipien unterstützt werden kann.

In der qualitativen Inhaltsanalyse zeigte sich, dass die Energiewende aus wissenschaftlicher Sicht ein komplexes Thema ist. Dies ist selbst dann der Fall, wenn nur die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energieträger betrachtet wird. Der systematische Vergleich der Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kapitel 7.3) ließ erkennen, dass den Kategorien ‚Verfügbarkeit‘ der genutzten Energieträger und ‚Auswirkungen‘ der Nutzung eine besondere Bedeutung zukommen: Diese sind entscheidend, um die

naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien zu verstehen, die der Energiewende zu Grunde liegen (Energiefluss und Stoffkreisläufe). Die in diesem Kapitel vorgestellten Leitlinien konzentrieren sich nun auf die *Vermittlung* dieser naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien. (In der unterrichtlichen Vermittlung sollten darüber hinaus die weiteren Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse beachtet werden. So ist beispielsweise aus Perspektive der Wissenschaft die Kategorie ‚Kosten‘ im öffentlichen Diskurs von großer Bedeutung. Weitere Kategorien, die für die Lernenden rekonstruiert wurden, beruhen auf bekannten fachlich unangemessenen Präkonzepten (s. Kapitel 7.3). Auch diese sollten Lehrkräfte bei der Strukturierung von Unterricht berücksichtigen.)

Der Vergleich der Ergebnisse der systematischen Metaphernanalyse zeigte, welche Schemata und Metaphern das Verstehen der naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien fördern können (s. Kapitel 8.3.3 und 8.4.3).

Die Schlussfolgerungen, die sich aus qualitativer Inhaltsanalyse und systematischer Metaphernanalyse ableiten lassen, werden nun in konkreten Leitlinien für den Unterricht zusammengefasst. Sie sollen Lehrpersonen dabei unterstützen, Lehr-Lernsituationen so zu strukturieren, dass sie das fachliche Verstehen der naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien von Energieträgern und der Energiewende fördern. Um im Unterricht zur Energiewende die Komplexität zu reduzieren, sollte die Verfügbarkeit der Energieträger zunächst getrennt von der Auswirkung der Nutzung der Energieträger betrachtet werden. Kapitel 9.1 stellt die Leitlinie für die Vermittlung des Schlüsselprinzips des Energieflusses vor; dieses liegt der Verfügbarkeit der Nutzung verschiedener Energieträger zu Grunde. Kapitel 9.2 erklärt die Leitlinie für die Vermittlung der Stoffflüsse; auf diesen basieren die Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern. Da viele Verstehensprobleme auf der Vermischung der Schlüsselprinzipien beruhen, sollten diese im Kontext der Energiewende auch gemeinsam betrachtet werden. Dies wird in der Leitlinie zu einer integrierten Perspektive in Kapitel 9.3 ausführlich erläutert. Verwendete sprachliche Ausdrücke können einen Beitrag zu einem angemessenen fachlichen Verstehen leisten und relevante Aspekte betonen. Empfehlungen hierzu werden in der Leitlinie in Kapitel 9.4 gegeben.

## 9.1 Verfügbarkeit – FLUSS und BEHÄLTER als grundlegende Schemata reflektieren

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen fachlich problematische Vorstellungen der Schüler\*innen in Bezug auf die Verfügbarkeit von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern. Erstens verknüpfen einige Lernende die Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger gedanklich mit zyklischen Prozessen. Die naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien von Energiefluss und Stoffkreisläufen werden hierbei miteinander vermischt: Einerseits gibt es den Energiefluss beim Energietransfer selbst (z. B. wird die potentielle Energie des Wassers u. a. in kinetische Energie umgewandelt); andererseits gibt es Kreisläufe von Stoffen, die am Energietransfer beteiligt sind (z. B. Wasser bei der Nutzung von Wasserkraft, s. Kapitel 8.3.3). Zweitens fehlen den Lernenden Vorstellungen, die spezifische Unterschiede im Energiefluss für die verschiedenen Energieträger berücksichtigen. Räumlich und zeitlich bedingte Schwankungen erneuerbarer Energieträger wie Solar- und Windenergie werden nicht bedacht (s. Kapitel 8.3.3).

In der didaktischen Strukturierung von Unterricht sollten die oben beschriebenen Vorstellungen zur Verfügbarkeit direkt adressiert werden. Aus dem systematischen Vergleich der metaphorischen Konzepte der Schüler\*innen sowie der Wissenschaftler\*innen (s. Kapitel 8.3.3) lässt sich schlussfolgern: Die gezielte Verwendung von FLUSS- und BEHÄLTER-Schema könnte helfen, Unterschiede im Energiefluss und somit der Verfügbarkeit bei erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern zu verstehen (s. Abbildung 14).

Warum FLUSS- und BEHÄLTER-Schema hilfreich sein können, wurde bereits ausführlich in Kapitel 8.3.3 erläutert. Dort wurde auch beschrieben, mit welchem Highlighting und Hiding diese beiden Schemata in Bezug auf die Verfügbarkeit von Energieträgern einhergehen. In den Leitlinien geht es nun darum, wie sich die Verwendung der Schemata in der didaktischen Strukturierung für den Unterricht praktisch umsetzen lässt. In welcher Reihenfolge sollten Lehrkräfte vorgehen? Mit welchen Methoden könnten die Schemata in den Unterricht eingebracht werden? Diese Fragen werden im Folgenden an Hand eines Unterrichtsbeispiels erläutert (s. Abbildung 14).

## **Unterrichtsbeispiel zur Verfügbarkeit der Energieträger**

Wie können das FLUSS- und das BEHÄLTER-Schema in körperliche Erfahrungen übersetzt werden, die den Lernenden ein tiefes Verstehen der naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien des Energieflusses als Grundlage der Verfügbarkeit von Energieträgern ermöglichen?

### Genutzte Schemata:

Das FLUSS-Schema hilft den Lernenden zu verstehen, dass der Energiefluss in eine Richtung abläuft und kein Kreislauf ist.

Der Vergleich von FLUSS- und BEHÄLTER-Schema verdeutlicht den Lernenden dynamische Unterschiede in der Verfügbarkeit von Energieträgern wie des fossilen Brennstoffs Kohle im Kontrast zur Solarenergie.

### Grundidee:

Die Lernenden spielen den Energiefluss zuerst bei der Nutzung einer erneuerbaren Energiequelle und anschließend bei der Nutzung einer nicht-erneuerbaren Quelle nach.

Um die Intervention anschaulich zu gestalten, werden exemplarisch Solarenergie als erneuerbare Energiequelle sowie Kohle als fossile Energiequelle herangezogen.

Dafür, die Solarenergie exemplarisch heranzuziehen, sprechen drei Gründe: Erstens liegt die Sonnenenergie auch anderen erneuerbaren Energiequellen (wie Wasser- und Windenergie, s. Kapitel 3.1.3.2) zu Grunde. Zweitens lässt sich die typische fluktuierende Verfügbarkeit an diesem Beispiel zeigen. Drittens hat diese Energiequelle das größte Potenzial unter den erneuerbaren Energiequellen (WBGU, 2011, S. 127).

Kohle ist den Schüler\*innen als ein fossiler Energieträger bekannt. Sie ist kostengünstig und auch in Deutschland in geologischen Lagerstätten vorhanden (WBGU, 2011, S. 118–119).

### Unterrichtsschritte:

1. Die Verfügbarkeit der Solarenergie wird durchgespielt, mit ihren im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten bestehenden Schwankungen.
2. Die Nutzung der Solarenergie wird durchgespielt, mit den im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten bestehenden Schwankungen in der Verfügbarkeit.
3. Der Ausgleich der schwankenden Verfügbarkeit durch Speicherung wird durchgespielt, im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten.
4. Optional: Der Energie-Transport zum Ausgleich der Schwankungen wird durchgespielt, im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten.
5. Die Nutzung von Solarenergie wird im Kontrast zur Nutzung von Kohle durchgespielt, im Verlauf der Tages- und Jahreszeiten.
6. Optional: Die Modelle werden von den Lernenden auf weitere Energiequellen übertragen.

### Benötigtes Material:

- Duschbrause am Wasseranschluss (gekennzeichnet als Solarstrahlung)  
Das Wasser, das aus der Brause strömt, stellt den Anteil der Solarstrahlung dar, der auf die Erdoberfläche gelangt.
- kleines Wasserrad (gekennzeichnet als Fotovoltaik-Anlage)
- Becher (gekennzeichnet als Energiespeicher)
- Wasserkanister mit Zapfhahn (gekennzeichnet als Kohle)
- Text zum Thema Sonnenstrahlung

Zur Vorbereitung wird die Lerngruppe in Kleingruppen à vier Schüler\*innen aufgeteilt. Das vorgegebene Material wird jeweils einmal pro Kleingruppe benötigt.

Zu 1.: Die Lernenden spielen die Sonnenstrahlung im Verlauf mehrerer Tage nach. Als Grundlage dient ein Text, der die Intensität der Sonnenstrahlung beschreibt. Er sollte unterschiedliche Bewölkungen, Tageszeiten und Jahreszeiten sowie geographische Lagen thematisieren. Diesen Text liest ein\*e Schüler\*in laut vor. Ein\*e andere\*r reguliert die Brause (Solarstrahlung). Vor der morgendlichen Dämmerung gelangt keine Solarstrahlung auf den betrachteten Teil der Erdoberfläche: Der Wasserhahn ist geschlossen und kein Wasser strömt. Im weiteren Tagesverlauf wird der Wasserhahn, je nach Intensität der Sonnenstrahlung weiter auf- oder zuge dreht. Die Schüler\*innen reflektieren, was der Modellversuch im jeweiligen Stadium, bezogen auf die Sonnenstrahlung, bedeutet.

Zu 2.: In einem zweiten Schritt sollen die Lernenden die Solarstrahlung (das strömende Wasser) nutzen. In den Wasserstrahl halten sie ein kleines Wasserrad. Dieses stellt einen Energieumwandler dar. Beispielsweise eine Fotovoltaikanlage, die Solarstrahlung in elektrische Energie umwandelt. Auf Basis des Textes spielen die Lernenden mit dem Wasserrad den Verlauf mehrerer Tage durch. Ist es Nacht und dunkel, bleibt der Wasserhahn geschlossen: Das Wasserrad steht still. Bei einer hohen Intensität der Solarstrahlung wie zur Mittagszeit ist die Brause voll aufgedreht: Das Wasserrad dreht sich. Jedoch strömt ein Großteil des Wassers am Wasserrad vorbei, anstatt dieses zu bewegen. Das vorbeiströmende Wasser veranschaulicht, dass ein großer Teil der auf die Erde treffenden Solarstrahlung nicht genutzt werden kann. Die Schüler\*innen formulieren Schlussfolgerungen, was das sich langsam oder schneller drehende beziehungsweise stillstehende Wasserrad für die Energieversorgung bedeutet.

Zu 3.: In einem dritten Schritt überlegen die Lernenden: Wie kann das Problem der fluktuierenden Energieversorgung, das im zweiten Schritt beobachtet wurde, gelöst werden? Im übertragenen Sinne müssen die Lernenden für Energiespeicher sorgen. Praktisch müssen sie das Wasser (Solarstrahlung) mit dem Becher (Energiespeicher) auffangen und über dem Wasserrad ausschütten. So spielen sie, dem Text folgend, den schwankenden Energiefluss und dessen Ausgleich erneut durch. Der Becher sollte dabei auf Höhe des Wasserrades gehalten werden, damit er das am Wasserrad vorbeiströmende Wasser auffangen kann. Dieser Vorgang verdeutlicht, dass überschüssige Solarenergie für die Speicherung genutzt wird. Zum Ausschütten des Wassers muss der Becher gekippt werden, sodass der Inhalt über das Wasserrad strömt. Wichtig ist, dass der Becher dabei nicht angehoben wird: Das Wasser unterhalb des Wasserrades erneut zu nutzen, würde dem Prinzip der Energieentwertung widersprechen. Im Modell kann dies so erklärt werden, dass erneut Energie aufgewendet werden müsste, um den Becher anzuheben. Dieser Aspekt sollte unbedingt mit den Schüler\*innen diskutiert werden, um eine Kreislaufvorstellung zu vermeiden.<sup>2</sup>

Zu 4.: Die Intervention könnte ausgeweitet werden, indem die verschiedenen Kleingruppen miteinander interagieren. Sollte es einer Kleingruppe am Wasserhahn an Solarstrahlung mangeln, könnte eine andere Kleingruppe mit der in ihrem Becher gespeicherten Sonnenenergie aushelfen. Dafür müsste die gespeicherte Energie mit einem Becher zu einem anderen Standort transportiert werden. In diesem Verlauf kann auch thematisiert werden, dass Energietransport eine bestimmte Infrastruktur (in diesem Fall ein\*e Schüler\*in) benötigt. Auch dafür muss Energie aufgewandt werden.

Zu 5.: Die Dynamiken der Verfügbarkeit von fossilen Brennstoffen und erneuerbaren Energiequellen weisen Unterschiede auf. Um diese zu verstehen, müssen sie miteinander kontrastiert werden. Im Modellversuch soll Kohle als Beispiel für fossile Brennstoffe dienen. Die Kohlevorräte der Erde werden durch einen mit Wasser gefüllten Kanister mit Zapfhahn dargestellt. Ein Begleittext informiert, dass in der Kohle während ihrer Genese Sonnenenergie gespeichert wurde. Ähnlich wie in den vorherigen Schritten durch den Becher symbolisiert, stellt die Kohle einen Energiespeicher dar, hier symbolisiert durch den Kanister. Das Ventil des Kanisters wird so weit geöffnet, dass die ausströmende Wassermenge das Wasserrad antreibt, aber nichts vorbeiströmt. Die Schüler\*innen sollen die Verfügbarkeit der Solarenergie und der Kohleenergie in den jeweiligen Modellexperimenten vergleichen. Sie stellen fest: Die benötigte Menge der Kohleenergie lässt sich regulieren, der Behälter ist jedoch irgendwann leer. Die Menge der verfügbaren Solarenergie zu einem bestimmten Zeitpunkt ist von äußeren Faktoren abhängig, die generelle Verfügbarkeit ist dafür unbegrenzt.



Möglich wäre auch, dass eine Gruppe von Schüler\*innen die Verfügbarkeit von Solarenergie (Schritt 1 und 2), eine andere Gruppe die Verfügbarkeit von Kohle (Schritt 5) durchspielt. Anschließend werden Unterschiede in der Verfügbarkeit miteinander verglichen.

Zu 6.: Eine Zusatzaufgabe könnte sein, dass die Lernenden den Modellversuch auf andere erneuerbare und nicht-erneuerbare Energiequellen übertragen und gegebenenfalls anpassen. Dann wird auch die Sonderstellung von Biomasse deutlich. Sonnenenergie wird von den Pflanzen aufgenommen und in Biomasse gespeichert. Die Biomasse wird, ähnlich wie fossile Brennstoffe, nur dann zur Energieversorgung genutzt, wenn sie benötigt wird. Um die Speicherung der Solarenergie in Biomasse nachzuspielen, könnten die Schüler\*innen im Modellexperiment mit dem Becher Wasser aus der Brause auffangen und dieses in einen Kanister schütten. Der Kanister kann dann, ähnlich wie zuvor die Kohle, als Energiespeicher eingesetzt werden.

<sup>1</sup> Möglich wären auch verschiedene Texte für unterschiedliche geographische Regionen. Die Konsequenzen für den Modellversuch können anschließend in Zusammenhang mit dem vierten Schritt reflektiert werden.

<sup>2</sup> Gegebenenfalls könnte über das Anheben des Bechers die Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks erläutert werden. Hier wird das Wasser unter Einsatz von Energie in den Stausee gepumpt, der als Energiespeicher dient.

#### **Abbildung 13 Unterrichtsbeispiel zur Verfügbarkeit der Energieträger**

Der Unterrichtsvorschlag zur Verfügbarkeit der Energieträger (s. Abbildung 14) zeigt durch das fließende Wasser: Der Energiefluss ist ein Prozess, der in eine bestimmte Richtung abläuft. Die Regulierung der Wassermenge durch Öffnen und Schließen des Wasserhahnes entspricht jahreszeitlichen, tageszeitlichen und geographischen Schwankungen der verfügbaren Solarenergie. Lernende sehen die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energieträgern oft als ‚unbegrenzt‘ (s. Kapitel 8.3.1). Die Unterrichtsintervention gibt ihnen die Möglichkeit, ihre Vorstellungen um zeitlich und geographisch bedingte Schwankungen der Verfügbarkeit von Solarenergie zu erweitern. Auch die Bedeutung von Speicher und Transport zum Ausgleich der Schwankungen kann in der Intervention verdeutlicht werden. Durch die Duschbrause am Wasseranschluss und den mit Wasser gefüllten Behälter werden die Unterschiede in der Dynamik der Verfügbarkeit von erneuerbaren Energieträgern wie Solarenergie und fossilen Brennstoffen wie Kohle deutlich (s. Kapitel 8.3.3). Der Abfluss am Behälter kann je nach Bedarf reguliert werden. Die Füllhöhe im Behälter nimmt bei der Nutzung kontinuierlich ab. Dies kann die stabile chemische Speicherform fossiler Brennstoffe verdeutlichen (s. Kapitel 3.1.3.2). Die

Energieträger können in dem Maße genutzt werden, in dem sie benötigt werden. Die vorhandene Menge an fossilen Brennstoffen nimmt durch die Nutzung ab. Die Wassermenge, die aus der Duschbrause kommt, wird im Modellversuch dahingegen nicht durch die benötigte Energiemenge, sondern durch zeitliche und geografische Gegebenheiten bestimmt. Abgesehen von diesen Einschränkungen, steht das Wasser unbegrenzt zur Verfügung. Dies entspricht der Verfügbarkeit von Solarenergie, die unbegrenzt zur Verfügung steht. Dabei ist die Menge der Verfügbarkeit an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit von äußeren Faktoren bestimmt (s. Kapitel 3.1.3.2).

Wichtig ist, mit den Schüler\*innen die Grenzen des in Abbildung 14 beschriebenen Modellversuches zu diskutieren. Besonders kritisch zu sehen ist, dass der Energiefluss mit Wasser dargestellt wird. Erstens besteht die Gefahr, dass hybride Vorstellungen entstehen, die den Energiefluss mit der Nutzung von Wasserenergie vermischen. Diese Gefahr wird noch dadurch verstärkt, dass als Symbol für einen Energie-Umwandler ein Wasserrad genutzt wird. Dem entgegenwirken könnte ein direkter Vergleich: Wie unterscheidet sich im Modellversuch die Darstellung der Nutzung von Wasserenergie von einer Darstellung der Nutzung von Solarenergie? Zweitens ist den Schüler\*innen aus dem Unterricht insbesondere der Wasserkreislauf bekannt. Da das Wasser im Modellversuch Energie darstellt, führt dies möglicherweise zu einer unangemessenen Übertragung dieser Kreislaufvorstellung auf die Energie. Deshalb ist es in der empirischen Erprobung besonders wichtig, zu beobachten, ob die Intervention dazu geeignet ist, gängige Vorstellungen von einem Zyklus der Energie zu irritieren. Mit den Lernenden sollte reflektiert werden, warum es für den Modellversuch bedeutsam ist, dass der Becher, der als Energiespeicher dient, nicht angehoben werden darf: Das Wasser im Modellversuch symbolisiert Energie und nicht Wasser. Ein Anheben des Wassers im Becher würde dem Prinzip der Energieentwertung widersprechen (s. Kapitel 3.1.3.1). Anders ist dies beim Wasserkreislauf: Dem Wasser wird über die Solarstrahlung wiederholt Energie zugeführt, der Wasserkreislauf somit durch Solarenergie angetrieben. Im Wasserkreislauf findet also kein Energiekreislauf statt.

Was den Einsatz von Wasser zur Verdeutlichung des Energieflusses zudem problematisch macht: Die Unterscheidung von Stoff- und Energieflüssen wird durch die stoffliche Darstellung des Energieflusses durch Wasser erschwert. Diese Unterscheidung scheint für Schüler\*innen generell schwierig zu sein (s. Kapitel 4.4). Hieraus folgt, dass die vorgeschlagene Unterrichtsintervention zur Verfügbarkeit keinesfalls alleine stehen sollte. Im weiteren

Unterrichtsverlauf sollten Stoff- und Energieflüsse in jedem Fall sowohl getrennt als auch zusammen betrachtet werden.

In Kapitel 9.2 wird in der Leitlinie zu den Auswirkungen der Nutzung der Fokus auf Stoffströme gerichtet. In Kapitel 9.3 folgt eine Leitlinie, die Vorschläge zur gemeinsamen Betrachtung von Stoff- und Energieflüssen macht.

## 9.2 Auswirkungen – Stoffströme sichtbar machen und vergleichen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen: Die Schüler\*innen haben eine undifferenzierte Sichtweise auf die Auswirkungen der Nutzung von verschiedenen Energieträgern insofern, als sie dichotom dem SAUBER-DRECKIG-Schema folgen. Unspezifisch konzeptualisieren die Lernenden erneuerbare Energieträger als ‚sauber‘ und nicht-erneuerbare als ‚dreckig‘ (s. Kapitel 8.4.1.1). Unterrichtliche Interventionen, die eine differenziertere Sichtweise der Lernenden zum Ziel haben, können dabei einerseits allgemeine Auswirkungen, andererseits spezifische Auswirkungen in Form von Kohlenstoffdioxidemissionen in die Atmosphäre thematisieren.

Aus einer übergeordneten Perspektive auf die Gesamtheit der Auswirkungen der Nutzung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger sollten die Schüler\*innen dabei unterstützt werden, ein grundlegendes Problembewusstsein zu entwickeln. Ein Bewusstsein dafür, dass die Energienutzung – unabhängig von der Art des genutzten Energieträgers – immer mit Folgen für Mensch und Umwelt (z. B. gesundheitliche Auswirkungen, Umsiedlungen oder die Zerstörung von Ökosystemen) verbunden ist. Diese allgemeinen Folgen unterscheiden sich für die einzelnen Energieträger. Aber auch für einen bestimmten Energieträger können die Folgen sehr unterschiedlich sein. So kommt es bei der Nutzung von Wasserenergie zum Beispiel darauf an, wo Kraftwerke errichtet werden und welche Ökosysteme gegebenenfalls für den Bau zerstört werden. Eine Beurteilung dieser allgemeinen Auswirkungen ist daher sehr komplex und muss häufig in Einzelfällen beurteilt werden.

Da im Zuge der Klimakrise der Fokus der Energiewende auf der Reduktion der Kohlenstoffdioxid-Emissionen liegt, werden im Folgenden diese spezifischen Auswirkungen adressiert. Hierzu werden im Anschluss konkrete Unterrichtsvorschläge gemacht.

Spezifische Folgen der Energienutzung entstehen unter anderem durch die Koppelung von Energiefluss und Stoffströmen. Diese Koppelung führt auch zu Kohlenstoffdioxidemissionen.

Aus der spezifisch stofflichen Perspektive ist für den Unterricht zweierlei wichtig: zum einen das Verstehen des Zusammenhangs von Energienutzung und den Kohlenstoffströmen in die Atmosphäre zu fördern, zum anderen verschiedene Energieträger hinsichtlich der Mengen des in Form von Kohlenstoffdioxid freigesetzten Kohlenstoffes zu vergleichen (s. Kapitel 8.4.3).

