pedocs
Open Access Erziehungswissenschaften

DIPF

Banse, Carolin

Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer Bewertungsscheibe. Entwicklung einer Konzeption für den naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel Elektromobilität

Berlin : Logos Verlag Berlin 2025, 456 S. - (Lernen in Naturwissenschaften; 16) - (Dissertation, Universität Münster, 2024)

Quellenangabe/ Reference:
Banse, Carolin: Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer Bewertungsscheibe. Entwicklung einer Konzeption für den naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel Elektromobilität. Berlin : Logos Verlag Berlin 2025, 456 S. - (Lernen in Naturwissenschaften; 16) - (Dissertation, Universität Münster, 2024) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-337741 - DOI: 10.25656/01:33774; 10.30819/5895

https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-337741
https://doi.org/10.25656/01:33774

in Kooperation mit / in cooperation with:

https://www.logos-verlag.de

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.
Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-License: http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.en - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work in the public as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. You are not allowed to make commercial use of the work or its contents. You are not allowed to alter, transform, or change this work in any other way.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

nachhaltig bewerten

Band 16

Lernen in Naturwissenschaften

verstehen und entwickeln

A. Marohn (Hrsg.)

Carolin Banse

Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer Bewertungsscheibe

Entwicklung einer Konzeption für den naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel Elektromobilität

λογος

Lernen in
Naturwissenschaften
Band 16

Lernen in Naturwissenschaften

Band 16

Herausgegeben von

Prof. Dr. Annette Marohn

Westfälische Wilhelms-Universität Münster
Institut für Didaktik der Chemie

Carolin Banse

Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer Bewertungsscheibe

Entwicklung einer Konzeption für den naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel Elektromobilität

Logos Verlag Berlin

λογος

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Dieses Werk ist lizenziert unter der Creative Commons Attribution 4.0 Lizenz CC BY-NC-ND (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/). Die Bedingungen der Creative-Commons-Lizenz gelten nur für Originalmaterial. Die Wiederverwendung von Material aus anderen Quellen (gekennzeichnet mit Quellenangabe) wie z. B. Schaubilder, Abbildungen, Fotos und Textauszüge erfordert ggf. weitere Nutzungsgenehmigungen durch den jeweiligen Rechteinhaber.

Logos Verlag Berlin GmbH 2025

ISBN 978-3-8325-5895-6
ISSN 2566-493X

DOI 10.30819/5895

Logos Verlag Berlin GmbH
Georg-Knorr-Str. 4, Geb. 10
12681 Berlin

Tel.: +49 (0)30 / 42 85 10 90
Fax: +49 (0)30 / 42 85 10 92
http://www.logos-verlag.de

Universität Münster

Didaktik der Chemie

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades in Erziehungswissenschaften
an der Universität Münster

Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer Bewertungsscheibe

Entwicklung einer Konzeption
für den naturwissenschaftlichen Unterricht
am Beispiel Elektromobilität

vorgelegt von:
Carolin Banse
wohnhaft in Münster

– 2024 –

Erstgutachterin: Prof. Dr. Annette Marohn

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Nicola Meschede

Tag der mündlichen Prüfung: 22.08.2024

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Förderung von Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht. Es wird der übergeordneten Forschungsfrage nachgegangen, wie eine *multiperspektivische Bewertung* und *Reflexion* von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht angeregt werden kann. Erste Assoziationen mit dem Begriff *Nachhaltigkeit* oder *nachhaltiger Entwicklung* berücksichtigen häufig nur den Bereich der ökologischen Dimension (Griese et al., 2016; Stepanek, 2022). Jedoch erfordern Fragen nachhaltiger Entwicklung eine differenzierte Herangehensweise. Es müssen sowohl verschiedene Dimensionen von Nachhaltigkeit betrachtet werden als auch eine langfristige sowie lokale und globale Perspektive eingenommen werden (Deutsche Bundesregierung, 2018; United Nations, 2015).

Das Ziel des Projektes besteht darin, ein Unterrichtskonzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht zu entwickeln, dass die drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* berücksichtigt und den Lernenden eine kriteriengeleitete Bewertung ermöglicht. Zur Erprobung und Evaluation des Unterrichtskonzepts erfolgt die Ausarbeitung einer exemplarischen Unterrichtseinheit zum Kontext *Elektromobilität*.
Das Projekt verläuft nach dem methodischen Forschungsrahmen *Design-Based Research* (Collins et al., 2004; Design-Based Research Collective, 2003) und gliedert sich in seiner Entwicklung in die Phasen *Framing*, *Design-Experiment* und *Re-Framing* (Rott & Marohn, 2016).
Im ersten Abschnitt der Arbeit wird der theoretische Rahmen des Projekts herausgearbeitet. Davon ausgehend wird im *Framing* (s. Kapitel 5) die übergeordnete Fragestellung hergeleitet und das Ziel des Projekts formuliert. Die Durchführung des Projekts zur Beantwortung der Fragestellung erfolgt im *Design-Experiment* (s. Kapitel 6). Dieses gliedert sich in insgesamt vier Mesozyklen, deren Ergebnisse im abschließenden *Re-Framing* zusammengetragen und retrospektiv analysiert werden (s. Kapitel 7).

Der *erste* Mesozyklus (s. Kapitel 6.3) beinhaltet die Entwicklung des Unterrichtskonzepts „nachhaltig:bewerten“. Als zentrales Element des Konzepts wurde das methodische Instrument der *Bewertungsscheibe* entwickelt.
Im *zweiten* Mesozyklus (s. Kapitel 6.4) erfolgt zunächst die Darlegung der theoretischen Gestaltungsgrundlage (s. Kapitel 6.4.1) und die kriteriengeleitete Auswahl des Beispielkontextes Elektromobilität (s. Kapitel 6.4.2). Es folgt eine umfangreiche Materialentwicklung zu acht ausgewählten Aspekten von Elektromobilität (s. Kapitel 6.4.3). Diese wird gemäß dem iterativen Vorgehen im *Design-Based Research* von einer schrittweisen Optimierung (Collins et al., 2004) der Materialien begleitet. An den Erprobungen der

Lernmaterialien nahmen insgesamt 156 Lernende der neunten und zehnten Jahrgangsstufe verschiedener Lerngruppen teil. Die Erprobungen unterschieden sich in ihrem Umfang der bearbeiteten Aspekte.

Im *dritten* Mesozyklus (s. Kapitel 6.5) werden die Ergebnisse der Erprobungen in Bezug auf die Ziele des Unterrichtskonzepts inhaltsanalytisch untersucht. Neben dem Einsatz der Bewertungsscheibe wird das Verständnis von Nachhaltigkeit (s. Kapitel 6.5.3) und die Bewertung von Elektromotoren im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren untersucht (s. Kapitel 6.5.4). Dazu wurde ein Prä- und Post-Designs (n=124) durchgeführt (s. Kapitel 6.5.2).

Der *vierte* Mesozyklus (s. Kapitel 6.6) beschreibt die Durchführung eines Lehrkräfteworkshops und die anschließende Evaluation durch die teilnehmenden Lehrkräfte (n=22).

Das *Re-Framing* (s. Kapitel 7) fasst die Ergebnisse der vier Mesozyklen zusammen. Als *praktischer Output* des Projekts wird das entwickelte, erprobte und evaluierte Unterrichtskonzept nachhaltig:bewerten herausgestellt (s. Kapitel 7.1). Die Ergebnisse zeigen, dass die Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit zu Elektromobilität das Nachhaltigkeitsverständnis bei der Mehrheit der Lernenden erweitert hat. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Lernenden teilweise befähigt und in die Lage versetzt wurden, eine kriteriengeleitete Bewertung durchzuführen und anschließend im Plenum zur Diskussion zu stellen. Im Rahmen des Prä-Post-Tests konnte eine Zunahme der kriteriengeleiteten Bewertung von Elektromobilität im Vergleich zu Verbrennungsmotoren nachgewiesen werden.

Darüber hinaus werden mögliche Erklärungsansätze für eine *bereichsspezifische* Theorie formuliert. Diese stellen den *theoretischen* Output des Projekts dar (s. Kapitel 7.2). Die *kontext- und fächerunabhängige* Konstruktion der *Bewertungsscheib*e kann als relevantes und unterstützendes Element zur Wirksamkeit der Unterrichtskonzeption charakterisiert werden. Dadurch ist das Verständnis und die Erweiterung des Nachhaltigkeitsbegriffs nicht auf einen bestimmten Kontext beschränkt und kann über verschiedene Lerngegenstände hinaus erlangt werden. Die Lernenden waren in der Lage, nicht nur Informationen aus dem Material zur Elektromobilität nachvollziehbar zu strukturieren, sondern auch bereits vorhandenes Wissen zu diesem Thema zu aktivieren und in ihre Reflexion einzubeziehen (s. Kapitel 6.5.1.5; 6.5.1.7). Dies deutet auf ein *verstärktes Bewusstsein* für bereits bekannte Informationen hin und verdeutlicht die *hohe Anschlussfähigkeit* an bereits vorhandenes Wissen.

Das Auftreten unterschiedlicher Meinungen oder Positionen zur Elektromobilität könnte eine erhöhte Bereitschaft zur Diskussion über die Informationslage erklären bzw. dadurch hervorgerufen werden. Demnach deutet auch die *kriteriengeleitete Wahl* eines Kontextes, der diesen Anspruch erfüllt und an die Lebenswelt der Lernenden anknüpft, auf ein mögliches Element zur Wirksamkeit der Intervention hin. Darüber hinaus kann den verwendeten Gestaltungselementen, wie z. B. dem Einsatz *unterschiedlicher*

Aufgabentypen und *aktivierender* Elemente, eine unterstützende Funktion zugeschrieben werden, die einen *eigenständigen* Lernprozess ermöglichen.

Das Unterrichtskonzept *nachhaltig:bewerten* schafft einen Beitrag zur Vermittlung von Bewertungskompetenz in Bezug auf Fragen nachhaltiger Entwicklung. Es führt Lernende an eine multiperspektivische Sichtungsweise heran und erleichtert eine kriteriengeleitete Reflexion.

Danksagung

Am Ende meines Projektes möchte ich mich von ganzem Herzen bei den Menschen bedanken, die mir diesen Weg ermöglicht und mich bei der Fertigstellung dieser Arbeit begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meiner Doktormutter Annette Marohn. Ich danke dir für dein Vertrauen und die herzliche Betreuung und Begleitung in den vergangenen Jahren. Vielen Dank dafür, dass du mir dieses Projekt ermöglicht hast und die Durchführung stets positiv und offen unterstützt hast. Herzlichen Dank auch für die Erstellung des Erstgutachtens.

Für die Bereitschaft zur Übernahme des Zweitgutachtens bedanke ich mich sehr herzlich bei Frau Prof.'in Dr. Nicola Meschede sowie bei Frau Prof.'in Dr. Karolina Urton für ihre Beteiligung in der Prüfungskommission für das Fach Erziehungswissenschaft.

Für das schöne und bereichernde Miteinander danke ich ganz herzlich allen derzeitigen und ehemaligen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des Instituts für Didaktik der Chemie in Münster. Eine so freundliche, hilfsbereite und offene Atmosphäre habe ich nie als selbstverständlich angesehen. Ihr lasst mich auf zahlreiche konstruktive Gespräche, anregende Diskussionen und vor allem viele schöne Erinnerungen zurückblicken.
Ebenso danke ich allen studentischen Hilfskräften, die mein Projekt und die Durchführung von Erprobungen tatkräftig und immer zuverlässig unterstützt haben. Ein besonderer Dank gilt dabei Anna Klose. Vielen Dank für die wertvolle Unterstützung meines Projektes und dein stets großes Engagement in unserer Zusammenarbeit.
Für die umfangreiche Korrektur meiner Arbeit danke ich von ganzem Herzen Theresa Kohne und Pascal Meyer.

Auch die Begleitung außerhalb des Projektes war für mich eine wichtige Unterstützung. Ich möchte mich bei meinen engen Freunden bedanken. Ihr habt einen wichtigen Beitrag geleistet, indem ihr Momente der Ablenkung geschaffen habt, wenn der Kopf eine Pause brauchte.
Danke Mama, für dein Vertrauen in mich und meine Entscheidungen. Deine bedingungslose Unterstützung in allen Lebensphasen hat mich immer ermutigt und bestärkt.

Ein ganz besonderer Dank gilt dir, Steffen. Ich danke dir von ganzem Herzen für deinen wertvollen Rückhalt, dein unendliches Verständnis und dein unermüdliches Zuhören. Danke, dass du immer da bist.

Inhaltsverzeichnis

I Einleitung ... **1**

II Theoretische Rahmung ... **5**

1 Nachhaltigkeit ... **5**

1.1 Nachhaltigkeitsbegriff ... 5

1.2 Entwicklung des Leitbilds für nachhaltige Entwicklung ... 6

1.3 Umsetzung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung ... 7

1.3.1 Agenda 2030 ... 9

1.3.2 Planetare Leitplanken ... 10

1.3.3 Wedding-Cake-Modell ... 12

1.4 Die drei Nachhaltigkeitsdimensionen ... 13

1.4.1 Gewichtung der Dimensionen ... 15

1.4.2 Starke und schwache Nachhaltigkeit ... 16

1.4.3 Modelle der drei Nachhaltigkeitsdimensionen ... 17

1.4.4 Kritik an den Nachhaltigkeitsmodellen ... 19

2 Bildung für nachhaltige Entwicklung ... **20**

2.1 Entwicklung und Definition ... 20

2.2 Das Konzept BNE ... 21

2.3 Bildungspolitische Umsetzung von BNE ... 22

2.3.1 Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung NRW ... 25

2.3.2 Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung ... 26

2.4 Kompetenzkonzepte von BNE ... 27

2.4.1 Konzept der Gestaltungskompetenz ... 28

2.4.2. Kompetenzmodell für den Lernbereich Globale Entwicklung ... 29

2.5 Aktueller Stand der Implementierung von BNE ... 31

2.6 BNE und die naturwissenschaftlichen Fächer ... 32

2.6.1 Inhaltlicher Bezug zu BNE ... 33

2.6.2 Fazit ... 36

2.6.3 Kompetenzorientierter Bezug zu BNE ... 36

2.6.4 Fazit ... 37
2.6.5 Bewertungskompetenz in den Bildungsstandards ... 38
3 Bewertungskompetenz ... 40
3.1 Definitionen der Fachdidaktik ... 40
3.2 Entscheidungen ... 42
3.2.1 Situation der Entscheidung ... 43
3.2.2 Entscheidungsprozess ... 43
3.2.3 Entscheidungsstrategien ... 44
3.3 Modellierung von Bewertungskompetenz in den naturwissenschaftlichen Fächern ... 46
3.3.1 Modell zur Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung ... 46
3.3.2 Das ESNas-Kompetenzstrukturmodell für Bewertungskompetenz ... 50
3.4 Übersicht: Bewertungskompetenz und Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht ... 53
3.5 Zusammenfassung Forschungsstand ... 61
III Forschungsrahmen ... 67
4 Design-Based Research ... 67
4.1 Allgemein ... 67
4.2 Merkmale von Design-Based Research ... 68
4.3 Struktur im Design-Based Research ... 70
4.4 Projektphasen im Design-Based Research ... 72
4.4.1 Framing ... 72
4.4.2 Design-Experiment ... 72
4.4.3 Re-Framing ... 74
4.5 Herausforderungen im DBR ... 74
IV Projektverlauf ... 77
5 Framing ... 77
6 Design Experiment ... 81
6.1 Forschungsfragen ... 82
6.2 Methodik ... 86
6.2.1 Datenerhebung ... 86

6.2.1.1 Artefakte ... 86
6.2.1.2 Videographie ... 87
6.2.1.3 Schriftliche Befragung ... 88
6.2.2 Erprobungen im Projektverlauf ... 90
6.2.3 Datenauswertung ... 100
6.2.3.1 Artefakte ... 100
6.2.3.2 Videographie ... 101
6.2.3.3 Qualitative Inhaltsanalyse ... 101
6.3 **Mesozyklus 1**: Entwicklung eines Konzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit ... 104
6.3.1 Auswahl Nachhaltigkeitsdimensionen ... 106
6.3.2 Entwicklung Bewertungsebenen ... 112
6.3.3 Entwicklung Bewertungsscheibe ... 120
6.3.4 Fazit Mesozyklus 1 ... 127
6.4 **Mesozyklus 2**: Entwicklung und Optimierung von Lernmaterial ... 130
6.4.1 Auswahl Kontext ... 131
6.4.1.1 Theoretische Grundlage: Kontext ... 131
6.4.1.2 Elektromobilität ... 136
6.4.2 Theoretische Gestaltungsgrundlage ... 147
6.4.2.1 Gestaltungsprinzipien ... 148
6.4.2.2 Elemente Lernmaterialien ... 153
6.4.3 Materialentwicklung ... 158
6.4.3.1 Kohlenstoffdioxid ... 159
6.4.3.2 Feinstaub ... 182
6.4.3.3 Stickoxide ... 197
6.4.3.4 Rohstoffe ... 208
6.4.3.5 Lärm ... 213
6.4.3.6 Arbeitsmarkt ... 216
6.4.3.7 Kosten ... 217
6.4.3.8 Reichweite ... 220
6.4.4 Fazit Mesozyklus 2 ... 222

