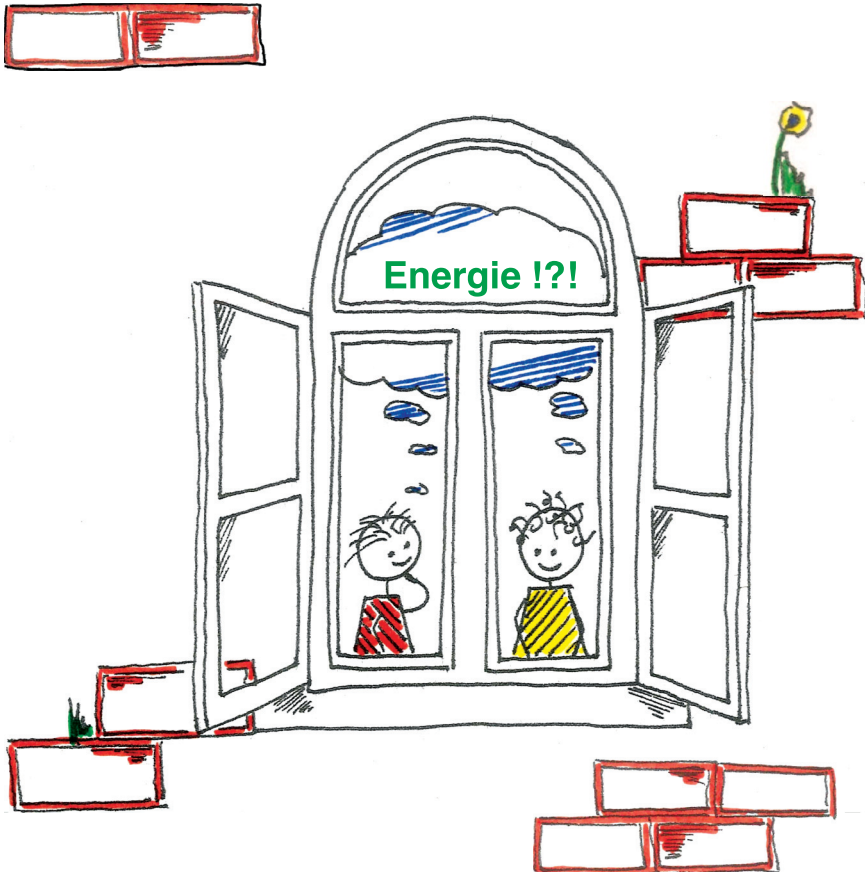


Ohne Energie wäre alles weg vom Fenster

Vorstellungen von Grundschulkindern
zu Energie





Basiswissen Grundschule

Band 44

Ohne Energie wäre alles weg vom Fenster

Vorstellungen von
Grundschulkindern zu Energie

Von

Monika Reimer



Schneider Verlag Hohengehren GmbH

Basiswissen Grundschule

Herausgegeben von:

Band 1 bis 18: Jürgen Bennack

Ab Band 19: Astrid Kaiser

Die Reihe „Basiswissen Grundschule“ ist einem schüler- und handlungsorientierten, offenen Unterricht verpflichtet, der auf die Stärkung einer selbstständigen, sozial verantwortlichen Schülerpersönlichkeit zielt.

Coverbildgestaltung: Janka Schubert

Dissertation an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Originaltitel: Der Inhalt Energie als Thema für den Sachunterricht.

Eine qualitative Studie zu Vorstellungen von Grundschulkindern zu Energie

Referentin: Frau Prof. Dr. Astrid Kaiser

Korreferent: Herr Prof. Dr. Michael Komorek

Gedruckt auf umweltfreundlichem Papier (chlor- und säurefrei hergestellt).

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-8340-2043-7

Schneider Verlag Hohengehren, Wilhelmstr. 13, D-73666 Baltmannsweiler

Homepage: www.paedagogik.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis zu § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne vorherige schriftliche Einwilligung des Verlages öffentlich zugänglich gemacht werden. Dies gilt auch bei einer entsprechenden Nutzung für Unterrichtszwecke!

© Schneider Verlag Hohengehren, 73666 Baltmannsweiler 2020

Printed in Germany – Format Druck, Stuttgart

Vorwort der Herausgeberin der Reihe

Die Energiefrage ist ein zentrales Thema der aktuellen politischen Debatte. Hier gilt es zu einem grundsätzlichen Umdenken zu kommen. Die Beschäftigung mit dem Inhalt *Energie* sollte deshalb spätestens in der Grundschule beginnen. Für den Unterricht gibt es aber noch wenige wissenschaftlich fundierte Ansätze. Ein wichtiger genereller didaktischer Grundsatz bei der Planung von Unterricht ist es, von den Vorstellungen der Lernenden auszugehen. Diese liegen für den Inhalt Energie für die Grundschule noch nicht ausreichend vor.

Monika Reimer hat mit diesem Buch diese zwei Lücken geschlossen, indem sie empirisch sorgfältig und kreativ erforscht, was und wie Kinder über Energie denken, und daraus schlüssige didaktische Leitlinien entwickelt hat. Die Leitlinien werden zu konkreten Bausteinen und praxistauglichen Verlaufsskizzen für den Grundschulunterricht weiter ausdifferenziert. Dieses Buch ist eine wahre Fundgrube für praktische Ideen, die aber nicht aus der Luft gegriffen sind, sondern systematisch wissenschaftlich entwickelt wurden.

Für Lehrerinnen und Lehrer ist die gründliche fachliche Aufbereitung des Energiebegriffs eine wichtige Fortbildung, um sich für den eigenen Unterricht systematisch, aber leicht verständlich den Energiebegriff in all seinen Facetten zu erarbeiten.

Von daher ist dieses Buch nicht nur wegen der detaillierten Praxisimpulse ein „Muss“ für jede Grundschulbibliothek, wenn das Thema *Energie* wissenschaftlich fundiert und kindgerecht im Sachunterricht vermittelt werden soll.

Dieses Buch ist ebenfalls ein gelungener Beitrag zum integrativen Lernen. Denn die verschiedenen einzelfachdidaktischen Diskurse zur Energiefrage integriert Monika Reimer zu einem sachgerechten Konzept.

Für diejenigen, die sich mit dem Vorwissen von Kindern beschäftigen, ist dieses Buch ein Lehrbuch, wie diese erhoben und ausgewertet werden können. Ich empfehle deshalb dieses Buch außerdem als Musterbeispiel für Seminare zu Forschungsmethoden. Die von ihr selbst entwickelten Erhebungsmethoden passen zu der Zielgruppe und sind gleichzeitig außerordentlich produktiv. Sie lassen sich auf viele Inhaltsbereiche des Sachunterrichts analog übertragen. Auch auswertungsmethodisch hat die Verfasserin dieses Buches neue Wege eröffnet. Ihr ist es gelungen, eine Erweiterung und Ergänzung von klassischen Methoden der qualitativen Auswertung von Interviewdaten überzeugend zu präsentieren.