Warum BEHÄLTER-Schema und BEHÄLTER-FLUSS Schema für das Verstehen von Kohlenstoffströmen hilfreich sein können, wurde bereits ausführlich in Kapitel 8.4.3 erläutert. Dort wurde auch beschrieben, mit welchem Highlighting und Hiding diese beiden Schemata in Bezug auf die Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern einhergehen. Im Folgenden sollen Lehrenden Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie sich die Verwendung der Schemata in der didaktischen Strukturierung für den Unterricht praktisch umsetzen lässt. Welche Reihenfolge sich hierbei empfiehlt und mit welchen Methoden die Schemata in den Unterricht eingebracht werden könnten: Diese Fragen werden im Folgenden an Hand eines Unterrichtsbeispiels erläutert (s. Abbildung 15).

#### **Unterrichtsbeispiel zur Auswirkung der Nutzung der Energieträger**

Wie können das BEHÄLTER-Schema und das SPEICHER-FLUSS-Schema in körperliche Erfahrungen übersetzt werden, die den Lernenden ein tiefes Verstehen des Kohlenstoff-Flusses in die Atmosphäre als Grundlage der Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern ermöglichen?

##### Genutzte Schemata:

Das BEHÄLTER-Schema hilft Lernenden zu verstehen, dass fossile Brennstoffe Kohlenstoff enthalten.

Das SPEICHER-FLUSS-Schema hilft Lernenden, den Kohlenstofffluss in die Atmosphäre nachzuvollziehen, den die Nutzung von Energieträgern verursacht.

##### Grundidee:

Die Lernenden stellen zunächst den Kohlenstoffgehalt ausgewählter nicht-erneuerbarer Energieträger nach. Anschließend wird der Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre bei der Nutzung ausgewählter nicht-erneuerbarer und erneuerbarer Energieträger nachgespielt. Zunächst wird dabei der Umwandlungsprozess in die intendierte Energieform, anschließend der gesamte Nutzungsweg der Energieträger betrachtet und verglichen.

Exemplarisch für nicht-erneuerbare Energieträger werden die fossilen Brennstoffe Kohle und Erdgas herangezogen. Kohle und Erdgas werden zur Stromerzeugung genutzt. Beide fossilen Brennstoffe unterscheiden sich erheblich in den Emissionen durch die Nutzung (WBGU, 2011, S. 118-119). Für erneuerbare Energieträger werden exemplarisch Solar- und

Windenergie herangezogen. Diese beiden Energieträger bieten unter den erneuerbaren das größte Potenzial für die Energieversorgung. Gleichzeitig unterscheiden sich die indirekten Emissionen bei der Betrachtung des gesamten Nutzungsweges deutlich voneinander.

#### Unterrichtsschritte:

1. Der Kohlenstoffgehalt von Kohle und Erdgas wird mit Erbsen in Behältern nachgestellt und verglichen.
2. Die Kohlenstoff-Flüsse in die Atmosphäre bei der Umwandlung von Kohle und Erdgas in elektrischen Strom werden auf Grundlage eines Textes nachgespielt.
3. Die Kohlenstoff-Flüsse bei der Stromerzeugung durch Kohle und Erdgas werden mit den Kohlenstoff-Flüssen der Stromerzeugung durch Solar- und Windenergie verglichen.
4. Die Kohlenstoff-Flüsse bei der Stromerzeugung durch Kohle, Erdgas, Solar- und Windenergie werden unter Einbeziehung des gesamten Nutzungsweges der Energieträger auf Grundlage eines Textes nachgespielt und miteinander verglichen.

#### Benötigtes Material:

- Erbsen oder Ähnliches (als Kohlenstoff gekennzeichnet)
- 12 Reagenzgläser (zwei davon beschriftet mit Kohle und Erdgas)
- 8 Schilder zur Befestigung am oberen Reagenzglasrand (je 2 mit der Beschriftung Kohle bzw. Erdgas, Solar oder Wind und einem Pfeil der von dem Wort in die Reagenzglasöffnung zeigt)
- 3 Reagenzglasständer (2 gekennzeichnet als Atmosphäre, 1 gekennzeichnet als fossile Brennstoffe)
- 2 Schilder, beschriftet mit Umwandlungsprozess und gesamter Nutzungsweg
- Texte zur Stromerzeugung durch Kohle und Erdgas sowie Texte zur Stromerzeugung durch Solarenergie und Windenergie

Zu 1.: Die Schüler\*innen erhalten eine Tabelle, in der der unterschiedliche Kohlenstoffgehalt für Kohle und Erdgas aufgeführt ist. Sie werden aufgefordert, mit Erbsen und Reagenzgläsern den Kohlenstoffgehalt der beiden fossilen Brennstoffe abzubilden. Dazu stellen sie die Reagenzgläser mit der Beschriftung Kohle und Erdgas in den Reagenzglasständer mit dem Schild fossile Brennstoffe. Sie zählen die Erbsen im Verhältnis der angegebenen Mengen an enthaltenem Kohlenstoff in die Reagenzgläser. Dabei stellen sie fest, dass der Kohlenstoffgehalt von Erdgas durchschnittlich mehr als doppelt so groß ist, wie der Kohlenstoffgehalt von Kohle. Anschließend diskutieren sie, welche Auswirkungen der Kohlenstoffgehalt hat, wenn die jeweiligen Energieträger genutzt

werden. Dabei stellen sie die Vermutung auf, dass bei der Verbrennung von Kohle während des Umwandlungsprozesses entsprechend mehr Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre gelangt.

Zu 2.: Im zweiten Schritt spielen die Lernenden auf Grundlage eines Textes den Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre nach. Hierzu bereiten die Lernenden zusätzlich zu dem Reagenzglasständer aus dem ersten Schritt den Reagenzglasständer mit der Beschriftung Atmosphäre und zwei Reagenzgläsern vor.

Der bereitgestellte Text beschreibt, wie Kohle in einem Kraftwerk zur Stromerzeugung verbrannt wird und dabei der Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid reagiert. Der Kohlenstoff aus der Kohle gelangt somit als Bestandteil der chemischen Verbindung Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre. Während diese Beschreibung verlesen wird, befestigt ein\*e Schüler\*in das Schild Kohle so an dem Reagenzglas, dass der Pfeil in die Öffnung zeigt. Die Erbsen (der Kohlenstoff) aus dem Reagenzglas mit der Beschriftung Kohle (s. Schritt 1) werden nun in das Reagenzglas im Reagenzglasständer ‚Atmosphäre‘ geschüttet. Analog wird mit dem Erdgas verfahren. Die Schüler\*innen vergleichen die jeweils in die Atmosphäre freigesetzten Mengen an Kohlenstoff. Wie im ersten Schritt ist die Menge durch die Nutzung von Erdgas wesentlich geringer als die Menge durch die Nutzung von Kohle. Welche Konsequenzen sich aus der unterschiedlichen Kohlenstoffbilanz für die Nutzung von Erdgas- und Kohlekraftwerken ergeben, diskutieren sie dann.

Zu 3.: In Schritt drei soll kontrastiert werden, wie sich der Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre durch Nutzung von Kohle und Erdgas vom Kohlenstoff-Fluss durch die Nutzung von Solar- und Windenergie unterscheidet. Hierbei soll darauf geachtet werden, dass der reine Umwandlungsprozess (s. direkte Emissionen) miteinander verglichen werden. Um dies zu verdeutlichen, platzieren die Lernenden das Schild Umwandlungsprozess vor dem Reagenzglasständer ‚Atmosphäre‘. Die Schüler\*innen befestigen an zwei weiteren Reagenzgläsern die Schilder Solar und Wind, so dass der Pfeil in die Öffnung zeigt und stellen sie neben die Reagenzgläser aus dem zweiten Schritt. Anschließend überlegen sie, wie sich die Stromerzeugung mittels Solarenergie beziehungsweise Windenergie auf den Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre auswirkt. Die Reagenzgläser zur Nutzung von Solarenergie und Windenergie bleiben leer. Es gelangt im Umwandlungsprozess kein Kohlenstoff in die Atmosphäre.

Zu 4.: Unter Umständen entstehen bereits im dritten Schritt Diskussionen, dass auch die Nutzung von Solar- und Windenergie mit einem Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre verbunden sein muss. Im vierten Schritt soll deshalb für alle Energieträger der gesamte Nutzungsweg betrachtet werden. Hierfür wird der dritte Reagenzglasständer vorbereitet,

der ebenfalls mit ‚Atmosphäre‘ beschriftet ist. Analog zu den vorherigen Schritten werden die Reagenzgläser mit Schildern versehen und in den Ständer gestellt. Zur Verdeutlichung, dass nun der gesamte Nutzungsweg betrachtet wird, wird das Schild mit der Aufschrift ‚gesamter Nutzungsweg‘ vor den Reagenzglasständer gelegt. Wie schon im zweiten Schritt wird wieder ein Text vorgelesen. Dieser beschreibt den kompletten Nutzungsweg der verschiedenen Energieträger. Im Text wird ausgeführt, dass zum Beispiel bei der Herstellung und Rückbau von Fotovoltaikanlagen beziehungsweise Windräder indirekte Emissionen anfallen. Das Gleiche gilt für den Bau von Kohle- und Erdgaskraftwerken. Hinzu kommt bei den fossilen Brennstoffen noch deren Förderung und Aufbereitung. Der Kohlenstoff, der während des gesamten Nutzungsweges als Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre gelangt, wird durch eine vorgegebene Menge an Erbsen in den jeweiligen Reagenzgläsern nachgestellt. Durch den anschließenden Vergleich zeigt sich, dass die Kohlenstoffmenge (Erbsen) bei der Nutzung von Solarenergie derzeit in etwa doppelt so hoch ist wie bei Windenergie. Dennoch ist der Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre bei Solar- und Windenergie im Vergleich mit den fossilen Brennstoffen Kohle und Erdgas verschwindend gering.

**Abbildung 14 Unterrichtsbeispiel zur Auswirkung der Nutzung von Energieträgern**

Innerhalb des beschriebenen Unterrichtsbeispiels wird die Komplexität für die Lernenden schrittweise erhöht: Zunächst wird der stoffliche Aufbau der fossilen Energieträger in Bezug auf deren Kohlenstoffgehalt mittels des BEHÄLTER-Schemas verdeutlicht. Anschließend wird über den Kohlenstofffluss der Zusammenhang zwischen Kohlenstoffgehalt und Kohlenstoffdioxid-Emissionen nachvollzogen. Hierzu wird das SPEICHER-FLUSS-Schema genutzt. In einem weiteren Schritt geht es um den Vergleich des Kohlenstoffflusses von fossilen Brennstoffen und erneuerbaren Energieträgern in die Atmosphäre. Dabei wird zunächst der Umwandlungsprozess, anschließend der gesamte Nutzungsweg betrachtet. Ein Vergleich erfolgt dabei über die Füllhöhe der BEHÄLTER.

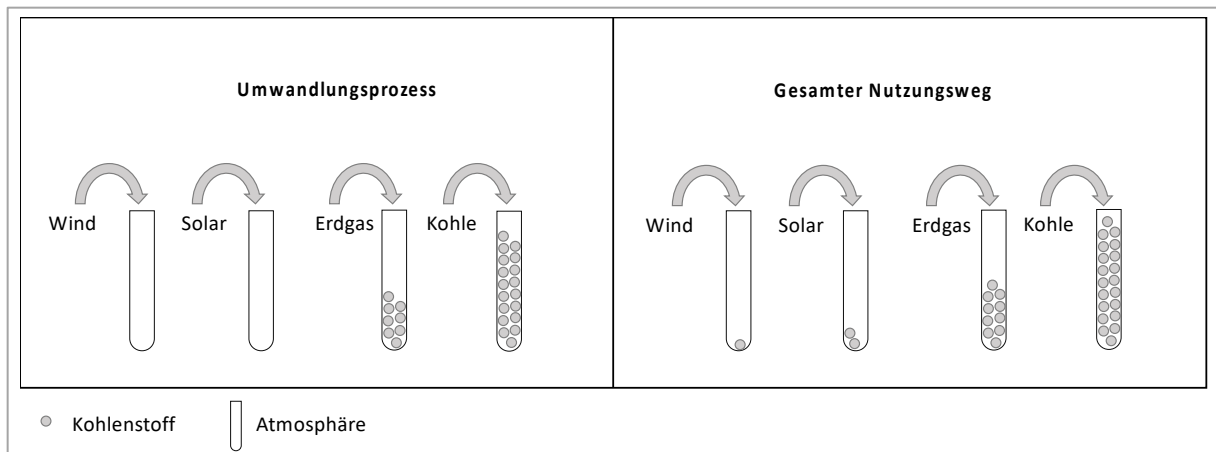
Der erste Schritt der Intervention dient dazu, die weiteren Schritte zu den Auswirkungen der Nutzung der Energieträger vorzubereiten. Das Verstehen des Kohlenstoffgehaltes von fossilen Energieträgern ist Voraussetzung dafür, später die Kohlenstoffflüsse nachvollziehen zu können. Dass sich das BEHÄLTER-Schema als Grundlage für eine Intervention zum Kohlenstoffgehalt eignet, lässt sich bei Niebert (2017) erkennen. Er nutzt das BEHÄLTER-Schema, um Lernenden die Kohlenstoffmenge zu verdeutlichen, die in verschiedenen Erdsphären gespeichert ist. Hierzu lässt er die Schüler\*innen eine bestimmte Menge an Erbsen, die einer bestimmten Menge an Kohlenstoff entspricht, verschiedenen Behältern zuordnen, welche die einzelnen Erdsphären symbolisieren. Diese Intervention wird im obigen

Beispiel auf fossile Brennstoffe übertragen. Diese werden als Behälter für Kohlenstoff dargestellt. Dieses Vorgehen ist anschlussfähig an wissenschaftliche Vorstellungen. So werden fossile Energieträger auch von den Wissenschaftler\*innen der WBGU-Berichte (2003, 2011) sprachlich als ‚Behälter‘ für Kohlenstoff (bzw. Energie) beschrieben (s. Kapitel 8.3.2.2). Mit den Lernenden sollte im Anschluss kritisch reflektiert werden, wie der molekulare Aufbau der einzelnen fossilen Brennstoffe ist. So könnte bei Kohle zusätzlich der Gehalt an Stickstoff und Schwefel nachgestellt werden (Mackowsky u. a., 1977). Diese Stoffe können in der oben beschriebenen Intervention durch andere kleine Gegenstände (z. B. Bohnen in unterschiedlichen Farben) repräsentiert werden. Im Zusammenhang mit dem nächsten Schritt könnte darauf eingegangen werden, dass durch den Anteil von Schwefel und Stickstoff weitere umweltschädliche Emissionen bei der Verbrennung im Nutzungsprozess entstehen. Die Verbrennung von Kohle verursacht im Gegensatz zu Erdgas aufgrund der molekularen Zusammensetzung zusätzlich Emissionen von Schwefeloxiden und Stickoxiden.

Durch die weiteren Schritte der Aufgabenstellung werden die Lernenden mit den Auswirkungen der Nutzung der fossilen Energieträger konfrontiert. Im obigen Unterrichtsbeispiel werden hierzu exemplarisch Erdgaskraftwerke und Kohlekraftwerke herangezogen: Durch die Verbrennung der fossilen Energieträger zur Umwandlung der chemisch gespeicherten Energie in elektrische Energie wird der enthaltene Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre freigesetzt. Die Aufgabenstellung selbst wendet das SPEICHER-FLUSS-Schema auf den Kohlenstoff-Fluss an. Ausgangsbehälter ist der fossile Brennstoff. Aufgrund seiner molekularen Zusammensetzung weist er einen bestimmten Kohlenstoffgehalt auf, der durch die bestimmte Menge an Erbsen oder Ähnlichem repräsentiert wird. Durch die Nutzung des jeweiligen fossilen Brennstoffes gelangt der darin enthaltene Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid in die Atmosphäre. Die Atmosphäre wird durch einen weiteren Behälter repräsentiert. Die Erbsen (Kohlenstoff) aus dem fossilen Brennstoff-Behälter werden somit in den Atmosphären-Behälter überführt.

Die jeweiligen Mengen an Kohlenstoff, die bei der Nutzung von Kohle und Erdgas und in einem weiteren Schritt bei der Nutzung von Solarenergie und Windenergie in den Zielbehälter und somit in die Atmosphäre gelangen, sollen von den Lernenden miteinander verglichen werden. Der Vergleich der Kohlenstoffflüsse in die Atmosphäre durch die Nutzung verschiedener Energieträger wird durch die unterschiedliche Füllhöhe der Reagenzgläser ermöglicht (s. Abbildung 16).





**Abbildung 15 Illustration zum Unterrichtsvorschlag zu Auswirkung der Nutzung von Energieträgern**

Mit den Lernenden sollte hierbei reflektiert werden, dass der Kohlenstoff in der Atmosphäre hauptsächlich in der Verbindung Kohlenstoffdioxid vorliegt. Da in der Öffentlichkeit meist von problematischen Kohlenstoffdioxid-Emissionen gesprochen wird, könnte dies sonst zu Irritationen führen. Hierbei sollte je nach Alter der Lernenden darauf eingegangen werden, dass die wissenschaftliche Berechnung und Darstellung von Kohlenstoffflüssen über Kohlenstoffdioxid-Äquivalente erfolgt (Bruckner u. a., 2014, S. 538-541). So wurden auch die der Abbildung XX zu Grunde liegenden Mengenverhältnisse des Kohlenstoffes aus Berechnungen von Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten abgeleitet (s. Tabelle 32).

**Tabelle 32 Kohlenstoffdioxidemissionen für verschiedene Energieträger**

Energieträger	Direkte Emissionen g CO <sub>2</sub> eq/kWh*	Lebenszyklus-Emissionen g CO <sub>2</sub> eq/kWh*
Kohle	900	1000
Erdgas	400	500
Solar	0	100
Wind	0	50

\*Gerundete Werte (Bruckner u. a., 2014, S. 539)

Die Kohlenstoffdioxid-Äquivalente sind insbesondere relevant, wenn es um den Vergleich der Emissionen des gesamten Nutzungsweges der Energieträger geht: Von der Ressourcenextraktion über den Bau der umwandelnden/nutzenden Entität (z. B. Kraftwerk, Auto, Heizung) bis hin zur Entsorgung fallen indirekte Emissionen an. Diese entstehen nicht durch den Umwandlungsprozess – zum Beispiel die Verbrennung im Kraftwerk – sondern beispielsweise durch die Energie, die für die Herstellung des Baumaterials aufgewendet

wurde. Diese wiederum stammt auch zu einem gewissen Teil aus der Nutzung von fossilen Brennstoffen. Diese indirekten Emissionen werden als Kohlenstoffdioxid-Äquivalente angegeben (s. Tabelle 32).

Das oben aufgeführte Unterrichtsbeispiel könnte anschließend – zumindest gedanklich – auf andere erneuerbare Energieträger und die Nuklearenergie ausgeweitet werden. Wie dies für Biomasse und Nuklearenergie aussehen könnte, soll hier kurz skizziert werden. Obwohl Biomasse zu den erneuerbaren Energieträgern zählt, enthält sie Kohlenstoff. Im ersten Schritt der Intervention könnte somit der Kohlenstoffgehalt im Reagenzglas nachgestellt werden. Wie bei der Nutzung fossiler Energieträger entsteht bei der Nutzung Kohlenstoffdioxid; der Kohlenstoff gelangt durch die Nutzung in die Atmosphäre. Hier kann reflektiert werden, dass die Pflanzen beim Aufbau der Biomasse Kohlenstoff aus der Atmosphäre gebunden haben, die Bilanz für den reinen Umwandlungsprozess also theoretisch neutral sein könnte. Bei der Betrachtung des gesamten Nutzungsweges zeigt sich jedoch, dass die Bilanz sehr unterschiedlich sein kann. Hier kommt es beispielsweise darauf an, welche Flächen für den Anbau von Biomasse verwendet werden. Wurden dafür beispielsweise Wälder gerodet, die in der Biosphäre als Kohlenstoffspeicher dienen, können die Emissionen des gesamten Nutzungsweges bisweilen höher ausfallen als bei fossilen Brennstoffen (WBGU, 2011, S. 126). Die Nutzung der Nuklearenergie ist nicht an Kohlenstoffemissionen gekoppelt. Uran enthält keinen Kohlenstoff. Da die Nutzung der Kernenergie aber an einen Stoff gebunden ist und Stoffe nicht vernichtet werden können, bleibt auch hier nach der Nutzung stofflicher ‚Abfall‘ übrig.

### 9.3 Integrierte Perspektive – Stoff und Energie zusammen betrachten

Schüler\*innen vermischen häufig die stoffliche und energetische Ebene, wenn sie Systeme betrachten (s. Kapitel 4.4). Wie die Studie zeigt, ist dies auch im Kontext der Energiewende der Fall (s. z. B. Kapitel 8.3). Um sowohl Energiefluss als auch Stoffflüsse im Zusammenhang mit der Energiewende zu verstehen, werden die Aspekte der Verfügbarkeit und der Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern zunächst getrennt voneinander in eigenen Leitlinien aufgegriffen: Für die Verfügbarkeit liegt der Fokus auf dem Energiefluss (s. Kapitel 9.1), für die Auswirkungen auf den Kohlenstoffflüssen (s. Kapitel 9.2). In der nachfolgend beschriebenen Leitlinie geht es darum, stoffliche und energetische Aspekte im Kontext der Energiewende gemeinsam zu betrachten.

Problematisch ist, dass stoffliche und energetische Aspekte nicht nur auf Vorstellungsebene, sondern auch auf sprachlicher Ebene schwierig voneinander zu trennen sind. Die Probleme der sprachlichen Differenzierung lassen sich auch in den Ergebnissen der vorliegenden Studie erkennen: Für die Beschreibung der Verfügbarkeit werden auch für energetische Aspekte sowohl von Lernenden als auch von den Wissenschaftler\*innen Metaphern genutzt, die auf Erfahrungen im Umgang mit Stoffen beruhen (s. Kapitel 8.3). Energie ist eine abstrakte Größe, die nicht unmittelbar erfahren werden kann. Unsere Sprache hat keine andere Möglichkeit als diese abstrakte Größe mit Worten zu beschreiben, die auf konkreten Erfahrungen beruhen. Schmitt sagt dazu: „Man kann nicht nicht-metaphorisch sprechen“ (2019, S. 14). Nun ist es aber so, dass in Bezug auf stoffliche Aspekte der Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern auch Wörter verwendet werden, die sich auf konkrete Erfahrungen im Umgang mit Stoffen beziehen. Dies lässt sich an den Ergebnissen in Kapitel 8.4 erkennen. Es gibt also Schwierigkeiten, energetische und stoffliche Aspekte sprachlich voneinander abzugrenzen, weil für die Beschreibung die gleichen Worte verwendet werden: Dies muss mit den Schüler\*innen im Unterricht reflektiert werden.