6.5 **Mesozyklus 3:** Umsetzung und Evaluation des Konzepts ... 223
6.5.1 Anwendung der Bewertungsscheibe ... 224
6.5.1.1 Einführung Bewertungsscheibe ... 225
6.5.1.2 Arbeitsphase Bewerten ... 228
6.5.1.3 Plenumsphase ... 232
6.5.1.4 Ergebnisse der Plenumsphase ... 233
6.5.1.5 Diskussion ... 245
6.5.1.6 Reflexion des Gesamtergebnisses ... 248
6.5.1.7 Diskussion ... 252
6.5.2 Erhebungsinstrument: Prä- und Post-Test ... 254
6.5.3 Verständnis von Nachhaltigkeit ... 256
6.5.3.1 Auswertung ... 256
6.5.3.2 Ergebnisse ... 258
6.5.3.3 Diskussion ... 264
6.5.4 Vorstellungen zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität ... 265
6.5.4.1 Auswertung ... 269
6.5.4.2 Ergebnisse ... 271
6.5.4.3 Diskussion ... 275
6.5.5 Fazit Mesozyklus 3 ... 277
6.6 **Mesozyklus 4:** Lehrkräfteworkshop ... 279
6.6.1 Inhalt und Durchführung des Workshops ... 280
6.6.2. Erhebungsinstrument ... 282
6.6.3 Auswertung ... 283
6.6.4 Ergebnisse ... 284
6.6.5 Diskussion ... 290
6.6.6 Fazit Mesozyklus 4 ... 292
7 Re-Framing ... 294
7.1 Praktischer Output des Projekts ... 295
7.2 Theoretischer Output des Projekts ... 300
V Fazit und Reflexion ... 305

Verzeichnisse 309

Literaturverzeichnis 310

Abkürzungsverzeichnis 332

Abbildungsverzeichnis 333

Tabellenverzeichnis 339

Anhang 343

Anhang A: Methodik 344

Anhang B: Definitionskarten 359

Anhang C: Lernmaterialien Elektromobilität 362

Anhang D: Auswertung Erprobungen 398

Anhang E: Fragebogen Lehrkräfteworkshop 452

I Einleitung

> „Nachhaltigkeit bedeutet für mich, dass man bewusst im Alltag auf die Umwelt achtet. Man kann etwas Gutes für die Umwelt tun, in dem man mehr Fahrrad fährt oder weniger Plastikprodukte kauft.“ (9.2\OY23I)

> „Nachhaltigkeit ist für mich, umweltbewusst. Wenn man nachhaltig lebt, lebt man umweltbewusst.“ (9.3\HJ25A)

Was bedeutet eigentlich *Nachhaltigkeit* bzw. *nachhaltige Entwicklung*? Erste Assoziationen zu dieser Frage zeigen, dass die Begriffe Nachhaltigkeit und nachhaltige Entwicklung häufig mit dem Bereich der *Umwelt* in Verbindung gebracht werden. Dies wird auch in den beiden zitierten Antworten von zwei Lernenden einer neuen Klasse deutlich, die auf die Frage antworten, was der Begriff Nachhaltigkeit für sie bedeutet. Sie beschreiben in ihrer Aussage ein eindimensionales Verständnis mit dem Fokus auf die Umwelt bzw. umweltbewusstes Handeln. Dies könne beispielsweise durch den Umstieg auf das Fahrrad oder den Verzicht auf Plastik umgesetzt werden.
Auch bei der Eingabe des Begriffs Nachhaltigkeit in die Google-Bildersuche dominieren Abbildungen in grünen Farbtönen und Darstellungen der Erde, von Pflanzen oder Bäumen. Diese Vorstellung von Nachhaltigkeit bezieht sich nur auf eine Dimension von Nachhaltigkeit, die *ökologische* Dimension. Der Begriff ist jedoch weitaus vielfältiger und umfasst ein mehrdimensionales und komplexeres Verständnis.
Nachhaltige Entwicklung im Sinne des Brundtland-Berichts ist die Befriedigung der Bedürfnisse der heutigen Generation, ohne die Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu beeinträchtigen oder zu gefährden (World Commission on Environment and Development, 1987). Neben den Herausforderungen, die sich im Bereich der *Umwelt* ergeben, stehen wir auch vor *sozialen* und *wirtschaftlichen* Herausforderungen. Die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung sind *mehrdimensional* und berücksichtigen *verschiedene Perspektiven*. Sie umschließen auch die soziale und ökonomische Dimension und beziehen sich sowohl auf einen *langfristigen* Zeitraum als auch *lokale* und *globale* Entwicklungen (Deutsche Bundesregierung, 2018; United Nations, 2015).
Soll eine Maßnahme oder Handlung – zum Beispiel der Umstieg von Verbrennungsmotoren auf Elektromotoren – unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit bewertet werden, muss diese Bewertung daher eine multiperspektivische Sichtweise einnehmen.
Die Umsetzung des Konzepts Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) ist die Aufgabe aller Fächer (KMK & BMZ, 2016; Michelsen & Fischer, 2019). Für die naturwissenschaftlichen Fächer lässt sich diese Forderung mit der Vermittlung von Bewertungskompetenz verbinden (Härtig et al., 2014; Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019d).

Das vorliegende Forschungsprojekt widmet sich daher der übergeordneten Frage, wie eine solche *mehrperspektivische Bewertung* und *Reflexion* von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht initiiert werden kann. Daraus ergibt sich als Ziel die Entwicklung eines *Unterrichtskonzepts* zur *Bewertung* und *Reflexion von Nachhaltigkeit* im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Die Arbeit gliedert sich in insgesamt vier Abschnitte. Nach der Einleitung werden im zweiten Abschnitt zunächst die theoretischen Grundlagen und Konzepte, die das Projekt stützen und leiten, ausführlich erläutert und dargestellt. Das erste Kapitel befasst sich mit der Definition von Nachhaltigkeit sowie der historischen Entstehung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung (s. Kapitel 1.1; 1.2). Vergangene und gegenwärtige Vorhaben zur Umsetzung wie die Agenda 2030 werden beschrieben (s. Kapitel 1.3), gefolgt von der Darstellung der Dimensionen von Nachhaltigkeit und verschiedenen Modellen sowie ihrer Kritik (s. Kapitel 1.4). Im zweiten Kapitel wird die Entwicklung und Definition des Konzepts BNE dargestellt (vgl. Kapitel 2.1; 2.2). Es werden bildungspolitische Umsetzungen sowie die Entwicklung von Kompetenzkonzepten für BNE erläutert (vgl. Kapitel 2.3; 2.4), inklusive eines Blicks auf den Stand der Implementierung von BNE (vgl. Kap. 2.5). Des Weiteren wird in Kapitel 2.6 der Zusammenhang zwischen BNE und den naturwissenschaftlichen Fächern herausgearbeitet, wobei sowohl inhaltliche als auch kompetenzorientierte Bezüge hergestellt werden. Es wird dargelegt, dass die Vermittlung von Bewertungskompetenz und die Förderung von BNE eine sinnvolle Verknüpfung darstellen (s. Kapitel 2.6.5).
Das dritte Kapitel widmet sich der Bewertungskompetenz und fasst die relevanten theoretischen Grundlagen zusammen. Anhand einer Literaturrecherche erfolgt die Darstellung bisheriger fachdidaktischer Beiträge der Naturwissenschaften zur Vermittlung von Bewertungskompetenz im Kontext von Nachhaltigkeit (s. Kapitel 3.4; 3.5).

Im dritten Abschnitt der Arbeit wird in Kapitel 4 mit dem *Design-Based Research* der zugrunde liegende forschungsmethodische Ansatz des Projekts erläutert. Zunächst wird der Forschungsansatz allgemein beschrieben (s. Kapitel 4.1), gefolgt von einer Erläuterung der Merkmale (s. Kapitel 4.2) und der Struktur (s. Kapitel 4.3). Das Projekt orientiert sich an den drei Phasen *Framing*, *Design-Experiment* sowie dem abschließenden *Re-Framing*, die in Kapitel 4.4 näher erläutert werden. Der Abschnitt schließt mit der Darstellung der Herausforderungen des methodischen Ansatzes (s. Kapitel 4.5).

Die Durchführung des Projekts erfolgt im vierten Abschnitt und gliedert sich in die Phasen *Framing* (s. Kapitel 5), *Design-Experiment* (s. Kapitel 6) und *Re-Framing* (s. Kapitel 7). Das *Design-Experiment* besteht aus insgesamt vier Mesozyklen und stellt die Entwicklung, Erprobung und Evaluation des Unterrichtskonzepts „nachhaltig:bewerten“ dar. Im ersten Mesozyklus wird das Unterrichtskonzept entwickelt (s. Kapitel 6.3). Im zweiten

Mesozyklus werden theoretische Gestaltungsgrundlagen für die Materialentwicklung beschrieben (s. Kapitel 6.4.3) und eine kriteriengeleitete Auswahl des Beispielkontextes *Elektromobilität* vorgenommen (s. Kapitel 6.4.1; 6.4.2). Es folgt eine umfangreiche Materialentwicklung zu insgesamt acht Aspekten von Elektromobilität. Im dritten Mesozyklus (s. Kapitel 6.5) wird analysiert, inwiefern die Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit die Ziele des Unterrichtskonzepts erreicht. Es werden Lernergebnissen beschrieben und inhaltsanalytisch ausgewertet. Der vierte Mesozyklus beinhaltet die Durchführung eines Lehrkräfteworkshops zur Vorstellung des Unterrichtskonzepts. Dadurch wird eine erste Transfermöglichkeit beschrieben und eine Rückmeldung zu den Materialien von Lehrkräften aus der Praxis generiert (s. Kapitel 6.6).
Die letzte Phase des Projekts stellt das *Re-Framing* mit der Zusammenfassung der Ergebnisse aller Mesozyklen und einem Rückbezug zur Forschungsfrage dar (s. Kapitel 7). Es wird der *praktische Output* des Projektes dargelegt (s. Kapitel 7.1) und mögliche Erklärungsansätze als *bereichsspezifische Theorieansätze* (s. Kapitel 7.2) diskutiert.
Das Ende dieser Arbeit bildet der letzte Abschnitt mit dem Fazit und einer Reflexion, in der mögliche zukünftige Forschungsinteressen diskutiert werden (Kapitel 8).

II Theoretische Rahmung

1 Nachhaltigkeit

Die Begriffe *Nachhaltigkeit* und *nachhaltige Entwicklung* werden oft synonym verwendet, können aber in ihrer Bedeutung wie folgt unterschieden werden:

> „Nachhaltigkeit verweist auf einen Zustand, Statik und Beständigkeit; nachhaltige Entwicklung impliziert Bewegung, Dynamik, das Prozesshafte sowie das Werdende und Entstehende." (Pufé, 2017, S. 43*)*

Demnach ist nachhaltige Entwicklung der Prozess und Nachhaltigkeit der angestrebte Zustand durch den Prozess (Hauff, 2021). Aufgrund des stetigen Wandels und der ständigen Veränderung der bestehenden Verhältnisse bleibt das endgültige Erreichen des Zustandes ein permanentes Ziel.

1.1 Nachhaltigkeitsbegriff

Der Begriff Nachhaltigkeit hat seinen Ursprung zu Beginn des 18. Jahrhunderts. Er entstammt ursprünglich aus dem Bereich der Forstwirtschaft und geht auf die Überlegungen von Hans Carl von Carlowitz zurück, einer vorherrschenden Holzknappheit und der daraus resultierenden Krise in Sachsen entgegenzuwirken (Grunwald & Kopfmüller, 2022). Er schlug vereinfacht folgenden Lösungsansatz vor: Für jeden gefällten Baum werden drei neue Bäume gepflanzt (Wuhle, 2020). Es sollte in einem Jahr nur so viel Holz gefällt werden, wie auch nachwachsen konnte (Grunwald & Kopfmüller, 2022). In seinen Überlegungen inbegriffen war damit statt einer kurzfristigen eine langfristige Lösung, was im 18. Jahrhundert als „revolutionärer Ansatz" galt (Wuhle, 2020, S. 6).
Sein Lösungsvorschlag ging aus einer primär ökonomischen Krise hervor, gleichzeitig implizierte er aber bereits in seinem „ressourcen-ökonomischen Prinzip" (Grunwald & Kopfmüller, 2022, S. 22), ob bewusst oder nicht, auch soziale und ökologische Aspekte: Die Schaffung beständiger Arbeitsplätze, die zugleich einen Wohlstand der Bevölkerung sichern konnte sowie die Erhaltung natürlicher Lebensräume und optimale Vorrausetzungen für eine Neubepflanzung (Wuhle, 2020, S. 6). Es wurde erkannt, dass „das ökonomische Ziel der maximalen dauerhaften Nutzung des Waldes mit den ökologischen Beziehungen des Nachwachsens des Waldes zusammenzuführen" ist (Hauff, 2021, S. 3) und eine *ökologische* Nachhaltigkeit damit in einem vorrangig *ökonomischen* Ziel inkludiert war.

Eine Änderung seiner Bedeutung und eine Ausweitung des Begriffs der Nachhaltigkeit begann ab 1972 durch die Veröffentlichung des Berichts „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome (Pufé, 2017), indem erstmals über die Grenzen bzw. die Endlichkeit von natürlich vorkommenden Ressourcen und den verheerenden Folgen bei deren Überschreitung berichtet wurde (Grunwald & Kopfmüller, 2022; Pufé, 2017). In Erweiterung zu von Carlowitz wandelte sich der Fokus der Waldnutzung auf das gesamte Ökosystem (Friedrich, 2016). Im selben Jahr fand 1972 in Stockholm die erste große Umweltkonferenz der vereinten Nationen (*United Nations Conference of the Environment*) statt. Im Rahmen der Konferenz wurde das Umweltprogramm der vereinten Nationen (*UNEP*) gegründet und es folgte in vielen Staaten die Einrichtung von Umweltministerien (Zimmermann, 2016).
Die Bedeutung des Nachhaltigkeitsbegriffs konzentrierte sich zu dieser Zeit überwiegend auf die ökologischen Herausforderungen und bezog sich vor allem „auf den nachhaltigen Ertrag der natürlichen Ressourcen“ (Zimmermann, 2016, S. 5) und damit die „Erhaltung der Funktionalität unseres Ökosystems“, ohne die eine dauerhafte ökonomische Entwicklung gar nicht möglich sei (Hauff, 2021, S. 7). Die Beachtung der sozialen Dimension und ihren Aspekten blieb bis dahin noch weitestgehend außen vor.

1.2 Entwicklung des Leitbilds für nachhaltige Entwicklung

Zentral für die Entwicklung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung ist der 1987 veröffentliche Bericht der *World Commission on Environment and Development (WCED),* der häufig nach der Kommissions-Vorsitzenden Gro Harlem Brundtland benannt wird (Pufé, 2017). Die WCED sollte angesichts der zunehmenden ökologischen, ökonomischen und sozialen Herausforderungen Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Entwicklung herausarbeiten. Erstmals wurde in diesem Zusammenhang das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung „einer breiten Öffentlichkeit nahegebracht“ (Hauff, 2021, S. 8).
Aus dem sogenannten Brundtland-Bericht mit dem Titel „Our Common Future“ (World Commission on Environment and Development, 1987) ging übersetzt folgende Definition hervor:

> „Nachhaltige Entwicklung ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeit künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen.“ (übersetzt aus World Commission on Environment and Development, 1987, S. 37)

Diese Definition gilt bis heute als bekannteste und anerkannteste Definition von nachhaltiger Entwicklung (Hauff, 2021; Pufé, 2017).
Die Veröffentlichung des Brundtland-Berichts stellte erstmals im Rahmen des Nachhaltigkeitsverständnisses die Betrachtung von drei Dimensionen von Nachhaltigkeit ins

Zentrum: die *ökologische*, die *soziale* und die *ökonomische* Dimension (Hauff, 2021) (s. Kapitel 1.4).
Es wurde erkannt und im Bericht hervorgehoben, dass die globalen Umweltprobleme vor allem durch das Konsumverhalten des globalen Nordens und die immer größer werdende Armut im globalen Süden verursacht und miteinander verknüpft sind (Pufé, 2017, S. 43). Nachhaltigkeit muss demnach ein Zusammenbringen von Umwelt und Entwicklung anstreben.
Aus dem Bericht sind folgende zentrale Punkte für die Definition des Leitbildes zu akzentuieren: Die zwingende Verbindung von Umwelt- und Entwicklungsaspekten sowie die Einnahme einer „globalen Perspektive" (Hauff, 2021, S. 10). Nachhaltige Entwicklung muss global ausgerichtet sein. Sie beginnt jedoch auf nationaler und lokaler Ebene.
Die Forderung einer inter- und intragenerationellen Gerechtigkeit stellt eine der wichtigsten Aussagen dar: Es muss sowohl die Berücksichtigung der Bedürfnisse unter den jetzt lebenden Generationen, als auch unter den zukünftigen Generationen (Hauff, 2021; Zimmermann, 2016) erfolgen. Die intragenerationelle Gerechtigkeit lenkt den Blick dabei insbesondere auch auf die Ungleichheit zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (Hauff, 2021). Die Definition integriert in das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung damit einen „anthropozentrischen Ansatz" (Hauff, 2021, S. 11).