Oldenburg, im Dezember 2019

Astrid Kaiser

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Theoretischer Hintergrund.....	4
2.1	Hintergrundinformationen zu Energie.....	4
2.1.1	Allgemeines Energieverständnis.....	4
2.1.2	Energie aus physikalischer Sicht	5
2.1.2.1	<i>Energieformen</i>	5
2.1.2.2	<i>Von der Quelle zur Endenergie.....</i>	7
2.1.2.3	<i>Prinzipien.....</i>	9
2.1.2.4	<i>Eng verknüpfte Begriffe</i>	12
2.1.3	Ausgewählte Spezifika anderer Domänen	14
2.1.4	Zusammenfassung	16
2.1.5	Fachliche Hintergründe zu den Bildern	18
2.2	Forschungsdiskurs zu Energie.....	25
2.2.1	Überblick zu Studien im Vor- und Grundschulbereich.....	25
2.2.2	Darstellung exemplarischer Studien	30
2.2.3	Kategoriale Darstellung des Forschungsstandes.....	31
2.2.3.1	<i>Energie wird an Erscheinungen erkannt.....</i>	33
2.2.3.2	<i>Eng verknüpfte Begriffe</i>	34
2.2.3.3	<i>Konzeptualisierungen von Energie</i>	35
2.2.3.4	<i>Prinzipien und Fachbegriffe im Kontext Energie.....</i>	35
2.2.3.5	<i>Didaktische Aspekte beim Erlernen des Energiekonzeptes</i>	37
2.2.4	Zusammenfassung zum Stand der Forschung.....	37
2.3	Energie aus didaktischer Perspektive	39
2.3.1	Ist Energie ein Thema für die Grundschule?	39
2.3.2	Definitionen von Energie.....	40
2.3.3	Konzeptualisierungen von Energie.....	41
2.3.4	Didaktische Konzeptionen für die Grundschule	43
2.3.4.1	<i>Physiklernen als Sprachspiel (Starauschek, 2008)</i>	43
2.3.4.2	<i>Prinzip der Basiskonzepte (Giest, 2011)</i>	43
2.3.4.3	<i>The Energy Lens (Crissman, Lacy, Nordine & Tobin, 2015).....</i>	44
2.3.4.4	<i>Phänomenorientierter Ansatz (Kahlert & Demuth, 2008)</i>	44
2.3.4.5	<i>Schweizer Lehrwerk NaTech (Bölsterli Bardy et al., 2017).....</i>	45
2.3.4.6	<i>Gofex (Diehl & Peschel, 2016)</i>	46
2.3.5	Didaktische Konzeptionen für die Sekundarstufe.....	46
2.3.5.1	<i>Einführung über den Kraftbegriff.....</i>	46
2.3.5.2	<i>Kontextorientierung (Höfle, Parchmann & Komorek, 2009).....</i>	47
2.3.5.3	<i>Lernförderliche Metaphern (Kattmann, 2015).....</i>	48
2.3.5.4	<i>Energiequadriga (Duit, 1986a).....</i>	48
2.3.5.5	<i>Unitär vs. konsekutiv (Hadinek, Neumann & Weßnigk, 2016).....</i>	50
2.3.5.6	<i>Veranschaulichungen.....</i>	51
2.3.5.7	<i>Aufbau des Energiekonzeptes.....</i>	52
2.3.6	Rahmen-, Lehrpläne und Curricula.....	54
2.3.7	Zusammenfassende Übersicht	56
3.	Empirische Untersuchung.....	61
3.1	Forschungsrahmen	61
3.1.1	Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion.....	61

3.1.2	Besonderheiten der Forschung mit Kindern	63
3.1.3	Fragestellung	64
3.1.4	Forschungsdesign	66
3.2	Erhebungsverfahren	68
3.2.1	Qualitativer Fragebogen	68
3.2.2	Qualitative Interviews mit Impulsbildern	69
3.3	Sample	74
3.3.1	Sample für den qualitativen Fragebogen	74
3.3.2	Sample für die Interviews mit Impulsbildern	75
3.4	Ablauf der Erhebung	77
3.4.1	Beschreibung der Vorstudie	77
3.4.2	Beschreibung der Hauptstudie	78
3.5	Auswertungsverfahren	79
3.5.1	Aufbereitung der Daten	80
3.5.2	Auswertung des Fragebogens	81
3.5.3	Auswertung der Interviews	83
3.5.3.1	<i>Formale Strukturierung nach Mayring (2015)</i>	83
3.5.3.2	<i>Offenes Codieren nach Schmidt (2017)</i>	85
3.5.3.3	<i>Fragengeleitete Auswertung in Anlehnung an Mayring (2015)</i>	88
3.6	Gütekriterien	94
4.	Darstellung der Ergebnisse	99
4.1	Ergebnisse des Fragebogens	99
4.1.1	Assoziationen zum Wort Energie	99
4.1.2	Assoziationen zu erneuerbaren Energien	103
4.1.3	Weitere spannende Antworten aus dem Fragebogen	106
4.2	Kontextspezifische Vorstellungen von Grundschulkindern zu Energie	106
4.2.1	Welche Bilder wurden mit Energie assoziiert?	107
4.2.2	Darstellung spezifischer Vorstellungen zu exemplarischen Bildern	109
4.2.2.1	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Wasserkocher</i> ..	110
4.2.2.2	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Feuer</i>	112
4.2.2.3	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Fluss</i>	115
4.2.2.4	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Wasserrad</i>	117
4.2.2.5	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Sonne</i>	119
4.2.2.6	<i>Energievorstellungen evoziert durch die Impulsbilder Nahrung</i>	120
4.2.2.7	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Pferde</i>	123
4.2.2.8	<i>Energievorstellungen evoziert durch das Impulsbild Stuhl</i>	125
4.3	Kontextunabhängige Vorstellungen von Grundschulkindern zu Energie ..	126
4.3.1	Schlüsselkategorie: Alles hat Energie	129
4.3.2	Schlüsselkategorie: Eng verknüpfte Begriffe	129
4.3.3	Schlüsselkategorie: (Aus-)Wirkungen	130
4.3.4	Schlüsselkategorie: Erscheinungen/Entitäten	132
4.3.5	Schlüsselkategorie: Nutzen	133
4.3.6	Schlüsselkategorie: Normative Wertung	133
4.4	Sprach- und Argumentationsstrukturen im Zusammenhang mit Energie ..	134
4.4.1	Schlüsselkategorie: Prinzipien	134
4.4.1.1	<i>Oberkategorie: Herstellung/Entstehung</i>	135
4.4.1.2	<i>Oberkategorie: Verbrauchen</i>	135
4.4.1.3	<i>Oberkategorie: Verwenden</i>	136
4.4.1.4	<i>Oberkategorie: Umwandlung</i>	136
4.4.1.5	<i>Oberkategorie: Weitergabe</i>	137

4.4.1.6	<i>Oberkategorie: Speichern</i>	138
4.4.1.7	<i>Oberkategorie: Haben/Enthalten</i>	138
4.4.2	Schlüsselkategorie: Argumentationsstrukturen.....	140
4.4.2.1	<i>Oberkategorie: Sprachliche Verknüpfungen</i>	140
4.4.2.2	<i>Oberkategorie: Vergangenheit/Zukunft</i>	141
4.4.3	Schlüsselkategorie: Fachbegriffe.....	142
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	142
5.	Interpretation der Ergebnisse	144
5.1	Assoziationen zu Begriffen.....	144
5.1.1	Assoziationen zum Begriff Energie.....	144
5.1.2	Assoziationen zum Begriff erneuerbare Energien.....	145
5.2	Assoziationen zu Kontexten.....	146
5.2.1	Schlüsselkategorie: Alles hat Energie.....	147
5.2.2	Schlüsselkategorie: Eng verknüpfte Begriffe.....	147
5.2.2.1	<i>Energie und Strom</i>	147
5.2.2.2	<i>Energie und Kraft</i>	148
5.2.3	Schlüsselkategorie: (Aus-)Wirkungen.....	150
5.2.3.1	<i>Energie ist vorhanden, wenn etwas passiert</i>	150
5.2.3.2	<i>Energie wird deutlich in Bewegung</i>	151
5.2.3.3	<i>Wärme und Licht sind Ausdruck von Energie</i>	152
5.2.3.4	<i>Energie bedeutet Leben</i>	153
5.2.3.5	<i>Energie zeigt sich im Wachstum</i>	154
5.2.4	Schlüsselkategorie: Nutzen.....	155
5.2.5	Schlüsselkategorie: Entitäten/Erscheinungen.....	156
5.2.5.1	<i>Energie und Nahrung</i>	156
5.2.5.2	<i>Energie und Bestandteile der Nahrung</i>	157
5.2.5.3	<i>Energie und Lebewesen</i>	158
5.2.5.4	<i>Energie und Pflanzen</i>	159
5.2.5.5	<i>Energie und Substanzen</i>	160
5.2.5.6	<i>Energie und Naturerscheinungen</i>	161
5.2.6	Schlüsselkategorie: Normative Wertung.....	162
5.2.7	Schlüsselkategorie: Prinzipien.....	163
5.2.7.1	<i>Energieumwandlung vs. Herstellung und Verbrauch</i>	164
5.2.7.2	<i>Energietransport</i>	165
5.2.7.3	<i>Energiespeicherung</i>	166
5.2.7.4	<i>Energieentwertung</i>	167
5.2.7.5	<i>Energieerhaltung</i>	168
5.2.7.6	<i>Reihenfolge der Einführung der Prinzipien</i>	169
5.2.8	Schlüsselkategorie: Sprachliche Aspekte.....	170
5.2.8.1	<i>Fachbegriffe</i>	170
5.2.8.2	<i>Sprachliche Verknüpfungen</i>	170
5.2.8.3	<i>Gedankenexperiment: Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft</i>	170
6.	Schlussfolgerungen	172
6.1	Schlussfolgerungen zu den Konzeptualisierungen.....	172
6.1.1	Stofflicher Energiebegriff.....	173
6.1.2	Technischer Energiebegriff.....	173
6.1.3	Kausaler Energiebegriff.....	174
6.1.4	Anthropozentrischer Energiebegriff.....	174
6.1.5	Funktionaler Energiebegriff.....	174