Vorangegangene Studien, die sich mit naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien beschäftigen, die für die Energiewende relevant sind, müssen sich den oben beschriebenen Herausforderungen nicht stellen. So fokussiert die Studie von Niebert (2010) auf Kohlenstoff-Flüsse, wohingegen andere Arbeiten auf den Energiefluss in Ökosystemen fokussieren (Trauschke, 2016; Wernecke, Schwanewedel, & Harms, 2018). Diese Studien beschränken sich darauf, entweder stoffliche oder energetische Aspekte didaktisch aufzuarbeiten, kombinieren beide aber nicht miteinander. Dennoch lassen sich aus diesen Studien Ansatzpunkte für eine integrierte Perspektive ableiten: So verwenden beide Studien das FLUSS-Schema (s. Kapitel 3.2.5.6). Mit diesem Schema lassen sich sowohl Stoffströme als auch der Energiefluss verdeutlichen. Darüber hinaus nutzen Niebert (2017) und Trauschke (2016, 2018) in ihren jeweiligen Interventionen ein SPEICHER-FLUSS-Schema. Dieses Schema eignet sich, um über den Stoffstrom beziehungsweise Energiefluss hinaus, Systeme darzustellen, die als Stoff- oder Energie-Speicher fungieren. Zum Beispiel stellt Niebert (2017) Erdsphären wie die Atmosphäre als Kohlenstoff-Speicher dar, Trauschke (2016) hingegen Produzenten und Konsumenten in anthropogenen Ökosystemen als Energie-Speicher.

Beispiele für die integrierte Darstellung von Stoff- und Energieflüssen entlang eines SPEICHER-FLUSS-Schemas lassen sich bei Odum (2007) finden. Er bietet Darstellungen, die für definierte

anthropogene Systeme sowohl Kohlenstofffluss als auch Energiefluss zeigen. In seinen Abbildungen werden unterschiedlich große Systemausschnitte betrachtet. Beispielsweise werden im Kleinen Kohlenstoffströme und Energiefluss für ein Wohnhaus inklusive menschlichen und tierischen Bewohner\*innen dargestellt. Im Großen werden Kohlenstoffströme und Energiefluss für den gesamten Planeten abgebildet.

Diese Betrachtung in verschiedenen großen Systemausschnitten lässt sich auf die Energiewende übertragen. Hierzu werden im Folgenden Vorschläge für die Umsetzung gemacht. Entscheidend ist der Vergleich enger und weiter Systemgrenzen: Einerseits soll isoliert der Umwandlungsprozess in die intendierte Energieform (zum Beispiel beim Kraftwerk) in den Blick genommen werden, andererseits der gesamte Nutzungsweg eines Energieträgers. Als Systemausschnitte könnten somit zum Beispiel ein Kohlekraftwerk oder der Nutzungsweg des Energieträgers Kohle gewählt werden. Für diese könnten sowohl Energiebilanzen als auch Kohlenstoffbilanzen mit Hilfe des SPEICHER-FLUSS-Schemas dargestellt werden.

Die Unterrichtsvorschläge zur Verfügbarkeit (s. Abbildung 14) und zu den Auswirkungen (s. Abbildung 15) könnten hierzu miteinander kombiniert werden. Eine mögliche Intervention sei hier skizziert: Weiterhin könnte Wasser die Energie und könnten Erbsen den Kohlenstoff repräsentieren. Ein Behälter, der die Kohle als Energie- und Kohlenstoffspeicher repräsentiert, müsste demnach sowohl Wasser (Energie) als auch Erbsen (Kohlenstoff) enthalten. Bei der Nutzung der Kohleenergie fließen sowohl Wasser als auch Erbsen aus dem Behälter. Das Wasser (Energie) könnte wiederum ein Wasserrad antreiben (Energie wird umgewandelt). Die Erbsen (Kohlenstoff) hingegen gelangen in einen anderen Behälter (Atmosphäre). Dieser Behälter ließe sich durch ein Sieb darstellen. Das könnte den Kontrast unterstreichen: Das Wasser (Energie) fließt weiter. Die Erbsen (Kohlenstoff) aber gelangen durch den Umwandlungsprozess in die Atmosphäre (Sieb).

Bei der kombinierten Betrachtung von Energie- und Kohlenstoffflüssen bietet sich auch ein Vergleich von Braunkohle und Steinkohle an. Diese beiden fossilen Brennstoffe unterscheiden sich je nach Inkohlungsgrad mehr oder weniger im Kohlenstoffgehalt, jedoch erheblich in ihrer Energiedichte. Das führt dazu, dass die Nutzung von Braunkohle mit sehr viel größeren Kohlenstoffdioxid-Emissionen verbunden ist als die Nutzung von Steinkohle<sup>74</sup> (Franck & Knop,

---

<sup>74</sup> Zwischen der molekularen Zusammensetzung von Braunkohle und Steinkohle bestehen eklatante Unterschiede. Mit zunehmendem Inkohlungsgrad steigt der Kohlenstoffanteil der molekularen

1979). Dies ließe sich im Modellversuch durch ein entsprechendes Verhältnis von Erbsen und Wasser zeigen: Ein Braunkohle-Behälter würde – im Vergleich zu einem Steinkohle-Behälter – bei gleichem Volumen einerseits geringfügig weniger Erbsen (Kohlenstoff), andererseits erheblich weniger Wasser (Energie) enthalten. Beim Nachspielen der Nutzung wären etwa siebenmal mehr Braunkohle-Behälter als Steinkohle-Behälter nötig (Riedel, 2009), um dieselbe Menge an Wasser (Energie) bereitzustellen. Im Atmosphären-Behälter (Sieb) würde sich dies durch eine entsprechend größere Menge an Erbsen (Kohlenstoff) zeigen.

Alternativ könnten, angelehnt an Odum (2007), sowohl Energiefluss als auch Kohlenstoff-Fluss in einer gemeinsamen Graphik abgebildet werden. Um den Schüler\*innen zu ermöglichen, die jeweiligen Mengen nachzuvollziehen, sollten in der Abbildung die Stoffmengen beziehungsweise Energiemengen nicht nur durch Zahlen, sondern auch durch graphische Elemente umgesetzt werden. Wie bei Trauschke (2016, 2018) könnte diese Darstellung über eine äquivalente Pfeildicke erfolgen: Dickere Pfeile repräsentieren dann eine größere Menge an Energie beziehungsweise Kohlenstoff.

Den Energiefluss und Kohlenstofffluss gemeinsam darzustellen, ist sehr herausfordernd. Im Vergleich zu den beiden vorangegangenen Leitlinien ist die Anzahl der darzustellenden Elemente deutlich erhöht. Die Betrachtung verschieden großer Systemausschnitte – der reine Umwandlungsprozess oder der gesamte Nutzungsweg der Energieträger – erhöht die Komplexität noch zusätzlich. Um Lernende nicht mit dieser Komplexität zu überfordern, könnte eine digitale Darstellung von Energiefluss und Kohlenstofffluss für die Nutzung verschiedener Energieträger helfen. Die Schüler\*innen könnten in der Auseinandersetzung mit den aufgeführten Beispielen Informationen einblenden oder ausblenden. So ließen sich die in den Leitlinien zu Verfügbarkeit und Auswirkungen vorgeschlagenen Schritte zunächst nacheinander darstellen und schließlich in einer integrierten Abbildung miteinander kombinieren. Die Komplexität ließe sich durch die Lernenden, je nach Bedarf, eigenständig erhöhen oder reduzieren. Zum Beispiel könnte jederzeit entweder nur der Energiefluss beziehungsweise der Kohlenstofffluss eingeblendet werden oder lediglich der Ausschnitt des Umwandlungsprozesses angezeigt werden. Die digitale Umsetzung würde außerdem eine Darstellung der Dynamiken ermöglichen, was bei analogen Abbildungen nicht der Fall ist. Je

---

Zusammensetzung an. In Braunkohle ist der Anteil von Stickstoff, Sauerstoff und Schwefel noch wesentlich höher (Mackowsky u. a., 1977). Aufgrund dieser Unterschiede bietet sich ein Vergleich von Braunkohle und Steinkohle an.

nach Tageszeit oder Wetterlage könnte zum Beispiel der Zustrom von Solarstrahlung oder Windenergie variieren. Darüber hinaus ermöglicht die digitale Umsetzung eine höhere Komplexität, als dies die vorgeschlagenen körperlichen Interventionen tun. So könnten die Schüler\*innen Probleme der Verfügbarkeit und den Auswirkungen für verschiedene Energieversorgungs-Szenarien mit einem unterschiedlichen Mix an Energiequellen durchspielen: Ein Versorgungs-Szenario mit einem hohen Anteil an Solar- und Windenergie könnte beispielsweise bei einem Mangel an Energiespeichern und Transportmöglichkeiten zu Engpässen bei der Verfügbarkeit führen. Ein Versorgungs-Szenario mit einem hohen Anteil an fossilen Brennstoffen würde hingegen einen immensen Kohlenstoff-Fluss in die Atmosphäre und gleichzeitig abnehmende Ressourcen zeigen.

Ein fachlich angemessenes Verstehen des Zusammenhangs von Kohlenstoffströmen und Energiefluss muss vorbereitet werden. Dafür wäre es hilfreich, eine integrierte Perspektive bereits im vorausgehenden naturwissenschaftlichen Unterricht anzubahnen: Immer wenn Stoffkreisläufe behandelt werden (z. B. im Biologieunterricht), sollte dies mit der Betrachtung energetischer Aspekte verknüpft werden: Stoffkreisläufe sind nur möglich, wenn dem entsprechenden System (meist über die Sonneneinstrahlung) Energie zugeführt wird.

#### 9.4 Verdeutlichte Sprache – Fluss-, Weg- und Baustellenmetaphern einsetzen

Die naturwissenschaftlichen Grundlagen der Energiewende sind äußerst komplex. Der Ausdruck ‚erneuerbar‘ scheint nicht dazu beizutragen diese naturwissenschaftlichen Grundlagen verständlicher zu machen (s. Kapitel 8.2). Je nachdem welcher Aspekt der Energiewende im Unterricht im Fokus stehen soll, kann die Lehrperson das Verstehen unterstützen, indem sie gezielt alternative Metaphern zu ‚erneuerbar‘ einbringt.

Metaphern, die nicht dem alltäglichen Sprachgebrauch entsprechen, lösen bei Schüler\*innen und auch bei Lehrkräften oder Fachdidaktiker\*innen Irritationen aus. Damit regen sie zum Nachdenken und zur Reflexion über die Begriffe an. Nach Pospiech (2019) kann der Einsatz ungewöhnlicher Metaphern das fachliche angemessene Verstehen fördern. Dazu müssen die Metaphern den Schüler\*innen gut erklärt werden und die Quellbereiche gut zu den fachlich zu betonenden Aspekten passen. Je nach Alter und Leistungsstand der Lernenden können mit diesen mehr oder weniger alternative Bezeichnungen diskutiert und reflektiert werden. In jedem Fall sollte die Reflexion sprachlicher Ausdrücke eine zentrale Stellung im Unterricht zur Energiewende einnehmen. Die Reflexion sollte über die gesamte Unterrichtseinheit immer

wieder aufgegriffen werden. Die Thematisierung verschiedener sprachlicher Bezeichnungen für ‚erneuerbar‘ könnte als Einstieg in die Einheit dienen und zum Abschluss wieder aufgegriffen werden und so die Unterrichtseinheit insgesamt rahmen.

Mit welchen Metaphern lässt sich im Unterricht ein fachlich angemessenes Verstehen von Verfügbarkeit und Auswirkungen von der Nutzung der Energieträger unterstützen? Im Folgenden stelle ich Beispiele vor, die sich aus den Ergebnissen der Metaphernanalyse ableiten lassen (s. Kapitel 8.3.3 und 8.4.3).

Um die Verfügbarkeit der verschiedenen Energieträger verständlich zu machen, lassen sich die metaphorischen Wendungen ‚nachströmende‘ und ‚erschöpfbare‘ Energiequellen als alternative Bezeichnungen für ‚erneuerbar bzw.‘ ‚nicht-erneuerbar‘ verwenden. Diese ungewöhnlichen Metaphern wirken vermutlich irritierend und regen damit zum Nachdenken und Reflektieren über die Begriffe an. Die vorgeschlagenen Ausdrücke greifen das sowohl aus wissenschaftlicher als auch aus Lernendenperspektive verbreitete FLUSS-Schema (s. Kapitel 8.3.1.3 und 8.3.2.1) auf. Sie sind auch anschlussfähig an die weit verbreitete Darstellung von Energie als ‚fließender‘ Substanz (s. Kapitel 4.1). Sie werden von den Lernenden somit vermutlich konsistent zu bisherigen Vorstellungen vom Energiefluss erlebt. Andererseits verdeutlichen sie durch die Unterschiede zwischen den beiden Worten die unterschiedliche Dynamik der jeweils verfügbaren Energiemenge: Die Menge der erneuerbaren Energieträger ist nicht steuerbar; in zeitlicher und räumlicher Abhängigkeit ‚strömt‘ sie mal stärker oder schwächer. Dagegen lässt sich der Verbrauch nicht-erneuerbarer Energieträger genau einteilen, dafür sind diese aber auch irgendwann ‚erschöpft‘ (s. Abbildung 12).

Das Verstehen der Auswirkungen der Nutzung lässt sich mithilfe der Metaphern ‚kohlenstoffarmer‘ beziehungsweise ‚kohlenstofffreier‘ (oder ‚abfallarmer‘ beziehungsweise ‚abfallfreier‘) und ‚kohlenstoffintensiver‘ (oder ‚abfallintensiver‘) Energieträger unterstützen. Dabei hängt die genaue Wahl der alternativen Ausdrücke von dem gerade betrachteten Systemausschnitt ab. Wird der reine Umwandlungsprozess in die intendierte Nutzenergieform in den Blick genommen, wäre beispielsweise der Ausdruck ‚kohlenstofffrei‘ für erneuerbare Energieträger (mit Ausnahme der Biomasse) eine angemessene Alternative. Steht hingegen der gesamte Nutzungsweg im Fokus sollte eher von ‚kohlenstoffarmen‘ anstatt von ‚erneuerbaren‘ Energieträgern gesprochen werden, weil beispielsweise durch die Herstellung der Anlagen indirekte Emissionen anfallen (s. Kapitel 9.2). Für die alternative Bezeichnung

„abfallfrei“ lassen sich mehrere Anwendungsfälle vorstellen. So könnte diese Metapher beispielsweise im Umgang mit jüngeren Lernenden verwendet werden, denen Kohlenstoff noch kein Begriff ist. Darüber hinaus könnte dieser Ausdruck auch eingesetzt werden, wenn nicht nur fossile Brennstoffe, sondern auch Kernbrennstoffe in die Betrachtung miteinbezogen werden sollen. Im Gegensatz zu den abfallfreien erneuerbaren Energieträgern fallen sowohl bei der Nutzung von fossilen Brennstoffen als auch bei der Nutzung von Kernenergie unerwünschte Nebenprodukte an, die als Abfälle bezeichnet werden können. Es handelt sich somit um abfallintensive Energieträger. Alle vorgeschlagenen Metaphern betonen die unerwünschten Stoffflüsse in der Atmosphäre und anderen Erdsphären, die mit der Nutzung von Energieträgern einhergehen.

Über die Verwendung einzelner Metaphern hinaus kann das Verstehen der Energiewende auch durch sprachliche Frames unterstützt werden (s. Kapitel 3.2.6.2 und 8.1). Wie diese Frames für ein allgemeines Verstehen der Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern und für die Verknüpfung von stofflicher und energetischer Perspektive aussehen könnten, wird im Folgenden erläutert.

Um die allgemeinen Aspekte der Auswirkung von Energienutzung sprachlich zu framen, bietet es sich an, die Energiewende als „Baustelle“ zu rahmen (s. Kapitel 8.1). Demnach ist jegliche Nutzung von Energieträgern mit „Belastungen“ verbunden. Der Umbau des Energiesektors zu einer zukunftsfähigen Konstruktion zielt darauf, „Belastungen“ möglichst gering zu halten und „tragfähige“ Lösungen zu entwickeln.

Um die stoffliche und energetische Perspektive miteinander zu verknüpfen, bietet sich sprachlich ein Weg-Frame an („Energienutzung IST ein Weg“). Beim Aspekt der Verfügbarkeit der Energieträger steht der Energiefluss in das Umwandlungs- und Nutzungssystem (z. B. Kraftwerk, Auto, Heizung) im Vordergrund: „Wo kommt die Energie her?“ und „Wie kommt die Energie in das System?“. Dagegen sind für den Aspekt der Auswirkungen der Nutzung von Energieträgern die Kohlenstoffströme relevant: „Wo geht der Kohlenstoff hin?“



## *Fazit*

Das komplexe Thema der Energiewende sollte aus verschiedenen Perspektiven betrachtet werden: Verfügbarkeit, Auswirkungen, Energiefluss, Kohlenstofffluss, enge und weite Systemgrenzen, Umwandlungsprozess, gesamter Lebensweg. Dadurch lässt sich die Komplexität zunächst reduzieren und anschließend schrittweise erhöhen. Dabei bieten das FLUSS-Schema, das BEHÄLTER-Schema und das SPEICHER-FLUSS-Schema gute Ansatzpunkte, um die naturwissenschaftlichen Schlüsselprinzipien der Energiewende zu veranschaulichen und an die lebensweltlichen Erfahrungen der Schüler\*innen anzuknüpfen. Energiefluss und Kohlenstoffflüsse sollten dazu zuerst getrennt und dann gemeinsam betrachtet werden. Die Verstehensprozesse können sprachlich unterstützt werden. Dazu sollten den Lernenden, je nach Perspektive, alternative Ausdrücke zu ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ angeboten werden. Die angebotenen alternativen Bezeichnungen und weitere Worte, die in der öffentlichen Debatte synonym zu ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ genutzt werden, sollten mit den Schüler\*innen reflektiert werden.

Die oben beschriebenen Blickwinkel könnten die Lernenden nacheinander, beispielsweise im Laufe einer Unterrichtssequenz in aufeinander folgenden sowie aufeinander aufbauenden Lerneinheiten einnehmen. Eine weitere Möglichkeit böte eine Stationsarbeit, in der jede Station einen anderen Fokus setzt. Auch vorstellbar wäre die arbeitsteilige Erarbeitung der verschiedenen Perspektiven, die in einem Planspiel oder Rollenspiel mündet; hier könnten sich die Schüler\*innen die unterschiedlichen Blickwinkel gegenseitig vorstellen und darüber diskutieren. Aufgrund der Aktualität des Themas gibt es zur Energiewende bereits eine Vielzahl von Materialien, die gegebenenfalls adaptiert werden können (z. B. Kaiser, Lüschen, & Reimer, 2010; Oswald, 2004).

## 10 Rückblick und Ausblick

In der Rückschau werden der theoretische Rahmen und das methodische Vorgehen hinsichtlich ihrer Möglichkeiten und Grenzen für diese Studie reflektiert. Vorausblickend werden interessante Perspektiven und Ansatzpunkte für weitere Forschungsvorhaben diskutiert.

Die Reihenfolge der reflektierten Punkte orientiert sich an der Abfolge der Gliederung und dem Vorgehen entlang des Forschungsdesigns. Zunächst werden der erkenntnistheoretische

Rahmen und der Forschungsrahmen der didaktischen Rekonstruktion reflektiert (s. Kapitel 10.1). Anschließend folgt die Reflexion des methodischen Rahmens (s. Kapitel 10.2). Den Abschluss bildet die Diskussion der Relevanz der Ergebnisse für die Lehr- und Lernforschung (s. Kapitel 10.3).

## 10.1 Reflexion des theoretischen Rahmens

Ausgehend von einem gemäßigt konstruktivistischen Lehr-Lernverständnis dient das Modell der didaktischen Rekonstruktion dieser Studie als Forschungsrahmen. Die Bedeutung der Verortung im gemäßigten Konstruktivismus und der didaktischen Rekonstruktion soll im Folgenden reflektiert werden.

### *Unterschiedliche erkenntnistheoretische Hintergründe in den Bezugsdisziplinen*

Die konstruktivistische Erkenntnistheorie ist für die Didaktik insbesondere deshalb hilfreich, weil sie einerseits den Prozess der Konstruktion von Wissen und andererseits die Subjekte als aktiv Konstruierende ihrer eigenen gegebenenfalls sozial geteilten Wirklichkeit in den Mittelpunkt stellt. In den Naturwissenschaften sind hingegen häufig andere Erkenntnistheorien vorherrschend, welche die Realität als zentrales Element betrachten, das mit Hilfe bestimmter Vorgehensweisen erschlossen werden kann (Gebhard, Höttecke, & Rehm, 2017, S. 12–13). So steht beispielsweise im kritischen Rationalismus – mit Karl Popper als einem der bekanntesten Vertreter\*innen – die Annäherung an die Realität über die Falsifikation von Hypothesen im Vordergrund. Die unterschiedlichen wissenschaftstheoretischen Ansätze führen in der Didaktik der Naturwissenschaften häufig zu Verständigungsproblemen, wenn zum Beispiel Didaktiker\*innen mit stärkerer sozialwissenschaftlicher und stärkerer naturwissenschaftlicher Verortung über ihre Forschungsmethoden und -ergebnisse diskutieren. Während der explorative Ansatz, der dieser Studie zu Grunde liegt, vor einer gemäßigt konstruktivistischen Perspektive plausibel erscheint, ist dieser Ansatz beispielsweise vor einem kritisch rationalistischem Wissenschaftsverständnis nicht zu begründen. Eine weitere Schwierigkeit, die sich durch die unterschiedlichen vorherrschenden erkenntnistheoretischen Hintergründe der unterschiedlichen Bezugsdisziplinen der naturwissenschaftlichen Fachdidaktik zeigt, ist, dass in der Fachdidaktik zwischen unterschiedlichen erkenntnistheoretischen Rahmungen hin und her gewechselt wird, je nachdem auf welchen Ausschnitt die Aufmerksamkeit gerade gerichtet ist. So fiel mir beispielsweise in der Analyse meiner eigenen Metaphern im Rahmen

der Qualitätssicherung der systematischen Metaphernanalyse (s. Kapitel 6.5.2) auf, dass ich in einer früheren Textversion Ausdrücke wie ‚Identifizierung von metaphorischen Konzepten‘ verwendete. Allerdings bezieht sich das Wort Identifizierung auf den Quellbereich einer eindeutigen Bestimmung einer Person. Diese Metaphorik entspricht eher einem Wissenschaftsverständnis, das davon ausgeht, dass es eine von den Subjekten unabhängige Realität gibt, die nur noch aufgedeckt werden muss. Zu meinem konstruktivistischen Standpunkt passt der Begriff ‚Rekonstruktion‘ besser, der das metaphorische Konzept ‚Gedanken SIND Gebäude‘ widerspiegelt. Hierdurch wird mein interpretativer Anteil betont, da ich versuche die Basis der Vorstellungen systematisch ‚nachzubauen‘. Einen ähnlichen Vorwurf macht Schmitt (2011, S. 49–51) Lakoff und Johnson (s. Kapitel 3.2.6.1), die in der Darlegung ihrer Theorie selbst Metaphern verwenden, die nicht einer konstruktivistischen Perspektive entsprechen. Vor dem Hintergrund, dass in den Naturwissenschaften im Gegensatz zur Naturwissenschaftsdidaktik häufig ein kritisch realistisches Wissenschaftsverständnis vorherrscht (Kircher, 2015, S. 811), sollten auch Bezeichnungen innerhalb des Modells der didaktischen Rekonstruktion (s. Kapitel 3.2.2) kritisch betrachtet werden. So wird beispielsweise die Perspektive der Wissenschaftler\*innen innerhalb des Modells oft als ‚Fachliche Klärung unter Vermittlungsabsicht‘ adressiert (z. B. Kattmann u. a., 1997; Niebert, 2010; Trauschke, 2016). Die Bezeichnung ‚fachliche Klärung‘ sehe ich aus konstruktivistischer Perspektive problematisch. Das Wort ‚Klärung‘ wird hierbei nicht in seiner direkten Bedeutung verwendet, sondern auf den abstrakten Bereich der didaktischen Rekonstruktion übertragen und stellt somit nach Lakoff und Johnson (1980) eine Metapher dar (s. Kapitel 4.1.4.1).<sup>75</sup> Bezieht man die Klärungsmetapher auf den Quellbereich der „Beseitigung trübender Bestandteile“ („Klärung“, o. J.) dann bedeutet dies, dass nach einer Klärung keine Verunreinigungen mehr im geklärten Medium zu finden sind und dementsprechend ein Idealzustand erreicht werden kann. In der Übertragung auf den Zielbereich einer fachlichen Klärung unter konstruktivistischer Perspektive ist die Erreichung dieses Idealzustandes nicht möglich, denn auch wissenschaftlich erzeugtes Wissen kann nur vorläufig sein (McComas, 2014). Insofern kann der Zustand einer vollständigen fachlichen Klärung auch nach gemäßigt konstruktivistischer Sicht nie erreicht werden. Bezieht man den Begriff ‚Klärung‘ allerdings auf den Quellbereich eines Streitiges, dann entspricht dies eher einer

---

<sup>75</sup> Gropengießer (2008, S. 184) führt die Bedeutung des Begriffes ‚Klärung‘ etymologisch auf die jiddische Bezeichnung für den Prozess eines scharfen Durchdenkens eines Sachverhaltes zurück.

gemäßigt konstruktivistischen Sichtweise, denn eine Klärung in einem Streit kann nur in einem kontroversen Diskurs herbeigeführt werden, der verschiedene Standpunkte mit einbezieht. Der erreichte Endzustand dieser Klärung ist ein vorläufiger, der für diesen Moment in dieser sozialen Gruppe Zustimmung findet. Es handelt sich insofern mehr um eine Art ausgehandelten Konsens. Der Ausdruck fachliche Klärung ist insofern uneindeutig, weil unklar ist, auf welchen Quellbereich er sich bezieht. Aufgrund der unterschiedlichen erkenntnistheoretischen Hintergründe in Naturwissenschaften und Naturwissenschaftsdidaktik birgt der Terminus ‚fachliche Klärung‘ die Gefahr, dass er in einer Weise interpretiert wird, dass es nur ein richtiges fachliches Verständnis geben kann, das von den Schüler\*innen im Lernprozess genauso übernommen werden soll.