1.3 Umsetzung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung

Die politische Verpflichtung zum Leitbild für nachhaltige Entwicklung und dessen konkrete Umsetzung folgte 1992 auf dem berühmten Rio-Gipfel, die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, die als Antwort auf den Brundtland-Bericht ausgerichtet wurde (Hauff, 2021). Aus der Konferenz ging als eines der wichtigsten Dokumente unter anderem die Agenda 21 hervor: Das Aktionsprogramm legte politische und einheitliche Handlungsvorgaben sowie Ziele und Maßnahmen zur Umsetzung des Leitbildes unter besonderer Berücksichtigung der Unterschiede zwischen Industrie- und Entwicklungsländern fest (United Nations, 1992). Dabei umfasst die Agenda 21 die Herausforderungen der sozialen, der ökologischen und der ökonomischen Dimension und strebt eine Verknüpfung dieser drei Nachhaltigkeitsdimensionen an (Grunwald & Kopfmüller, 2022; Hauff, 2021; Zimmermann, 2016). Aspekte der sozialen und ökonomischen Dimension innerhalb der Agenda 21 sind unter anderem die Bekämpfung von Armut, die Bevölkerungsdynamik, der Schutz der Gesundheit und eine nachhaltige Siedlungsentwicklung (United Nations, 1992). Inhalt der ökologischen Dimension ist vor allem der Schutz der Erdatmosphäre, der Erhalt der Biodiversität und Maßnahmen gegen die Entwaldung sowie eine schonende Abfallentsorgung (Pufé, 2017; United Nations, 1992).

Neben der Verknüpfung der drei Dimensionen betont die Agenda 21 als Grundprinzip für eine nachhaltige Entwicklung in Anlehnung an die Definition des Brundtland-Berichts die Generationenverantwortlichkeit (United Nations, 1992). Herausgehoben wird weiter das Partizipationsprinzip, dass die Einbeziehung verschiedener Gruppen und Akteure betont sowie das Zusammenspiel von Industrie- und Entwicklungsländern, denen eine „gemeinsame, aber unterschiedliche Verantwortung" zukommt (KMK & BMZ, 2016, S. 28).
Die unterzeichnenden Staaten verpflichteten sich zur Einhaltung und Umsetzung des Leitbildes auf nationaler Ebene, indem auf Grundlage der Agenda 21, nationale Strategien bis 2002 entwickelt werden sollten (United Nations, 1992). Innerhalb des gesetzten Zeitrahmens veröffentlichte Deutschland seine erste Nachhaltigkeitsstrategie 2002 (Deutsche Bundesregierung, 2002), die seitdem fortlaufend erneuert und angepasst wird (Deutsche Bundesregierung, 2021). Mit ihr begann der Einzug von Nachhaltigkeit in die deutsche Politik.

An den Rio-Gipfel schlossen sich weitere wichtige und wegbereitende internationale Konferenzen und Gipfel-Treffen an. Als Meilenstein ist hier die Festlegung der acht Millenniums-Entwicklungsziele (*Millennium Development Goals, MDGs*) der Vereinten Nationen auf dem Millenniumsgipfel im Jahr 2000 zu nennen. Diese sollten bis zum Jahr 2015 erreicht werden und stellten damit konkrete und messbare Ziele, innerhalb eines definierten Zeitraumes, dar (Hauff, 2021).
Die acht Millenniums-Entwicklungsziele lauten (United Nations, 2000 zitiert nach Pufé, 2017, S. 54 f.):

1. Bekämpfung von extremer Armut und Hunger
2. Primärschulbildung für alle
3. Gleichstellung der Geschlechter und Stärkung der Rolle der Frau
4. Senkung der Kindersterblichkeit
5. Verbesserung der Gesundheitsversorgung von Müttern
6. Bekämpfung von HIV/Aids, Malaria und andere übertragbare Krankheiten
7. Ökologische Nachhaltigkeit
8. Aufbau einer weltweiten Entwicklungspartnerschaft

Das Hauptanliegen der Millenniums-Erklärung war vor allem die Bekämpfung von Armut und legte insgesamt einen Schwerpunkt auf Veränderungen innerhalb der Entwicklungsländer. Für diese Schwerpunktsetzung wurden die MDGs kritisiert, da die Rolle der Industrieländer wenig Beachtung fand (Pufé, 2017). Weiterer Kritikpunkt war die zu geringe Aufmerksamkeit auf die ökologische Dimension und deren Verknüpfung mit der Entwicklungspolitik, die seit dem Brundtland-Bericht als untrennbar angesehen wurde (Hauff, 2021). Zwar wurde der Schutz der Umwelt in der Formulierung eines Millennium-

Ziels verzeichnet, jedoch ohne Konkretisierung oder der Nennung von Indikatoren (Scholz, 2017).
Abgelöst wurden die Millenniums-Entwicklungsziele 2015 auf dem UN-Nachhaltigkeitsgipfel durch die Agenda 2030 und der Formulierung der 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung (s. Abbildung 1), den SDGs (*Sustainable Development Goals*) (United Nations, 2015).

1.3.1 Agenda 2030

Die Agenda 2030 richtet sich - im Gegensatz zu den Millenniums-Entwicklungszielen - an alle Entwicklungs-, Schwellen- und Industrieländer gleichermaßen (United Nations, 2015).
Sie verbindet die beiden beschriebenen Meilensteine in der Entwicklung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung: den Rio-Gipfel von 1992 und die Millenniums-Erklärung (s. Kapitel 1.3).
Als zentrales Element formuliert die Agenda 2030 insgesamt 17 Nachhaltigkeitsentwicklungsziele, deren Erreichung bis zum Jahr 2030 angestrebt wird (s. Abbildung 1).

Abbildung 1: Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Abbildungsquelle: https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit/2030-agenda).

Wie bereits die Agenda 21, umfasst sie die ökologische, soziale und ökonomische Dimension von Nachhaltigkeit und hebt deren Bedeutung für das Erreichen von nachhaltiger Entwicklung hervor. Sie betont ein weiteres Mal die Wichtigkeit, sowohl einer inter- als auch einer intragenerationellen Gerechtigkeit (Michelsen & Overwien, 2020). Dabei wird im Gegensatz zur Millenniums-Erklärung, vor allem noch einmal die Verbundenheit der drei Nachhaltigkeitsdimensionen untereinander unterstrichen (United Nations, 2015).
Für die 17 SDGs wird in der Agenda 2030 formuliert:

> „Sie sind integriert und unteilbar und tragen in ausgewogener Weise den drei Dimensionen der nachhaltigen Entwicklung Rechnung: der wirtschaftlichen, der sozialen und der ökologischen Dimension.“ (United Nations, 2015, S. 1)

Sie gliedern sich weiter in insgesamt 169 konkretisierte Unterziele. Durch die detaillierte Ausformulierung soll die Erreichung der einzelnen Ziele beobachtbar und nachverfolgbar sein. Weiter werden sowohl Kontexte als auch Maßnahmen innerhalb der Unterziele spezifiziert und herausgearbeitet (Grunwald & Kopfmüller, 2022).
Um eine konkrete Umsetzung dieser Ziele auch erreichen zu können, muss auf der lokalen bzw. regionalen Ebene begonnen werden, damit letztendlich ein globaler Erfolg möglich werden kann (United Nations, 2015).
Aus diesem Grund wurde zum Beispiel 2016 die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie von 2002 in Anlehnung an die 17 SDGs neu ausgerichtet und orientiert sich seitdem an der Agenda 2030 (Deutsche Bundesregierung, 2016). Auch auf Länder- und Kommunenebene ist eine Integration der Nachhaltigkeitsziele in der Formulierung ihrer politischen Vorhaben erkennbar geworden und angekommen (Grunwald & Kopfmüller, 2022).
In der Neuauflage der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie wird zur Berücksichtigung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung konkret formuliert:

> „Dafür bedarf es einer wirtschaftlich leistungsfähigen, sozial ausgewogenen und ökologisch verträglichen Entwicklung, wobei die planetaren Grenzen unserer Erde zusammen mit der Orientierung an einem Leben in Würde für alle (…) die absolute äußere Beschränkung vorgeben“
> (Deutsche Bundesregierung, 2016, S. 24)

Neben der Verknüpfung aller drei Dimensionen von Nachhaltigkeit bekennt sich die deutsche Bundesregierung explizit auch zur Einhaltung der planetaren Leitplanken (Michelsen, 2017, S. 5).

1.3.2 Planetare Leitplanken

Das Konzept der planetaren Leitplanken basiert auf der Arbeit von Johan Rockström und seiner Forschungsgruppe des Stockholm Resilience Centre und definiert die Belastungsgrenzen unserer Erde (Rockström et al., 2009; Steffen et al., 2015). Es wurden insgesamt neun planetare Grenzen identifiziert: Klimawandel, Ozonabbau, Aerosolgehalt der Atmosphäre, Versauerung der Ozeane, Biogeochemische Stoffkreisläufe (Stickstoff- und Phosphoreinträge), Süßwassernutzung, Landnutzung und Integrität der Biosphäre (Aussterberate und funktionale Biodiversität) sowie der Eingang neuer chemischer Substanzen in die Umwelt (Steffen et al., 2015).

Anhand der planetaren Belastungsgrenzen wird deutlich, wie fortgeschritten die Belastungen und Schäden unseres Ökosystems bereits sind. Waren es bei der Veröffentlichung der Analyse von 2015 noch vier Bereiche die überschritten wurden (Steffen et al., 2015), zeigt die aktuelle Analyse einen Übertritt der Linie in sechs Bereichen: Klimawandel, Nutzung von Süßwasser (*green water*), Landnutzung, Integrität der Biosphäre, biogeochemische Stoffkreisläufe und der Eintrag von neuen Substanzen wie Mikroplastik (s. Abbildung 2). Die Überschreitung des letztgenannten Bereichs wurde erst 2022 bekannt (Persson et al., 2022).
In Abbildung 2 ist die aktuellste Analyse der planetaren Belastungsgrenzen aus dem Jahr 2023 von Richardson et al. (2023) dargestellt.

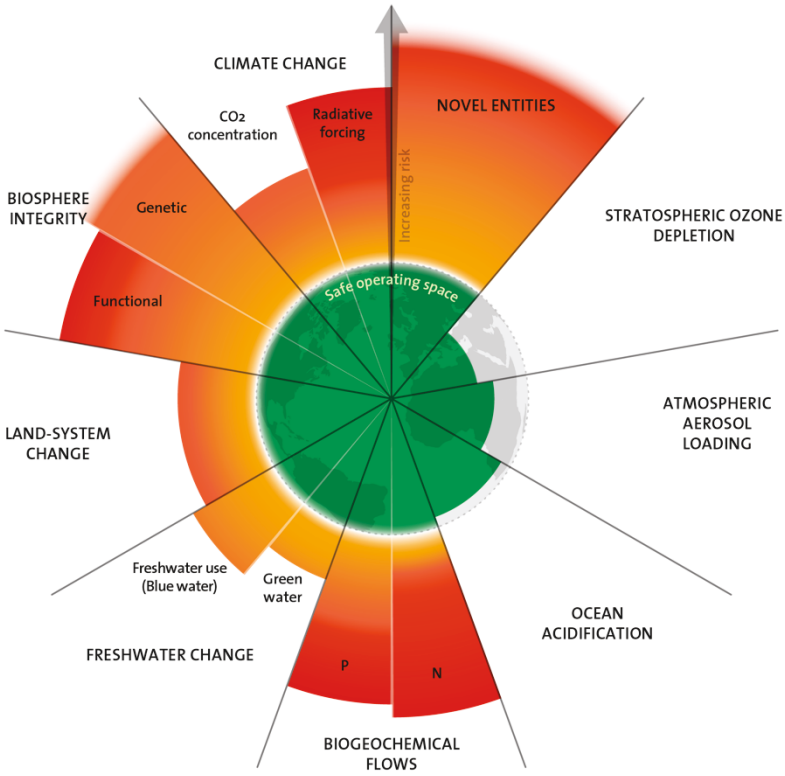


Abbildung 2: Analyse der planetaren Belastungsgrenzen von 2022 (Abbildungsquelle: https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html; Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, basierend auf der Analyse von Richardson et al. (2023)).

Der grüne Bereich innerhalb der Linie gilt dabei als sicherer Handlungsspielraum indem der Mensch sich bewegt, die Überschreitung der Linie mit dem Übergang zum roten Bereich bedeutet „hochgradig kritische Veränderungen, die auch plötzliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt nach sich ziehen können“ (Müller & Niebert, 2017, S. 61) und dabei irreversibel sein können.

1.3.3 Wedding-Cake-Modell

Die 17 Nachhaltigkeitsentwicklungsziele lassen sich, teils nicht immer trennscharf, innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen anordnen. Das Wedding-Cake-Modell nach Rockström und Sukhdev (Folke et al., 2016; Rockström & Sukhdev, 2014) stellt einen Versuch der Visualisierung dar, die 17 SDGs zu sortieren und sie innerhalb der drei Dimensionen anzuordnen. Dabei orientiert sich das Wedding-Cake-Modell an dem Konzept der planetaren Leitplanken (s. Kapitel 1.3.2) und verbindet es mit den SDGs und den drei Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie.

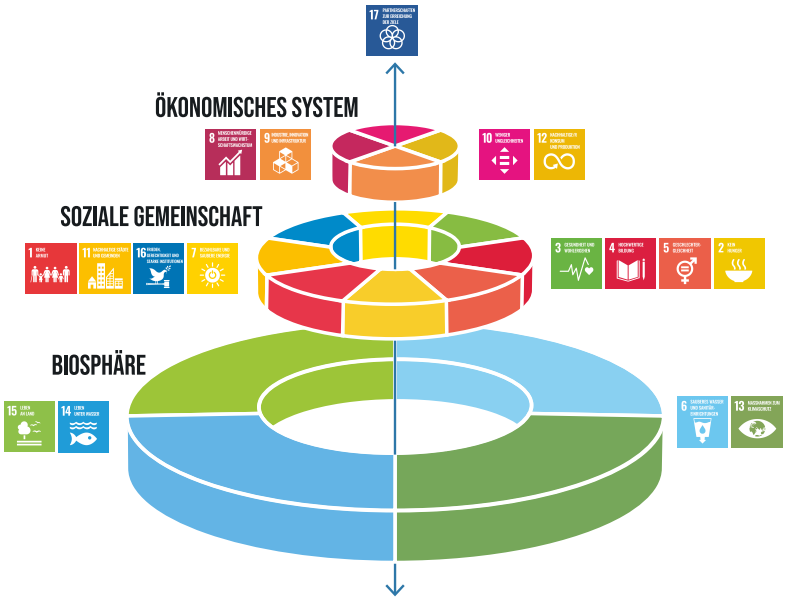


Abbildung 3: Das Wedding-Cake-Modell nach J. Rockström und P. Sukhdev (2016) (Abbildungsquelle: https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html; Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University).