6.1.6	Normativer Energiebegriff	174
6.1.7	Universalistischer Energiebegriff	175
6.1.8	Konsumorientierter Energiebegriff.....	175
6.1.9	Verknüpfungen der Konzeptualisierungen	175
6.1.10	Zusammenfassung	176
6.2	Schlussfolgerungen zur Definition von Energie	178
6.3	Schlussfolgerungen zum didaktischen Verständnis.....	182
7.	Konsequenzen für den Unterricht.....	184
7.1	Leitlinien.....	185
7.1.1	Leitlinie A: Energie ist ein vielperspektivisches Konzept	185
7.1.2	Leitlinie B: Energie ist etwas Abstraktes.....	186
7.1.3	Leitlinie C: Energie ist eine Erhaltungsgröße	187
7.1.4	Leitlinie D: Energie ist eine Naturgröße	188
7.1.5	Leitlinie E: Vorstellungen und Begriffsverständnis.....	188
7.2	Bausteine	189
7.2.1	Baustein A: Energie ist ein vielperspektivisches Konzept.....	189
7.2.1.1	<i>Universalistischer Energiebegriff</i>	189
7.2.1.2	<i>Technischer Energiebegriff</i>	190
7.2.2	Baustein B: Energie ist etwas Abstraktes	191
7.2.2.1	<i>Kausaler Energiebegriff</i>	191
7.2.2.2	<i>Stofflicher Energiebegriff</i>	195
7.2.3	Baustein C: Energie ist eine Erhaltungsgröße	197
7.2.3.1	<i>Konsumorientierter Energiebegriff</i>	197
7.2.3.2	<i>Prinzipien</i>	198
7.2.4	Baustein D: Energie ist eine Naturgröße	200
7.2.4.1	<i>Naturenergie</i>	200
7.2.4.2	<i>Anthropozentrischer Energiebegriff</i>	201
7.2.4.3	<i>Normativer Energiebegriff</i>	202
7.2.4.4	<i>Funktionaler Energiebegriff</i>	202
7.2.5	Baustein E: Vorstellungen und Begriffsverständnis	204
7.2.5.1	<i>Vorstellungen</i>	204
7.2.5.2	<i>Sprache und Begriffe</i>	205
7.3	Unterrichtsverlauf.....	207
7.3.1	Aufbau des Energiekonzeptes	207
7.3.2	Stufe 1: Energiebegriff, -definition erarbeiten.....	208
7.3.3	Stufe 2: Energieformen und Umwandlung	209
7.3.4	Stufe 3: Speicherung, Entwertung und Erhaltung.....	209
7.4	Zusammenfassung	210
8.	Fazit	212
9.	Literatur und Internetquellen	217
10.	Verzeichnisse.....	228
11.	Anhang.....	233

1. Einleitung

„Ohne Energie wäre alles weg vom Fenster“ (Junge, 4. Klasse).

Energie ist allgegenwärtig und spielt in allen Bereichen unseres Lebens eine wichtige Rolle (Giest, 2011). Auch Kinder machen sich Gedanken dazu und haben bereits vielfältige Vorstellungen, was Energie ist (Haider, 2016). Über das Fernsehen oder Gespräche, aber auch durch Geschichten oder Lieder findet das Wort *Energie* Eingang in die kindliche **Lebenswelt**. Zudem begegnet es Kindern in Redewendungen, wie „viel Energie haben“ oder „essen, um Energie zu bekommen“ (Kahlert & Demuth, 2008).

Aus der zentralen Aufgabe des Fachs Sachunterricht, die Kinder dabei zu unterstützen, die Welt zu verstehen (Kaiser, 2006; Giest, Hartinger & Tänzer, 2017), ergibt sich die **Relevanz**, den Inhalt Energie in der Grundschule zu thematisieren. Diese Aufgabe wird auch im Kerncurriculum Sachunterricht (Niedersächsisches Kultusministerium, 2017) und dem Perspektivrahmen (GDSU, 2013) herausgestellt. Wodzinski (2011) erläutert, dass Konsens darüber herrscht, dass aufgrund der Orientierung an epochaltypischen Schlüsselproblemen¹ Energie in der Grundschule aufgegriffen werden sollte. Auch Kaiser (2012) betont, dass es notwendig ist, bereits jüngere Kinder dabei zu unterstützen, den Inhalt Energie zu verstehen.

Trotzdem wird Energie umfassend erst in den weiterführenden Schulen behandelt, was damit begründet wird, dass sie aufgrund ihrer **Komplexität** in ihrer Gesamtheit schwierig zu erfassen ist (Duit, 2007; Hadinek, Neumann & Weißnigk, 2016; Rizaki & Kokkotas, 2013; Staraschek, 2008). Einige Studien konnten aber bereits zeigen, dass die Vermittlung des Energiekonzepts in der Grundschule sinnvoll und möglich ist (Nicholls & Ogborn, 1993; Rizaki & Kokkotas, 2013; Staraschek, 2008; Trumper, 1993).

Duit (2014) hebt den **interdisziplinären Charakter** von Energie hervor, welcher für ein umfassendes Verständnis von Energie verdeutlicht werden muss. Aufgrund der Fächertrennung in den weiterführenden Schulen ist dieser dort aber schwierig zu vermitteln. Aus diesem Grund sollte in Anlehnung an Peschel (2016) die Chance des Faches Sachunterricht genutzt werden, den Kindern einen vielperspektivischen Zugang zu Energie in der Grundschule zu ermöglichen. Dabei ist zu beachten, dass an den aufgebauten Energiebegriff in den unterschiedlichen Fächern der weiterführenden Schulen angeknüpft werden kann. Dieses begründet sich aus der Aufgabe des Faches Sachunterricht, eine Grundlage für den Fachunterricht an den weiterführenden Schulen zu legen (GDSU, 2013).

Nach Peschel (2016) fehlen allerdings **didaktische Konzepte**, wie der Inhalt Energie im Sachunterricht anschlussfähig umgesetzt werden kann. Es gibt einige Studien, die das allgemeine Energieverständnis von Grundschulkindern ermittelt haben (z.B. Nicholls, 1992; Forde, 2003; Liu & Tang, 2004; Novak, 2005). Diese wurden aber

¹ Nach Klafki (1992) ist Energie dem zweiten epochaltypischen Schlüsselproblem Umwelt zuzuordnen, in dem es darum geht, ein Problembewusstsein für die tendenzielle Erschöpfung der natürlichen Ressourcen zu entwickeln und Umweltzerstörung auf Grund technologisch-ökonomischer Entwicklungen zu verstehen.

meistens aus einer fachlichen und nicht aus einer vielperspektivischen Sicht heraus durchgeführt. Deshalb ist es schwierig, aus den Ergebnissen Konzepte zum Aufbau eines vielperspektivischen Energiebegriffs abzuleiten. Die daher verbleibende Forschungslücke soll mit Hilfe dieser Studie geschlossen werden. Dafür wird die Forschungsfrage „*Welche Vorstellungen haben Grundschulkinder von Energie?*“ mit einem vielperspektivischen Blick bearbeitet. Das Ziel ist es, Möglichkeiten aufzuzeigen, wie der vielperspektivische Inhalt Energie zum Thema im Sachunterricht der Grundschule werden kann. Den Forschungsrahmen dafür bildet das Modell der *Didaktischen Rekonstruktion* (Kattmann, Duit, Gropengießer & Komorek, 1997), aus dem sich die **Gliederung** der Arbeit in drei große Bereiche ergibt (*Theoretischer Hintergrund, Empirische Erhebung sowie Ableiten von Konsequenzen für den Unterricht*).