Die gemäßigt konstruktivistische Erkenntnistheorie, die dieser Arbeit zu Grunde liegt, spiegelt sich durchgängig im Forschungsdesign und in der Interpretation der Ergebnisse wider. Für Forschungsarbeiten in der Naturwissenschaftsdidaktik ist eine kritische Reflexion der konsequenten Einhaltung dieser Perspektive nötig, da Naturwissenschaft und Naturwissenschaftsdidaktik verschiedenen erkenntnistheoretischen Traditionen folgen. Ein Bewusstsein für diese epistemologischen Unterschiede ist hilfreich, um Konflikte und Verständnisprobleme zwischen den Disziplinen zu verstehen. Um das Verstehen des eigenen konstruktivistischen Denkansatzes zu erleichtern, ist es wichtig, konsequent darauf zu achten, dass die verwendeten sprachlichen Ausdrücke die Einnahme dieser Perspektive unterstützen. Der von Schmitt entwickelte Ansatz, der im Zuge der systematischen Metaphernanalyse die Reflexion eigener Metaphern vorsieht (s. Kapitel 6.5.2), leistet hierzu einen wichtigen Beitrag.

#### *Vermittlungsabsicht als immanente Heuristik des Modells der didaktischen Rekonstruktion*

Unter konstruktivistischer Perspektive erscheint das Modell der didaktischen Rekonstruktion unter Umständen trivial, da es lediglich die konsequente Umsetzung gemäßigt konstruktivistischer Theorien auf die Lehr-Lernsituation widerspiegelt (s. Kapitel 3.2.2, 6.2). Vor der oben beschriebenen Herausforderung unterschiedlicher epistemologischer Zugänge zu den Naturwissenschaften, erfüllt das Modell jedoch eine wichtige Funktion: Es verortet Forschung und/oder Unterrichtsplanung klar in einem gemäßigt konstruktivistischen Rahmen. Zudem beinhaltet das Modell der didaktischen Rekonstruktion eine implizite Heuristik, alle Entscheidungen auf Grundlage der Vermittlungsabsicht zu treffen. So wird das Ziel der gesamten Arbeit von der Vermittlungsabsicht im Kontext der Energiewende getragen. Es

sollen Leitlinien erstellt werden, die es Lehrpersonen ermöglichen, in der didaktischen Strukturierung von Lehr-Lerngelegenheiten zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern den Aufbau fachlich angemessenen Wissens zu fördern. Hierzu soll zwischen der Perspektive der Lernenden und einer wissenschaftlichen Perspektive vermittelt werden. Die Forschungsfragen implizieren für sich alleine genommen eine umfassende und uneingeschränkte Erhebung, Analyse und Vergleich von Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern der verschiedenen Perspektiven. Die Vermittlungsabsicht ermöglicht es, methodische und analytische Entscheidungen zu treffen, die sich auf das Ziel der Arbeit fokussieren. So konnte die Auswahl der Kategorien der Verfügbarkeit und der Auswirkungen der Energieträger für die weitere Untersuchung mit Hilfe der systematischen Metaphernanalyse mit der Vermittlungsabsicht begründet werden (s. Kapitel 7.3). Auch die Ausrichtung und Ziele der systematischen Metaphernanalyse werden durch die Vermittlungsabsicht mitbestimmt. Es geht nicht um die unvoreingenommene Rekonstruktion der Ursprünge metaphorischer Äußerungen, sondern um deren *didaktische* Rekonstruktion. Das heißt anders als in der kognitiven Linguistik (z. B. Lakoff & Johnson, 1980) und der systematischen Metaphernanalyse als allgemeine Methode der qualitativen Sozialforschung (Schmitt, 2017), erfolgt die Analyse und Interpretation metaphorischer Konzepte immer vor dem Hintergrund ihres Zweckes als Ausgangspunkt für die Strukturierung von Lehr-Lerngelegenheiten zu dienen.

Die Vermittlungsabsicht stellt meines Erachtens eine immanente Heuristik des Modells der didaktischen Rekonstruktion dar: Im Forschungsprozess werden Analysemethoden, Ergebnisse und deren Interpretation durchgängig vor dem Hintergrund der Frage bewertet, ob sie dem Aufbau eines fachlich angemessenen Verstehens dienen. Da auf diese Weise Ergebnisse produziert werden, die sich in realen Lehr-Lernprozessen als nützlich erweisen (sollen), sorgt das Modell der didaktischen Rekonstruktion für eine sehr starke Nähe zur Praxis. Die in dieser Studie entwickelten Leitlinien bieten konkrete Anhaltspunkte für die schulische Praxis, wie ein fachlich angemessenes Verstehen der Rolle verschiedener Gruppen von Energieträgern bei der Energiewende unterstützt werden kann. Wie wirksam diese Leitlinien im schulischen Vermittlungskontext sind, stellt eine Fragestellung für weitere Forschungsvorhaben dar.

Die Vermittlungsabsicht hat sich als übergeordnete Zielstellung der didaktischen Rekonstruktion in allen Schritten des Forschungsprozesses als hilfreich und handlungsleitend

erwiesen. Aufgrund dieser wichtigen Rolle halte ich es für angemessen, die Vermittlungsabsicht als heuristische Vorgehensweise explizit als eigenes spezifisches Qualitätskriterium für Forschung im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion zu benennen. Es lässt sich an jedem Schritt im Forschungsprozess überprüfen und begründen, inwiefern dieser Schritt einer Vermittlung zu einem fachlich angemessenen Verstehen im jeweiligen Kontext dient.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden für die Perspektive der Schüler\*innen deren gedanklichen Konstrukte anhand ihrer Äußerungen in der Interviewsituation rekonstruiert. Dabei ist kritisch anzumerken, dass es sehr schwierig ist, zu rekonstruieren, inwieweit es sich um eigene gedankliche Konstrukte der Lernenden handelt. Möglichweise wurden bestimmte sprachliche Ausdrücke mehr oder weniger reflektiert aus anderen Quellen übernommen. Einerseits kann argumentiert werden, dass diese äußeren Einflüsse für die Strukturierung von Lerngelegenheiten relativ unerheblich ist. Für die Förderung eines angemessenen Verstehens in einer bestimmten Lernsituation, zum Beispiel innerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichts, ist es lediglich entscheidend, welche Konzepte gegebenenfalls berücksichtigt werden müssen. Bei einer Erweiterung des Blickes auf Ziele, die den Lernenden langfristig eine gesellschaftliche Partizipation ermöglichen sollen, ist es meines Erachtens unerlässlich, äußere Einflüsse auf die Perspektive der Lernenden in die didaktische Rekonstruktion mit einzubeziehen. Der kontrastierende Hintergrund, der im Rahmen der systematischen Metaphernanalyse angefertigt wurde (s. Anhang), bietet hier einen hilfreichen Ansatzpunkt. Die systematische Analyse der Darstellung des Themas der Energiewende in verschiedenen Medien könnte aktiv in die didaktische Strukturierung miteinbezogen werden (Menthe & Hüfner, 2019). Ausschnitte aus den analysierten Texten könnten zur gemeinsamen Reflexion mit den Schüler\*innen als Lerngelegenheiten genutzt werden. Durch dieses Vorgehen könnten die Lernenden ein Bewusstsein für Einflüsse bestimmter Informationen auf ihre eigenen gedanklichen Konstrukte entwickeln. Zu untersuchen wäre außerdem, inwieweit dadurch die eigene Reflexions- und Bewertungskompetenz (Information Literacy) im Hinblick auf die Informationsflut aus den digitalen Medien gestärkt werden kann.

## 10.2 Reflexion des Forschungsdesigns

Inwiefern die Qualitätskriterien im Rahmen des Forschungsdesigns eingehalten wurden, wird im folgenden Abschnitt reflektiert. Zunächst werden dabei die Indikation der Methoden, die

Verallgemeinerbarkeit und die intersubjektive Nachvollziehbarkeit betrachtet (vgl. Kapitel 6.1). Anschließend werden bezüglich der empirischen Verankerung Herausforderungen bei Datenerhebung und Auswertung reflektiert.

#### *Indikation der Methoden*

Ziel der Studie war es, Lernhindernisse und Lernchancen zum Lernen der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Energiewende zu rekonstruieren, um diese besser zu verstehen. Die daraus resultierenden Anforderungen an die methodische Ausgestaltung der Studie konnte das gewählte Forschungsdesign gut erfüllen. Über die qualitative Inhaltsanalyse konnten die für das Verstehen der naturwissenschaftlichen Grundlagen bedeutendsten thematischen Kategorien identifiziert und das Datenmaterial für die weitere Analyse entsprechend reduziert werden. Über die systematische Metaphernanalyse konnten erfahrungsbasierte gedankliche Muster rekonstruiert werden, die zu einem tiefen Verstehen der Lernhindernisse und Lernchancen beitragen. Grenzen der eingesetzten Methoden und Ideen zu alternativen und ergänzenden Methoden finden sich unten in den spezifischen Reflexionsteilen.

#### *Verallgemeinerbarkeit*

In der vorliegenden Studie wurde erstmals die Vielfalt und Bandbreite von Schüler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern im Kontext der Energiewende erhoben. Die Probleme, die beim Verstehen der naturwissenschaftlichen Grundlagen zur Energiewende bei Lernenden in vorangegangenen Studien auftraten, konnten in dieser Studie reproduziert und darüber hinaus über die rekonstruierten Kategorien und metaphorischen Konzepte erklärt werden. Die rekonstruierten Kategorien stehen im Einklang mit Ergebnissen, die am Rande der Studie von Menthe (2006) erhoben wurden. Den rekonstruierten metaphorischen Konzepten liegen naturwissenschaftliche Schlüsselprinzipien wie Energiefluss und Stoffkreisläufe zu Grunde. Diese wurden bereits in anderen Kontexten wie zum Beispiel dem Klimawandel untersucht (s. Kapitel 4.3, 4.4). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie stehen dabei in Einklang mit den Befunden in anderen Kontexten. Aus diesen Übereinstimmungen lässt sich eine gewisse Verallgemeinerbarkeit ableiten.

Grenzen der Verallgemeinerbarkeit ergeben sich durch den qualitativen Charakter der Studie. Die Ergebnisse tragen zum besseren Verstehen der Lernhindernisse und Lernchancen im

Kontext der Energiewende bei. Zur Erhöhung der Verallgemeinerbarkeit ist es sinnvoll, die vorgeschlagenen Leitlinien empirisch sowohl mit qualitativen als auch mit quantitativen Methoden auf ihre Lernwirksamkeit zu überprüfen.

### *Intersubjektive Nachvollziehbarkeit*

Zur intersubjektiven Nachvollziehbarkeit ist eine gute Dokumentation des Forschungsprozesses von besonderer Bedeutung. Im Forschungsprozess wurden sowohl die Regeln für die Auswertung und Transkription (s. Anhang) als auch das Kategoriensystem schriftlich fixiert (Beispiel s. Anhang). In MAXQDA 11 wurde die Memofunktion genutzt, um Entscheidungen zu dokumentieren. Auch schwierige und strittige Fälle für die Diskussion in den Forschungswerkstätten wurden über Memos markiert. Zum Teil wurden in den Memos auch zusätzliche Informationen wie beispielsweise Bezüge zur Fachliteratur oder Definitionen hinterlegt. Begleitend wurde ein analoges Forschungstagebuch geführt und die Sitzungen in der Forschungswerkstatt audiographiert und teilweise zusätzlich protokolliert. Alle Dateien und Einträge wurden mit dem Datum der Erstellung oder Änderung versehen, sodass Änderungen zeitlich nachvollzogen werden können. In der Forschungswerkstatt wurde meist nicht mit dem MAXQDA-Projekt, sondern mit tabellarischen Auszügen und/oder den Originaltranskripten gearbeitet.<sup>76</sup> Die wechselnde Arbeit mit analogen und digitalen Medien führte dazu, dass Entscheidungen und Diskussionen zum Teil analog und digital in schriftlicher Form, zum Teil digital in Audioaufnahmen dokumentiert wurden. Um die Orientierung und das Auffinden der einzelnen Informationen zu erleichtern, wäre die kontinuierliche Führung einer Übersichtstabelle, welche die einzelnen Analyse- und Interpretationsschritte und die dazugehörigen analogen und digitalen Dokumente enthält, hilfreich gewesen.

### *Empirische Verankerung*

Bei der Erhebung und Analyse der Daten wurde systematisch und regelgeleitet vorgegangen. Weiter unten wird der Umgang mit Herausforderungen bei der Durchführung der Interviews, der Erhebung der Wissenschaftler\*innen-Vorstellungen ausführlich beschrieben. Auch auf besondere Herausforderungen bei der Kategorienbildung im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse und der systematischen Metaphernanalyse wird näher eingegangen.

---

<sup>76</sup> Nicht allen Mitgliedern stand die Software zur Verfügung und aufgrund der verwendeten Version und unterschiedlicher Betriebssysteme gab es Probleme mit der Kompatibilität.



### *Einflüsse auf die Schüler\*innen während der leitfadengestützten Interviews*

In der qualitativen Forschung wird eine angenehme und entspannte Atmosphäre zwischen interviewender und interviewter Person als notwendig betrachtet, um auswertbares Material zu erhalten (Steinke, 2007, S. 182). Trotz der in Kapitel 6.3.2 beschriebenen Maßnahmen ließen sich während der Interviews bei einigen Schüler\*innen Hinweise beobachten, dass sie in ihrem Antwortverhalten gehemmt sind. Erkennbar war dies zum Beispiel an einsilbigen Antworten. Dass das Setting in einigen Fällen auch die Inhalte der Interviews mit beeinflusste, lässt sich zum Beispiel an sozial erwünschten Antworten rekonstruieren. Beispiele hierfür sind Antworten aus dem in dieser Studie nicht weiter ausgewerteten Interviewteil zum Energiesparen. Die Lernenden führten hier beispielsweise an, dass sie zukünftig abends Kerzen anstatt elektrischen Lichts nutzen und auf Computerspielen verzichten würden. Durch den Wechsel von Einzelinterviews zu Tandeminterviews konnten wesentlich weniger Hinweise auf negative Einflüsse der ungewohnten Situation auf die Teilnehmenden beobachtet werden. Dennoch stellt sich die Frage, ob es den qualitativen Anforderungen der Studie entspricht, alle Interviews in die Auswertung mit einzubeziehen. Das Ziel der Studie ist es, Leitlinien für den Unterricht zu entwickeln, die ein angemessenes Verstehen erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger im Kontext der Energiewende unterstützen. Aus dieser Zielstellung ergibt sich der Untersuchungsgegenstand vorunterrichtlicher Vorstellungen auf einer rein kognitiven Ebene. Es ist nicht das Ziel der Studie, Einstellungen und Handlungsabsichten zu erfassen. Stattdessen soll ergründet werden, wie Lernende Begriffe und Zusammenhänge erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger und der Energiewende verstehen. Möglicherweise trauen sich die interviewten Schüler\*innen nicht, Vorstellungen frei zu äußern, wenn sie sich unsicher fühlen. Dies wird sich in der Regel durch einen geringeren Anteil an Narrationen bemerkbar machen und dadurch gegebenenfalls die Rekonstruktion von Vorstellungen erschweren. Um die unter Umständen auf nur wenigen Aussagen basierenden Rekonstruktionen abzusichern, wäre es hilfreich, strittige Aussagen den jeweiligen Interviewpartner\*innen zur kommunikativen Validierung erneut vorzulegen (Flick, 2007, S. 194; Schmitt, 2017, S. 523). Eine kommunikative Validierung war in dieser Studie leider nicht möglich, da die Interviews anonym durchgeführt wurden und sich bestimmten Aussagen nicht mehr bestimmten Personen zuordnen ließen. Dennoch konnten die Interviews hinsichtlich der zu Grunde liegenden kognitiven Konstrukte ausgewertet werden. Über die Anlehnung der Zahl der ausgewerteten Interviews an die Strategie des

theoretical Sampling (s. Kapitel 6) wurde dabei sichergestellt, dass die Vorstellungen (inklusive metaphorischer Konzepte) in ihrer Vielfalt möglichst vollständig erfasst wurden. Die Rahmenbedingungen und Besonderheiten der einzelnen Interviews wurden nach den Interviews schriftlich fixiert und sind zur besseren Nachvollziehbarkeit den einzelnen Transkripten als allgemeine Information vorangestellt.

Neben dem Einfluss der atmosphärischen Rahmenbedingungen der Interviews stellt sich zudem die Frage, welchen Einfluss die Interviewerin zum Beispiel über das Einbringen eigener Metaphern auf die Antworten der Schüler\*innen nimmt (Schmitt, 2017, S. 524). Um diesen Einfluss offen zu legen, wurden die Fragen der Interviewerin mit transkribiert und die Übernahme von bestimmten Wörtern und Redewendungen in den Antworten in den Zitaten gekennzeichnet (s. Kapitel 6.3.2, Abbildung 6).

Auffälliges Merkmal der Ergebnisse der Analyse der Schüler\*innenvorstellungen ist das Denken in Dichotomien. Dichotome Denkstrukturen konnten dabei sowohl in den Unterkategorien der qualitativen Inhaltsanalyse (s. Kapitel 7.1), als auch in den metaphorischen Konzepten (s. Kapitel 8.3.1 und 8.4.1) rekonstruiert werden. Es bleibt kritisch zu diskutieren, ob die Impulse im Interview die Ergebnisse in dieser Hinsicht beeinflusst haben. Die Lernenden wurden an einer bestimmten Stelle innerhalb der Interviews gebeten, Kärtchen mit neun verschiedenen Energieträgern nach erneuerbar und nicht-erneuerbar zu kategorisieren. Diese Intervention könnte begünstigen, dass die Schüler\*innen einer dichotomen Argumentation folgen, um die jeweiligen Zuordnungen zu erklären (Hüfner u. a., 2017). Dennoch gibt es Hinweise darauf, dass die Lernenden auch ohne die Vorgabe der Kategorien erneuerbar und nicht-erneuerbar zu dichotomen Erklärungsmustern tendieren. So redet Anton beispielsweise von ‚sauberen‘ und ‚dreckigen‘ Energieträgern, noch bevor die Termini erneuerbar und nicht-erneuerbar von der Interviewerin eingebracht wurden. Außerdem stellt sich die Frage, ob der weit verbreitete Ausdruck ‚erneuerbar‘ auch im Alltagskontext dichotomes Denken begünstigt. Um den Begriff erneuerbar zu definieren, müssen Zuordnungen von Energieträgern getroffen werden und es ergibt sich automatisch eine Gruppe, die unter diese Definition fällt und eine Gruppe, auf die diese Definition nicht zutrifft. Gerade diese einfache dichotome Struktur erweist sich für ein fachlich angemessenes Verstehen in der Analyse als problematisch (s. Kapitel 7.3). In der aktiven Adressierung dichotomer Vorstellungen von Energieträgern im Kontext der Energiewende liegt das Potential der unterrichtlichen Intervention. Auf dieser Basis kann eine Konfrontation mit

alternativen Konzepten erfolgen, die zu einer bewussten Reflexion des Begriffes ‚erneuerbar‘ führt (s. Kapitel 8.4).

Beim narrativen Impuls durch die Karten mit neun verschiedenen Energieträgern war nur auf einer der Karten Wasser abgebildet. ‚Wasser‘ kann sich jedoch einerseits auf den durch Solarenergie angetriebenen Wasserkreislauf beziehen (z. B. in einem System, in dem das Wasser zurück gehalten von einem Staudamm über potenzielle Energie verfügt), andererseits auf ‚Meeresenergie‘ angetrieben von den Gravitationskräften von Sonne und Mond (Wesselak u. a., 2017, S. 111). Da in beiden Fällen Wasser der Energieträger ist und sich hier nur die Quellen für die Energiezufuhr ins jeweilige System unterscheiden, ist dies auf einer Karte, die den Energieträger abbildet, nur schwer darstellbar. Zwei Karten mit Wasser würden die Schüler\*innen wahrscheinlich eher irritieren und von der Aufgabe ablenken, da beide Systeme den erneuerbaren Energien zuzuordnen sind. Wenn es um die Quellen geht, aus denen die verschiedenen Systeme erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger gespeist werden, dann wäre es eine Möglichkeit in einem weiteren Schritt eine zweite Wasserkarte hinzuzufügen und die Schüler\*innen dies im Hinblick auf die Unterschiede der jeweiligen Energiequellen begründen zu lassen. Da es mir in erster Linie um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern und nicht um die Unterschiede innerhalb dieser Kategorien ging, ist diese Reduktion meines Erachtens gerechtfertigt. In den Interviews erwähnte keine\*r der Lernenden Irritationen hinsichtlich dieser Karte.