Die Basis der Torte, die damit als grundlegend für den weiteren Aufbau gilt, stellen die vier SDGs Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen (SDG 6), Maßnahmen zum Klimaschutz (SDG 13), Leben unter Wasser (SDG 14) und Leben am Land (SDG 15) dar. Damit wird diesen vier Zielen, die unter Biosphäre zusammengefasst und damit als ökologische Dimension bezeichnet werden können, die wichtigste Bedeutung zuteil. Sie sind die einzuhaltenden planetaren Belastungsgrenzen innerhalb derer sich die weiteren Ziele bewegen können. Die zweite Ebene wird der Gesellschaft, der sozialen Dimension zugeordnet und beinhaltet acht Ziele wie Gesundheit und Wohlergehen (SDG 3) und Hochwertige Bildung (SDG 4). Die kleinste Ebene der Torte wird der Wirtschaft mit vier SDGs wie Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum (SDG 8) zugesprochen. Am Ende steht das übergeordnete 17. Ziel, dass Partnerschaften als Indikator für die Erreichung der Ziele hervorheben.

Das Wedding-Cake-Modell von Rockström und Sukhdev (2016) definiert damit die Dimension der Wirtschaft „als integrativen Teil unserer Gesellschaft“, die sich nur im Rahmen der planetaren Leitplanken bewegen darf. Damit sind nach dem Modell sowohl die

ökonomische als auch die soziale Dimension von Nachhaltigkeit von dem Bereich der Biosphäre (ökologischen Nachhaltigkeit), die durch den Erhalt und Schutz der Umwelt definiert wird, abhängig (BMUV, 2021).

1.4 Die drei Nachhaltigkeitsdimensionen

Seit den 1990er Jahren haben sich Ökologie, Soziales und Ökonomie als die drei Dimensionen von Nachhaltigkeit herauskristallisiert (Hauff, 2021).
Nachfolgend werden die jeweiligen Nachhaltigkeitsdimensionen inhaltlich ausdifferenziert:

Ökologische Nachhaltigkeit
Im Diskurs um Nachhaltigkeit kommt der Umwelt nach wie vor, in älteren und jüngeren Konzepten, eine bedeutende und tragende Rolle zu (Hauff, 2021; Pufé, 2017). Daraus lässt sich unter anderem die Erklärung ableiten, „warum Nachhaltigkeit heute häufig mit Umweltschutz und -verträglichkeit verbunden wird“ (Pufé, 2017, S. 99).
Die ökologische Nachhaltigkeit zielt auf den Schutz und den Erhalt der Umwelt ab. Fokussiert werden zum Beispiel der nachhaltige Abbau und die Nutzung von erneuerbaren sowie nicht-erneuerbaren Ressourcen (fossile Energieträger, Metalle), der Erhalt der Artenvielfalt sowie der fortschreitende Klimawandel durch die zunehmende Erderwärmung. Die Übernutzung der natürlichen Senke (z. B. die Aufnahmefähigkeit von Emissionen wie Kohlenstoffdioxid) und der natürlichen Quelle unseres Ökosystems (Verfügbarkeit von Ressourcen), ist bereits fortgeschritten und an Folgen wie der Überfischung der Meere, das Schmelzen der Polkappen und die Nitratbelastung der Böden erkennbar geworden. Ziele ökologischer Nachhaltigkeit sollen daher die Zunahme der Belastungen unseres Ökosystems verhindern und eindämmen (Hauff, 2021; Müller & Niebert, 2017; Pufé, 2017). Eine Umkehrung der Schäden ist durch die Irreparabilität der Folgen kaum mehr möglich.

Ökonomische Nachhaltigkeit
Die ökonomische Nachhaltigkeit zielt auf eine dauerhaft leistungsfähige Erhaltung der Wirtschaft ab (Pufé, 2017). Damit das wirtschaftliche System fortbestehen kann, muss es im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit Rücksicht auf vorhandene Ressourcen nehmen. Dazu gehören unter anderem die Optimierung von Transportwegen und Produktionsprozessen, ein Umdenken zu Gunsten einer Kreislaufwirtschaft sowie ein Fokus auf als nachhaltig klassifizierbares Recycling und Upcycling. Zur Erreichung der Ziele muss technischer Fortschritt und der Einsatz von Innovationen gefördert und umgesetzt werden (Hauff, 2021).

Zur wirtschaftlichen Dimension gehören auch Fragen zur Arbeitsplatzbeschaffung sowie die Verhinderung von Arbeitslosigkeit. Damit überschneiden sich beispielsweise eine ökonomische mit einer sozialen Frage (Grunwald & Kopfmüller, 2022).

Soziale Nachhaltigkeit

Nachhaltige Entwicklung muss sozial gerecht sein. Wie die Definition für nachhaltige Entwicklung aus dem Brundtland-Bericht explizit fordert, geht es dabei sowohl um intragenerationelle als auch eine intergenerationelle Gerechtigkeit.

Zu den Aspekten sozialer Nachhaltigkeit gehören: Gerechtigkeit, Gesundheit, Sicherheit, Chancengleichheit in Bezug auf Bildung, Arbeit und der Zugang zu Informationen, Partizipation an gesellschaftlichen und politischen Entscheidungsprozessen, die Erhaltung kultureller Vielfalt und des kulturellen Erbes (Grunwald & Kopfmüller, 2022; Hauff, 2021; Pufé, 2017). Vor allem wird in der sozialen Nachhaltigkeit auch die immer weiter auseinanderklaffende Schere zwischen Arm und Reich in den Blick genommen. Diese finden sich sowohl auf nationaler Ebene als auch auf internationaler Ebene wieder, die sich auf den Zustand der Entwicklungs- und Industriestaaten bezieht. Die soziale Dimension wurde lange nicht erkannt und berücksichtigt, erhält jedoch zunehmend mehr Aufmerksamkeit. (Pufé, 2017; Zimmermann, 2016)

Die Dimensionen sind keinesfalls als trennscharf zu bezeichnen. Viele Fragen und Ziele bedingen einander und können daher nicht isoliert betrachtet werden. Häufig lassen sich dann innerhalb der Fragen und Ziele Schwerpunkte für die einzelnen Dimension formulieren.

Neben dem bereits genannten Beispiel im Bereich Arbeitsplätze, indem sich gleichzeitig soziale und wirtschaftliche Interessen verorten lassen, gibt es zahlreiche weitere Beispiele, die die Überschneidungsmöglichkeit der Dimensionen beschreiben. Dazu zählt unter anderem das Konzept des fairen Handels (Fairtrade): Für den Verkauf von Produkten wie Kaffee aus Entwicklungsländern, sollen von den Konsumenten faire Preise gezahlt werden damit auch eine faire Vergütung in Form von Mindestlöhnen an die Arbeiterinnen und Arbeiter gezahlt werden. Dadurch kann wirtschaftliche Eigenverantwortung geschaffen werden, die soziale Mindeststandards in Bezug auf Arbeitsbedingungen, Gesundheit und der Förderung von Bildung garantieren kann (Zimmermann, 2016).

Trotz der Überschneidungen der drei Dimensionen, lassen sich häufig innerhalb der Fragen und Ziele Schwerpunkte formulieren, die vorzugsweise einer der drei Dimensionen zugeordnet werden kann.

Weitere Dimensionen

Es gibt über die bekannten drei Dimensionen hinaus auch Konzepte und Darstellungen, die eine vierte sowie fünfte Dimension implementieren. Diese Ansätze ergänzen als weitere Dimensionen die kulturelle und die politische Dimension.

Insgesamt hat sich jedoch die Dreidimensionalität in einem breiteren Konsens, national wie international, stärker durchgesetzt (Hauff, 2021). Für das Weglassen dieser Hinzunahme kann daher das seltene Vorkommen in Konzeptansätzen und Darstellungen (z. B. Visualisierungen) sprechen sowie das Argument, dass die beiden Dimensionen Kultur und Politik „eher einzelne Akteure ansprechen“ (Osranek, 2017, S. 49). Damit weichen sie von dem Verständnis der drei Dimension Ökologie, Soziales und Ökonomie ab.
Weiter lässt sich feststellen, dass die sowieso nicht vollkommen vorhandene Trennschärfe der Dimensionen mit der Zunahme einer oder zwei weiterer Dimensionen noch weiter schwindet. Eine Zuordnung von Themen zu einzelnen Dimensionen wird durch das Verschwimmen der Grenzen zunehmend schwieriger. Hier muss die Frage gestellt werden, inwiefern der Zusatz weiterer Dimensionen wirklich notwendig ist und ob die „klassische“ Dreiteilung nicht bereits einen ausreichenden Umfang bietet, da sich die Themen der kulturellen und politischen Dimension in vielen Fällen in die drei bestehenden integrieren lassen.

1.4.1 Gewichtung der Dimensionen

Die Frage nach der Gewichtung der drei Dimensionen wird in der Nachhaltigkeitsdebatte kontrovers diskutiert und ist immer wieder Bestandteil der Diskussionen um das Nachhaltigkeitsverständnis bzw. -konzept. Zimmermann (2016) nennt vier mögliche Positionen zur Gewichtung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen:

1. Die ökologische Dimension muss Vorrang haben. Der Schutz der Natur ist die Vorrausetzung für die Erreichung aller weiteren Ziele (S. 5).
2. Die wirtschaftliche Dimension muss Vorrang haben. Sie sichert die „Bedürfnisbefriedigung der Menschen“ dauerhaft ab (S. 5).
3. Alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen sind als „gleichberechtigt und integrativ“ anzusehen (S. 5).
4. Die drei Dimensionen bewegen sich „innerhalb der von der Natur vorgegeben Grenzen“. Grundlage ist die Wirtschaft, die sich innerhalb der natürlichen Lebensgrundlagen bewegt (S. 5).

Es herrschen unterschiedliche und kontroverse Meinungen vor, welche Position am ehesten vertreten werden sollte. Das spiegelt sich unter anderem auch in den unterschiedlichen Darstellungen der drei Nachhaltigkeitsdimensionen in Form von Modellen wider. Je nachdem welches Modell herangezogen wird, findet durch die Art der Visualisierung eine Gewichtung der Dimensionen statt. In Kapitel 1.4.2 werden zunächst die Ansätze der starken und schwachen Nachhaltigkeit beschrieben, welche sich zum Teil in der

Visualisierung von Modellen wiederfinden lassen. In Kapitel 1.4.3 werden daher die wichtigsten Modelle von Nachhaltigkeit vorgestellt und kritisch betrachtet.

1.4.2 Starke und schwache Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit kann in zwei Positionen unterschieden werden: die starke und die schwache Nachhaltigkeit

Starke Nachhaltigkeit
Starke Nachhaltigkeit, auch ökologische Ökonomie genannt, wird wie folgt beschrieben: Die Umwelt wird über alle anderen Dimensionen gestellt und hat damit die höchste Priorität. Sie wird als Grundlage angesehen und beschreibt ein ökozentrisch ausgerichtetes Nachhaltigkeitsverständnis (Pufé, 2017). In diese Definition lässt sich das Konzept der planetaren Leitplanken (Rockström et al., 2009) einordnen sowie die daraus hervorgegangene Darstellung des Wedding-Cake-Modells nach Rockström und Sukhdev (2016) (s. Kapitel 1.3.3). Das Einhalten der Belastungsgrenzen der Erde (s. Abbildung 2) ist nicht verhandelbar, die sozialen und wirtschaftlichen Ziele müssen sich diesen Grenzen unterordnen (Stepanek, 2022). Dabei stehen die sozialen Ziele über der Wirtschaft als zweite Begrenzung, denn diese „braucht soziale Stabilität und Menschen, die sie am Leben erhält und letztlich ihre Leistungen und Produkte nachfragen“ (Stepanek, 2022, S. 86). Griggs et. al (2013) schlagen eine Neudefinition des Nachhaltigkeitsbegriffs unter Berücksichtigung der planetaren Leitplanken vor:

> „Development that meets the needs of the present while safeguarding Earth’s life-support system, on which the welfare of current and future generations depends” (Griggs et al., 2013, S. 306)

Schwache Nachhaltigkeit
Schwache Nachhaltigkeit, die auch als neoklassische Ökonomie beschrieben wird, verfolgt eine anthropozentrische Sichtweise, die ein permanentes Wachstum anstrebt. Natürliche Ressourcen, das Naturkapital der Erde, seien durch Sachkapital ersetzbar (Pufé, 2017). Solange insgesamt die Verringerung des Naturkapitals durch eine Steigerung in anderen Bereichen ausgeglichen oder substituiert werden kann, ist eine Entwicklung noch nachhaltig. Werden zum Beispiel durch wirtschaftliche Entscheidungen Schäden an der Umwelt verursacht, können davon betroffene Personen zum Ausgleich entschädigt werden (Osranek, 2017). Es ist festzustellen, dass die Position der schwachen Nachhaltigkeit zumeist dominierend ist (Hauff, 2021, S. 60). Vertreter der schwachen Nachhaltigkeit zielen priorisiert auf technische Fortschritte und resultierende Lösungen ab (Hauff, 2021, S. 54).

Die Literatur beschreibt zudem weitere Abgrenzungen von Nachhaltigkeitspositionen, teilweise auch als Nachhaltigkeitsparadigmen deklariert, wie die sehr starke oder sehr schwache Nachhaltigkeit (vgl. Grunwald & Kopfmüller, 2022; Hauff, 2021; Zimmermann, 2016). Auf eine weitere Ausführung wird an dieser Stelle verzichtet.

1.4.3 Modelle der drei Nachhaltigkeitsdimensionen

Seit der Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs und des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung haben sich mit der Zeit eine Vielzahl an Modellen herausgebildet. Diese versuchen die Nachhaltigkeitsdimensionen sowie ihre Beziehung unter- und zueinander in unterschiedlicher Art und Weise zu visualisieren. Ebenso lang wie die Diskussion um die Bedeutung von Nachhaltigkeit (s. Kapitel 1.1;1.2) ist daher auch die Diskussion, wie eine Darstellung aussehen könnte. Die Konstruktion der entwickelten Modelle schließt gleichzeitig immer die Frage der Gewichtung der Dimensionen mit ein und bildet ein mögliches Verständnis der Gewichtung ab.

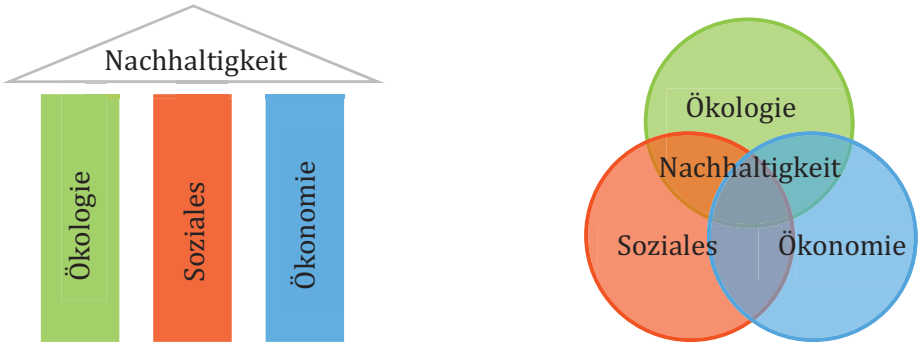


Abbildung 4: Drei-Säulen-Modell (1) und Schnittmengenmodell (2) (eigene Darstellung in Anlehnung an von Hauff, 2021, S. 171 f.).

Das 3-Säulen-Modell

Die älteste und meist auch bekannteste Darstellung ist das 3-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit (s. Abbildung 4). Die Darstellung zeigt drei nebeneinanderstehende nicht miteinander verbundene Säulen, die für die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie stehen. Auf den Säulen ruht die Nachhaltigkeit als Dach. Die drei Dimensionen werden in diesem Modell als gleichrangig angesehen, die Ziele der jeweiligen Dimensionen stehen für sich (Pufé, 2017). Bei der Betrachtung der dargestellten Statik eines Hauses auf drei Säulen, bestände die Möglichkeit sowohl in der Mitte, als auch eine der am Rand stehenden Säulen zu entfernen, ohne dass das Dach zwingend wegfallen würde. Auch die Wegnahme der zwei außenstehenden Säulen würde bei ausreichendem Halt keinen Fall des Dachs zur Folge haben (Hauff, 2021; Pufé, 2017). Von Hauff (2021) schlägt daher eine Abwandlung des Modells vor, indem die Anordnung der drei Säulen so

verändert werden könnte, dass sie räumlich versetzt stehen und die Nachhaltigkeit als dreieckige Fläche über allen Säulen liegt. Dadurch würden die drei Dimensionen in Zusammenhang gesetzt werden. Würde es zum Wegfall einer Säule kommen, würde es keine nachhaltige Entwicklung geben können und das Dach käme zu Fall (Hauff, 2021).