Als Erstes wird Energie theoretisch betrachtet und dafür aus dem Alltagsverständnis sowie aus fachlicher Sicht betrachtet. Da der Begriff *Energie* vorrangig von der Physik aus entwickelt wurde (Duit, 1986a, 2007; Klinger, 2007), wird er zunächst aus der physikalischen Sicht beleuchtet (Kapitel 2.1.2). Weil er allerdings in den verschiedenen Fachdisziplinen divergent verstanden wird (Burger, 2001; Opitz, Blankenstein & Harms, 2017), werden diese Ausführungen anschließend durch Spezifika aus anderen Domänen ergänzt (Kapitel 2.1.3). Für einen Einblick in den Forschungsstand werden zuerst verschiedene Studien aus dem Grundschulbereich vorgestellt (Kapitel 2.2.1 und 2.2.2). Anschließend wird in Form einer Metaanalyse in Anlehnung an Kattmann (2015) ein umfassender Überblick über Vorstellungen zum Inhalt Energie aus bisherigen Studien gegeben. Bei dieser Übersicht werden auch Vorstellungen älterer Schülerinnen und Schüler berücksichtigt (Kapitel 2.2.3). Zum Abschluss des Theoriekapitels wird Energie aus der didaktischen Perspektive betrachtet. Dabei wird zunächst diskutiert, ob der Inhalt Energie ein sinnvolles Thema für die Grundschule darstellt (Kapitel 2.3.1). Danach werden unterschiedliche Definitionen und Konzeptualisierungen vorgestellt (Kapitel 2.3.2 und 2.3.3) sowie didaktische Konzepte für die Grundschule, wie z. B. der Phänomenorientierte Ansatz von Kahlert und Demuth (2008), das Prinzip der Basiskonzepte von Demuth und Rieck (2005) bzw. Giest (2011) sowie das Konzept *The energy lens* von Crissman, Lacy, Nordine und Tobin (2015) präsentiert (Kapitel 2.3.4). Darüber hinaus werden auch Konzepte für die weiterführenden Schulen aufgegriffen, wie die Energiequadriga von Duit (1986a), die Kontextorientierung von Höbtle, Parchmann und Komorek (2009) sowie verschiedene Veranschaulichungen (z.B. Sankey- oder Würfeldiagramme) (Kapitel 2.3.5). Im empirischen Teil der Arbeit wird zunächst das Forschungsdesign, mit dem die Forschungsfrage „*Welche Vorstellungen haben Grundschulkinder von Energie?*“ beantwortet werden soll, dargestellt (Kapitel 3.1). Im Anschluss an die Erläuterungen zum *Modell der Didaktischen Rekonstruktion* (Kattmann et al., 1997) (Kapitel 3.1.1) werden die Erhebungsmethoden *qualitativer Fragebogen* (Döring & Bortz, 2016) und *qualitative, teilstrukturierte Interviews mit Impulsbildern* (Kruse, 2015; Heinzl, 2012) erläutert (Kapitel 3.2). In Kapitel 3.3 wird das Sample und in Kapitel 3.4 die Durchführung der Erhebung beschrieben. Die inhaltsanalytische Auswertung erfolgt mit Hilfe einer selbst entwickelten Auswertungsmethode in Anlehnung an Schmidt (2017) und Mayring (2015) (Kapitel 3.5). Die Güte der Arbeit wird nach Steinke (2010), Moser (2015) und Lamnek (2010)

in den Blick genommen und diskutiert (Kapitel 3.6). Die Ergebnisdarstellung erfolgt gegliedert nach den einzelnen Forschungsfragen mit Unterstützung von Schaubildern und Grafiken (Kapitel 4). Dabei wird zunächst dargestellt, welche Assoziationen die Schülerinnen und Schüler zum Wort Energie im Fragebogen geäußert haben (Kapitel 4.1). Anschließend wird anhand exemplarischer Phänomene aufgezeigt, welche kontextspezifischen Vorstellungen ermittelt wurden (Kapitel 4.2), woraus in Kapitel 4.3 kontextunabhängige Kategorien abgeleitet wurden. Zum Abschluss des Kapitels werden noch Ergebnisse zu Sprach- und Argumentationsstrukturen dargestellt (Kapitel 4.4) und eine Zusammenfassung der Gesamtergebnisse gegeben (Kapitel 4.5). Danach werden die Ergebnisse unter Rückgriff auf die theoretischen Ausführungen interpretiert und die Forschungsfrage beantwortet (Kapitel 5). Dieses Kapitel wird unterteilt in Assoziationen zu Begriffen (Kapitel 5.1) und Kontexten (Kapitel 5.2). Im sechsten Kapitel werden die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen zusammengefasst und in ein didaktisches Modell überführt, wobei zuerst Schlussfolgerungen zur Konzeptualisierung (Kapitel 6.1), zur Definition (Kapitel 6.2) und zum didaktischen Verständnis (Kapitel 6.3) gegeben werden. In Form von didaktischen Leitlinien und Unterrichtselementen werden aus den Ergebnissen Implikationen für die Praxis abgeleitet (Kapitel 7). Die Darstellung ist unterteilt in Leitlinien (Kapitel 7.1), Bausteine, in denen die Unterrichtselemente dargestellt werden (Kapitel 7.2) und Unterrichtsverlauf (7.3). Zum Abschluss werden in einem Fazit die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und Anknüpfungspunkte für weitere Forschung aufgezeigt (Kapitel 8).

2. Theoretischer Hintergrund

Den Forschungsrahmen für diese Arbeit bildet das *Modell der Didaktischen Rekonstruktion*² (Kattmann et al., 1997). In diesem Forschungsmodell besteht die Aufgabe darin, fachwissenschaftliche bzw. fachdidaktische Erkenntnisse mit den erhobenen Schülervorstellungen in Bezug zu setzen und daraus Implikationen für die Unterrichtspraxis zu entwickeln. In diesem Kapitel wird daher zunächst Energie aus fachwissenschaftlicher Perspektive dargestellt. Anschließend erfolgt ein Überblick zu Energie im Forschungsdiskurs. Als Drittes werden didaktische Konzepte für die Grund- und weiterführenden Schulen erläutert.

2.1 Hintergrundinformationen zu Energie

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, spielt der Inhalt *Energie* in verschiedenen Fachwissenschaften eine entscheidende Rolle (Duit, 2014; Burger, 2001). Nach Duit (1986a) wird er aber je nach Disziplin unterschiedlich pointiert. Kattmann (2015) fasst zusammen: „[I]n Naturwissenschaften gilt Energie als ein die Disziplinen übergreifendes Grundkonzept, das in Physik, Chemie und Biologie unterschiedlich akzentuiert wird“ (S. 91). Da Energie alle Bereiche unseres Lebens betrifft, werden in diesem Kapitel ausgehend vom allgemeinen Energieverständnis spezifische Aspekte ausgewählter Fachrichtungen dargestellt. Aus den Erläuterungen werden die für diese Studie relevanten Aspekte abgeleitet und zusammengefasst. Im Anschluss werden fachliche Hintergründe zu den exemplarischen Kontexten³ (Bildern) gegeben.

2.1.1 Allgemeines Energieverständnis

In der Literatur werden verschiedene Sichtweisen auf Energie unterschieden. Im Brockhaus (2006) werden zu Energie **allgemein** *Tatkraft* oder *Schwung* sowie *körperliche* und *geistige Spannkraft* angegeben. **Wissenschaftlich** wird sie als *Konzept der Physik* bzw. *Technik* erläutert (Brockhaus, 2006). **Sprachlich** betrachtet, bedeutet griechisch „energeia“ dem Wortsinn nach „*das ins Werk Setzende*“, abgeleitet von griechisch „ergon“: „das Werk“. Es setzt sich aus „en: ‚in‘, ergeia“: ‚das Wirkende‘ oder ‚die wirkende Kraft““ (Kattmann, 2015, S. 91) zusammen. Harms (2016) übersetzt Energie mit *Tatkraft* bzw. einer Art von Aktivität. **Umgangssprachlich** hat das Wort *Energie* sehr unterschiedliche Bedeutungen und Assoziationen von *spiritueller Energie* bis hin zu *physikalisch definierten Größen* wie *Kraft*, *Arbeit*, *Wärme* und *Strom* (Kattmann, 2015; Brockhaus, 2006). In der Alltagssprache wird Energie mit „Substantive[n] wie Power, Kraft, Leistungsfähigkeit, Schwung, Tatkraft, Nachdruck, Elan, Mumm und Adjektive[n] wie energisch, stark, aktiv, schwungvoll, tüchtig, entschlossen, durchsetzungsstark sowie deren Negationen“ (Burger, 2001, S. 12-13) verknüpft.

In der Fachliteratur wird Energie meistens als Grundkonzept der Physik definiert (Duit, 1986a; Klinger, 2007), was nach Duit (1986a) damit begründet werden kann, dass der Begriff im Wesentlichen von der Physik entwickelt wurde. Gleichzeitig wird aber auf die Bedeutung für alle Naturwissenschaften verwiesen. Klinger (2007)

² Detailliertere Ausführungen vgl. Kapitel 3.1.1

³ Die Daten der Studie wurden mit Interviews zu exemplarischen Kontexten, die in Form von Bildern präsentiert wurden, erhoben (vgl. Kapitel 3.2.2).

formuliert: „Energie ist ein Basiskonzept der Physik und spielt darüber hinaus in allen Naturwissenschaften eine herausragende Rolle“ (S. 4). Ähnlich verweist auch Duit (1986a) auf die Bedeutung für alle Naturwissenschaften:

„Der Energiebegriff, als ein Begriff entwickelt, der für den Zusammenhang der verschiedenen ‚Naturkräfte‘ sorgte, trug also bereits bei seiner Entwicklung starke interdisziplinäre Züge. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass er in allen Naturwissenschaften von großer Bedeutung ist“ (Duit, 1986a, S. 4f).