#### *Auswahl der Texte für die Wissenschaftsperspektive*

Die Auswahl der wissenschaftlichen Texte wurde vor Beginn der gesamten Datenerhebung der Studie getroffen (s. Begründung im Forschungsdesign, Kapitel 6.4). Die Festlegung auf die Ausschnitte der WBGU-Gutachten (2003, 2011) erfolgte somit bereits vor der Rekonstruktion der Vorstellungen der Schüler\*innen. Bezüglich des zeitlichen Ablaufes der Analyse sollten die Vorstellungen der Schüler\*innen vor den wissenschaftlichen Vorstellungen inhaltlich rekonstruiert werden (s. Kapitel 6). Die vorab erfolgte Festlegung ist im Zusammenspiel mit der Reihenfolge der Analyse möglicherweise problematisch. Die gewählten wissenschaftlichen Texte könnten sich als ungeeignet für den Vergleich und die Kontrastierung erweisen. Dies wäre der Fall, wenn sich aus Schüler\*innenperspektive Aspekte als relevant herauskristallisieren, die in den ausgewählten wissenschaftlichen

Textausschnitten nicht adressiert werden. Ein Vergleich der verschiedenen Perspektiven wäre dann schwer möglich. In der deduktiven Anwendung der Hauptkategorien aus dem Material der Schüler\*innen auf die Ausschnitte der WBGU-Gutachten (2003, S. 47-79, 101-102, 2011, S. 117-128) bestätigte sich jedoch die Vergleichbarkeit. Über die Kategorien ‚Verfügbarkeit‘ und ‚Auswirkungen‘ gibt es inhaltliche Überschneidungen, die einen systematischen Vergleich ermöglichen. Nach Schmitt (2017, S. 526) besteht zudem eine der Gefahren in der qualitativen Forschung darin, dass nur aktiv nach bestimmten Informationen gesucht wird. Dadurch wird der Blick für abweichende Ergebnisse eingeschränkt. Durch die vorherige Festlegung der zu untersuchenden wissenschaftlichen Texte wird ein unvoreingenommenes Herangehen an die Inhaltsanalyse gefördert. Zusammen mit dem systematischen Vorgehen in der Auswertung (s. Kapitel 6.5.1) wurde die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass keine inhaltlich relevanten Aspekte übersehen wurden. So konnte die Hauptkategorie „Kosten“ aus den wissenschaftlichen Gutachten induktiv ergänzt werden (s. Kapitel 6.5.1.2).

Die beiden analysierten wissenschaftlichen Gutachten (WBGU, 2003, 2011) wurden von demselben Gremium erstellt. Deshalb könnte ein möglicher Kritikpunkt die Einseitigkeit der Auswahl sein. Da die Mitglieder des WBGU für die Dauer von vier Jahren berufen werden, setzte sich das Gremium zu den beiden Veröffentlichungszeitpunkten aus unterschiedlichen Wissenschaftler\*innen zusammen (WBGU, 2019a). Von den neun Beiratsmitgliedern waren lediglich zwei Mitglieder an beiden Gutachten beteiligt (WBGU, 2003, S. II, 2011, S. II). Über den gleichbleibenden Auftrag und die gleichbleibende Zielsetzung des WBGU ist zudem eine hohe Vergleichbarkeit der beiden Gutachten gegeben. Alternativ hätte eventuell ein Sonderbericht des Weltklimarates (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) „Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation“ (Edenhofer u. a., 2011) herangezogen werden können. Dieser beinhaltet allerdings nur eine Diskussion erneuerbarer Energiequellen. Außerdem ist der Bericht in englischer Sprache verfasst, was für eine systematische Metaphernanalyse problematisch ist. Durch die unterschiedlichen Sprachen könnte nicht ausgeschlossen werden, dass rekonstruierte metaphorische Unterschiede zwischen den Schüler\*innen und den Wissenschaftler\*innen kulturell bedingt sind.

Bedauerlich ist, dass für die Rekonstruktion der wissenschaftlichen Vorstellungen keine aktuelleren Alternativen zur Verfügung standen. Da insbesondere technologische Entwicklungen im Bereich der erneuerbaren Energiequellen mit rasanter Geschwindigkeit

vorangehen (Seba, 2014), ist davon auszugehen, dass manche Details in den wissenschaftlichen Berichten inzwischen nicht mehr aktuell sind. Inwiefern sich dies auch auf die verwendeten metaphorischen Konzepte auswirkt, wäre eine interessante Fragestellung. Der zeitliche Vergleich wäre auch in Bezug auf die beiden analysierten WBGU-Gutachten (2003, 2011) interessant, wurde aber im Rahmen dieser Studie nicht durchgeführt.

Um den Umfang des auszuwertenden Materials zu reduzieren, wurden im Vorweg bestimmte Ausschnitte aus den Gutachten festgelegt (s. Kapitel 6.4). In diesen Ausschnitten beschreiben und bewerten die Gutachter\*innen die einzelnen Energieträger. Im Nachhinein wies sich diese Einschränkung insbesondere beim Ausschnitt des WBGU-Gutachtens von 2011 (S. 117–128) als problematisch. So ließen sich in der systematischen Metaphernanalyse zum Beispiel im Hinblick auf das metaphorische Konzept ‚Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger IST ein Wirtschaftsgut‘ (s. Tabelle 22) nur Belege in dem Ausschnitt des Gutachtens von 2003 (WBGU, 2003, S.47–79) finden. Hierdurch könnte der Eindruck entstehen, dass zwischen den beiden Gutachten ein Konzeptwechsel stattgefunden hat. In der Explikation wurden im WBGU-Gutachten von 2011 allerdings auch Belege gefunden. Diese befanden sich nicht im schwerpunktmäßig untersuchten Abschnitt (WBGU, 2011, S. 117–128), sondern in den Abschnitten, in denen mögliche Zukunftsszenarien beschrieben werden. Eine systematische Analyse weiterer Abschnitte könnte somit möglicherweise ergiebig sein. Dadurch könnten bereits rekonstruierte metaphorische Konzepte gegebenenfalls mit weiteren Belegen bestätigt und unter Umständen weitere Denkmuster rekonstruiert werden.

#### *Kritische Betrachtung der Kategorienbildung innerhalb der qualitativen Inhaltsanalyse*

In verschiedenen Forschungswerkstätten, an denen sich in qualitativer Forschung erfahrene Wissenschaftler\*innen aus der Arbeitsgruppe beteiligten, wurden die Qualitätsmerkmale diskutiert und das Kategoriensystem entsprechend revidiert. Die einzelnen Hauptkategorien und Unterkategorien wurden nach den Qualitätsmerkmalen von Kuckartz (2016, S. 85) diskutiert. Die einzelnen Kategorien sollen disjunkt sein, das heißt sich klar und ohne Überschneidungen voneinander abgrenzen lassen. In Bezug auf diesen Punkt wurde beispielsweise diskutiert, ob es zwei oder vier Unterkategorien zur Verfügbarkeit geben sollte. Strittig war, ob sich die Unterkategorien ‚knapp‘ und ‚häufig‘ klar genug von den Kategorien ‚begrenzt‘ und ‚unbegrenzt‘ trennen lassen. Zusätzlich zeigte sich in der Reflexion hinsichtlich der Kommunizierbarkeit der Kategorien, dass in Bezug auf die Kategorie ‚häufig‘ die

Benennung missverständlich ist. Der Ausdruck kann, entgegen der festgelegten Definition, die sich auf eine Mengenangabe bezieht, auch zeitlich verstanden werden. Aufgrund der geschilderten Abgrenzungs- und Kommunikationsproblematik wurden jeweils die Kategorien ‚häufig‘ und ‚unbegrenzt‘ und ‚knapp‘ und ‚begrenzt‘ zusammengefasst und mit ‚unbegrenzt‘ und ‚knapp‘ benannt. Die Plausibilität wurde dahingehend überprüft, ob die Herleitung und Begründung des Kategoriensystems nachvollziehbar sind. Hierzu wurden die Definitionen und Ankerbeispiele des erstellten Kodiermanuals (Beispiel s. Anhang) herangezogen. Zur Kontrolle, ob die Anzahl der Kategorien erschöpfend ist und somit alle verschiedenen im Material enthaltenen Aspekte repräsentiert sind, wurden Beispiele diskutiert und zugeordnet, die nicht oder nur schwer zuordenbar waren. Die Präsentierbarkeit des Kategoriensystems wurde neben der Rückmeldung durch die Arbeitsgruppe in der Vorstellung der Haupt- und Unterkategorien in einer Übersichtstabelle (s. Tabelle 15) in Vorträgen auf wissenschaftlichen Konferenzen bestätigt. Neben diesen Merkmalen des Kategoriensystems und des Kodiermanuals wurden in den Forschungswerkstätten aber auch Zuordnungen zu den einzelnen Kategorien diskutiert. So wurden in den ersten Durchgängen des Materials vereinzelt Aussagen der WBGU-Gutachten (2003, 2011) den Kategorien ‚Erhaltung‘ und ‚Natürlichkeit‘ zugeordnet. In Diskussionen in der Forschungsgruppe konnte diese Zuordnung jedoch nicht aufrechterhalten werden.

Die Überarbeitung des Kodiermanuals und Kategoriensystems führte dazu, dass sich die Definitionen der Kategorien in den Kodiermanualen für die Analyse der Interviewtranskripte und der wissenschaftlichen Texte teilweise voneinander unterscheiden. Beispielsweise gibt es eine Hauptkategorie ‚generelle Verfügbarkeit‘ der Energieträger. Im Kodiermanual für die Analyse der Perspektive der Schüler\*innen beinhaltet die Definition dieser Hauptkategorie Aussagen, die „Energieträger und/oder -quellen [...] durch die verfügbare Menge“ (s. Beschreibung Tabelle 13) charakterisieren. Im Kodiermanual für die Analyse der Perspektive der Wissenschaftler\*innen musste diese Definition einerseits neben dem stofflichen um einen energetischen Aspekt der Menge („(Energie-)Menge“) erweitert und andererseits mussten Aspekte von Raum und Zeit mit aufgenommen werden. Diese Aspekte zeigten sich auch in den Kodings. In der Folge wurden bei den wissenschaftlichen Texten andere Unterkategorien als bei den Schüler\*innen gebildet. Beispielsweise ist die oben beschriebene Erweiterung der Hauptkategorie ‚generelle Verfügbarkeit‘ im Kodiermanual für die Analyse der wissenschaftlichen Perspektive auch in den untergeordneten Kategorien abgebildet. Während

bei den Schüler\*innen im analysierten Material ausschließlich Mengenaspekte in den Aussagen enthalten waren, spielten bei den Wissenschaftler\*innen auch zeitliche und räumliche Aspekte eine Rolle. Diese wurden in einer zusätzlichen Kategorieebene neben ‚(Energie-)Menge‘ als ‚räumlich‘ und ‚zeitlich‘ erfasst (s. Anhang).

#### *Kritische Betrachtung der Rekonstruktion und Interpretation metaphorischer Konzepte*

In mehreren Forschungswerkstätten wurden Metaphern gemeinsam identifiziert und metaphorische Konzepte rekonstruiert (s. Abbildung 8). Mit den in der systematischen Metaphernanalyse erfahrenen Forschenden wurde zudem über die „Kohärenz, Anzahl und Sättigung der metaphorischen Konzepte“ (Schmitt u. a., 2018, S. 92) diskutiert. In Bezug auf die Kohärenz wurde die Stimmigkeit, der in einem metaphorischen Konzept zusammengefassten metaphorischen Wendungen hinsichtlich der Übereinstimmung von Quell- und Zielbereich diskutiert. In der Forschungsgruppe wurde in der gemeinsamen Rekonstruktion gleichsam überprüft, ob die Anzahl der metaphorischen Konzepte die Vielzahl an gedanklichen Mustern angemessen repräsentiert und die einzelnen metaphorischen Konzepte ausreichend mit Beispielen belegt werden können (Sättigung).

Wichtig in Hinblick auf die Qualität der systematischen Metaphernanalyse ist, dass die auf die Fragestellung bezogenen Metaphern möglichst vollständig erhoben, interpretiert und dargestellt werden (Schmitt, 2017, S. 526). Neben der Diskussion in Forschungsgruppen führte das systematische Vorgehen (s. Abbildung 8), das sich auf einen klar definierten Metaphernbegriff (s. Kapitel 3.2.6.1) bezieht, zu einer Rekonstruktion einer Vielfalt von metaphorischen Konzepten, die auch gegensätzliche und widersprüchliche Beispiele miteinschließt. Das Einüben der Methode durch die Erstellung eines kontrastierenden Hintergrundes (s. Kapitel 6.5.2; s. Anhang) war hilfreich, um die metaphorischen Wendungen am Analysematerial lückenlos zu erfassen. Das induktive Vorgehen der Rekonstruktion der metaphorischen Konzepte an den Originaltranskripten und -texten stellte dabei sicher, dass der Blick nicht durch die aktive Suche bestimmter Metaphern eingeengt wurde. Besonders hilfreich war in diesem Prozess der mehrmalige Materialdurchgang. Während die ersten Materialdurchgänge von einer sehr offenen Herangehensweise gekennzeichnet waren, bei der zunächst alle Metaphern farblich hervorgehoben wurden, spezifizierten sich die rekonstruierenden Schritte in den weiteren Materialdurchgängen (s. Abbildung 8). Über die

Zuordnung von Schemata (s. Kapitel 3.2.5) wurde zudem die Rekonstruktion von Quellbereichen erleichtert, die nicht auf den ersten Blick erkenntlich waren.

Aufgrund der geringen Anzahl an Proband\*innen stellt sich die Frage der Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse. Um hier zu einer fundierten Abschätzung zu gelangen, wurden die Ergebnisse aus systematischer Metaphernanalyse und qualitativer Inhaltsanalyse miteinander in Beziehung gesetzt (s. Kapitel 8.3.3 und 8.4.3). Darüber hinaus wurden die Ergebnisse vor dem Stand der Forschung (s. Kapitel 4) diskutiert und der kontrastierende Hintergrund zum Vergleich herangezogen. Für die Explikation wäre es dabei hilfreich gewesen, über Volltranskripte aller Interviews zu verfügen. Dadurch wäre gegebenenfalls eine Triangulation innerhalb des Interviews möglich gewesen, wenn die gleichen oder andere metaphorische Konzepte zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgegriffen werden.

Zusätzlich könnte es gewinnbringend sein, in der systematischen Metaphernanalyse den Blick für neuere Entwicklungen in den aktuellen Forschungsmethoden der Linguistik zu weiten. So könnte zum Beispiel die computergestützte Linguistik zur leichteren Auswertung größerer Textkorpora herangezogen werden. Dieses Vorgehen könnte die Interpretation der Ergebnisse durch quantitative Analysen stützen und ergänzen. Über die quantitative Auswertung könnten Aussagen über die Häufigkeit verschiedener metaphorischer Konzepte und bestimmter Frames in verschiedenen Textarten (wissenschaftlich, medial, alltagssprachlich, mündlich, schriftlich, ...) getroffen und in die didaktische Rekonstruktion mit einbezogen werden.

### 10.3 Relevanz für Forschung und Unterricht

Im folgenden Abschnitt wird diskutiert, welchen Beitrag die vorliegende Arbeit innerhalb der Lehr- und Lernforschung leistet. Neben dem Beitrag zur Vorstellungsforschung wird auch die Relevanz für die Praxis diskutiert. Dabei wird einerseits formale Bildung im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den Blick genommen. Andererseits wird auch die Nützlichkeit für gesellschaftliche Zusammenhänge und den Kontext nachhaltiger Entwicklung reflektiert.



### *Studie adressiert Forschungslücke zur Vorstellungsforschung im Kontext der Energiewende*

Die vorliegende Studie zeigt, dass es möglich und nötig ist, sich in der fachdidaktischen Forschung gesellschaftlich relevanten Themen wie Energiewende und Klimawandel zu widmen. Obwohl diese Kontexte komplex und zwangsläufig interdisziplinär sind, lassen sich im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion konkrete Ansatzpunkte für die Förderung eines angemessenen Verstehens ableiten. Niebert konnte diesen Nutzen 2010 bereits für den Klimawandel zeigen. Diese Arbeit liefert konkrete Leitlinien für den Kontext der Energiewende.

Für die Frage, welche Lernvoraussetzungen Schüler\*innen im Kontext der Energiewende mitbringen, musste bislang auf Studienergebnisse zurückgegriffen werden, die einzelne Aspekte in den Blick nehmen. So sind beispielsweise Vorstellungen von Lernenden zum Energiebegriff ein gut untersuchtes Feld in der Physikdidaktik (s. Kapitel 4.1). Auch gedankliche Konstrukte im Zusammenhang von Stoff- und Energieströmen wurden insbesondere im biologischen Kontext bereits erforscht (s. Kapitel 4.4). Ein wenig spezifischere Ergebnisse liefern dahingegen Studien, die sich mit Kohlenstoffströmen zum Beispiel im Kontext des Klimawandels beschäftigen (s. Kapitel 4.3) sowie Untersuchungen, die am Rande ihres eigentlichen Forschungsschwerpunktes Probleme beim Verstehen von erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern konstatieren (s. Kapitel 4.2). Die vorliegende Studie rekonstruiert die Vorstellungen der Lernenden hingegen durchgehend im Kontext der Energiewende. Außerdem werden die gedanklichen Konstrukte der Schüler\*innen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern in ihrer Vielfalt erfasst (s. Kapitel 7.1, 8.3.1, 8.4.1). Über die Rekonstruktion der erfahrungsbasierten Hintergründe dieser Vorstellungen lassen sich Schwierigkeiten im Verstehen und in der Unterscheidung erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energieträger erklären. Gleichsam lassen sich begründete Ansatzpunkte für die Förderung eines angemessenen Verstehens ableiten. Dies geschieht im Rahmen der didaktischen Rekonstruktion insbesondere im systematischen Vergleich mit der wissenschaftlichen Perspektive unter Vermittlungsabsicht (s. Kapitel 7.3, 8.3.3, 8.4.3). Das Modell der didaktischen Rekonstruktion als Forschungsrahmen führt hierbei zu Ergebnissen, den didaktischen Leitlinien, die auf die praktische Anwendung in Lehr-Lernsituationen ausgerichtet sind.

### *Relevanz der Ergebnisse für die schulische Praxis*

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht bietet die vorliegende Studie entsprechend des Modells der didaktischen Rekonstruktion drei verschiedene Ansatzpunkte (s. Kapitel 3.2.2). Über die Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden den Lehrpersonen Informationen zur Verfügung gestellt, mit welchen Vorstellungen die Schüler\*innen vermutlich in den Unterricht zur Energiewende kommen könnten. So ist es zum Beispiel wahrscheinlich, dass einige der Lernenden denken, dass erneuerbare Energieträger zyklisch wiederverwendet werden (s. Kapitel 8.2). Gleichzeitig wird über die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage geklärt, welche Vorstellungen aus wissenschaftlicher Perspektive relevant sind. Die unter Vermittlungsabsicht analysierten wissenschaftlichen Vorstellungen können den Lehrkräften einerseits Erklärungen für Verstehensprobleme aufzeigen, andererseits aber auch Ansatzpunkte zur Förderung eines angemessenen Verstehens bieten. So zeigt sich zum Beispiel, dass die Wissenschaftler\*innen in Bezug auf Energie Metaphern verwenden, die sich auf stoffliche Quellbereiche beziehen (s. Kapitel 8.3.2). Dies verstärkt die Schwierigkeit für die Lernenden, zwischen stofflicher und energetischer Betrachtungsweise zu differenzieren. Gleichzeitig werden in Bezug auf die Energie Flussmetaphern verwendet, die bestimmte Aspekte wie den Prozess des Energieflusses durch ein bestimmtes System und die Bilanzierbarkeit der Energiemengen verdeutlichen (s. Kapitel 8.3.2.1). Durch den bewussten Einsatz dieser Flussmetaphern können die genannten Aspekte auch im Kontext der Energiewende verdeutlicht werden. Durch den Vergleich der Perspektive der Lernenden und der Wissenschaftler\*innen im Rahmen der dritten Forschungsfrage können Lehrpersonen darüber hinaus konkrete Leitlinien zur Verfügung gestellt werden, wie sie verschiedene Aspekte der Umstellung auf erneuerbare Energieträger im Unterricht adressieren können (s. Kapitel 8.4). In den Leitlinien werden hierfür verschiedene Ansatzpunkte für verschiedene Aspekte wie zum Beispiel die Problematik der Verfügbarkeit verschiedener Energieträger oder die Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger vorgestellt. Nach wie vor zeigt sich, dass das Thema äußerst komplex ist und dass es deshalb keine einheitliche Strategie geben kann, die Energiewende zu unterrichten. Je nach Fokus und Perspektive müssen andere Aspekte der Energiewende in den Mittelpunkt des Unterrichts gestellt werden. In den Leitlinien werden dabei keine Leitlinien für einzelne naturwissenschaftliche Fächer aufgestellt. Bestimmte Aspekte der Energiewende sind für Biologie, Chemie oder Physik sicherlich mehr oder weniger relevant. So wird die Chemie sich mehr mit kohlenstoffbasierten Energieträgern

auseinandersetzen und mit den entsprechenden Verbrennungsprodukten, während das Fach Biologie wahrscheinlich eher Energieträger wie Biomasse oder auch fossile Brennstoffe in den Fokus nimmt, die an fotosynthetische Prozesse gekoppelt sind. In der Physik stehen hingegen energetische Prozesse wie der Energietransfer zwischen verschiedenen Systemen im Vordergrund. Stoffliche Aspekte und entstehende Nebenprodukte spielen hier eine eher untergeordnete Rolle. Aus dieser sicherlich nicht allumfassenden Auflistung fachlicher Anknüpfungspunkte zeigt sich schon, dass die unterrichtliche Aufarbeitung des Kontextes der Energiewende einen fächerübergreifenden Ansatz benötigt. Keines dieser naturwissenschaftlichen Fächer kann alleine alle nötigen Konzepte bereitstellen, die für ein angemessenes Verstehen des Kontextes nötig sind. Dabei kommt noch hinzu, dass das äußerst relevante Fach Geographie in dieser Auflistung noch keine Berücksichtigung findet. Darüber hinaus lässt sich an den Ergebnissen der Studie erkennen, dass selbst dieser das Fach Geographie einschließende Rahmen noch zu eng gesteckt ist. So zeigte sich in der Analyse der wissenschaftlichen Vorstellung die enorme Bedeutung ökonomischer Aspekte, die hier noch gänzlich unberücksichtigt sind (s. Kapitel 7.2).