Schnittmengenmodell

Im Schnittmengen-Modell (s. Abbildung 4) stehen die drei Dimensionen nicht nebeneinander, sondern sind in der Darstellung als Kreise miteinander verbunden und überlappen sich an den jeweiligen Stellen. Die Grenzen sind fließend (Pufé, 2017). Es beschreibt ein Ausbalancieren von Ökologie, Ökonomie und Sozialem (Müller & Niebert, 2017). Die Schnittmenge aller drei Dimensionen in der Mitte des Modells ist die Nachhaltigkeit. Die Flächen, die sich nicht überschneiden rücken dabei in den Hintergrund (Hauff, 2021).
Folgende Kombinationen von Überschneidungen sind möglich: 1) zwischen zwei Dimensionen: sozial-ökonomisch, sozial-ökologisch, ökologisch-ökonomisch und 2) die Schnittmenge aller drei Dimensionen: sozial-ökologisch-ökonomisch.

Das Nachhaltigkeitsdreieck

Das Nachhaltigkeitsdreieck (s. Abbildung 5) ist als drittes bekanntes Modell zu nennen. Es handelt sich dabei um ein gleichseitiges Dreieck mit jeweils einer Nachhaltigkeitsdimension in jeder Ecke. Durch diese Anordnung werden die drei Dimensionen als gleichberechtigt angesehen (Hauff, 2021). Das Nachhaltigkeitsdreieck entwickelte sich aus den beiden zuvor beschriebenen Modellansätzen (Pufé, 2017).

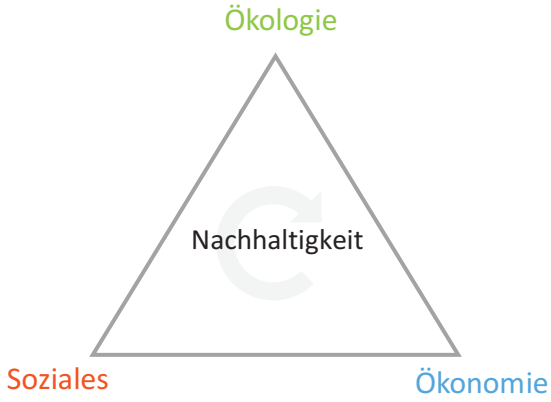


Abbildung 5: Das Nachhaltigkeitsdreieck (eigene Darstellung nach Pufe, 2017, S. 113).

Im Unterschied zum 3-Säulen-Modell, in dem die Dimensionen isoliert betrachtet werden, wird durch das Dreieck eine bestehende Beziehung zwischen den Dimensionen berücksichtigt. Es soll eine integrierende Sichtweise injizieren und zum Ziel ein gemeinsames Ganze beinhalten, das inhaltlich die verschiedenen Ziele zusammenbringt (Stepanek, 2022)
Eine Weiterentwicklung aus dem Nachhaltigkeitsdreieck stellt das Konzept des integrierende Nachhaltigkeitsdreiecks nach von Hauff und Kleine (2005) dar. Dieses nutzt die

Fläche des Dreiecks für eine differenzierte Darstellungsweise möglicher Kombinationen der Dimensionen und generiert eine gewichtete Zuordnung der Dimensionen (Hauff, 2021; Pufé, 2017). Es bietet die Möglichkeit, unterschiedliche und verschieden starke „Mischverhältnisse“ darzustellen (Hauff, 2021, S. 175).

1.4.4 Kritik an den Nachhaltigkeitsmodellen

Nach Niebert (2016) zeigen die planetaren Leitplanken (s. Kapitel 1.3.2) deutlich die Grenzen des 3-Säulen-Modells, des Nachhaltigkeitsdreiecks sowie des Schnittmengen-Modells auf. Das Einhalten der planetaren Leitplanken müsse als oberstes Ziel für nachhaltiges Wirtschaften gelten und Nachhaltigkeit damit verstanden werden „als ein Wirtschaften, das der Erfüllung sozialer Bedürfnisse dient und innerhalb der planetaren Belastungsgrenzen stattfindet“ (Müller & Niebert, 2017, S. 65). Diese Position ist der starken Nachhaltigkeit zuzuordnen (s. Kapitel 1.4.2). Ausgehend vom Schnittmengen-Modell und in Anlehnung an Griggs et. al (2013) schlägt Niebert die Abwandlung der Darstellung gemäß Abbildung 6 vor. Dadurch wird die ökologische Dimension als „feste Außengrenze“ definiert innerhalb derer zunächst das Erreichen sozialer Ziele im Mittelpunkt steht (Niebert, 2016, S. 78) wird. Die Wirtschaft bewegt sich innerhalb der ökologischen und sozialen Ziele.

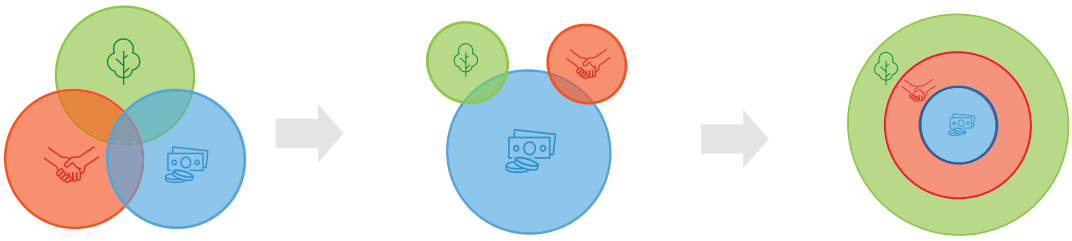


Abbildung 6: Veränderung des Schnittmengen-Modells (eigene Darstellung nach Niebert, 2019, S. 176).

Niebert beschreibt die 3-Säulen-Methaporik als veraltet und sieht das Ziel des Ausbalancierens der drei Nachhaltigkeitsdimensionen als gescheitert an (Müller & Niebert, 2017; Niebert, 2016). Der real existierende Zustand des Schnittmengen-Modells sehe so aus, dass zugunsten der Wirtschaft, soziale und ökologische Ziele in den Hintergrund rücken und beschreibt dieses Verhältnis als „Mickey-Mouse-Nachhaltigkeit“ (Niebert, 2019, S. 176). Die Abwandlung des Schnittmengenmodells nach Niebert entspricht von der Verteilung der drei Dimensionen her dem Wedding-Cake-Modell (s. Kapitel 1.3.3). In den letzten Jahren ist insbesondere durch politische Bekenntnisse, z. B. der deutschen Bundesregierung (Deutsche Bundesregierung, 2021), ein zunehmender Konsens zur Berücksichtigung der planetaren Leitplanken zu verzeichnen, so dass davon auszugehen ist, dass dieses Modell in Zukunft als vorherrschend angesehen wird.

Zusammenfassend verdeutlicht der Überblick über die bestehenden Modelle somit die kontinuierliche und dynamische Entwicklung des Nachhaltigkeitsverständnisses.

2 Bildung für nachhaltige Entwicklung

Ausgangspunkt für die Entwicklung des Konzepts *Bildung für nachhaltige Entwicklung* war die Agenda 21 (s. Kapitel 1.3), die der Bildung erstmals eine zentrale Rolle für die Umsetzung der Ziele einer nachhaltigen Entwicklung zusprach und eine „Neuausrichtung der Bildung auf nachhaltige Entwicklung" forderte (United Nations, 1992, S. 329).

2.1 Entwicklung und Definition

Konzeptioneller Vorläufer von Bildung für nachhaltige Entwicklung (kurz: BNE) war die Umwelterziehung bzw. die Umweltbildung, die sich seit den 1970er Jahren in Antwort auf die bekannter werdende Umweltkrise im Bildungssystem etablierte (Rost, 2002). Ziel von Umwelterziehung bzw. Umweltbildung war vor allem die Vermittlung von Wissen zu den vorherrschenden ökologischen Problemen sowie den bereits sichtbaren Schäden der Umwelt. Sie sollte Lernende zu einem verantwortungsvollen Umweltbewusstsein erziehen, indem vor allem Themen wie die Nutzung und Übernutzung von natürlichen Ressourcen sowie naturbezogene Aktivitäten im Vordergrund standen (BLK, 1998; Haan & Harenberg, 1999; Michelsen & Overwien, 2020). Der Fokus auf die Wissensvermittlung führte im Laufe der Zeit zu einer kritischen Auseinandersetzung und schließlich zu einem Wandel des bestehenden input-orientierten Konzepts der Umweltbildung (BLK, 1998; Haan, 1999).
Zeitgleich mit der wachsenden Verbreitung und Akzeptanz des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung im Anschluss an die Rio-Konferenz 1992, verstärkte sich insbesondere durch die Agenda 21 das Bewusstsein, dass Bildung und Lernprozesse grundlegende Bestandteile für die erfolgreiche Förderung nachhaltiger Entwicklung sind (Michelsen & Fischer, 2019). Nachhaltige Entwicklung kann nicht allein durch Maßnahmen der Politik vorangetrieben werden, sondern muss auch durch die Gesellschaft mitgetragen werden (Deutsche UNESCO-Kommission, 2011; Michelsen & Overwien, 2020).
Die Agenda 21 betont in Kapitel 36:

> „Bildung ist eine unerlässliche Voraussetzung für die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung und die Verbesserung der Fähigkeit der Menschen, sich mit Umwelt- und Entwicklungsfragen auseinanderzusetzen." (United Nations, 1992, S. 329)

Unter dem Begriff *Bildung für nachhaltige Entwicklung* begann damit die konzeptionelle Umsetzung, der in der Agenda 21 betonten Zielsetzung, Bildung als wesentliche Grundlage für nachhaltige Entwicklung anzuerkennen und deren Inhalte am Leitbild für nachhaltige Entwicklung auszurichten (Bormann, 2013; Michelsen & Fischer, 2019).

2.2 Das Konzept BNE

Bildung muss zu einem „Bewusstseins- und Mentalitätswandel" führen, damit sie zu einer verantwortungsbewussten (Mit-)Gestaltung der Gesellschaft befähigen und für eine Auseinandersetzung mit den Fragen einer nachhaltigen Entwicklung sensibilisieren kann (Haan & Harenberg, 1999; Michelsen & Fischer, 2019, S. 5). Neben „neuen Wissensbeständen- und formen" sind auch „veränderte Normen und Wertvorstellungen", beispielsweise der ethische Aspekt der inter- und intragenerationellen Gerechtigkeit, zu berücksichtigen (Michelsen, 2009, S. 77).
Anders als die ökologisch ausgerichtete Zielperspektive der Umwelterziehung und Umweltbildung, gilt es Bildung nun auf eine mehrperspektivische Sichtweise zu richten. Der Fokus sollte dabei auf Problemstellungen aus allen Bereichen liegen, die eine nachhaltige Entwicklung betreffen und durch das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung (s. Kapitel 1.2) definiert sind (Michelsen & Fischer, 2019; Michelsen & Overwien, 2020). Bildung soll an einem Verständnis für Menschenwürde und demokratischem Handeln ausgerichtet sein und zur Achtung der „natürlichen Lebensgrundlage" führen, um allen Individuen ein Verständnis der Welt zugänglich zu machen (Michelsen & Overwien, 2020; United Nations, 2015). Des Weiteren soll die Vernetzung aller menschlichen Tätigkeiten und Produkte in Bezug auf ökologische, soziale und wirtschaftliche Fragen und Entscheidungen hervorgehoben werden.
Das vorherige Konzept der Umweltbildung wird dabei nicht verworfen, sondern in das neuorientierte, normative Bildungskonzept BNE integriert, das sich um die Themen und Inhalte aller Dimensionen und Aspekte von nachhaltiger Entwicklung erweitert (BLK, 1998; Haan & Harenberg, 1999). Dabei wird eine ganzheitliche und interdisziplinäre Perspektive eingenommen.
Analog zur internationalen Diskussion über Kompetenzen, fokussiert auch die konzeptionelle Entwicklung von BNE den Output und die Vermittlung von Kompetenzen (de Haan, 2008).

Der bekannten Definition von Weinert (2014) nach, sind Kompetenzen:

> „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können." (S. 27 f.)

Sie können sich auf Ziele, Absichten und Aufgaben beziehen, die sich in den Handlungen von Lernenden widerspiegeln lassen. Folglich kann sich der Erwerb von Kompetenzen in Lernergebnissen („*outcomes*“) zeigen und an ihnen gemessen werden (de Haan, 2008, S. 30).

Innerhalb der 17 SDGs der Agenda 2030 (s. Abbildung 1) wird die Bildung durch das vierte SDG *Hochwertige Bildung* hervorgehoben und in Unterziel 4.7 der Schwerpunkt auf die Bedeutung von Bildung für nachhaltige Entwicklung gelegt (United Nations, 2015, S. 18):

> „Bis 2030 sicherstellen, dass alle Lernenden die notwendigen Kenntnisse und Qualifikationen zur Förderung nachhaltiger Entwicklung erwerben, unter anderem durch Bildung für nachhaltige Entwicklung und nachhaltige Lebensweisen, Menschenrechte, Geschlechtergleichstellung, eine Kultur des Friedens und der Gewaltlosigkeit, Weltbürgerschaft und die Wertschätzung kultureller Vielfalt und des Beitrags der Kultur zu nachhaltiger Entwicklung.“

2.3 Bildungspolitische Umsetzung von BNE

Auf der Folgekonferenz des Rio-Gipfels von 1992, Rio+ 2002 in Johannesburg, wurde die UN-Weltdekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ von 2005 bis 2014 ausgerufen. Die Dekade zielte darauf ab, Bildung für nachhaltige Entwicklung als Bildungskonzept in der Öffentlichkeit weltweit zu verbreiten und deren Umsetzung zu fördern. Konkret sollten Projekte und Aktivitäten initiiert werden und unter anderem in Schulen, aber auch allen weiteren Bildungseinrichtungen, eingebracht werden (Michelsen & Fischer, 2019; UNESCO, 2005).

An die UN-Dekade schloss sich das Weltaktionsprogramm (WAP) von 2015 bis 2019 an. Ziel war es, den Prozess hin zu einer nachhaltigen Entwicklung durch Aktivitäten auf allen Ebenen und in allen Bildungsbereichen weiter zu beschleunigen. Hierzu sollen gezielt Maßnahmen angestoßen und bisherige Programme aus der UN-Dekade intensiviert werden (Unesco, 2014).
Des Weiteren wurden im Weltaktionsprogramm fünf priorisierte Handlungsfelder identifiziert, die als zentral für eine erfolgreiche Umsetzung erachtet werden (übersetzt aus UNESCO, 2014, S. 15):

1. politische Unterstützung für BNE
2. ganzheitliche Transformation von Lern- und Lehrumgebungen
3. Kompetenzentwicklung bei Lehrenden
4. Stärkung und Mobilisierung der Jugend

5. Förderung nachhaltiger Entwicklung auf lokaler Ebene

Im Fokus für den schulischen Bereich stand insbesondere die langfristige und strukturelle Implementierung bereits entwickelter Konzepte und Materialien (Michelsen & Fischer, 2019; Rieckmann, 2016; Unesco, 2014).
Die Evaluierung der UN-Dekade hat zudem die Notwendigkeit der „institutionellen Unterstützung" herausgestellt, ohne die eine erfolgreiche und dauerhafte Einbringung von BNE nicht gelingen kann (Deutsche UNESCO-Kommission, 2021, S. 56). Auf diese Forderung ging das Weltaktionsprogramm verstärkt ein (Unesco, 2014). Dazu richtete sich der Fokus vor allem auf das Streben nach einem *Whole Institution Approach*. Dieser zielt auf eine ganzheitliche Etablierung von BNE innerhalb der verschiedenen Bildungseinrichtungen ab (BMBF, 2017; Unesco, 2020). Für das Beispiel Schule kann ausgeführt werden: Es reicht nicht nur aus, eine Veränderung von Lehrplänen in ihren Inhalten und Kompetenzen vorzunehmen. Vielmehr sollte BNE auf allen institutionellen Ebenen einer Schule erfolgen und nachhaltige Entwicklung damit nicht nur gelehrt, sondern gelebt werden (BMBF, 2017; Weselek, 2022). Ein spezifisches Beispiel aus dem Schulkontext: Ein Schülerlabor zum Thema Nachhaltigkeit sollte auch in seiner Organisation und Gestaltung insgesamt an Nachhaltigkeit orientiert sein, beispielweise durch kleinere Versuchsansätze (LernortLabor, 2017).

Mit dem aktuell gültigen UNESCO-Aktionsprogramm „ Education for Sustainable Development: Towards achieving the SDGs (ESD for 2030)" startete 2020 eine neue BNE-Dekade (2020-2030), die in ihrer Zielformulierung die Bedeutung der Bildung als Grundvoraussetzung zur Umsetzung der 17 SDGs akzentuiert (Unesco, 2020). Eine erfolgreiche Umsetzung erfordert eine vollständige Einbindung von BNE und den 17 SDGs in politische Maßnahmen sowie eine fortlaufende Integration in Lern- und Lehrumgebungen. Zudem müssen Lehrkräfte und andere Bildungsakteure gezielt in ihrer eigenen Kompetenzentwicklung gefördert werden (Unesco, 2020; Weselek, 2022).