Dieser interdisziplinäre Blick auf Energie ist für diese Studie elementar. Im Folgenden werden zunächst die Grundprinzipien aus physikalischer Sicht erläutert und anschließend ausgewählte Spezifika anderer Domänen ergänzt.

2.1.2 Energie aus physikalischer Sicht

Harten (2014) beschreibt einige wichtige Aspekte des Konzeptes:

„Energie hat die bemerkenswerte Eigenschaft, in mancherlei unterschiedlichen Formen auftreten zu können und sich von der einen in die andere überführen zu lassen; insofern ist sie wandelbar. Sie kann aber weder geschaffen noch vernichtet werden; insofern ist sie unwandelbar, ihr Betrag bleibt konstant“ (Harten, 2014, S. 43).

Im Zitat wird der Grundgedanke von Energie beschrieben, dass diese nicht hergestellt oder verbraucht, sondern nur umgewandelt werden kann. Bevor auf diese Aspekte näher eingegangen wird, soll aber zunächst erklärt werden, was mit den im Zitat erwähnten **Formen** gemeint ist.

2.1.2.1 Energieformen

Kattmann (2015) verdeutlicht, dass der Grund, warum Energieformen unterschieden werden, der ist, dass Energie selbst nicht sichtbar ist, sondern sie nur durch die mit dem Energiefluss einhergehenden Erscheinungen (Bewegung, (mechanische) Arbeit, Wärme- und Lichtstrahlung) mit den Sinnen wahrgenommen werden kann. Kahlert und Demuth (2008) unterscheiden mit Blick auf die Grundschule mehrere Energieformen. Insgesamt gibt es je nach Fach und Zielrichtung verschiedene Möglichkeiten, Energieformen einzuteilen. Kaper und Goedhart (2002) plädieren dafür, Energie nur in zwei Formen zu unterscheiden, nämlich thermodynamisch-potenzielle und kinetische. Duit (1986a) ordnet die Energieformen ebenfalls in nur zwei Kategorien: Speicher- und Austauschformen.

Für diese Studie wird eine feinere Einteilung der Energieformen in Anlehnung an Schabbach und Wesselak (2012), Diekmann und Rosenthal (2014) sowie Kahlert und Demuth (2008) verwendet. Diese Entscheidung begründet sich dadurch, dass diese Einteilungen verschiedene Erscheinungsformen berücksichtigen, die in unterschiedlichen Alltagsphänomenen eine Rolle spielen. Eine schlüssige Einteilung der Energieformen findet sich auch auf der Internetseite Leifi-Physik⁴, an die die folgende selbst erstellte Grafik zur Veranschaulichung der Energieformen angelehnt ist.

⁴ <https://www.leifiphysik.de/mechanik/arbeit-energie-und-leistung> (aufgerufen am 08.02.19)

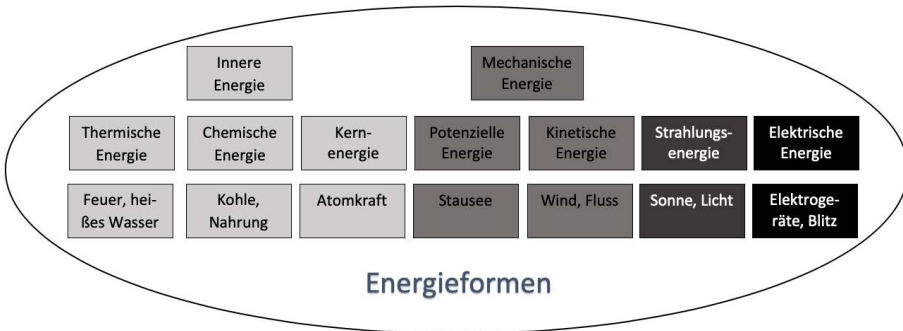


Abbildung 1: Energieformen

In der Tabelle 1 werden die einzelnen Energieformen, die in der Grafik dargestellt sind, definiert und mit Beispielen erklärt.

Tabelle 1: Energieformen mit Definition und Beispielen

Energieform	Definition/Erläuterungen	Energieträger Beispiele
1.1 Thermische Energie	„Als thermische Energie wird die wahrnehmbare Summe der ungeordneten Bewegungs- und Lageenergie der Moleküle eines Stoffes bezeichnet, messbar durch Temperatur und Druck“ (Schabbach & Wesselak, 2012, S. 26).	Wärme eines Feuers, der Heizung, eines Wasserkochers, der Sonne
1.2 Chemische Energie	„Zu den Trägern und Speichern chemischer Energie zählen unsere Nahrungsmittel“ (Soostmeyer, 2001, S. 9).	In chemischen Verbindungen gespeicherte Energie von Nahrungsmitteln, Brennstoffen (Holz, Kohle, Erdöl), Batterien
1.3 Kernenergie	Nukleare Bindungsenergie „umfasst sowohl die in der chemischen Verbindung einzelner Atome zu Molekülen als auch die in der Verbindung von einzelnen Kernbausteinen zu Atomkernen gespeicherte Energie“ (Schabbach & Wesselak, 2012, S. 26).	Radioaktive Elemente (z. B. Uran)
2.1 Potenzielle Energie	„Potenzielle Energie besitzt ein Körper auf Grund seiner Lage in einem Kraftfeld, beispielsweise dem Gravitationsfeld der Erde. Sie wird daher häufig auch als Lageenergie bezeichnet“ (Schabbach & Wesselak, 2012, S. 27). Nach Soostmeyer (2001) wird sie „potenzielle Energie (mögliche Energie) genannt, weil sie nur dann wirkt, wenn sie in Bewegungsenergie umgewandelt wird“ (S. 6).	Gehobene oder gespannte Dinge, z. B. gebogener Ast, gespannte Metallfeder, gespanntes Gummiband, gehobene Murmel, Stausee (gestautes Wasser im oberen Becken)

Energieform	Definition/Erläuterungen	Energieträger Beispiele
2.2 Kinetische Energie	„Kinetische Energie kann in Form einer Drehbewegung – beispielsweise bei einer Turbine oder einem Wasserrad – oder einer geradlinigen Bewegung – so in einer Wind- oder Wasserströmung – vorliegen“ (Schabbach & Wesselak, 2012, S. 26).	Sich bewegende Dinge, z.B. rollende Kugel, drehender Kreisel, fahrendes Auto, laufende Menschen oder Tiere, Wind, fließendes Wasser
3. Strahlungsenergie	Als Strahlungsenergie wird die Strahlung der Sonne, aber auch die des künstlich hergestellten Lichtes verstanden (Soosmeyer, 2001).	Elektromagnetische Strahlung, z. B. Sonne, Blitz, Glühlampe
4. Elektrische Energie	„Elektromagnetische Energie ist der Oberbegriff für die in elektrischen oder magnetischen Feldern gespeicherte sowie die durch elektromagnetische Strahlung transportierte Energie“ (Schabbach & Wesselak, 2012, S. 26). Elektrische Energie kann mit Hilfe von Generatoren aus Bewegungsenergie umgewandelt werden. Diese Bewegung wird von Turbinen übertragen, die von Wind oder Wasser oder der Verbrennung von Stoffen wie Holz, Kohle, Gas oder Öl angetrieben werden (Soostmeyer, 2001).	Energie in einem Stromkreis, z.B. Blitze, Elektrogeräte (Wasserkocher), Auto, Magneten

Die verschiedenen Energieformen können mit unterschiedlichen **Energieträgern** verknüpft werden. Wird die Energie in einem Träger längere Zeit gespeichert, wird der Träger als Energiespeicher bezeichnet (Kaiser, Lüschen & Reimer, 2012). Ein Energieträger kann mit verschiedenen Energieformen verknüpft werden, der Energieträger Wasser z. B. mit *potenzieller Energie* im oberen Becken eines Stausees, mit *kinetischer Energie* im Fluss oder Wasserfall, mit *thermischer Energie* als Transportmittel in der Heizung und so weiter (siehe Hopp, 2016).

2.1.2.2 Von der Quelle zur Endenergie

Energieformen und –träger können unterschieden werden in Energiequellen sowie Primär-, Sekundär- und Nutz- bzw. Endenergie (Heinrich, 2015).