Neben den Leitlinien für die inhaltliche Ausgestaltung eines Unterrichtes der verschiedene Energieträger im Kontext der Energiewende adressiert, regt die vorliegende Studie zu einer bewussten Reflexion der verwendeten Sprache an. Zum einen zeigt sich, dass eine kritische Reflexion von Unterrichtssprache und Fachsprache hinsichtlich der unbewusst mittransportierten Bedeutungen nötig ist, die von den Quellbereichen der verwendeten Metaphern ausgehen. Zum anderen sollte sich aber auch jede Lehrperson darüber bewusstwerden, dass „[m]an [...] nicht nicht-metaphorisch sprechen [kann]“ (Schmitt, 2019, S. 14). Dies fällt insbesondere Naturwissenschaftler\*innen manchmal schwer zu verstehen, da diese besonders geübt sind, sich in einer Formelsprache ohne Worte exakt präzise und objektiv auszudrücken. Sobald Personen aber sprachliche Ausdrücke benutzen, um die beschriebenen oft abstrakten Phänomene mit Worten zu erklären, können sie nicht anders als metaphorische Wendungen zu benutzen. Eine exakte Übereinstimmung des Quell- und des Zielbereiches gibt es nicht, weshalb immer bestimmte Aspekte betont und verschleiert werden. Die Fachdidaktik und die dazugehörige Forschung sollte dementsprechend ein stärkeres Selbstverständnis entwickeln, in dem eine bewusste auch im Unterricht thematisierte Reflexion der Chancen und Grenzen der benutzten Ausdrücke genauso selbstverständlich wird wie das Aufzeigen von Grenzen im Unterricht verwendeter Modelle.

Über bestimmte Ausdrücke, die im Kontext der Energiewende in Bezug auf die Charakterisierung verschiedener Energieträger verwendet werden, gibt diese Arbeit Aufschluss. Hilfreich wäre es, wenn aus den Leitlinien eine konkrete Handreichung für Lehrpersonen oder Schulbuchautor\*innen entstehen könnte, die aufschlüsselt, welche Worte welches Verstehen unterstützen können. Ohne Frage müssen die Termini ‚erneuerbar‘ und ‚nicht-erneuerbar‘ kritisch reflektiert werden. Andere wichtige metaphorische Ausdrücke, wie ‚Energieträger‘ und ‚Energiequellen‘, wurden in der vorliegenden Studie in den Interviews bewusst vermieden, um die Lernenden möglichst wenig zu beeinflussen. Da diese Wörter in der Kommunikation über die Energiewende sowohl von den Wissenschaftler\*innen (WBGU, 2003, 2011) als auch in den Medien (s. kontrastierender Hintergrund, Anhang) – aber im Gegensatz zu den Lernenden – häufig verwendet werden, wäre es wichtig zu erproben, wie diese von den Schüler\*innen verstanden werden.

Da Schüler\*innen insbesondere in gesellschaftlich relevanten Kontexten wie der Energiewende auch durch die Medien mit Ausdrücken konfrontiert werden, die sich möglicherweise von denen der Wissenschaftler\*innen unterscheiden, wäre es gegebenenfalls sinnvoll, einen kontrastierenden Hintergrund systematisch in die didaktische Rekonstruktion mit einzubeziehen (s. Kapitel 10.1). Diesem Argument könnte entgegengehalten werden, dass die medialen Einflüsse in den vorunterrichtlichen Vorstellungen der Lernenden bereits enthalten sein müssten und deshalb in dieser Perspektive indirekt miterfasst werden. Bei gesellschaftlich relevanten Kontexten wie der Energiewende im naturwissenschaftlichen Unterricht geht es aber insbesondere darum, den Schüler\*innen ein Wissen zu vermitteln, dass diesen gesellschaftliche Partizipation ermöglicht. Im gesellschaftlichen Anwendungsfeld sind die Bürger\*innen in besonderem Maße auch medialen Einflüssen ausgesetzt, sodass dieser Aspekt meines Erachtens stärker in den Blick genommen werden müsste, als bei Themen, die sich stärker auf eine der naturwissenschaftlichen Disziplinen beziehen. Wenn wir wollen, dass sich Schüler\*innen aktiv an gesellschaftlichen Entscheidungs- und Diskussionsprozessen beteiligen können, muss das Modell der didaktischen Rekonstruktion meines Erachtens erweitert werden. So sollte die Perspektive der Wissenschaft neben der fachlichen Klärung unter Vermittlungsabsicht auch Fragen der ‚Natur der Naturwissenschaften‘ (s. Kapitel 3.2) mitadressieren, um unsichere Evidenzen richtig einschätzen zu können. Werden wissenschaftliche Erkenntnisse im gemäßigt konstruktivistischen Sinne als durch bestimmte Vorgehensweisen abgesicherte und fundierte

zugleich aber aktiv konstruierte und daher gegebenenfalls in bestimmten Aspekten revidierbare Konstrukte verstanden, werden unsichere Vorhersagen möglicherweise eher als Normalität wahrgenommen und nicht dazu genutzt, wissenschaftliche Erkenntnisse generell in Frage zu stellen.

Außerdem ist es innerhalb der didaktischen Rekonstruktion meines Erachtens zwingend nötig, sich mit den Konzepten auseinanderzusetzen, die in der öffentlichen Debatte eine Rolle spielen. Die zum Beispiel von Politiker\*innen beziehungsweise verschiedenen politischen Parteien oder den Medien eingebrachten Äußerungen können nur durch das aktive Einbeziehen in den Unterricht von den Lernenden in einen naturwissenschaftlichen Kontext eingeordnet werden. Die Schüler\*innen müssen lernen, Perspektiven verschiedener Interessensgruppen einzunehmen und zu verstehen. Nur so können sie ihre Bewertungskompetenz in die gesellschaftliche Beteiligung hineinbringen und ihre durch die Auseinandersetzung im naturwissenschaftlichen Unterricht fundierten Überzeugungen vertreten und Gegenargumenten standhalten.

#### *Relevanz der Ergebnisse im gesellschaftlichen Kontext*

Die Ergebnisse der Studie sind nicht nur in schulischen Kontexten relevant, sondern bieten auch interessante Aspekte für andere gesellschaftliche Akteure, die über die Energiewende kommunizieren. So haben zum Beispiel auch NGOs, gesellschaftliche Bewegungen (z. B. Fridays for Futures) oder auch Behörden oder Forschungseinrichtungen Interesse daran, Sachinformationen zur Energiewende so zu kommunizieren, dass sie von naturwissenschaftlichen Laien gut verstanden werden können. Durch eine bewusste Wahl angemessener Ausdrücke können Aspekte betont werden, die das jeweilige Anliegen unterstützen. Geht es beispielsweise um die Kohlenstoffdioxidemissionen als Auswirkung der Nutzung verschiedener Energieträger, ergibt es Sinn, von kohlenstofffreien oder kohlenstoffarmen Energieträgern statt von erneuerbaren Energieträgern zu sprechen. Geht es um die Abkehr von fossilen Brennstoffen, aufgrund ihrer klimaschädlichen Wirkung, ist es sinnvoll dies auch in den Ausdrücken zu verdeutlichen und von Kohle, Erdöl und Erdgas als klimaschädigenden Energieträgern zu sprechen.

Geht es um die Kommunikation der Energiewende kann diese Arbeit zudem sowohl im schulischen als auch im gesellschaftlichen Kontext einen Beitrag dazu leisten, gewählte Ausdrücke und Bezeichnungen kritisch zu betrachten und fachlich einzuordnen. Dabei ist es

insbesondere wichtig, zu der Erkenntnis zu gelangen, dass sprachliche Kommunikation ohne Metaphern nicht möglich ist. Eine kommunizierende Person verwendet unbewusst Metaphern, die auf ihren eigenen Erfahrungen oder auch auf zum Beispiel aus den Medien übernommenen Ausdrücken beruht. Sie kann aber auch bewusst Metaphern einsetzen, die ein Verstehen der eigenen Haltung (ggf. der naturwissenschaftlichen Hintergründe) unterstützen. Der bewusste Einsatz von Metaphern ist jedoch ein Punkt, der immer wieder Diskussionen auslöst, weil sich Menschen manipuliert fühlen (s. z. B. Skandal um ein Framing Gutachten der ARD (Cwiertna, 2019)). Hierbei gilt es sich bewusst zu machen, dass bestimmte Metaphern von verschiedenen Gruppen (z. B. auch AfD, Trump, Rechtsradikale, Verschwörungsgläubige) bewusst eingesetzt werden (Beispiel saubere Kohle). Wir alle können aber über abstrakte Themen nicht ohne Metaphern kommunizieren. Das heißt, es obliegt unserer eigenen Verantwortung, kritisch zu überprüfen, welche Ausdrücke wir übernehmen wollen und ob diese unseren Werten, unserer Überzeugung oder sogar naturwissenschaftlichen Erkenntnissen widersprechen. Insbesondere in Hinblick auf die mangelnde Akzeptanz und Popularität nötiger Maßnahmen zur Energiewende, wie zum Beispiel der Schaffung der erforderlichen Infrastruktur für den Ausgleich von Schwankungen in der Verfügbarkeit von Wind- oder Solarenergie oder den Transport von energiereicher in energiearme Regionen, könnte eine Kommunikation, welche die dahinterstehenden Werte und die naturwissenschaftliche Notwendigkeit betont, eine entsprechende Umsetzung unterstützen.

### *Reflexion der Studie und ihrer Ergebnisse im Kontext nachhaltiger Entwicklung*

Wie bereits in der Einleitung beschrieben, ist die Energiewende ein Thema nachhaltiger Entwicklung. Dies lässt sich unter anderem daran erkennen, dass sich die Herausforderung der Transformation der Energieversorgung über ökologische, soziale, ökonomische und auch kulturelle Aspekte hinweg erstreckt. Die Gesamtproblematik ist somit nur interdisziplinär erfassbar und transdisziplinär, das heißt unter Einbeziehung verschiedenster nicht-wissenschaftlicher gesellschaftlicher Akteur\*innen, bearbeitbar (s. Kapitel 2). In der vorliegenden Studie wurden zur Reduktion der Komplexität für die Lernenden und aufgrund der Ausrichtung auf den naturwissenschaftlichen Unterricht viele der genannten Aspekte vernachlässigt. In der Zielsetzung und den Forschungsfragen wurden die naturwissenschaftlichen Hintergründe adressiert, das heißt ökologische Aspekte wurden fokussiert, soziale und ökonomische Aspekte weitestgehend ausgeblendet. In der Analyse der

Vorstellungen der Wissenschaftler\*innen zeigt sich jedoch, dass soziale und ökonomische Aspekte für die gesellschaftliche Debatte von entscheidender Bedeutung sind (s. Kapitel 7.2). Diese Aspekte sollten deshalb sowohl in zukünftigen Forschungsvorhaben als auch bei der Thematisierung der Energiewende im naturwissenschaftlichen Unterricht mit einbezogen werden. Gegebenenfalls lassen sich, wie bereits oben erwähnt, weitere Anknüpfungspunkte zur fächerübergreifenden Zusammenarbeit mit gesellschaftswissenschaftlichen Fächern wie zum Beispiel Wirtschaft oder Ethik finden.

Bei der Betrachtung der Strategien zu nachhaltiger Entwicklung (s. Kapitel 3.1.2) fällt auf, dass in der vorliegenden Studie auf inhaltlicher Ebene hauptsächlich die Konsistenzstrategie adressiert wird. Es geht um die Hintergründe der Umstellung auf umweltverträglichere Energieträger. Effizienz- und Suffizienzstrategie bleiben weitgehend unberücksichtigt. Diese beiden Strategien wurden in den leitfadengestützten Interviews allerdings bewusst mitadressiert (s. Kapitel 6.3.2). Die Auswertung der entsprechenden Teile der Interviews könnte Aufschluss über Vorstellungen zu diesen beiden Strategien geben. Die Ergebnisse könnten für eine gezielte didaktische Strukturierung genutzt werden, die das Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe von Maßnahmen fördert, die auf Effizienz und Suffizienz ausgerichtet sind. Hierzu könnten auch geeignete Framings herangezogen werden, die im Rahmen dieser Studie aus den wissenschaftlichen Studien rekonstruiert wurden (s. Kapitel 8.1). So könnte zum Beispiel die Rahmung der Energiewende als ‚Kampf‘ gegen die klimaschädigende Nutzung von Energieträgern für die Umsetzung der Suffizienzstrategie genutzt werden. Hierbei müsste klargestellt werden, dass jegliche Energienutzung Schäden verursacht und das Klima somit durch Verzicht geschützt wird.

Zusätzlich zu den oben genannten Strategien nachhaltiger Entwicklung führen einige Autor\*innen (z. B. Stoltenberg & Michelsen, 1999) die Bildungsstrategie als eigene Strategie auf. Der Schule und dem naturwissenschaftlichen Unterricht kommt mit seinem Bildungsauftrag hierbei eine besondere Rolle zu. Bildung für nachhaltige Entwicklung wird zunehmend in den länderspezifischen Curricula verankert. Das Thema Energiewende bietet sich wie bereits oben erläutert im Kontext nachhaltiger Entwicklung als Lerngegenstand an. Nach Rost, Lauströer und Raack (2002) sind der Erwerb von Systemkompetenz, Bewertungskompetenz und Gestaltungskompetenz das Ziel einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. In der vorliegenden Arbeit wird hauptsächlich die Systemkompetenz adressiert. Die komplexen Erdsysteme, die mit der Nutzung verschiedener Energieträger verbunden sind,

werden in verschiedenen Ausschnitten und Perspektiven betrachtet. So wird einerseits die Perspektive der Verfügbarkeit verschiedener Energieträger und andererseits die Perspektive der Auswirkung der Nutzung verschiedener Energieträger eingenommen. Zusätzlich können insbesondere bei der Betrachtung der Auswirkungen der Nutzung verschiedener Energieträger verschieden große Systemausschnitte betrachtet werden. So lässt sich einerseits der reine Umwandlungsprozess in die intendierte Energieform, zum Beispiel in einem Kraftwerk, miteinander vergleichen oder die Gesamtbilanz eines Energieträgers von der Ressourcenextraktion über die Errichtung benötigter Infrastruktur bis hin zu Rückbau und Entsorgung (s. Kapitel 9.2). In den Leitlinien zum Aufbau einer integrierten Perspektive werden darüber hinaus Ansatzpunkte besprochen, wie weitere Aspekte – auch über die ökologischen Systeme hinaus – mit in den Unterricht eingebracht werden können (s. Kapitel 9.3). Mit einem naturwissenschaftlich angemessenen Verstehen der Hintergründe der Energiewende geht Wissen einher, das für Bewertungssituationen wichtig ist: Wissen über die Verfügbarkeit und die Auswirkungen der Nutzung der Energieträger ermöglichen einzuschätzen, wie eine nachhaltige Energieversorgung aussehen könnte. Aus diesem Wissen lässt sich ableiten, wie bestehende Energiesysteme umgebaut werden müssten, um dies zu erreichen. Dennoch ist zu bedenken, dass über das Wissen nur einer der drei Kompetenzbereiche (Wissen, Bewerten, Handeln) von Scientific Literacy, der durch den naturwissenschaftlichen Unterricht anzustrebenden naturwissenschaftlichen Grundbildung, adressiert wird (Gräber, Nentwig, & Nicolson, 2002). Da zwischen Wissen und Handeln nur ein geringer Zusammenhang besteht (de Haan & Kuckartz, 1996), ist es wahrscheinlich, dass das Verstehen der naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende wenig Auswirkungen auf das Handeln der Lernenden hat. Trotzdem kann das Wissen, dessen Vermittlung mit den Ergebnissen dieser Studie erleichtert werden soll, helfen, Informationen zu vermeintlich sauberer Kohle in den Medien (Götze, 2019) richtig einzuordnen und die Problematik hinter der Diskussion um die Abschaltung von Kernkraftwerken und Erdgaskraftwerken zu verstehen.

In Hinblick auf Bewertungs- und Gestaltungskompetenz ist Wissen alleine über die naturwissenschaftlichen Hintergründe der Energiewende nicht ausreichend. Beispielsweise ist auch Wissen über psychologische Mechanismen sinnvoll. So könnte zum Beispiel eine reine Fokussierung auf die Konsistenzstrategie mit der Umstellung auf kohlenstoffarme Energieträger auch einen Rebound-Effekt (Madlener & Alcott, 2011) zur Folge haben. Die Lernenden würden demnach großzügiger mit Energie umgehen und gegebenenfalls mehr



Energie nutzen, wenn durch die Umstellung der Energiesysteme weniger Emissionen entstehen. Dies lässt sich zum Beispiel sehr anschaulich an der Autoindustrie beobachten. So hat die Erfindung sparsamerer Motoren nicht zu Autos mit weniger Emissionen geführt, weil gleichzeitig immer leistungsstärkere Motoren verbaut und gekauft werden.

Nachhaltige Entwicklung ist ein Terminus, der ursprünglich aus der Forstwirtschaft stammt (s. Kapitel 2). Die Bedeutung der Bildung für den Prozess einer nachhaltigen Entwicklung wurde auf dem UN-Weltgipfel in Johannesburg festgeschrieben und in der Folge von der UN-Vollversammlung eine Weltdekade zur „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“ ausgerufen (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 20). Über politische und gesellschaftliche Prozesse hat Bildung für eine nachhaltige Entwicklung somit in die formale Bildung und in die Curricula (z. B. Kultusministerkonferenz, 2004) Einzug erhalten. Geht es um die unterrichtliche Umsetzung, ist es in der Fachdidaktik zur heutigen Zeit selbstverständlich, Inhalte entsprechend der kognitiven Lernvoraussetzung der Zielgruppe zu strukturieren (z. B. Barke u. a., 2015). Dieser Ansatz ist im Kontext einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung hingegen eher selten anzutreffen. So findet sich im Herausgeberband „Bildung für eine nachhaltige Entwicklung“ (Pütz, Schweer, & Logemann, 2013) lediglich ein Beitrag, der die Kenntnis von typischen Lernendenvorstellungen als Voraussetzung für erfolgreiches Lernen thematisiert (Rieß, Hörsch, & Jakob, 2013). Die vorliegende Studie kann somit auch einen Beitrag dazu leisten, das Bewusstsein für die Bedeutung von Lernendenvorstellungen im Rahmen einer Bildung für eine nachhaltige Entwicklung zu erhöhen. Auf dieser Ausgangsbasis können ganz gezielt Interventionen entwickelt werden, die fachlich angemessene Vorstellungen im Kontext nachhaltiger Entwicklung fördern.

Gleichzeitig beinhaltet die Perspektive einer nachhaltigen Entwicklung aber auch das Potential, das Modell der didaktischen Rekonstruktion (s. Kapitel 3.2.2) in einem erweiterten Kontext anzuwenden. Beim Vergleich der graphischen Darstellung der transdisziplinären Nachhaltigkeitsforschung nach Bergmann (Michelsen & Adomßent, 2014, S. 47) fällt die strukturelle Ähnlichkeit mit dem Modell der didaktischen Rekonstruktion auf. Wissenschaftliche Expert\*innen auf der einen Seite und Bürger\*innen auf der anderen Seite gestalten einen Forschungsprozess zu einem Thema nachhaltiger Entwicklung. Das Modell der didaktischen Rekonstruktion könnte hier angewandt werden, um transdisziplinäre Forschung zum Beispiel im Kontext der Energiewende zu strukturieren. Auf der Grundlage einer gemäßigt konstruktivistischen Perspektive wird der Wert der wissenschaftlichen Perspektive genauso

anerkannt, wie der Wert der Perspektive der Bürger\*innen. Über die didaktische Rekonstruktion und die entsprechende Voranalyse der Vorstellungen und Voraussetzungen könnte aber ein wesentlicher Beitrag zu einer didaktisch strukturierten Vermittlung zwischen beiden Perspektiven geleistet werden. Durch eine Analyse der Perspektiven wie in der vorliegenden Studie sind Unterschiede und Hindernisse für ein gegenseitiges Verstehen von vornherein klar und können direkt adressiert werden. Des Weiteren werden auch Chancen und Ansatzpunkte für ein gemeinsam geteiltes Verstehen deutlich und können gezielt für den Aushandlungs- und Verständigungsprozess genutzt werden.

#### 10.4 Ausblick

Wie geht es weiter? Als Lehrkräfte und Fachdidaktiker\*innen der Naturwissenschaften können wir einen Beitrag zur Umsetzung der Energiewende leisten, indem wir das Verstehen der naturwissenschaftlichen Grundlagen hierzu fördern. Genau wie bei der gesellschaftlichen und politischen Umsetzung der Energiewende müssen wir dabei Schritt für Schritt vorgehen. Mein nächster Schritt wird die empirische Erprobung der in den Leitlinien beschriebenen Unterrichtsinterventionen sein. Dass diese unsere Schritte erfolgreich sein werden – dafür macht mir die Fridays for Future Bewegung Mut! So demonstrierten am 20. September 2019 mein Kind, meine Eltern und ich zwar an verschiedenen Orten, aber dennoch gemeinsam für dieses Ziel. Millionen von Menschen aller Generationen beteiligen sich weltweit an den Demonstrationen für mehr Klimaschutz.