Auf nationaler Ebene wurde in Deutschland in Anlehnung an die Agenda 21 seit den 1990er Jahren versucht, Bildung für nachhaltige Entwicklung zu etablieren. Als eines der ersten bildungspolitischen Dokumente in diesem Zusammenhang ist der 1998 veröffentlichte „Orientierungsrahmen Bildung für eine nachhaltige Entwicklung" der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (Vorgängerkomission der KMK) entstanden (BLK, 1998). Der Orientierungsrahmen hat die Funktion, als Grundlage für die Planung und Durchführung zukunftsfähiger pädagogischer Prozesse zu dienen und stellte ein erstes konzeptionelles Gerüst dar (de Haan & Harenberg, 1999; BLK 1998). Er benennt „Leitvorstellungen, Grundsätze und didaktische Prinzipien der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung" und richtet sich nicht nur an Lehrkräfte in den Schulen, sondern an alle Akteure des Bildungswesens (BLK, 1998, S. 22).

Das Programm „21“ (1999-2004) der Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung mit seinem Folgeprogramm „Transfer-21“ (2004 -2008), sind als wichtige Modellprogramme für die Anfänge der Implementation von BNE im schulischen Bereich zu nennen (BLK Programm 21, 2005; Programm Transfer-21, 2008; Weselek, 2022).
Im Rahmen der Programme wurden Konzepte, Materialien und Strukturen erarbeitet sowie Kooperationen zwischen Schulen und außerschulischen Partnern gefördert. Des Weiteren entstand aus dem Programm Transfer 21 die „Orientierungshilfe Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I“ (Programm Transfer-21, 2007).
Zur Gestaltung von BNE und Erreichung ihrer Ziele, formulieren die beiden Förderprogramme drei Leitlinien, die als Unterrichts- und Organisationsprinzipien zu verstehen sind (BLK Programm 21, 2005; Programm Transfer-21, 2008):

Interdisziplinäres Wissen: „Vernetztes Denkens“ ist notwendig, insbesondere in Bezug auf die Verknüpfung von Natur- und Kulturwelt sowie die Entwicklung von Problemlösungskompetenzen. Ziel ist die Integration dieser Aspekte in die Lehrpläne durch entsprechende Inhalte und Unterrichtsmethoden (KMK/DUK, 2007; Programm Transfer-21, 2008).

Partizipatives Lernen: Alle gesellschaftlichen Gruppen sollen am Prozess nachhaltiger Entwicklung teilhaben. Die Institution Schule kann auf diese Teilhabe vorbereiten, indem sie ihre Unterrichtskultur erweitert, um Lehr- und Lernformen zu integrieren, die speziell demokratische Handlungskompetenzen vermitteln (KMK/DUK, 2007; Programm Transfer-21, 2008).

Innovative Strukturen: Die Etablierung innovativer Strukturen in Schulen beziehen sich darauf, dass Schule als ganzheitliches System eine Wirkung auf die Bildung hat, indem sie aktuelle Reformfelder wie Qualitätsentwicklung, Profilbildung, Öffnung von Schule und Leistungskultur thematisiert und in partizipativen Verfahren strukturell weiterentwickelt. Die Kooperation mit außerschulischen Partnern ist dabei von hoher Bedeutung (KMK/DUK, 2007; Programm Transfer-21, 2008).

Mit Bezug auf die UN-Dekade (2005-2014) wurde 2005 ein Nationaler Aktionsplan für den Zeitraum der Weltdekade erstellt, der 2008 und 2011 aktualisiert wurde. Dieser versteht sich als Referenzrahmen zur Umsetzung von BNE in allen Bildungsbereichen. Er formuliert vier strategische Ziele: Die Weiterentwicklung und Bündelung von BNE-Aktivitäten sowie deren breiter Transfer in die Praxis, die Vernetzung der unterschiedlichen Akteurinnen und Akteure von BNE, die Stärkung des öffentlichen Bewusstseins von BNE und die Förderung internationaler Kooperationen (Deutsche UNESCO-Kommission, 2011).

Einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung des Nationalen Aktionsplans leistete die gemeinsame Empfehlung „Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule“ der Kultusministerkonferenz (KMK) und der Deutschen UNESCO-Kommission (DUK), sowie die erste Auflage des „Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung“ der KMK und des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) (KMK & DUK, 2007; KMK & BMZ, 2007). Sie bilden eine systematische Grundlage zur Unterstützung der strukturellen Verankerung von BNE in der Schule
Die Empfehlung der KMK und der DUK (2007) beschreibt das folgende BNE-Verständnis:

> „Das Konzept von BNE hat zum Ziel, Schülerinnen und Schüler zur aktiven Gestaltung einer ökologisch verträglichen, wirtschaftlich leistungsfähigen und sozial gerechten Umwelt unter Berücksichtigung globaler Aspekte, demokratischer Grundprinzipien und kultureller Vielfalt zu befähigen.“ (KMK & DUK, 2007, S. 1)

Im Rahmen der Fortsetzung der UN-Weltdekade durch das UNESCO-Weltaktionsprogramm wurde 2017 der neue „Nationale Aktionsplan BNE“ durch das von der Bundesregierung eingesetzte Gremium der *Nationalen Plattform BNE* geschaffen. Er formuliert 130 konkrete Ziele und 349 Handlungsempfehlungen zur langfristigen und strukturellen Verankerung von Bildung für nachhaltige Entwicklung in allen Bildungsbereichen in Deutschland (BMBF, 2017). Er gilt als Referenzrahmen für die aktuelle Phase der bildungspolitischen Umsetzung.

2.3.1 Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung NRW

Auch auf Ebene der Bundesländer wurde eine Vielzahl bildungspolitischer Vorgaben auf den Weg gebracht. Für Nordrhein-Westfalen wurde 2019 als Beitrag zur Umsetzung des Nationalen Aktionsplans BNE (2017) die *Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung* durch das Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen veröffentlicht (MSB NRW, 2019d).

Zusammenfassend soll die Leitlinie (MSB NRW, 2019d, S.17):

- Leitgedanken, Merkmale und Zielsetzungen von BNE-Lernprozessen aufzeigen sowie diese für ausgewählte Fächern kenntlich machen,
- Lehrkräfte bei der Verankerung von BNE in schulinterne Lehrpläne unterstützen,
- Orientierung für die Weiterentwicklung und Überarbeitung von (Kern-) Lehrplänen, den Referenzrahmen Schulqualität NRW und die Lehrkräfteausbildung an Hochschulen und in schulpraktischen Zentren schaffen,
- und das kompetenzorientierte Verständnis von BNE in NRW erläutern.

Die Leitlinie baut auf eine empirische Untersuchung bestehender Kernlehrpläne auf, die durch das Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen in Auftrag gegeben wurde. Ausgewählt wurden Kernlehrpläne der Fächer und Lernbereiche, die als besonders *BNE-affin* angesehen werden.
Auf Grundlage der empirischen Untersuchung zieht die Leitlinie folgendes Fazit: Ziele von BNE sind sowohl in den Inhaltsfeldern, als auch in den Kompetenzbereichen, bereits „ausgeprägt" bis „deutlich" auffindbar (MSB NRW, 2019d, S. 27). Dadurch wird die Schlussfolgerung gezogen, dass BNE auf Fachwissen und fachspezifischen Kompetenzen aufbauen muss. Aufgrund der bereits bestehenden Kompetenzorientierung der Kernlehrpläne wird daher kein spezifisches BNE-Kompetenzmodell für NRW formuliert.

Die Leitlinie stellte eine Liste von sechs Merkmalen auf, die BNE-Lernprozesse kennzeichnen: (1) Orientierung am aktuellen gesellschaftspolitischen und fachwissenschaftlichen Diskurs zur Auswahl des Kontextes (2) Berücksichtigung mehrere Dimension von Nachhaltigkeit, (3) Förderung einer multiperspektivische Betrachtungsweise, (4) Entwicklung von systemischem und vernetztem Wissen und Denken fördern, (5) Einbezug von Unsicherheiten, Widersprüchen und Risiken, Hervorbringung von Zielkonflikten, (6) Partizipation und Eigenverantwortung durch geeignete Aufgaben- und Methodenauswahl in den Fokus rücken (MSB NRW, 2019d, S. 15).
Die Merkmale sollen Lehrkräften als Leitfaden zur Gestaltung von Lernprozessen im Rahmen von BNE dienen.
Für das Verständnis der Mehrdimensionalität, erweitert die Leitlinie die „klassischen" Dimensionen *Ökologie*, *Soziales* und *Ökonomie* um die *kulturelle* und *politische* Dimension (MSB NRW, 2019d, S. 17). Es wird hervorgehoben, dass die Dimensionen in Wechselwirkungen zueinanderstehen und integrativ behandelt werden müssen. Auch wird darauf hingewiesen, dass nicht immer eine klare Themenzuordnung zu den Dimensionen möglich ist, sondern auch „an der Schnittstelle mehrerer Dimensionen liegen" können (MSB NRW, 2019d, S. 17 f.).

2.3.2 Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung

Der *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* ist als gemeinsames Projekt des BMZ und der KMK entstanden und ist als bundesweite bildungspolitische Vorgabe für BNE zu verstehen. Er wurde 2016 in einer zweiten, überarbeiteten Auflage verabschiedet, die erste Auflage wurde 2007 veröffentlicht (KMK & BMZ, 2007, 2016). Er fokussiert BNE vor allem für den schulischen Bereich und stellt daher eine konkrete Umsetzung zur strukturellen Einbringung von BNE in die Schule dar.

Er soll eine Grundlage darbieten, BNE in Lehrpläne und schulinterne Curricula zu verankern sowie Lehrkräften Hinweise zur Unterrichtsgestaltung vorstellen. Der *Lernbereich Globale Entwicklung* strebt folgende fünf Leitideen an (KMK & BMZ, 2016, S. 87):

- Orientierung am Leitbild für nachhaltige Entwicklung
- Analyse von Entwicklungsprozessen auf unterschiedlichen Handlungsebenen
- Umgang mit Vielfalt
- Fähigkeit zum Perspektivenwechsel
- Kontext- bzw. Lebensweltorientierung

Aktuell adressiert der Orientierungsrahmen vor allem die Umsetzung in der Primarstufe und in der Sekundarstufe I und bezieht sich im Vergleich zur *Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung NRW* (s. Kapitel 2.3.1) auf nahezu alle Unterrichtsfächer. Eine Übertragung auf die gymnasiale Oberstufe wird derzeit anvisiert und erarbeitet (Engagement Global, 2021).
Der Orientierungsrahmen benennt eine Auswahl an 21 Themenbereichen. Die Themenbereiche orientieren sich am Leitbild für nachhaltige Entwicklung und sollen u.a. dessen Mehrdimensionalität widerspiegeln, Globalisierung und deren Entwicklung thematisieren, an die Lebenswelt der Lernenden anknüpfen und unterrichtliche Praxiserfahrung mit einbeziehen (KMK & BMZ, 2016, S. 96). Insgesamt lässt sich darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen den Themenbereichen und den 17 SDGs (s. Abbildung 1) erkennen. Hervorzuheben ist auch, dass der Orientierungsrahmen die „klassischen" drei Dimensionen Umwelt, Soziales und Wirtschaft um die Dimension Politik ergänzt und die vier Zieldimensionen „als vier Entwicklungsdimensionen der Bereiche Soziales, Wirtschaft, Politik und Umwelt" bezeichnet (KMK & BMZ, 2016, S. 35). In Kombination der vier Entwicklungsdimensionen wird außerdem ein Modell mit sieben Handlungsebenen beschrieben, an dem Entwicklungsprozesse analysiert und Zielkonflikte verdeutlich werden können (KMK & BMZ, 2016, Abbildung 1,2, S. 36 f.).

2.4 Kompetenzkonzepte von BNE

Auf nationaler und internationaler Ebene sind verschiedene Konzepte entstanden, welche Kompetenzen zur Umsetzung des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung befähigen und demnach im Rahmen von BNE vermittelt werden sollten.
Im deutschsprachigen Raum hat sich aus diesem Diskurs heraus vor allem das Konzept der *Gestaltungskompetenz* als Ziel und Leitbild von BNE etabliert (s. Kapitel 2.4.1) (de Haan, 2008; Eggert, 2008; Michelsen & Overwien, 2020). Ein weiteres verbreitetes Kompetenzmodell ist durch den *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* (s. Kapitel 2.4.2) konzipiert worden (KMK & BMZ, 2007, 2016).

2.4.1 Konzept der Gestaltungskompetenz

Das Konzept der *Gestaltungskompetenz* wurde von de Haan und Harenberg innerhalb der beiden BLK-Förderprogramme „21“ und „Transfer 21“ entwickelt und erprobt (de Haan & Harenberg, 1999).
Seit der Entwicklung des Kompetenzmodells wurde es von acht auf zehn Teilkompetenzen ausdifferenziert und weiter präzisiert (BLK, 2005; Programm Transfer-21, 2008). Zusätzlich wurden für jede Teilkompetenz Zielsetzungen und Lernangebote ausformuliert (Programm Transfer-21, 2007). Später erweiterte sich das Konzept wie in Tabelle 1 dargestellt auf insgesamt 12 Teilkompetenzen (de Haan, 2010; De Haan et al., 2008).
Durch die Vermittlung von Gestaltungskompetenz, sollen Lernenden dazu befähigt werden, die Fertigkeiten zu erwerben, die sie benötigen, um aktiv und verantwortungsvoll an der nachhaltigen Gestaltung der Weltgesellschaft mitzuwirken und in ihrem persönlichen Umfeld zur Förderung von Gerechtigkeit und Umweltverträglichkeit beizutragen (de Haan, 2002).

Als Referenzrahmen für die Formulierung der Konzeption der Gestaltungskompetenz und der Ausdifferenzierung der Teilkompetenzen diente das Konzept der Schlüsselkompetenzen der OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*) (de Haan, 2008). Die Schlüsselkompetenzen sind in drei Kompetenzkategorien unterteilt (OECD, 2005). Diese sind in der rechten Spalte von Tabelle 1 dargestellt. Sie stellen einen Konzeptrahmen dar, in dem sich die erforderlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten für die Förderung des „persönlichen, sozialen und wirtschaftlichen Wohlergehens als allgemein anerkanntes und konsensfähiges Oberziel“ verankern lassen (Michelsen & Overwien, 2020, S. 567). Die Kategorien gliedern sich weiter in jeweils drei formulierte Schlüsselkompetenzen, die in der Darstellung der Tabelle ausgelassen sind. Entscheidend ist eine Vernetzung von Schlüsselkompetenzen aller drei Kategorien (Rychen, 2008). Schlüsselkompetenzen fokussieren die Frage, welche Kompetenzen für ein „erfolgreiches Leben in einer gut funktionierenden Gesellschaft“ wichtig sind und lassen sich an drei Merkmalen festmachen: Sie führen zu fruchtbaren Ergebnisse, sowohl für die Menschen als auch der gesamten Gesellschaft, sie befähigen dazu „wichtige Anforderungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu erfüllen“ und sie sind nicht individuell sondern universell für alle Menschen gültig (OECD, 2005, S. 6).
Die 12 Gestaltungskompetenzen lassen sich wie in Tabelle 1 dargestellt innerhalb dieser drei Kategorien einteilen (de Haan, 2008, 2010):

Tabelle 1: Darstellung der 12 Gestaltungskompetenzen (de Haan, 2008, 2010) *in Zuordnung zu den Schlüsselkompetenzen der OECD (2005).*

Gestaltungskompetenzen (de Haan, 2008, 2010)	**Schlüsselkompetenzen der OECD (2005)**
1. Weltoffen und neue Perspektiven integrierend Wissen aufbauen	**Interaktive Anwendung von Medien und Mitteln**
2. Vorausschauend Entwicklungen analysieren und beurteilen können	
3. Interdisziplinär Erkenntnisse gewinnen und handeln	
4. Risiken, Gefahren und Unsicherheiten erkennen und abwägen können	
5. Gemeinsam mit anderen planen und handeln können	**Interagieren in heterogenen Gruppen**
6. Zielkonflikte bei der Reflexion über Handlungsstrategien berücksichtigen können	
7. An kollektiven Entscheidungsprozessen teilhaben können	
8. Sich und andere motivieren können, aktiv zu werden	
9. Die eigenen Leitbilder und die anderer reflektieren können	**Autonome Handlungsfähigkeit (Eigenständiges Handeln)**
10. Vorstellungen von Gerechtigkeit als Entscheidungs- und Handlungsgrundlage nutzen können	
11. Selbstständig planen und handeln können	
12. Empathie für andere zeigen können	

2.4.2. Kompetenzmodell für den Lernbereich Globale Entwicklung

Der Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung (s. Kapitel 2.3.2) beschreibt mit dem *Kompetenzmodell für den Lernbereich Globale Entwicklung* ein weiteres Kompetenzkonzept im Rahmen der Vermittlung von BNE. Das Konzept formuliert insgesamt drei Kompetenzbereiche: *Erkennen*, *Bewerten* und *Handeln*. Innerhalb der drei Kompetenzbereiche werden elf Kernkompetenzen formuliert (s. Tabelle 2):

Tabelle 2: Darstellung der Kernkompetenzen des Orientierungsrahmens in Einteilung der drei Kompetenzbereiche Erkennen, Bewerten und Handeln (KMK & BMZ, 2016, S. 95).