Die uns auf der Erde zur Verfügung stehende Energie geht auf vier **Energiequellen** zurück: Radioaktivität, Gravitation, Sonnenstrahlung und Erdwärme (Heinrich, 2015). Die Sonne ist die Energiequelle, auf die die meiste Energie, die uns auf der Erde zur Verfügung steht, zurückzuführen ist. Neben der unmittelbaren Strahlungsenergie und anderweitigem Wettergeschehen (Wind, Blitzen) bewirkt die Sonne Fotosynthese (erzeugt Biomasse) und liefert die Energie für Erdöl u.Ä. (Diekmann & Rosenthal, 2014; Schabbach & Wesselak, 2012).

Primärenergie ist Energie im ursprünglichen noch nicht technisch aufbereiteten Zustand (Schabbach & Wesselak, 2012). Anders ausgedrückt ist es „das Dargebot an Energie vor der Umwandlung: Die chemische Energie der fossilen Brennstoffe, die

nukleare Energie der Kernbrennstoffe, aber auch der Anteil des gesamten Solarenergiedargebots, der z. B. zur Verstromung eingesetzt wird“ (Diekmann & Rosenthal, 2014, S. 4).

Primärenergie(träger) können unterschieden werden in **erneuerbare** bzw. **regenerative, aufbrauchende** bzw. **fossile Energieträger** sowie nukleare **Energieträger** (Heinrich, 2015; Schabbach & Wesselak, 2012). Unter erneuerbar werden die Energieträger verstanden, die sich in menschlichen Zeitdimensionen betrachtet erneuern (Schabbach & Wesselak, 2012; Kaltschmitt, Streicher & Wiese, 2014). Sowohl erneuerbare als auch fossile Energieträger entstehen natürlich. „Allen fossilen Energieträgern ist gemein, dass sie aus abgestorbenen Bestandteilen von Pflanzen und Tieren entstanden sind. Bei ihrer energetischen Umwandlung (Verbrennung) wird hauptsächlich CO₂ freigesetzt, welches lange zuvor beim Wachstum der Ausgangsbestandteile gespeichert wurde“ (Diekmann & Rosenthal, 2014, S. 15). **Fossile Energieträger** sind Mineralöl, Erdgas, Stein- und Braunkohle (Diekmann & Rosenthal, 2014). Die **Kernenergie** wird analog genutzt (Spaltung und Fusion; Uran u. Ä.) (Diekmann & Rosenthal, 2014; Heinrich, 2015).⁵ Unter **erneuerbaren Energien** werden Sonne, Biomasse, Wind, bewegtes Wasser (z. B. durch Gezeiten, Wellen, Strömungen) und Erdwärme verstanden (Diekmann & Rosenthal, 2014; Heinrich, 2015). Meistens werden die erneuerbaren analog zu den fossilen Energien mit Hilfe von Generatoren in elektrische Energie umgewandelt. Zusätzlich werden erneuerbare Energien in mechanische Energie umgesetzt. Mit Hilfe von Wasserrädern wird zum Beispiel die Energie des bewegten Wassers zum Antrieb einfacher Maschinen oder für das Bewegen eines Mahlsteins genutzt (Müller & Kaupert, 2003). In der Abbildung 2 ist dargestellt, wie die Energie, die in regenerativen Energieträgern steckt, mit Hilfe verschiedener Wandler umgewandelt wird und welche Energieformen eine Rolle spielen.

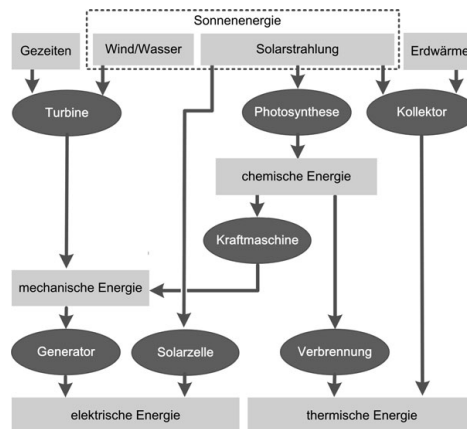


Abbildung 2: Ausgewählte Umwandlungspfade regenerativer Energien (Schabbach & Wesselak, 2012, S. 68)

⁵ Fossile Energieträger werden zur Umwandlung in elektrische Energie genutzt. Dafür werden sie in Kraftwerken verbrannt, um Wasser zu erwärmen. Der dadurch entstehende Wasserdampf wird komprimiert und mit erhöhtem Druck durch eine Turbine geleitet, an die ein Generator angeschlossen ist (Diekmann & Rosenthal, 2014).

Sekundärenergie wird durch die Umwandlung in technischen Anlagen aus Primärenergieträgern hergestellt (Kaltschmitt, Streicher & Wiese, 2014). Gemeint sind damit z. B. die chemische Energie des Benzins oder die elektrische Energie nach der Verstromung (Diekmann & Rosenthal, 2014).

„Der hiervon an den Verbraucher weitergegebene Anteil (also der nicht z. B. in der Raffinerie oder dem Kraftwerk selbst verbrauchte Anteil) heißt Endenergie“ (Diekmann & Rosenthal, 2014, S. 4). Als **Endenergie** wird der Teil der Energie bezeichnet, der von dem Nutzer zu ihrer eigentlichen Bestimmung verwendet wird (Schabbach & Wesselak, 2012; Heinrich, 2015). „Die wesentlichen verbraucherseitigen Untergruppen der Endenergie bilden Wärme (Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme), Bewegungsenergie (Verkehr) und elektrische Energie inklusive Licht“ (Diekmann & Rosenthal, 2014, S. 5).

In Abbildung 3 werden noch einmal die vier Quellen, auf die die Gesamtenergie der Erde zurückgeführt werden kann, sowie deren Umwandlung mit Hilfe natürlicher oder technischer Wandler dargestellt.

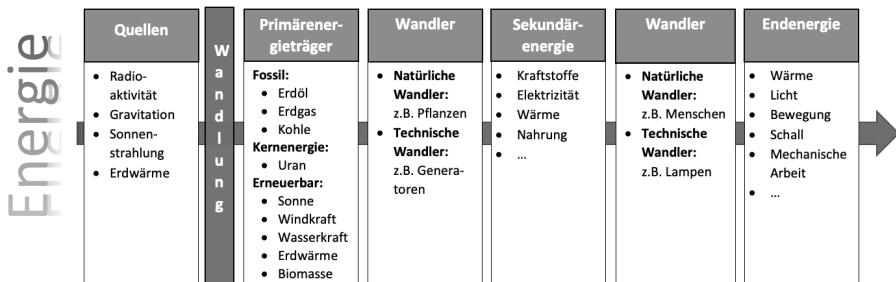


Abbildung 3: Energieumwandlung: Von der Quelle zur Endenergie

2.1.2.3 Prinzipien

Nach Duit (1986a, 1986b) lässt sich Energie aus physikalischer Sicht mit vier Grundprinzipien beschreiben⁶. Diese sind in Abbildung 4 dargestellt.

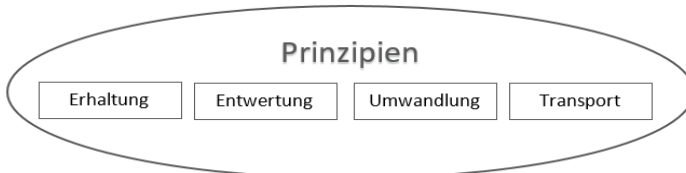


Abbildung 4: Prinzipien in Anlehnung an Duit (1986a)

In dem Eingangszitat dieses Kapitels wurden einige wichtige Grundprinzipien von Energie wie Umwandlung und Erhaltung bereits angesprochen. **Energieerhaltung** gibt es streng genommen nur in abgeschlossenen Systemen (Schabbach & Wesselak, 2012). Obwohl diese in der Realität nicht vorhanden sind, ist dieses Ideal für die Modellbildung notwendig. An das Prinzip der Energieerhaltung ist das Verständnis

⁶ Die vier Grundprinzipien fasst Duit (1986) in der Energiequadriga zusammen. Die Relevanz dieser vier Aspekte aus didaktischer Sicht wird in Kapitel 2.3.5.4 weiter erläutert.

geknüpft, dass Energie nicht erzeugt oder vernichtet, sondern nur umgewandelt, übertragen oder entwertet werden kann. Buchholz (2016) verdeutlicht diesen Gedanken so: „Wenn irgendwo urplötzlich Energie auftaucht, dann war sie vorher bereits in einer anderen Form vorhanden, aus der sie umgewandelt wurde“ (S. 41). Obwohl die Erde selbst kein abgeschlossenes System ist, bleibt die Energiebilanz auf der Erde konstant (Schabbach & Wesselak, 2012). Durch den Austausch mit dem Weltall kommt Energie durch die Sonnenstrahlung auf die Erde und es wird Energie in Form von Wärme wieder an das Weltall abgegeben. Dadurch, dass die Energiemengen nicht immer gleich sind, wird verhindert, dass es auf der Erde nicht immer wärmer wird.⁷ Die folgende Abbildung visualisiert diese Zusammenhänge.