## 11 Referenzen

- Abfall. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 22. Oktober 2018, von <https://www.dwds.de/wb/Abfall>.
- Aguirre-Bielschowsky, I., Lawson, R., Stephenson, J., & Todd, S. (2017). Energy literacy and agency of New Zealand children. *Environmental Education Research*, 23(6), 832–854. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1054267>
- Amin, T. G. (2009). Conceptual metaphor meets conceptual change. *Human Development*, 52(3), 165–197. <https://doi.org/10.1159/000213891>
- Atkins, P. W., & Jones, L. (2006). *Chemie - einfach alles* (2. Aufl.). Weinheim: Wiley-VCH.
- aufhören. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 21. Januar 2020, von <https://www.dwds.de/wb/aufhören>.
- Barak, J., Gorodetsky, M., & Chipman, D. (1997). Understanding of energy in biology and vitalistic conceptions. *International Journal of Science Education*, 19(1), 21–30. <https://doi.org/10.1080/0950069970190102>
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik. Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-29460-0>
- Barke, H.-D., Harsch, G., Marohn, A., & Krees, S. (2015). *Chemiedidaktik kompakt* (2. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43396-6>
- Begriff. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 11. November 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Begriff>.
- Best, B., Hanke, G., & Richters, O. (2013). Urbane Suffizienz. In P. Schweizer-Ries, J. Hildebrand, & I. Rau (Hrsg.), *Klimaschutz & Energienachhaltigkeit: Die Energiewende als sozialwissenschaftliche Herausforderung* (S. 105–118). Saarbrücken: universaar.
- Bilanz. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 23. Oktober 2018, von <https://www.dwds.de/wb/Bilanz>.
- Birnbacher, D. (2008). Natürlich und künstlich - Einleitende Unterscheidungen. In *Natürlichkeit* (S. 1–16). Berlin, New York: Walter de Gruyter. <https://doi.org/DOI:10.1515/9783110193695>
- Bithas, K., & Kalimeris, P. (2016). A Brief History of Energy Use in Human Societies. In *Revisiting the Energy-Development Link* (S. 5–10). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-20732-2\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-20732-2_2)
- Bodzin, A. (2012). Investigating Urban Eighth-Grade Students' Knowledge of Energy Resources. *International Journal of Science Education*, 34(8), 1255–1275. <https://doi.org/10.1080/09500693.2012.661483>

- Boylan, C. (2008). Exploring elementary students' understanding of energy and climate change. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 1(1), 1–15.
- Brewe, E. (2011). Energy as a substancelike quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 7. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.7.020106>
- Bruckner, T., Bashmakov, I. A., Mulugetta, Y., de la Vago Navarro, A., Edmonds, J., Faaij, A., ... Zhang, X. (2014). Energy Systems. In O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, ... J. C. Minx (Hrsg.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (S. 511–597). New York: Cambridge University Press.
- Brüder Grimm. (1857). Der süße Brei. In *Kinder und Hausmärchen. Große Ausgabe, Band 2* (7. Aufl., S. 90). Göttingen: Dieterich. Abgerufen 14. Februar 2020, von [https://de.wikisource.org/w/index.php?title=Seite:Kinder\\_und\\_Hausmärchen\\_\(Grimm\)\\_1857\\_II\\_090.jpg&oldid=3340579](https://de.wikisource.org/w/index.php?title=Seite:Kinder_und_Hausmärchen_(Grimm)_1857_II_090.jpg&oldid=3340579)
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2020). Fragen und Antworten zur „Kohlekommission“. Abgerufen 2. Februar 2020, von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/Kohlekommission/faq-kohlekommission.html>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2016). Erneuerbare Energien in Zahlen. Abgerufen 14. Juni 2018, von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2015-09.html>
- Burger, J. (2001). *Schülervorstellungen zu „Energie im biologischen Kontext“ -Ermittlungen, Analysen und Schlussfolgerungen*. (Dissertation Uni Bielefeld). Abgerufen 02. Oktober 2014 von <https://pub.uni-bielefeld.de/download/2305865/2305868>
- Çelikler, D., & Aksan, Z. (2015). The opinions of secondary school students in Turkey regarding renewable energy. *Renewable Energy*, 75, 649–653. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.036>
- Chen, R. F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J., & Scheff, A. (Hrsg.). (2014). *Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education. Teaching and Learning of Energy in K – 12 Education*. London: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05017-1>
- Chen, S.-J., Chou, Y.-C., Yen, H.-Y., & Chao, Y.-L. (2015). Investigating and structural modeling energy literacy of high school students in Taiwan. *Energy Efficiency*, 8(4), 791–808. <https://doi.org/10.1007/s12053-015-9327-5>
- Cheong, I. P., Johari, M., Said, H., & Treagust, D. F. (2014). What Do You Know about Alternative Energy? Development and Use of a Diagnostic Instrument for Upper Secondary School Science. *International Journal of Science Education*, 37(2), 210–236. <https://doi.org/10.1080/09500693.2014.976295>

- Clausner, T. C., & Croft, W. (1999). Domains and image schemas. *Cognitive Linguistics*, 10(1), 1–31. <https://doi.org/10.1515/cogl.1999.001>
- Cwiertna, L. (2019). Elisabeth Wehling: „Ich bin schockiert über die Vorwürfe“. Abgerufen 17. Dezember 2019, von <https://www.zeit.de/2019/10/elisabeth-wehling-linguistin-framing-manual-ard-sprache>
- Davis, P. (1985). The Attitude and Knowledge of Tasmanian Secondary Students towards Energy Conservation and the Environment. In *Research in Science Education* (Bd. 15, S. 68–75).
- de Haan, G. (2008). Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung. Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (S. 23–43). Wiesbaden.
- de Haan, G., & Kuckartz, U. (1996). *Umweltbewußtsein*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-83265-8>
- DeWaters, J. E., & Powers, S. E. (2011). Energy literacy of secondary students in New York State (USA): A measure of knowledge, affect, and behavior. *Energy Policy*, 39(3), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.049>
- Die Landesbeauftragte für den Datenschutz Niedersachsen (Hrsg.). (2018). Niedersächsisches Datenschutzgesetz ( NDSG ). Abgerufen 20. November 2019, von <http://www.nds-voris.de/jportal/?quelle=jlink&query=DSG+ND&psml=bsvorisprod.psml&max=true>
- Diekmann, B., & Rosenthal, E. (2014). Fossile Energieträger. In *Energie* (S. 15–32). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-00501-6\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-00501-6_2)
- Douglas, M. (1966). *Purity and Danger: An Analysis of Concepts of Pollution and Taboo*. London, New York: Routledge.
- Dresing, T., & Pehl, T. (2015). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse* (6. Aufl.). Marburg. Abgerufen am 19. Juni 2018 von <https://www.audiotranskription.de/praxisbuch>
- Duit, R. (1984). Learning the energy concept in school - empirical results from The Philippines and West Germany. *Physics Education*, 19(2), 59–66. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/19/2/306>
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905–923.
- Duit, R. (2007). Energie. *Unterricht Physik*, 18(101), 182–185.
- Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K 12 Education* (S. 67–85). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-05017-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-05017-1_5)

- Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 657–680). Berlin: Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_22)
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). The Model of Educational Reconstruction - A Framework for Improving Teaching and Learning Science. In D. Jorde & J. Dillon (Hrsg.), *Science Education Research and Practice in Europe: Retrospective and Prospective* (S. 13–37). Rotterdam: Sense Publishers.
- DWDS – Das Wortauskunftssystem zur deutschen Sprache in Geschichte und Gegenwart. (o. J.). Abgerufen 5. Juli 2018, von <https://www.dwds.de/>
- DWDS-Wortprofil zu „Energiegehalt“. (o. J.). Erstellt durch Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 02. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wp/Energiegehalt>.
- DWDS-Wortverlaufskurve zu „Erneuerbar“. (o. J.) Erstellt durch Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 05. Januar 2018, von <https://www.dwds.de/r/plot?view=1&norm=date%2Bclass&smooth=spline&genres=0&grand=1&slice=10&prune=0&window=3&wbase=0&logavg=0&logscale=0&xrange=1900%3A2016&q1=erneuerbar>.
- Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Seyboth, K., Matschoss, P., Kadner, S., ... von Stechow, C. (Hrsg.). (2011). *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139151153>
- Eisenkraft, A., Nordine, J., Chen, R. F., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., & Scheff, A. (2014). Introduction: Why focus on energy education? In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine, & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K 12 Education* (S. 1–11). Cham: Springer. [https://doi.org/DOI.10.1007/978-3-319-05017-1\\_1](https://doi.org/DOI.10.1007/978-3-319-05017-1_1)
- Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
- emittieren. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 11. Oktober 2018, von <https://www.dwds.de/wb/emittieren>.
- Ende, M. (1973). *Momo*. Thienemann.
- Energie. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 21. Januar 2020, von <https://www.dwds.de/wb/Energie>.
- Energieträger. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Energietr%C3%A4ger>.

- Energiequelle. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Energiequelle>.
- erschließen. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 02. Januar 2019, von <https://www.dwds.de/wb/erschließen>.
- ersetzen. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Dezember 2018, von <https://www.dwds.de/wb/ersetzen>.
- Evans, V., & Green, M. (2006). *Cognitive Linguistics. An Introduction*. Edinburgh: Edinburgh University Press.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (2011). *The Feynman lectures on physics 1: Mainly mechanics, radiation and heat*. New York: Basic Books. Abgerufen am 17. Januar 2018 von [https://www.feynmanlectures.caltech.edu/l\\_toc.html](https://www.feynmanlectures.caltech.edu/l_toc.html)
- Fillmore, C. J. (2006). Frame Semantics. In D. Geeraerts (Hrsg.), *Cognitive Linguistics: Basic Readings* (S. 373–400). Berlin: Walter de Gruyter.
- Fischer, G. (2014). Grundbegriffe. In *Lineare Algebra* (S. 32–105). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-03945-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-658-03945-5_2)
- Flick, U. (2007). Zur Qualität qualitativer Forschung — Diskurse und Ansätze. In U. Kuckartz, H. Grunenberg, & T. Dresing (Hrsg.), *Qualitative Datenanalyse: computergestützt* (2. Aufl., S. 188–209). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-90665-2\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-531-90665-2_12)
- Flick, U. (2013). Konstruktivismus. In U. Flick, E. von Kardorff, & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch*. (10. Aufl., S. 150–164). Hamburg: Rowohlt Enzyklopädie.
- Flick, U., Kardorff, E. von, & Steinke, I. (2013). Was ist qualitative Forschung? Einleitung und Überblick. In U. Flick, E. von Kardorff, & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung : Ein Handbuch* (10. Aufl., S. 13–29). Hamburg: Rowohlt Taschenbuch-Verlag.
- fluktuieren. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 31. August 2018, von <https://www.dwds.de/wb/fluktuieren>.
- Fluss. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 10. April 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Fluss>.
- Franck, H.-G., & Knop, A. (1979). *Kohleveredlung. Chemie und Technologie*. Berlin: Springer.
- Gebhard, U., Höttecke, D., & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-19546-9>

- German Advisory Council on Global Change. (2003). *World in Transition – Towards Sustainable Energy Systems*. (German Advisory Council on Global Change (WBGU), Hrsg.), Flagship Report. London and Sterling: Earthscan.
- German Advisory Council on Global Change. (2011). *World in Transition - A Social Contract for Sustainability*. (German Advisory Council on Global Change (WBGU), Hrsg.), Flagship Report. Berlin: WBGU.
- Giampietro, M., & Mayumi, K. (2008). Complex system thinking and renewable energy systems. In D. Pimentel (Hrsg.), *Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems: Benefits and Risks* (S. 173–214). New York: Springer.
- Gigerenzer, G., & Brighton, H. (2009). Homo Heuristicus: Why Biased Minds Make Better Inferences. *Topics in Cognitive Science*, 1(1), 107–143. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2008.01006.x>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (2010). *Grounded Theory: Strategien qualitativer Forschung* (3. Aufl.). Bern: Huber.
- Godemann, J., & Michelsen, G. (2011). *Sustainability communication. Interdisciplinary Perspectives and Theoretical Foundation*. Dordrecht: Springer.
- Götze, S. (2019). Staatliche Förderung für Klimawandelleugnung. Abgerufen 4. Dezember 2019, von <https://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/brandenburg-klimaskeptiker-erhalten-40-000-euro-staatliche-foerderung-a-1299489.html>
- Gräber, W., Nentwig, P., & Nicolson, P. (2002). Scientific Literacy - von der Theorie zur Praxis. In W. Gräber, P. Nentwig, T. Koballa, & R. Evans (Hrsg.), *Scientific Literacy* (S. 135–145). Opladen: Leske & Budrich.
- Gralher, M. (2015). *Nachhaltige Ernährung verstehen. Ein Beitrag zur didaktischen Rekonstruktion der Bildung für nachhaltige Entwicklung*. (Dissertation). Oldenburg: Didaktisches Zentrum Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Gropengießer, H. (2006). *Lebenswelten. Denkwelten. Sprechwelten. Wie man Vorstellungen der Lerner verstehen kann*. (2. Aufl.). Oldenburg: Didaktisches Zentrum Oldenburg.
- Gropengießer, H. (2007). Theorie des erfahrungsbasierten Verstehens. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 105–116). Berlin: Springer.
- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In P. Mayring & M. Gläser-Zikuda (Hrsg.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (2. Aufl., S. 172–189). Weinheim, Basel: Beltz.
- Gropengießer, H., & Groß, J. (2019). Lernstrategien für das Verstehen biologischer Phänomene: Die Rolle der verkörperten Schemata und Metaphern in der Vermittlung. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 59–76). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9>



- Hanke, G., & Best, B. (2013). Die Energiewende aus wachstumskritischer Perspektive. In J. Radtke & B. Henning (Hrsg.), *Die deutsche „Energiewende“ nach Fukushima* (S. 255–283). Marburg: Metropolis.
- Harper, D. (2018). Online Etymology Dictionary. Abgerufen 5. Januar 2018, von <https://www.etymonline.com/word/renewable>
- Harten, U. (2017). Grundbegriffe. In *Physik* (S. 1–24). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-662-49754-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-662-49754-8_1)
- Helfferich, C. (2009). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews* (3. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Huang, Y., Chou, Y.-C., Yen, H.-W., & Bai, H.-C. (2012). Developing an Innovative Educational Program for Energy Saving and Carbon Reduction: An Elementary School Example. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 51, 840–848. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.250>
- Huber, J. (1995). *Nachhaltige Entwicklung: Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik*. Berlin: Ed. Sigma.
- Hüfner, S. (2016). Eine Didaktische Rekonstruktion der Energiewende. Lernhindernisse zu erneuerbaren Energien. In C. Maurer (Hrsg.), *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Zürich*. (S. 138–141). Zürich: Universität Regensburg.
- Hüfner, S., Niebert, K., & Abels, S. (2016). Vorstellungen von Schüler \_ innen und Wissenschaftler \_ innen zu erneuerbaren und nicht- erneuerbaren Energien. Die Energiewende als Kontext für den Biologieunterricht. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 15, 25–39.
- Hüfner, S., Niebert, K., & Abels, S. (2017). Renewable Energy Resources: How Can Science Education Foster an Appropriate Understanding? In O. Finlayson, E. McLoughlin, S. Erduran, & P. Childs (Hrsg.), *Electronic Proceedings of the ESERA 2017 Conference. Research, Practice and Collaboration in Science Education* (S. 1076–1089). Dublin.
- IPCC (Hrsg.). (2014). *Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Genf. Abgerufen 12. Februar 2020 von [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)
- IPCC (Hrsg.). (2018). Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change,. Abgerufen 12. Februar 2020, von [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15\\_Full\\_Report\\_Low\\_Res.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/06/SR15_Full_Report_Low_Res.pdf)
- Jäkel, O. (2003). *Wie Metaphern Wissen schaffen*. Hamburg: Dr. Kovač.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., & Gallástegui-Otero, J. R. (1995). ‘Let’s Save Energy!’: incorporating an environmental education dimension in the teaching of energy. *Environmental Education Research*, 1(1), 75–83. <https://doi.org/10.1080/1350462950010106>

- Jin, H., & Anderson, C. W. (2012). A learning progression for energy in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1149–1180. <https://doi.org/10.1002/tea.21051>
- Johnson, M. (1987). *The Body in the Mind. The Bodily Basis of Meaning*. Chicago and London: The University Chicago of Press.
- Johnstone, A. H. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7(2), 75–83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Kaiser, A., Lüschen, I., & Reimer, M. (2010). *Erneuerbare Energien in der Grundschule: Energie(sparen)-Sonnenenergie*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion-eine praktische Theorie. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 93–104). Berlin: Springer.
- 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.
- Kircher, E. (2015). Über die Natur der Naturwissenschaften lernen. In E. Kircher, R. Girdwitz, & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (3. Aufl., S. 809–841). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0_28)
- Klärung. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 02. Dezember 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Klärung>.
- Kluge, F., & Seebold, E. (2011). *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache* (25. Aufl.). Berlin: De Gruyter.
- komplex. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 13. Februar 2019, von <https://www.dwds.de/wb/komplex>.
- Konferenz der Vorsitzenden Fachdidaktischer Fachgesellschaften (KVFF) (Hrsg.). (1998). *Fachdidaktik in Forschung und Lehre*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Kövecses, Z. (2010). *Metaphor* (2. Aufl.). New York: Oxford University Press.
- Kövecses, Z. (2017). Levels of metaphor. *Cognitive Linguistics*, 28(2), 321–347. <https://doi.org/10.1515/cog-2016-0052>
- Kreislauf. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Kreislauf>.
- Kubsch, M., & Nordine, J. (2016). Energietransferdiagramme als kognitive Unterstützung in der Mittelstufe. In *Implementation fachdidaktischer Innovation im Spiegel von Forschung*

- und Praxis. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Zürich.* (S. 190–193).
- Kuckartz, U. (2014). MAXQDA 11, Software für qualitative Datenanalyse. Berlin: VERBI Software. Consult. Sozialforschung GmbH.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz.
- Kultusministerkonferenz. (2004). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*. München: Luchterhand.
- Lakoff, G. (1987). *Women, Fire, and Dangerous Things*. Chicago and London: The University of Chicago Press.
- Lakoff, G. (2004). *Don't think of an elephant!* White River Junction, Vt.: Chelsea Green Publishing Company.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors We Live By*. Chicago: The University Chicago Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1999). *Philosophy in the flesh : the embodied mind and its challenge to Western thought*. New York: Basic Books.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (2003). Afterword. In *Metaphors we live by* (2. Aufl., S. 243–276). Chicago: The University of Chicago Press.
- Lakoff, G., & Wehling, E. (2009). *Auf leisen Sohlen ins Gehirn : politische Sprache und ihre heimliche Macht* (2. Aufl.). Heidelberg: Carl-Auer.
- Lancor, R. (2014a). Using Metaphor Theory to Examine Conceptions of Energy in Biology, Chemistry, and Physics. *Science and Education*, 23, 1245–1267. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9535-8>
- Lancor, R. (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. (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. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025309>
- Lay, Y.-F., Khoo, C.-H., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2013). Assessing secondary school students' understanding of the relevance of energy in their daily lives. *International Journal of Environmental and Science Education*, 8(1), 199–215.
- Lee, L.-S., Chang, L.-T., Lai, C.-C., Guu, Y.-H., & Lin, K.-Y. (2017). Energy literacy of vocational students in Taiwan. *Environmental Education Research*, 23(6), 855–873. <https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1068276>

- Lexem. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 23. Mai 2018, von <https://www.dwds.de/wb/Lexem>.
- Lin, C., & Hu, R. (2003). Students' understanding of energy flow and matter cycling in the context of the food chain, photosynthesis, and respiration. *International Journal of Science Education*, 25(12), 1529–1544. <https://doi.org/10.1080/0950069032000052045>
- Lindemann, H. (2006). *Konstruktivismus und Pädagogik : Grundlagen, Modelle, Wege zur Praxis*. München: Reinhardt.
- Lizardo, O. (2012). The conceptual bases of metaphors of dirt and cleanliness in moral and non-moral reasoning. *Cognitive Linguistics*, 23(2), 367–393. <https://doi.org/10.1515/cog-2012-0011>
- Löfgren, L., & Helldén, G. (2008). Following young students' understanding of three phenomena in which transformations of matter occur. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(3), 481–504. <https://doi.org/10.1007/s10763-006-9064-5>
- Lüdeke-Freund, F., & Opel, O. (2014). Energie. In *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 429–453). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-25112-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-25112-2_11)
- Mackowsky, M.-T., Hodek, W., Benthaus, F., Leininger, F., Jameson, R. M., Beyer, H.-D., ... Tilman, W. (1977). Kohle und Kohleveredlung. In *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie* (4. Aufl., S. 288–326). Weinheim: Verlag Chemie.
- Madlener, R., & Alcott, B. (2011). Herausforderungen für eine technisch-ökonomische Entkoppelung von Naturverbrauch und Wirtschaftswachstum. Unter besonderer Berücksichtigung der Systematisierung von Rebound-Effekten und Problemverschiebungen. *Kommissionsmaterialien der Enquete-Kommission „Wachstum, Wohlstand, Lebensqualität“ des Deutschen Bundestages*. Zürich.
- Mandler, J. M. (1992). How to Build a Baby : II . Conceptual Primitives. *Psychological Review*, 99(4), 587–604.
- Mandler, J. M. (2005). How to build a baby: III. Image schemas and the transition to verbal thought. In B. Hampe (Hrsg.), *From Perception to Meaning: Image Schemas in Cognitive Linguistics* (S. 137–163). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Mandler, J. M., & Pagán Cánovas, C. (2014). On defining image schemas. *Language and Cognition*, 6(4), 510–532. <https://doi.org/10.1017/langcog.2014.14>
- Marsch, S. (2009). *Metaphern des Lehrens und Lernens. Vom Denken, Reden und Handeln bei Biologielehrern*. (Dissertation). Freie Universität Berlin.
- Martens, J., & Obenland, W. (2016). Die 2030-Agenda: *Globale Zukunftsziele für nachhaltige Entwicklung*. (Global Policy Forum & terre des hommes, Hrsg.). Bonn, Osnabrück.
- Mayer, T. (2017). Deutschland und die Energiewende - Wie Länder wie Kolumbien dafür zahlen - SPIEGEL ONLINE. Abgerufen 14. Juni 2018, von

<http://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/deutschland-und-die-energiewende-wie-laender-wie-kolumbien-dafuer-zahlen-a-1127332.html>

- Mayring, P. (2007). Generalisierung in qualitativer Forschung. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 8(3), Art. 26.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse* (12. Aufl.). Weinheim, Basel: Beltz.
- McComas, W. F. (2014). Nature of Science. In *The Language of Science Education* (S. 67–68). Rotterdam: SensePublishers. [https://doi.org/10.1007/978-94-6209-497-0\\_59](https://doi.org/10.1007/978-94-6209-497-0_59)
- Menthe, J. (2006). *Urteilen im Chemieunterricht. Eine empirische Untersuchung über den Einfluss des Chemieunterrichts auf das Urteilen von Lernenden in Alltagsfragen*. (Dissertation). Osnabrück: Der Andere Verlag.
- Menthe, J., & Hüfner, S. (2019). Information Literacy - Pseudowissenschaft und digitale (Des-)Information bei den Themen „Klimawandel“, „Clean Coal“ und „Stickoxidgrenzwerte“. *Unterricht Chemie*, 174(6), 20–25.
- Menzel, S., & Bögeholz, S. (2006). Vorstellungen und Argumentationsstrukturen von Schüler(inne)n der elften Jahrgangsstufe zur Biodiversität, deren Gefährdung und Erhaltung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 199–217.
- Merkens, H. (1997). Stichproben bei qualitativen Studien. In B. Friebertshäuser & A. Prenzel (Hrsg.), *Handbuch Qualitative Forschungsmethoden in der Erziehungswissenschaft* (S. 97–106). Weinheim, München: Juventa.
- Merritt, E. G., Bowers, N., & Rimm-Kaufman, S. E. (2019). Making connections: Elementary students' ideas about electricity and energy resources. *Renewable Energy*, 138, 1078–1086. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.047>
- Michelsen, G., & Adomßent, M. (2014). Nachhaltige Entwicklung: Hintergründe und Zusammenhänge. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 3–60). Berlin, Heidelberg: Springer.
- nachhaltig. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 15. März 2020, von <https://www.dwds.de/wb/nachhaltig>.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 162–188. <https://doi.org/10.1002/tea.21061>
- Newig, J. (2014). Partizipation. In H. Heinrichs & G. Michelsen (Hrsg.), *Nachhaltigkeitswissenschaften* (S. 381–396). Berlin: Springer.
- Niebert, K. (2007). Den Klimawandel verstehen. Eine theoriegeleitete und evidenzbasierte Entwicklung von Interventionen. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 6, 37–52.
- Niebert, K. (2008). » Ich finde es gut , wenn es bei uns ein bisschen wärmer wird .« Die Folgen der globalen Erwärmung in den Vorstellungen von Wissenschaftlern und Lernern. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 7, 23–38.