Erkennen	Bewerten	Handeln
1. Informationsbeschaffung und -verarbeitung	5. Perspektivenwechsel und Empathie	8. Solidarität und Mitverantwortung
2. Erkennen von Vielfalt	6. Kritische Reflexion und Stellungnahme	9. Verständigung und Konfliktlösung
3. Analyse des globalen Wandels	7. Beurteilen von Entwicklungsmaßnahmen	10. Handlungsfähigkeit im globalen Wandel
4. Unterscheidung von Handlungsebenen		11. Partizipation und Mitgestaltung

Die vierte Kernkompetenz *Unterscheidung von Handlungsebenen* aus dem Bereich *Erkennen* stellt eine der Leitideen des Lernbereichs Globale Entwicklung dar und bezieht sich konkret auf das beschriebene Modell der Handlungsebenen des Orientierungsrahmens (KMK & BMZ, 2016, Abbildung 1,2, S. 36 f.).

Ausgehend von den elf Kernkompetenzen (s. Tabelle 2) wird für die Primarstufe und die Sekundarstufe I eine Ausdifferenzierung vorgenommen, indem spezifische, *fachbezogene Teilkompetenzen* für die einzelnen Fächer formuliert werden. Die formulierten fachbezogenen Teilkompetenzen stehen u.a. in Bezug zu den KMK-Bildungsstandards der einzelnen Fächer. Um Lehrkräften konkrete Umsetzungshinweise für die Unterrichtsgestaltung an die Hand geben zu können, werden die übergeordneten Themenbereiche durch fachbezogene Beispielthemen ausgeweitet und den fachbezogenen Teilkompetenzen zugeteilt. Durch ein Kompetenzraster erfolgt eine Aufteilung in drei Anforderungsniveaus der jeweiligen Teilkompetenzen und kann als Orientierung für Leistungsbewertung und Leistungsbeobachtung fungieren. Unterrichtsbeispiele inkl. Verlaufsplan vervollständigen die Ausführungen zu den einzelnen Fächern (KMK & BMZ, 2016).

Wie das Konzept der Gestaltungskompetenz orientiert sich auch das Kompetenzmodell für den Lernbereich Globale Entwicklung an den Schlüsselkompetenzen der OECD (OECD, 2005).
Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal der beiden Kompetenzmodelle Gestaltungskompetenz und Lernbereich Globale Entwicklung ist die jeweilige Schwerpunktsetzung. Während die Teilkompetenzen der Gestaltungskompetenz vor allem überfachlich und allgemeiner für das Bildungsziel von BNE formuliert sind, fokussiert der Orientierungsrahmen stärker auf den schulischen Bereich. Die Kernkompetenzen mit ihren fachspezifischen Teilkompetenzen fokussieren auf die Anschlussfähigkeit an die einzelnen Fächer und deren vorhandene fachspezifische Kompetenzen (de Haan, 2008; KMK & BMZ, 2016, S. 85; OECD, 2005).

2.5 Aktueller Stand der Implementierung von BNE

Um den Stand der Verankerung von BNE in Deutschland und die bereits erzielten Erfolge zu überprüfen und zu bewerten, wird seit 2015 ein bundesweites BNE-Monitoring durchgeführt. Übergeordnetes Ziel des BNE-Monitorings ist es, einen differenzierten Überblick über den Stand und den Prozess der Umsetzung von BNE in Deutschland zu gewinnen und zu beschreiben. Dazu werden in einem Längsschnittdesign Dokumentenanalysen, z. B. von Lehrplänen oder Lehrkräfteausbildungen, sowie qualitative und quantitative Studien durchgeführt, deren Ergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2023b).

Eine aktuelle Studie des BNE-Monitorings von 2022 zur Bedeutung von Nachhaltigkeit und BNE im Bereich der formalen Bildung (Schule, Berufliche Bildung, Hochschule) kommt zu folgenden Ergebnissen (Grund & Brock, 2022):
Nur etwas weniger als ein Viertel der jungen Menschen hat das Gefühl, durch formale Bildung effektiv zur Lösung von Nachhaltigkeitsproblemen aktiv beitragen zu können.
Lernende und Lehrende äußern gleichermaßen den Wunsch nach einer deutlich verstärkten Implementierung von BNE auf der inhaltlichen Ebene. Der Anteil der Gesamtunterrichtszeit, der sich mit der Thematisierung von Nachhaltigkeit beschäftigt, stieg seit 2018 von 9 % auf 14 %. Dieser Umfang an Nachhaltigkeitsbezügen im Unterricht, wird als zu gering wahrgenommen. Die Lernenden wünschen sich einen BNE-Anteil von 40 % der Gesamtunterrichtszeit, Lehrende einen Anteil von 50 %.
Dabei sollten sich Nachhaltigkeitsbezüge breiter verteilen. Vorrangig findet die Auseinandersetzung mit Nachhaltigkeit und BNE in den Fächern Erdkunde, Biologie, Wirtschaft und Politik statt. Eine „querschnittliche Verankerung“ (S. 11) von Nachhaltigkeit im Unterricht kann nur in Einzelfällen festgestellt werden.
Außerdem weisen die Ergebnisse der Studie auf eine Lücke in der Lehramtsausbildung hin: Zwei Drittel der Lehrkräfte haben während ihres eigenen Lehramtstudiums noch nie etwas von BNE gehört und 22 % haben nur selten damit zu tun gehabt haben.
Die größten Hindernisse für eine stärkere Umsetzung von BNE seien die unzureichende Verankerung von BNE in den Curricula (81 % Zustimmung) und der Mangel an Fortbildungsmöglichkeiten (72 % Zustimmung).
Hinzu kommt ein allgemeines Problem des Bildungssystems, dass bei der erfolgreichen Umsetzung von BNE eine Rolle spielt: Angesichts zu vieler inhaltlicher Vorgaben und weiterer Querschnittsthemen sind Lehrkräfte in ihrer zeitlichen Kapazität sowohl auf der Ebene der Unterrichtsvorbereitung als auch der inhaltlichen Ausgestaltung bereits stark beansprucht.

Eine positive Entwicklung zeigt sich außerhalb des Bereichs der formalen Bildung. Seit 2018 ist das Thema Nachhaltigkeit in „fast allen Lebensbereichen“ (S. 1) stärker aufgetreten. Damit sind zum einen die Präsenz in den Medien gemeint, als auch in der Interaktion mit Freunden und Familie sowie im Bereich der Freizeit.
Diejenigen, die sich mit dem Thema Nachhaltigkeit in der formalen Bildungseinrichtung mehr auseinandersetzen, handeln tendenziell nachhaltiger. Sowohl junge Menschen als auch Lehrkräfte verfügen über ein hohes Bewusstsein für Nachhaltigkeitsprobleme und erkennen, dass diese Probleme negative Auswirkungen auf ihr Leben haben werden. Obwohl etwa die Hälfte der jungen Menschen sehr interessiert an Nachhaltigkeit ist, haben sie derzeit wenig Hoffnung, dass eine nachhaltige Zukunft noch erreichbar ist (Grund & Brock, 2022).

Folgende Empfehlungen werden unter anderem aus den Ergebnissen für Politik und Praxis geschlussfolgert (Grund & Brock, 2022): Die Einbindung von BNE-bezogenen Themen und Methoden in die Lehramtsausbildung (aller Fächer), die inhaltliche Ausweitung des Themas Nachhaltigkeit im Unterricht (aller Fächer) sowie eine breitere curriculare Verankerung beispielsweise durch die Integration entsprechender Kompetenzziele in den Lehrplänen. Bezugnehmend auf das Ergebnis einer stärkeren Berücksichtigung von Nachhaltigkeit im außerschulischen Bereich könnte die Integration von digitaler Bildung, Medienkompetenz und politischer Bildung genutzt werden, um einen stärkeren Bezug zu Nachhaltigkeit im Alltag herzustellen und eine „kritisch-konstruktive“ (S. 2) Auseinandersetzung mit unterschiedlichen Standpunkten zu fördern. Auch das Ziel des *Whole-Institution-Approach* (s. Kapitel 2.3) findet im Rahmen der Empfehlung Erwähnung (Grund & Brock, 2022).

2.6 BNE und die naturwissenschaftlichen Fächer

In den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 wurden der „Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung“ (KMK & BMZ, 2016) als Ergebnis der Zusammenarbeit von KMK und BMZ sowie die „Leitlinie Bildung für Nachhaltige Entwicklung“ des Ministeriums für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (MSB NRW, 2019d), als bildungspolitische Vorgaben auf Bundes- und beispielhaft auf Landesebene für die strukturelle Verankerung von BNE in der Schule vorgestellt.

Im folgenden Kapitel soll nun auf Grundlage der Leitlinie und des Orientierungsrahmens die Verbindung zwischen BNE und den curricularen Inhalten und fachspezifischen Kompetenzen der drei naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik aufgezeigt werden.

Dabei wird vor allem auf die Kernlehrpläne NRW und die nationalen Bildungsstandards in den naturwissenschaftlichen Fächern Bezug genommen und diese mit BNE-spezifischen Inhalten und Kompetenzen verknüpft.
Auf eine Ausführung der BNE-Bezüge weiterer Schulfächer wird an dieser Stelle verzichtet und auf die Inhalte der Leitlinie und des Orientierungsrahmen verwiesen (s. KMK & BMZ, 2016; MSB NRW, 2019d).

Wie bereits beschrieben (s. Kapitel 2.3.1), beinhaltet die Leitlinie unter anderem Empfehlungen für Lehrkräfte, wie BNE-Lernprozesse in den Unterricht integriert werden können. Diese Empfehlungen werden für die sogenannten *BNE-affinen* Fächer ausgearbeitet und bauen auf den Fachinhalten sowie den fachspezifischen Kompetenzen auf. Zu den *BNE-affinen* Fächern zählen unter anderem die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik (MSB NRW, 2019d).

Auch der Orientierungsrahmen (s. Kapitel 2.3.2) soll Lehrkräfte bei der Implementation von BNE in den Unterricht unterstützen. Zur Differenzierung der ausgewählten Themenbereiche für BNE formuliert er zusammenfassend eine Vielzahl von konkreten Beispielthemen für die drei naturwissenschaftlichen Fächer (KMK & BMZ, 2016).
Anders als die Leitlinie, die sich in ihrer Ausführung auf bestehende Fachinhalte und fachspezifische Kompetenzen bezieht, verbindet der Orientierungsrahmen die ausgewählten Beispielthemen mit den formulierten fachbezogenen Teilkompetenzen des eigenen Kompetenzmodells. Zusätzlich beschreibt er Zusammenhänge zu den fachspezifischen Kompetenzen der Bildungsstandards.

Ein erster Schritt ist die Beschreibung der Anschlussfähigkeit der Fächer Biologie, Chemie und Physik für BNE mit Fokus auf die fachlichen Inhalte. Daran anknüpfend wird der Fokus auf die Kompetenzen gerichtet und die Verbindung zwischen BNE-spezifischen Kompetenzen und den bestehenden fachspezifischen Kompetenzen der naturwissenschaftlichen Fächer erläutert.
Die Darstellung erfolgt auf Grundlage der Analyse der Leitlinie (MSB NRW, 2019d) und des Orientierungsrahmens (KMK & BMZ, 2016).

2.6.1 Inhaltlicher Bezug zu BNE

Seit der Aktualisierung der Kernlehrpläne für die Sekundarstufe I an Gymnasien und Gesamtschulen für Nordrhein-Westfalen zum Schuljahr 2019/2020 wird BNE als fächerübergreifende Querschnittsaufgabe in allen Fächern im Rahmen der Ziele und Aufgaben beschrieben. (MSB NRW, 2019a, 2019c, 2019b). Innerhalb der einzelnen Fächer lassen sich folgende BNE-Bezüge finden:

Biologie

Schülerinnen und Schüler sollen im Rahmen des Biologieunterrichts befähigt werden, die Wechselwirkungen zwischen den Menschen und der Umwelt zu erkennen und zu reflektieren. Dadurch soll ihre Fähigkeit gestärkt werden, multiperspektivisch und systemisch zu denken. Biologische Fragestellungen befassen sich mit der Komplexität und Vernetzung verschiedener Ökosysteme und ihrer Vielzahl von Einflussfaktoren, die sowohl kurz- als auch langfristig wirken {Formatting Citation}.

Viele Fragestellungen im Biologieunterricht, sowohl lokal als auch global sowie gegenwärtige als auch zukünftige, beziehen sich auf die Auswirkungen von Handlungen. Eine Vielzahl von biologisch relevanten Themen verweist auf globale Vernetzungen und können als Beispiele für die Gestaltung einer nachhaltigen Entwicklung dienen (MSB NRW, 2019d, S. 36). Folgende Inhalte eignen sich besonders zur Implementierung von BNE-Lernprozessen (MSB NRW, 2019d, S. 36):

- ökologische Auswirkungen der globalen Nutzung von Rohstoffen, Alternativen der Rohstoffnutzung
- kreislauforientierte ökologische Landwirtschaft
- Gentechnik, Stammzelltherapie
- Artenschutz (lokal, global).

Die Bildungsstandards weisen explizit auf das Ziel des Biologieunterrichts hin, Kriterien und deren Anwendung für eine nachhaltige Entwicklung zu vermitteln. Lernende sollen zum „Verständnis nachhaltigkeitsbezogener Entscheidungen“ (MSB NRW, 2019d, S. 36) befähigt werden und Handlungsmöglichkeiten reflektieren können. Dazu kann der Biologieunterricht durch den Aufbau von Bewertungskompetenz beitragen. Der Erwerb und die Förderung von Bewertungskompetenz bilden die Grundlage, um Entscheidungen und Handlungen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung treffen zu können (MSB NRW, 2019d).

Chemie

Das Fach Chemie bietet zahlreiche Möglichkeiten, Fragestellungen im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung in den Unterricht zu integrieren. Mit Blick auf die vier bestehenden Basiskonzepte der Bildungsstandards, kann in vielfältigen Zusammenhängen der Umgang des Menschen mit der materiellen Welt hinsichtlich der Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt thematisiert werden(KMK & BMZ, 2016, S. 333).

Hierbei können beispielsweise folgende Themen behandelt werden (MSB NRW, 2019d, S. 35):

- Klimawandel, Treibhauseffekt, Ozon-Problematik,
- Auswirkungen von Gewässerverschmutzung auf Mensch und Umwelt,
- Ressourcen- und Energieeinsparungspotenziale in der Landwirtschaft,
- Recycling am Beispiel der Wiederverwendung von Metallen und anderen wertvollen Stoffen,
- Mobile Energiequellen, großtechnische Herstellung von Batterietypen, Umweltbelastung und Ressourcennutzung.

Zur Einbindung und Vermittlung dieser Themen hebt die Leitlinie den Erwerb von Bewertungskompetenz hervor. In den Bildungsstandards Chemie für den mittleren Schulabschluss wird im Kompetenzbereich der Bewertung unter anderem auf die Sensibilisierung der Lernenden für die nachhaltige und verantwortliche Nutzung von Ressourcen verwiesen (KMK, 2004; MSB NRW 2019b).