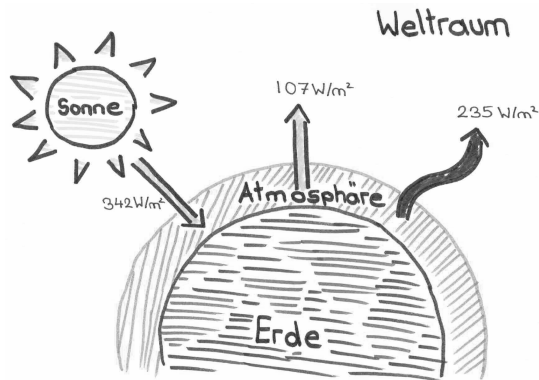


Abbildung 5: Strahlungshaushalt der Erde

Das Besondere am Energiekonzept ist, dass Energie nicht hergestellt oder verbraucht, sondern nur umgewandelt werden kann. **Energieumwandlung** zeichnet sich dadurch aus, dass innerhalb eines Systems Nutzenergie ab- und Wärme immer mehr zunimmt. Die in den Energieträgern enthaltene Energie liegt meistens nicht in der Form vor, in der sie genutzt werden soll, weshalb erst Energieumwandlungen stattfinden, bevor der Energieinhalt der verschiedenen Energieträger genutzt werden kann (Kahlert & Demuth, 2008). „Die Umwandlung von einer Energieform in eine andere geschieht technisch durch sog. Kraft- und Arbeitsmaschinen“ (Heinrich, 2015, S. 30, Abkürzung im Original). Herwig (2016) erläutert, dass Energien in verschiedenen Formen nur zum Teil begrenzt ineinander umgewandelt werden können und für den Nutzer einen unterschiedlichen Wert haben. Um Primärenergie in Sekundärenergie umzuwandeln, ist immer Wasser notwendig. Die einzige Ausnahme bildet das Umwandeln von Sonnenenergie in elektrische Energie mit Hilfe von Aufwindkraftwerken oder Fotovoltaik (Hopp, 2016). Bei der technischen Nutzung des Windes findet keine Umwandlung statt. Die Bewegungsenergie des Windes wird auf die Rotorblätter der Windenergieanlage übertragen.

Das Prinzip der Energieumwandlung wird in der Abbildung 6 an Hand eines Beispiels verdeutlicht: Ein gehobener Ball hat zunächst aufgrund seiner Lage (Abstand zum Boden) potenzielle Energie. Wird er fallengelassen, wird diese potenzielle Energie in

⁷ Störungen dieses Austausches führen zum Klimawandel. Hintergründe und didaktische Hinweise zu diesem Thema siehe Lüschen (2015).

kinetische Energie umgewandelt. Beim Aufprall wird der Ball verformt. Seine Energie wird beim Ausformen wiederum in kinetische Energie umgewandelt usw. Die Energieformen wandeln sich von potenzieller Energie in kinetische Energie und wieder in potenzielle Energie. Das System ist dabei die ganze Zeit der Ball in Relation zum Fußboden.

Wie in der Abbildung 6 deutlich wird, spielen bei diesem Vorgang nicht nur Energieumwandlung, sondern auch Energieübertragung eine Rolle.

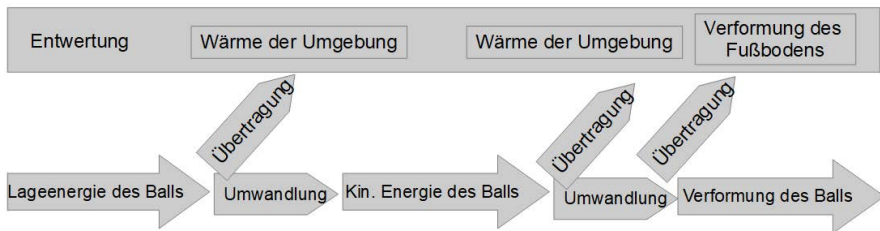


Abbildung 6: Energieumwandlung

Energieübertragung oder **-transport** bezeichnen die Weitergabe von Energie in der gleichen Energieform von einem System auf ein anderes. „Bei Wechselwirkungen zwischen Systemen nehmen die Beträge der Energie in einigen Systemen zu, in anderen ab“ (Duit, 1986a, S. 96).

Beim Kochen wird die thermische Energie der Herdplatte auf die Pfanne und von dort wiederum auf die Speisen übertragen. Dabei wird die Energieform *Wärme* auf verschiedene Medien (Herd, Pfanne, Speise) übertragen. Darüber hinaus wird Wärme an die Umgebung abgegeben. Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 7 visualisiert.

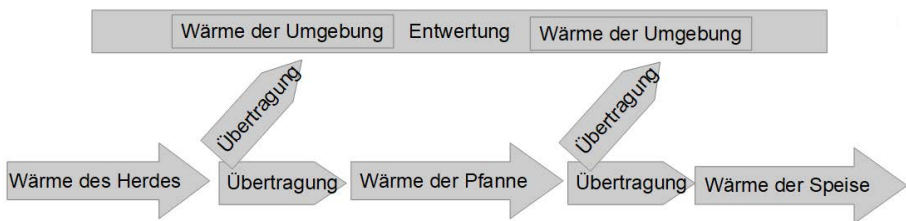


Abbildung 7: Energieübertragung

Sowohl bei der Energieumwandlung als auch bei der -übertragung wird ein Teil der Energie in Form von Wärme an die Umgebung abgegeben. Bei unserem Beispiel mit dem Ball springt dieser jedes Mal etwas weniger hoch, weil ein Teil der kinetischen Energie durch die Reibung an der Luft in Wärme umgewandelt wird. Diese entstandene Wärme ist nicht weiter nutzbar, sie ist entwertet (Duit, 2007). **Energieentwertung** findet bei jedem real ablaufenden Prozess statt und drückt aus, dass die verwertbare Energie abnimmt (Duit, 2007). Umgangssprachlich wird dies

fälschlicherweise als „Energieverlust“ oder „Energieverschwendung“ bezeichnet (Buchholz, 2016).⁸

In der Thermodynamik werden zwei Begriffe verwendet, die die Tatsache beschreiben, dass Energie nicht vernichtet werden kann und dennoch nicht weiter nutzbar ist: **Exergie** und **Anergie**. „Energie = Exergie + Anergie“ (Buchholz, 2016, S. 35). Exergie bezeichnet den Teil der Energie, der genutzt werden kann, um Arbeit zu verrichten, also den Teil, der von Interesse ist. Anergie stellt den nutzlosen Bestandteil der Energie dar, also den entwerteten Teil, mit dem keine Arbeit verrichtet werden kann (Buchholz, 2016). Bei allen realen Prozessen verwandelt sich Exergie in Anergie. Diese Prozesse sind irreversibel, weil es unmöglich ist, Anergie in Exergie zu verwandeln. Bei Energieumwandlungen geht also keine Energie verloren, die Energie ist aber thermodynamisch weniger wert, da der Exergieanteil sinkt (Schabbach & Wesselak, 2012). Die Güte von Energieumwandlern wird daran gemessen, wie hoch der Anteil an nutzbringender Energie (Exergie) im Vergleich zur unerwünscht entstandenen Energie (Anergie) ist (Heinrich, 2015).

Das Verhältnis der von einer Anlage oder Maschine verrichteten Nutzarbeit zum Energieaufwand wird als **Wirkungsgrad** bezeichnet (Heinrich, 2015). Ein Wirkungsgrad von 40 % bedeutet, dass 40 % der zugeführten Energie nutzbringend umgewandelt wird. Bei einer Glühbirne beispielsweise wird nur ca. 5 % der Energie in Licht umgewandelt, der Rest wird in Wärme umgesetzt (Kahlert & Demuth, 2008).

2.1.2.4 Eng verknüpfte Begriffe

Es gibt einige Begriffe, die im engen Zusammenhang mit Energie stehen und in der Alltagssprache häufig zur Erklärung oder sogar synonym verwendet werden. Diese sind in der Abbildung 8 dargestellt und werden im Folgenden gegeneinander abgegrenzt.