- Niebert, K. (2010). *Den Klimawandel verstehen. Eine didaktische Rekonstruktion der globalen Erwärmung*. (Dissertation). Oldenburg: Didaktisches Zentrum Oldenburg.
- Niebert, K. (2017). Den Klimawandel bremsen lernen. In U. Kattmann (Hrsg.), *Biologie unterrichten mit Alltagsvorstellungen. Didaktische Rekonstruktion in Unterrichtseinheiten* (S. 92–104). Seelze: Kallmeyer.
- Niebert, K., & Gropengiesser, H. (2015). Understanding Starts in the Mesocosm: Conceptual metaphor as a framework for external representations in science teaching. *International Journal of Science Education*, 37(5–6), 903–933. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1025310>
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2013). The Model of Educational Reconstruction: A framework for the Design of Theory-based Content Specific Interventions. The example of Climate Change. In T. Plomp & N. Nieveen (Hrsg.), *Educational design research - Part B: Illustrative cases* (S. 511–531). Enschede: SLO.
- Niebert, K., & Gropengießer, H. (2014). Leitfadengestützte Interviews. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 121–132). Berlin: Springer.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2012). *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule Naturwissenschaften Niedersachsen*. Hannover: Unidruck.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2013). *Kerncurriculum für die Oberschule Naturwissenschaften*. Hannover: Unidruck.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2014). Niedersächsischer Runderlass zu Umfragen und Erhebungen an Schulen.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2015). *Kerncurriculum für das Gymnasium Naturwissenschaften*. Hannover: Unidruck.
- Nolting, W. (2018). *Grundkurs Theoretische Physik 1*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57584-0>
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2011). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, 95(4), 670–699. <https://doi.org/10.1002/sce.20423>
- Odum, H. T. (Howard T. (2007). *Environment, power, and society for the twenty-first century: the hierarchy of energy*. New York: Columbia University Press.
- Ogden, C. K., & Richards, I. A. (1923). *The Meaning of Meaning*. New York: Harcourt, Brace & World.
- Oswald, H. (2004). *Energiesparen und erneuerbare Energiequellen an Schulen*. Berlin: Unabhängiges Institut für Umweltfragen (UfU) e.V.
- Paul, H. (1992). *Deutsches Wörterbuch* (9. Aufl.). Tübingen: M. Niemeyer.
- Pfad. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 02. Januar 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Pfad>.

- Pospiech, G. (2019). Pre-Service Teacher's Views on the use of Metaphors for Describing the Concepts of Uncertainty and Entanglement in Teaching Quantum Physics. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 11(1), 1–5.
- Pragglejaz Group. (2007). MIP: A Method for Identifying Metaphorically Used Words in Discourse. *Metaphor and Symbol*, 22(1), 1–39. <https://doi.org/10.1080/10926480709336752>
- Pütz, N., Schweer, M. K. W., & Logemann, N. (Hrsg.). (2013). *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Peter Lang. <https://doi.org/10.3726/978-3-653-02878-2>
- Quelle. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 27. Februar 2018, von <https://www.dwds.de/wb/Quelle>.
- Raugei, M., Fullana-i-Palmer, P., & Fthenakis, V. (2012). The energy return on energy investment (EROI) of photovoltaics: Methodology and comparisons with fossil fuel life cycles. *Energy Policy*, 45, 576–582. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.03.008>
- Rebhan, E. (Hrsg.). (2002). *Energiehandbuch*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55451-3>
- recyclen. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Dezember 2018, von <https://www.dwds.de/wb/recyclen>.
- Rehm, M. (2018). Was ist wirksamer Chemieunterricht. In M. Rehm (Hrsg.), *Wirksamer Chemieunterricht* (S. 185–207). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Reich, G., & Reppich, M. (2013). Einführung. In *Regenerative Energietechnik* (S. 21–48). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8614-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-8348-8614-9_1)
- Riemeier, T. (2005). Schülervorstellungen von Zellen, Teilung und Wachstum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 11, 41–55.
- Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 69–79). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Riemeier, T., Jankowski, M., Kersten, B., Pach, S., Rabe, I., Sundermeier, S., & Gropengießer, H. (2010). Wo das Blut fließt . Schülervorstellungen zu Blut , Herz und Kreislauf beim Menschen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 16, 77–94.
- Rieß, W., Hörsch, C., & Jakob, T. (2013). Förderung systemischen Denkens als eine Aufgabe einer bildung für nachhaltige Entwicklung. In N. Pütz, M. Schweer, & N. Logemann (Hrsg.), *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung- aktuelle Forschungsfelder und Forschungsansätze* (S. 103–126). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Rost, J., Lauströer, A., & Raack, N. (2002). Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften: Chemie in der Schule*, 52(8), 10–19.
- Roth, G. (1999). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit : kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen* (3. Aufl.). Frankfurt am Main: Suhrkamp.

- Roth, G. (2009). *Aus Sicht des Gehirns*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- säubern. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Dezember 2018, von <https://www.dwds.de/wb/säubern>.
- Schabbach, T., & Wesselak, V. (2012). *Energie*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-24347-9>
- Schmidt, S. (2010). *Didaktische Rekonstruktion des Basiskonzepts „Stoff-Teilchen“ für den Anfangsunterricht nach Chemie im Kontext*. (Dissertation). Carl von Ossietzky Universität Oldenburg.
- Schmitt, R. (2011). Systematische Metaphernanalyse als qualitative sozialwissenschaftliche Forschungsmethode. *Future Research Avenues of Metaphor*, 47–81.
- Schmitt, R. (2017). *Systematische Metaphernanalyse als Methode der qualitativen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-13464-8>
- Schmitt, R. (2019). Metaphern des Kampfs in Interviews mit Alkoholkonsumierenden. *Gesprächspsychotherapie und Personenzentrierte Beratung*, 3(19), 13–15.
- Schmitt, R., Schröder, J., & Pfaller, L. (2018). *Systematische Metaphernanalyse*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21460-9>
- Schrenk, M., Gropengießer, H., & Groß, J. (2019). Schülervorstellungen im Biologieunterricht. In J. Groß, M. Hammann, P. Schmiemann, & J. Zabel (Hrsg.), *Biologiedidaktische Forschung: Erträge für die Praxis* (S. 3–20). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58443-9>
- Seba, T. (2014). *Clean Disruption of Energy and Transportation: How Silicon Valley Will Make Oil, Nuclear, Natural Gas, Coal, Electric utilities and Conventional cars obsolete by 2030* (First Beta). Silicon Valley: Clean Planet Ventures.
- Siebert, H. (2011). *Lernen und Bildung Erwachsener*. Bielefeld: Bertelsmann, W.
- Sinha, C., & López, K. J. de. (2001). Language, culture, and the embodiment of spatial cognition. *Cognitive Linguistics*, 11(1–2), 17–41. <https://doi.org/10.1515/cogl.2001.008>
- Skamp, K., Boyes, E., Stanisstreet, M., Rodriguez, M., Malandrakis, G., Fortner, R., ... Yoon, H.-G. (2019). Renewable and Nuclear Energy: an International Study of Students' Beliefs About, and Willingness to Act, in Relation to Two Energy Production Scenarios. *Research in Science Education*, 49(2), 295–329. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9622-6>
- Slavin, R. E. (2010). Co-operative learning: what makes group-work work? In H. Dumont, D. Istance, & F. Benavides (Hrsg.), *The nature of learning: using research to inspire practice* (S. 161–178). Paris: OECD Publishings. <https://doi.org/10.1787/9789264086487-9-en>
- 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>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), 81–98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>



- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., ... Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223), 1259855–1259855. <https://doi.org/10.1126/science.1259855>
- Steinke, I. (2007). Qualitätssicherung in der qualitativen Forschung. In U. Kuckartz, H. Grunenberg, & T. Dresing (Hrsg.), *Qualitative Datenanalyse: computergestützt* (2. Aufl., S. 176–187). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. [https://doi.org/10.1007/978-3-531-90665-2\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-531-90665-2_11)
- Steinke, I. (2012). Gütekriterien qualitativer Forschung. In U. Flick, E. von Kardorff, & I. Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (9. Aufl., S. 319–331). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt's Enzyklopädie.
- Stoltenberg, U., & Michelsen, G. (1999). Lernen nach der Agenda 21: Überlegungen zu einem Bildungskonzept für eine nachhaltige Entwicklung. In *Umweltbildung - den Möglichkeitssinn wecken*. (S. 45–54).
- Strom. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 10. April 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Strom>.
- Swackhamer, G. (2005). Cognitive Resources for Understanding Energy. Abgerufen 7. Oktober 2019, von <http://modeling.asu.edu/modeling/CognitiveResources-Energy.pdf>
- Sweeney, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: initial results of a systems thinking inventory. *System Dynamics Review*, 16(4), 249–286. <https://doi.org/10.1002/sdr.198>
- Talmy, L. (1988). Force Dynamics in Language and Cognition. *Cognitive Science*, 12(1), 49–100. [https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201\\_2](https://doi.org/10.1207/s15516709cog1201_2)
- Tatar, E., & Oktay, M. (2007). Students' Misunderstandings about the Energy Conservation Principle : A General View to Studies in Literature. *International Journal of Environmental and Science Education*, 2(3), 79–81.
- Thibodeau, P. H., & Boroditsky, L. (2013). Natural Language Metaphors Covertly Influence Reasoning. *PLoS ONE*, 8(1), e52961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052961>
- Tortop, H. (2012). Awareness and misconceptions of high school students about renewable energy resources and applications: Turkey case. *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies*, 4(3), 1829–1840.
- tragen. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wb/tragen>.
- Träger. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 27. Februar 2018, von <https://www.dwds.de/wb/Träger>.
- Transport. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Transport>.

- Trauschke, M. (2016). *Biologie Verstehen: Energie in Anthropogenen Ökosystemen*. (Dissertation). Berlin: Logos.
- Trauschke, M. (2018). Energieverständnis im Biologieunterricht. *Biologie in unserer Zeit*, 48(5), 332–336. <https://doi.org/10.1002/biuz.201810659>
- Trauschke, M., & Gropengießer, H. (2014). „Sonnenstrahlung wird in Nahrung umgewandelt“. *Biologie verstehen: Energie in Ökosystemen. Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, 9–24.
- Trump, D. [realDonaldTrump]. (2018, 19. Mai). America is blessed with extraordinary energy abundance, including more than 250 years worth of beautiful clean coal. We have ended the war on coal, and will continue to work to promote American energy dominance! [Tweet] Abgerufen von <https://twitter.com/realdonaldtrump/status/997612079375945728>
- Twidell, J., & Weir, T. (2015). *Renewable Energy Resources* (3. Aufl.). New York: Routledge.
- Van Matre, S. (1979). *Sunship Earth*. Martinsville: American Camping Association.
- verbinden. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 02. Januar 2019, von <https://www.dwds.de/wb/verbinden>.
- verschwinden. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 17. August 2018, von <https://www.dwds.de/wb/verschwinden>.
- Vesić Pavlović, T. (2012). Cleanliness is Next to Godliness? Clean and Dirty Metaphors in English and Serbian. *Belgrade English Language and Literature Studies*, 4, 27–40. <https://doi.org/10.18485/bells.2012.4.2>
- Vollmer, G. (1984). Mesocosm and Objective Knowledge. In *Concepts and Approaches in Evolutionary Epistemology* (S. 69–121). Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-7127-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-94-009-7127-1_4)
- von Glasersfeld, E. (1997). *Radikaler Konstruktivismus : Ideen, Ergebnisse, Probleme*. Frankfurt am Main: Suhrkamp.
- Vorstellung. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 11. November 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Vorstellung>.
- Watter, H. (2015). Einleitung. In *Regenerative Energiesysteme* (S. 1–5). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. [https://doi.org/10.1007/978-3-658-09638-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-658-09638-0_1)
- Watts, D. M. (1983). Some alternative views of energy. *Physics Education*, 18, 213–217. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/18/5/307>
- WBGU. (2019a). Aktuelle Beiratsmitglieder (2016-2020). Abgerufen 5. Dezember 2019, von <https://www.wbgu.de/de/der-wbgu/aktuelle-beiratsmitglieder>
- WBGU. (2019b). Auftrag. Abgerufen 5. Dezember 2019, von <https://www.wbgu.de/de/der-wbgu/auftrag>

- Weber, N. (2017). Donald Trump: Forscher fürchten um die Wissenschaft - SPIEGEL ONLINE. Abgerufen 14. Juni 2018, von <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/donald-trump-forscher-fuerchten-um-die-wissenschaft-a-1135291.html>
- weg. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 17. August 2018, von <https://www.dwds.de/wb/weg>.
- Wehling, E. (2016). *Politisches Framing. Wie eine Nation sich ihr Denken einredet - und daraus Politik macht*. Köln: Halem.
- 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>
- Wertgen, G. (2015). *Vorstellungen von Lehramtsstudierenden zur Energiewende - Analyse von Concept Maps*. (Masterarbeit). Leuphana Universität Lüneburg.
- Wesselak, V., Schabbach, T., Link, T., & Fischer, J. (2013). Regenerative Energiequellen. In *Regenerative Energietechnik* (S. 109–189). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-24165-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-24165-9_3)
- Wesselak, V., Schabbach, T., Link, T., & Fischer, J. (Hrsg.). (2017). *Handbuch Regenerative Energietechnik* (3. Aufl.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53073-3>
- Widodo, A. (2004). *Constructivist oriented lessons: the learning environments and the teaching sequences*. Frankfurt am Main: P. Lang.
- Widodo, A., & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis des Physikunterrichts. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 233–255.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). (2003). *Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-55861-0>
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). (2011). *Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation*. Berlin: WBGU.
- Yao, J.-X., Guo, Y.-Y., & Neumann, K. (2017). Refining a learning progression of energy. *International Journal of Science Education*, 39(17), 2361–2381. <https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1381356>
- You, H. S., Delgado, C., & Marshall, J. A. (2017). Assessing students' disciplinary and interdisciplinary understanding of global carbon cycling. *Journal of Research in Science Teaching*, 1–22. <https://doi.org/10.1002/tea.21423>
- Yu, N., Wang, T., & He, Y. (2016). Spatial Subsystem of Moral Metaphors: A Cognitive Semantic Study. *Metaphor and Symbol*, 31(4), 195–211. <https://doi.org/10.1080/10926488.2016.1223470>

- Yuenyong, C., Jones, A., & Sung-Ong, S. (2011). Student Energy Conceptions. In M. M. H. Cheng & W. W. M. So (Hrsg.), *Science Education in International Contexts* (S. 3–16). Sense Publishers.
- Zangori, L., Peel, A., Kinslow, A., Friedrichsen, P., & Sadler, T. D. (2017). Student development of model-based reasoning about carbon cycling and climate change in a socio-scientific issues unit. *Journal of Research in Science Teaching*. <https://doi.org/10.1002/tea.21404>
- Zhong, C.-B., & Liljenquist, K. (2006). Washing Away Your Sins: Threatened Morality and Physical Cleansing. *Science*, *313*(5792), 1451–1452. <https://doi.org/10.1126/science.1130726>
- Ziem, A. (2008). *Frames und sprachliches Wissen*. Berlin: De Gruyter.
- Zyadin, A., Puhakka, A., Ahponen, P., Cronberg, T., & Pelkonen, P. (2012). School students' knowledge, perceptions, and attitudes toward renewable energy in Jordan. *Renewable Energy*, *45*, 78–85.
- Zyklus. (o. J.). In Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Digitales Wörterbuch der Deutschen Sprache (DWDS)*. Abgerufen 07. Oktober 2019, von <https://www.dwds.de/wb/Zyklus>.

## 12 Anhang

### 12.1 Ausführliches Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung und Abstract</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>14</b>
<b>3</b>	<b>Theorie</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Fachlicher Rahmen zur Energiewende</b> .....	<b>23</b>
3.1.1	Historie.....	24
3.1.2	Umsetzung.....	25
3.1.3	Begriffe.....	26
3.1.3.1	Energie.....	27
3.1.3.2	Erneuerbare Energie.....	28
3.1.3.3	Energiequelle/Energieträger.....	30
<b>3.2</b>	<b>Lehr-lerntheoretischer Rahmen</b> .....	<b>32</b>
3.2.1	Gemäßigter Konstruktivismus.....	33
3.2.2	Modell der didaktischen Rekonstruktion.....	37
3.2.3	Vorstellungen als Lernvoraussetzungen.....	40
3.2.4	Erfahrungen als Basis von Vorstellungen.....	43
3.2.5	Schemata als Erfahrungsmuster.....	45
3.2.5.1	SUBSTANZ-Schema.....	50
3.2.5.2	BEHÄLTER-Schema.....	51
3.2.5.3	START-WEG-ZIEL-Schema.....	52
3.2.5.4	ZYKLUS-Schema.....	54
3.2.5.5	VERBINDUNGS-Schema.....	55
3.2.5.6	SPEICHER-FLUSS-Schema.....	57
3.2.5.7	SAUBER-DRECKIG-Schema.....	58
3.2.5.8	KRAFT-Schemata.....	59
3.2.5.9	GLEICHGEWICHTS-Schema.....	62
3.2.6	Sprache als Ausdruck von Vorstellungen.....	65
3.2.6.1	Metaphern.....	70
3.2.6.2	Frames.....	76
<b>4</b>	<b>Stand der fachdidaktischen Forschung</b> .....	<b>77</b>
<b>4.1</b>	<b>Lehren und Lernen zum Energiebegriff</b> .....	<b>78</b>
<b>4.2</b>	<b>Vorstellungen zu erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Energieträgern</b> .....	<b>82</b>

4.3	Vorstellungen zum globalen Kohlenstoffkreislauf .....	85
4.4	Vorstellungen zum Zusammenhang von Stoff- und Energieflüssen in Systemen .....	87
4.5	Forschungslücke .....	88
<b>5</b>	<b><i>Forschungsfragen</i></b> .....	<b>89</b>
<b>6</b>	<b><i>Forschungsdesign</i></b> .....	<b>90</b>
6.1	Berücksichtigte Gütekriterien .....	91
6.2	Konsequenzen aus dem Modell der didaktischen Rekonstruktion .....	93
6.3	Erhebung der Vorstellungen der Schüler*innen .....	95
6.3.1	Forschungsfeld .....	95
6.3.2	Interviews .....	96
6.4	Erhebung der Vorstellungen der Wissenschaftler*innen .....	101
6.5	Auswertung der Daten: Rekonstruktion der Vorstellungen .....	102
6.5.1	Qualitative Inhaltsanalyse .....	103
6.5.1.1	Lernendenperspektive .....	104
6.5.1.2	Wissenschaftsperspektive .....	110
6.5.1.3	Systematischer Vergleich .....	112
6.5.2	Systematische Metaphernanalyse .....	113
<b>7</b>	<b><i>Forschungsergebnisse I: Qualitative Inhaltsanalyse</i></b> .....	<b>121</b>
7.1	Lernendenperspektive .....	121
7.2	Wissenschaftsperspektive .....	127
7.3	Systematischer Vergleich .....	131
<b>8</b>	<b><i>Forschungsergebnisse II: Systematische Metaphernanalyse</i></b> .....	<b>143</b>
8.1	Frames der Wissenschaftler*innen zur Energiewende .....	144
8.2	Metaphorische Konzepte der Schüler*innen zum Begriff ‚erneuerbar‘ .....	150
8.3	Metaphorische Konzepte zur Verfügbarkeit der Energieträger .....	153
8.3.1	Lernendenperspektive .....	153
8.3.1.1	Verfügbarkeit von Energie IST ein Weg .....	153
8.3.1.2	Verfügbarkeit von Energie IST ein Behälter .....	156
8.3.1.3	Verfügbarkeit von Energie IST ein Fluss .....	157
8.3.2	Wissenschaftsperspektive .....	158
8.3.2.1	Erneuerbare Energiequellen nutzen IST Fließgleichgewicht herstellen .....	159

8.3.2.2	Fossile Energieträger und Kernbrennstoffe SIND Behälter für Energie .....	164
8.3.3	Systematischer Vergleich .....	166
<b>8.4</b>	<b>Metaphorische Konzepte zu Auswirkungen der Nutzung der Energieträger.....</b>	<b>177</b>
8.4.1	Lernendenperspektive .....	177
8.4.1.1	Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST verschmutzen .....	177
8.4.1.2	Nicht-erneuerbare Energie nutzen IST Umwelt schädigen.....	179
8.4.2	Wissenschaftsperspektive .....	180
8.4.2.1	Auswirkungen der Energienutzung allgemein .....	181
8.4.2.2	Freisetzung von Stoffen .....	184
8.4.2.3	Bilanzierung von Treibhausgasen .....	187
8.4.3	Systematischer Vergleich .....	188
8.4.3.1	Wissenschaftsperspektive: Auswirkungen auf Mensch und Umwelt.....	189
8.4.3.2	Vergleich der Perspektiven: Eintrag von Stoffen in die Umwelt.....	192
8.4.3.3	Vergleich der Perspektiven: Bilanzierung von Emissionen .....	199
<b>9</b>	<b><i>Forschungsziel: Leitlinien für den Unterricht.....</i></b>	<b>203</b>
9.1	Verfügbarkeit – FLUSS und BEHÄLTER als grundlegende Schemata reflektieren.....	205
9.2	Auswirkungen – Stoffströme sichtbar machen und vergleichen .....	211
9.3	Integrierte Perspektive – Stoff und Energie zusammen betrachten .....	218
9.4	Verdeutlichte Sprache – Fluss-, Weg- und Baustellenmetaphern einsetzen .....	222
<b>10</b>	<b><i>Rückblick und Ausblick.....</i></b>	<b>225</b>
10.1	Reflexion des theoretischen Rahmens.....	226
10.2	Reflexion des Forschungsdesigns .....	230
10.3	Relevanz für Forschung und Unterricht .....	240
10.4	Ausblick .....	250
<b>11</b>	<b><i>Referenzen .....</i></b>	<b>251</b>
<b>12</b>	<b><i>Anhang .....</i></b>	<b>269</b>
12.1	Ausführliches Inhaltsverzeichnis .....	269
12.2	Verzeichnis digitaler Anhang.....	272

## 12.2 Verzeichnis digitaler Anhang

1. Datenerhebung
  - 1.1. Genehmigung der Landesschulbehörde
  - 1.2. Leitfadenerstellung: Sammlung sortiert (SPSS-Prinzip)
  - 1.3. Interviewleitfaden: Probeinterview
  - 1.4. Interviewleitfaden: Endversion
  - 1.5. (Teil-)Transkripte der Interviews
2. Qualitative Inhaltsanalyse
  - 2.1. Kodiermanual: frühe Version
  - 2.2. Kodiermanual und Kodings: Lernendenperspektive zur Kategorie Verfügbarkeit
  - 2.3. Kodiermanual und Kodings: Wissenschaftsperspektive zur Kategorie Verfügbarkeit
  - 2.4. MAXQDA-Datei zu den Lernendeninterviews
  - 2.5. MAXQDA-Datei zu den wissenschaftlichen Gutachten
3. Systematische Metaphernanalyse
  - 3.1. Kontrastierender Hintergrund
  - 3.2. Kodings: Lernendenperspektive ‚Verfügbarkeit von Energieträgern IST ein Behälter‘
  - 3.3. Kodings: Wissenschaftsperspektive ‚Verfügbarkeit von nicht-erneuerbaren Energieträgern IST ein Behälter‘
  - 3.4. MAXQDA-Datei

Bei Interesse an Teilen des elektronischen Anhangs wenden Sie sich bitte an  
sybille.huefner@leuphana.de