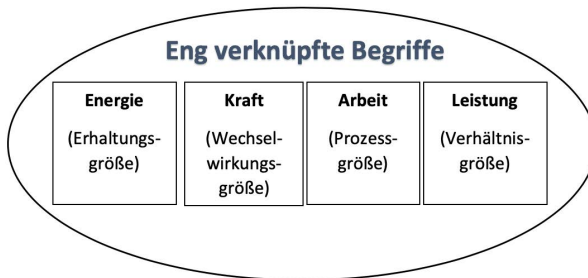


Abbildung 8: Eng verknüpfte Begriffe

Schabbach und Wesselak (2012) betonen, dass Energie eine *Bilanzierungs- bzw. Erhaltungsgröße* ist. **Kraft** hingegen ist eine *Wechselwirkungsgröße*, die im Moment der Energieübertragung oder Energieumwandlung vorhanden ist (Buchholz, 2016).

⁸ Das Konstrukt der Energieentwertung kann mit einer Analogie verständlich gemacht werden. Wenn Wasser aus einer Gießkanne in einen Eimer mit Sand gegossen wird, ist das Wasser nicht weg, aber es ist zunächst nicht weiter nutzbar. (Kahlert & Demuth, 2008). Mit verschiedenen Verfahren ist es möglich, das Wasser wieder nutzbar zu machen. Für das Nutzbarmachen des Wassers oder der entwerteten Energie muss aber Energie aufgewendet werden (Müller, 2008; Rincke & Schwarze, 2008).

Aufgrund dieses Unterschieds ist es wichtig zwischen *Kraft* und *Energie* zu differenzieren. Nach Heinrich (2015) sind Kräfte an ihrer Wirkung erkennbar. Sie können eine Bewegungsänderung und/oder Verformung hervorrufen. „Eine Kraft erkennt man an einer beschleunigenden oder verformenden Wirkung auf einen Körper“ (S. 3). Da diese Definition auch auf Energie zutrifft, ist es wichtig, zu verdeutlichen, dass ein Körper Energie hat, aber keine Kraft (zumindest nicht im physikalischen Sinne). Eine Kraft wirkt auf einen Körper oder wird von ihm ausgeübt (Rincke & Schwarze, 2008). Kraft ist also im Unterschied zu Energie keine Eigenschaft oder Fähigkeit eines Körpers und kann nicht gespeichert oder nutzbar gemacht werden, wenn sie benötigt wird.⁹

„Energie beschreibt einen Systemzustand, ohne etwas darüber auszusagen, wie es zu diesem Zustand gekommen ist. Die Begriffe ‚Arbeit‘ und ‚Wärme‘ hingegen beschreiben jeweils einen Prozess“ (Buchholz, 2016, S. 10). **Arbeit** ist also eine *Prozessgröße*, die den Prozess der Energieübertragung oder des -transportes beschreibt (Buchholz, 2016).

Die Zusammenhänge von Kraft, Energie und Arbeit sollen in der folgenden Abbildung verdeutlicht werden.

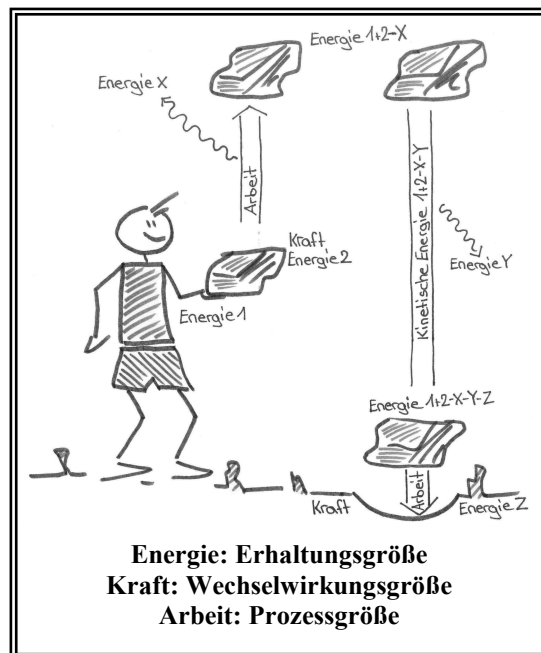


Abbildung 9: Der Zusammenhang von Energie, Kraft und Arbeit

⁹ Wenn im Alltag zu Kindern gesagt wird „Du hast aber viel Energie“, ist das fachlich anknüpfbar. Sätze mit Kraft müssten anders formuliert werden, z. B. „Du hast aber viel Kraft ausgeübt“.

Der Mensch hat einen Stein in der Hand. Dieser Stein hat aufgrund seiner Lage in Relation zum Fußboden Energie (Energie 1). Der Mensch übt eine Kraft auf den Stein aus, damit dieser gegen die Schwerkraft hochgehoben werden kann. Dafür benötigt der Mensch Energie (Energie 2) (Challoner & Clive, 2002). Die potenzielle Energie des Steins wird erhöht, da sich sein Abstand zum Fußboden vergrößert (Harten, 2014). Ein Teil der zugeführten Energie wird beim Hochheben aufgrund von Reibung in Form von thermischer Energie an die Umgebung abgegeben (Energie X). Ist der Stein gehoben, gibt es die Arbeit (Energiezufuhr) nicht mehr, weil der Prozess abgeschlossen ist. Aufgrund seiner höheren Lage hat der Stein aber mehr potenzielle Energie¹⁰ (Energie 1+2-X) (Buchholz, 2016; Harten, 2014). Lässt der Mensch den Stein fallen, wird die potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt (Harten, 2014). Auch dabei wird ein Teil der Energie an die Umgebung durch Reibung in Form von Wärme abgegeben (Energie Y). Im Moment des Aufpralls wirken Kräfte und es wird Arbeit am Fußboden verrichtet, indem dieser verformt wird (Harten, 2014). Die Bewegungsenergie des Steins wird auf den Fußboden übertragen und in Verformung umgewandelt (Energie Z). Der Stein auf dem Fußboden hat also die Energie 1+2-X-Y-Z.

In Anlehnung an Rincke und Schwarze (2008) könnte der Unterschied zwischen **Kraft** und Energie bezogen auf dieses Beispiel folgendermaßen formuliert werden: Die Energie des Steins (durch seine Lage zum Gravitationschwerpunkt) wird durch die **Hubarbeit** erhöht. Dieser **hat** also Energie, die als Kraft auf den Fußboden **wirkt**. Es wird außerdem Energie an die Umgebung abgegeben (Energie X, Y, Z). Die gesamte Energie dieses Prozesses ist am Ende entwertet.

Nach Herwig (2016) bezeichnet **Leistung** das Verhältnis von Arbeit und Zeit. Die Leistung gibt also an, wieviel Arbeit in einer bestimmten Zeit verrichtet wird, und kann somit als *Verhältnisgröße* bezeichnet werden.

2.1.3 Ausgewählte Spezifika anderer Domänen

In der Chemie spielen Energiebetrachtungen insbesondere bei chemischen Reaktionen eine Rolle. Bei diesen geht es um das Verschieben von Elektronen. Der Energiefluss wird durch Differenzen der Lage der Elektronen relativ zum Ladungsschwerpunkt der Atomkerne hervorgerufen (Kattmann, 2016b).

Duit (1986a) formuliert, dass in der Chemie „Stoffumbildungen [stets] mit Energieumsetzungen verbunden [sind]. Die] Richtung, in die chemische Reaktionen verlaufen, wird wesentlich durch die dabei auftretenden Energieflüsse bestimmt“ (S. 5). Die Energiebilanz chemischer Reaktionen lässt sich mit Hilfe der Thermodynamik beschreiben (Duit, 1986a).

Haider (2016) ordnet die Energiespeicherung der chemischen Energie zu und begründet damit, warum diese in der Quadriga von Duit (1986a) nicht vorkommt. Nach Haider (2016) stellt jeder Körper einen Energiespeicher dar. Allerdings sind für

¹⁰ Wichtig bei diesen Betrachtungen ist, dass es nicht zu einer stofflichen Sicht der Energie kommt. „Der Stein hat sich in dem Prozess stofflich nicht geändert, er hat nichts abgegeben oder aufgenommen, stofflich ist er nach wie vor derselbe. Die Energie steckt nicht im Stein, sondern besteht in seiner Lage relativ zum Gravitationschwerpunkt. Die Differenz der Lage auf dem Berg und im Tal ermöglicht den Energiefluss“ (Kattmann, 2016b).