Als Beitrag zur Umsetzung der Leitlinie BNE NRW wurde zudem für das Fach Chemie eine Konkretisierung, der in der Leitlinie für Chemie herausgestellten BNE-Bezüge, ausgearbeitet {Formatting Citation}. Die Konkretisierung erfolgt durch die Entwicklung einer strukturierten Übersicht in Form eines Verlaufsplans, der beschreibt, wie eine konkrete Einbindung von BNE-Bezügen in die curricularen Inhaltsfelder des Faches Chemie über alle Jahrgangsstufen hinweg erfolgen kann. Dabei werden fast alle 17 SDGs (s. Abbildung 1) exemplarisch in die vorgegebenen Inhaltsfelder integriert. Die Ausarbeitung erfolgte auf Grundlage der Kernlehrpläne der Sekundarstufe I und II an Gymnasien und Gesamtschulen für NRW sowie dem Kernlehrplan Naturwissenschaften an Gesamtschulen für die Sekundarstufe I (MSB NRW, 2014, 2019a; MSB NRW, 2013). Aufgrund ähnlicher Bildungspläne und lediglich geringfügig abweichender Reihenfolgen der Inhalte in anderen Bundesländern ist eine deutschlandweite Übertragbarkeit möglich (Kiesling et al., 2021, 2023).

Physik

Physikunterricht vermittelt unter anderem grundlegende Kenntnisse im Umgang mit physikalischen und technischen Prozessen und Geräten. Im Zusammenhang mit der Entwicklung dieser Prozesse sind Fragen zur Ressourcennutzung sowie möglicher ökologischer Auswirkungen von großer Bedeutung (z. B. Ressourcenknappheit oder Energieverschwendung). Auch Fragen der Gerechtigkeit in Bezug auf die Entwicklung und den Zugang zur Technologie spielen eine wichtige Rolle. Darüber hinaus ist auch die Technikfolgenabschätzung, z. B. in der Diskussion zur Energiegewinnung durch Kernbrennstoffe, ein wichtiger Faktor, der bei der Entwicklung von Technologien berücksichtigt werden muss (Kircher et al., 2015; MSB NRW, 2019d, S. 35). Die Fachkonzepte aus den

Bildungsstandards ermöglichen weiter eine Anknüpfung an die Aspekte „Klimaveränderungen, Meeresströme und Energieversorgung“ (KMK & BMZ, 2016, S. 333).
Weiterhin werden in der Leitlinie folgende Themen aufgezählt (2019d, S. 35):

- Energieversorgung der Zukunft, Energiespeicherung und Verteilung,
- aktuelle und zukünftige Entwicklungen bei Informationssystemen und Digitalisierung,
- Technologiefolgenabschätzung am Beispiel der Robotik,
- technische Möglichkeiten bei Entwicklungen in der Mikrosensorik und bei Industrie 4.0 sowie soziale Folgen.

Auch für das Fach Physik wird dem Kompetenzbereich der Bewertung eine besondere Bedeutung zugesprochen. Dabei wird der Erwerb von Bewertungskompetenzen in Verbindung mit den aufgeführten fachlichen Themen als Möglichkeit zur Etablierung von BNE-Lernprozessen beschrieben. Durch die Anwendung des erworbenen Fachwissens im Physikunterricht können Lernende dazu befähigt werden, physikalische und technische Systeme im Hinblick auf ihre gesellschaftliche, aktuelle und zukünftige Relevanz zu bewerten (MSB NRW, 2019d).

2.6.2 Fazit

Für die curricularen Fachinhalte der naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Chemie und Physik lassen sich vielfältige Bezüge und Anknüpfungspunkte zu BNE-bezogenen Themen bzw. dem Kontext Nachhaltigkeit finden. Dabei wird insbesondere im Rahmen der Leitlinie BNE NRW explizit die Rolle der Bewertungskompetenz für alle drei naturwissenschaftlichen Fächer gleichermaßen betont. Die Relevanz ergibt sich aus den Inhalten von BNE, die sich auf zukünftige Entwicklungen und Herausforderungen beziehen, sowie aus der Vermittlung von Kompetenzen (Hellberg-Rode, 2011). Diese Kompetenzen sollen dazu befähigen Probleme selbstständig zu lösen und neue Erkenntnisse zu gewinnen. Dadurch kann ein Betrag zur Förderung BNE generiert werden (Hellberg-Rode, 2011).

Im folgenden Kapitel wird der Zusammenhang zwischen den fachspezifischen Kompetenzen und den BNE-spezifischen Kompetenzen fokussiert.

2.6.3 Kompetenzorientierter Bezug zu BNE

Wie in Kapitel 2.4.2 erläutert, beschreibt der Orientierungsrahmen ein eigenes Kompetenzkonzept für den *Lernbereich Globale Entwicklung* mit den drei Kategorien *Erkennen,*

Bewerten und *Handeln* und formuliert weiter elf Kernkompetenzen (s. Tabelle 2), an denen fachspezifische Teilkompetenzen ausdifferenziert werden. Diese werden als „unmittelbar anschlussfähig für den kompetenzorientierten Fachunterricht" beschrieben (KMK & BMZ, 2016, S. 85).
Im Vergleich zu anderen Fächern orientiert sich die Formulierung der naturwissenschaftlichen Teilkompetenzen des Orientierungsrahmens sehr konkret an den bestehenden Kompetenzen der Bildungsstandards für die Fächer Biologie, Chemie und Physik für den mittleren Schulabschluss. Für alle drei Naturwissenschaften sind in den Bildungsstandards die Kompetenzen *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewertung* definiert worden (KMK, 2004a, 2004b, 2004c). Diese lassen sich zu den drei Kompetenzkategorien *Erkennen – Bewerten – Handeln* innerhalb des Orientierungsrahmen in Beziehung setzen (Härtig et al., 2014). Der Bezug zwischen den Teilkompetenzen und den vier Kompetenzbereichen der naturwissenschaftlichen Fächer wird unter anderem durch den Einsatz von Formulierungen der Standards sowie durch eine konkrete Zuordnung der einzelnen Standards deutlich (KMK & BMZ, 2016). Insgesamt wurden 39 Teilkompetenzen formuliert und den Kernkompetenzen und Kategorien zugeteilt. Der Kompetenzbereich *Bewerten* aus den Bildungsstandards findet sich in analoger Bezeichnung im *Kompetenzkonzept für Globales Lernen.*

Bögeholz (2011) definiert Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung als „zentralen Baustein der Gestaltungskompetenz" und beschreibt sie als Voraussetzung für deren Erwerb (Bögeholz 2011, S. 33). Bewertungskompetenz lässt sich der Gestaltungskompetenz als „nahe verwandt" beschreiben (Hostenbach, 2011, S. 34) und findet sich in der Definition der Gestaltungskompetenz (s. Kapitel 2.4.1) wieder (de Haan, 2008).

2.6.4 Fazit

Wie an mehreren Stellen in der Leitlinie für die Fächer Biologie, Chemie und Physik beschrieben wird, und im vorangegangenen Abschnitt erläutert, wird der Bewertungskompetenz eine besondere Anschlussfähigkeit von BNE in den naturwissenschaftlichen Unterricht zugesprochen. Auch die anderen drei Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung und Kommunikation bieten diverse Anknüpfungspunkte für BNE im naturwissenschaftlichen Unterricht, im Vergleich zur Bewertungskompetenz aber in einem geringeren Umfang (Hellberg-Rode, 2011; KMK & BMZ, 2016).
Aus beiden vorgestellten Kompetenzkonzepten für BNE, dem Konzept der *Gestaltungskompetenz* (s. Kapitel 2.4.1) und dem Kompetenzmodell des *Lernbereichs Globale Entwicklung* (s. Kapitel 2.3.2) lässt sich damit ein konkreter Bezug zur Bewertungskompetenz der naturwissenschaftlichen Fächer herstellen.

Dem naturwissenschaftlichen Unterricht liegt durch die Vermittlung von Bewertungskompetenz anhand von Themen und Fragestellungen nachhaltiger Entwicklung ein hohes Potenzial zur Förderung und Umsetzung von BNE zugrunde (Hößle & Menthe, 2013). Dabei ist insbesondere die curriculare Verankerung sowohl auf inhaltlicher als auch kompetenzorientierter Ebene hervorzuheben.

Der nächste Abschnitt erläutert die Beschreibung und den Vergleich von Bewertungskompetenz als normativen Bezugspunkt in den Bildungsstandards der naturwissenschaftlichen Fächer. Anschließend werden die Formulierungen der Standards zu ihrer Verknüpfung zu BNE eingeordnet.

2.6.5 Bewertungskompetenz in den Bildungsstandards

Die Vermittlung von Bewertungskompetenz wird in allen drei Naturwissenschaften gleichermaßen gefordert. Einleitend wird sie beschrieben als Fähigkeit, chemische, biologische, physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten zu erkennen und zu bewerten (KMK 2004a, 2004b, 2004c).
Sie unterscheidet sich jedoch in ihrer konkretisierten Ausführung, bzw. in der Ausformulierung ihrer jeweiligen fächerspezifischen Teilkompetenzen innerhalb der Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss sowie der Darstellung von Beispielaufgaben. Tabelle 3 führt die fachspezifischen Konkretisierungen des Kompetenzbereichs *Bewertung* im Vergleich der naturwissenschaftlichen Fächer auf:

Tabelle 3: Darstellungen der Bildungsstandards für den Kompetenzbereich Bewertung für die Fächer Biologie, Chemie und Physik aus (Kultusministerkonferenz, 2004a, 2004b, 2004c).

Biologie	**Chemie**	**Physik**
Die Schülerinnen und Schüler…		
unterscheiden zwischen beschreibenden (naturwissenschaftlichen) und normativen (ethischen) Aussagen (B1),	stellen Anwendungsbereiche und Berufsfelder dar, in denen chemische Kenntnisse bedeutsam sind (B1),	zeigen an einfachen Beispielen die Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen bei inner- und außerfachlichen Kontexten auf (B1),
beurteilen verschiedene Maßnahmen und Verhaltensweisen zur Erhaltung der eigenen Gesundheit und zur sozialen Verantwortung (B2),	erkennen Fragestellungen, die einen engen Bezug zu anderen Unterrichtsfächern aufweisen und zeigen diese Bezüge auf (B2),	vergleichen und bewerten alternative technische Lösungen auch unter Berücksichtigung physikalischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte (B2),
beschreiben und beurteilen Erkenntnisse und Methoden in ausgewählten aktuellen Bezügen wie zu Medizin, Biotechnik	nutzen fachtypische und vernetzte Kenntnisse und Fertigkeiten, um lebenspraktisch	nutzen physikalisches Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten, im Alltag

und Gentechnik, und zwar unter Berücksichtigung gesellschaftlich verhandelbarer Werte (B3),	bedeutsame Zusammenhänge zu erschließen (B3),	und bei modernen Technologien (B3),
beschreiben und beurteilen die Haltung von Haus- und Nutztieren (B4),	entwickeln aktuelle, lebensweltbezogene Fragestellungen, die unter Nutzung fachwissenschaftlicher Erkenntnisse der Chemie beantwortet werden können (B4),	benennen Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen (B4).
beschreiben und beurteilen die Auswirkungen menschlicher Eingriffe in einem Ökosystem (B5),	diskutieren und bewerten gesellschaftsrelevante Aussagen aus unterschiedlichen Perspektiven (B5),	
bewerten die Beeinflussung globaler Kreisläufe und Stoffströme unter dem Aspekt der nachhaltigen Entwicklung (B6),	binden chemische Sachverhalte in Problemzusammenhänge ein, entwickeln Lösungsstrategien und wenden diese an (B6).	
erörtern Handlungsoptionen einer umwelt- und naturverträglichen Teilhabe im Sinne der Nachhaltigkeit (B7).		

Die Vermittlung von Bewertungskompetenz im Fach Biologie beschreibt explizit das Thema *Nachhaltigkeit* und *nachhaltige Entwicklung* (vgl. Tabelle 3, Biologie B6, B7) und betont die Bedeutung einer sorgfältigen Abwägung verschiedener Handlungsoptionen.
In den Fächern Chemie und Physik wird vor allem auf die *Komplexität* und *Mehrdimensionalität* (vgl. Tabelle 3, Chemie B5, Physik B2) von Themen verwiesen, die es erforderlich machen, aus unterschiedlichen Perspektiven eine Bewertung vorzunehmen (Härtig et al., 2014, S. 23). Das Fach Physik nennt dabei explizit die Berücksichtigung „ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte“ (vgl. Tabelle 3, Physik B2) und weist dadurch einen konkreten Bezug zu allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen auf.

Zusammenfassend lässt sich aus den Bildungsstandards der naturwissenschaftlichen Fächer ableiten, dass die Thematisierung von *nachhaltiger Entwicklung* bzw. *Nachhaltigkeit* und der damit verbundenen vielfältigen Kontexte eine geeignete Möglichkeit darstellt, Bewertungskompetenz bei den Lernenden auszubilden und zu fördern. (Härtig et al., 2014). In den 2020 veröffentlichten Bildungsstandards für die allgemeine Hochschulreife für die Fächer Biologie, Chemie und Physik wird im Fach Chemie *nachhaltige Entwicklung* im Kompetenzbereich Bewerten explizit hervorgehoben (KMK, 2020, S. 18, vgl. B 13).

3 Bewertungskompetenz

In Kapitel 2.6 wurde dargelegt, dass sich die Umsetzung von BNE im naturwissenschaftlichen Unterricht besonders durch die Verknüpfung mit der Förderung von Bewertungskompetenz eignet. Dazu wurde sowohl eine Gegenüberstellung der Inhalte von BNE und den naturwissenschaftlichen Fächern vorgenommen als auch ein Vergleich der zu erwerbenden Kompetenzen herausgearbeitet. In Kapitel 2.6.5 wurden die einzelnen Teilkompetenzen des Kompetenzbereichs Bewerten für die naturwissenschaftlichen Fächer dargestellt. In der fachdidaktischen Literatur finden sich darüber hinaus Definitionen von Bewertungskompetenz mit unterschiedlichen Schwerpunktsetzungen. Im folgenden Kapitel 3.1 werden diese Definitionen exemplarisch vorgestellt. In Kapitel 3.2 werden die Begriffe der klassischen Entscheidungstheorie erläutert, die sich in den Definitionen von Bewertungskompetenz wiederfinden. Zwei Modelle zur Bewertungskompetenz aus der Fachdidaktik, die unter anderem auf diesen theoretischen Hintergründen aufbauen, werden in Kapitel 3.3 dargestellt.
Inwieweit Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltigkeit beziehungsweise nachhaltiger Entwicklung in den naturwissenschaftlichen Fächern umgesetzt werden kann, wird anhand einer Literaturrecherche in Kapitel 3.4 beschrieben und abschließend in Kapitel 3.5 zusammengefasst.

3.1 Definitionen der Fachdidaktik

Im Bereich der biologiedidaktischen Forschung ist die Forschung zur Bewertungskompetenz am umfangreichsten (Bögeholz et al., 2004, 2014). Hervorzuheben ist insbesondere die Definition von Bögeholz (2007), die Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung definiert als *„Fähigkeit, sich in komplexen Problemsituationen begründet und systematisch bei unterschiedlichen Handlungsoptionen zu entscheiden, und kompetent am gesellschaftlichen Diskurs um die Gestaltung von Nachhaltiger Entwicklung teil haben zu können“* (Bögeholz, 2007, S. 209).

Auch Rost et al. (2003) formulieren eine Definition für Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung: *„Unter Bewertungskompetenz ist daher die Fähigkeit zu verstehen, bei Entscheidungen unterschiedliche Werte zu erkennen , gegeneinander abzuwägen und in den Entscheidungsprozess einfließen zu lassen.“* (Rost et al., 2003, S.11). Die unterschiedlichen Werte leiten sich nach Rost et. al (2003) aus den drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Ökologie*, *Ökonomie* und *Soziales* (s. Kapitel 1.4) ab und orientieren sich am Leitbild für nachhaltige Entwicklung (z. B. inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit) (s. Kapitel 1.3).

Weiter führen Rost et al. (2003) in ihrer Definition aus, dass Handeln von Wertvorstellungen beeinflusst wird und Werturteile durch Sachwissen ausdifferenziert werden. Es erfordert die Fähigkeit, bei komplexen Sachverhalten Entscheidungen unter Berücksichtigung verschiedener Werte zu treffen und handlungsfähig zu bleiben. Außerdem beinhaltet es die Bereitschaft, zu den eigenen Werten zu stehen und Entscheidungen damit zu begründen (Rost et al., 2003).

Mayer et al. (2004) beschreiben Bewertungskompetenz als *„die Fähigkeit, Kriterien heranzuziehen und zu gewichten, um deskriptives Wissen über den zu beurteilenden Sach- verhalt mit individuellen oder gesellschaftlichen Wertsetzungen in transparenter Weise zu verknüpfen*“ (Mayer et al., 2004, S.172). Als Beispielkontext für die Anwendung der formulierten Definition beziehen auch Mayer et. al (2004) neben der Auseinandersetzung mit ethischen Fragen, die Bewertung von Fragen, die auf eine nachhaltige Entwicklung abzielen, ein (Mayer et al., 2004).
Weiter stellen Mayer et al. (2004) Überlegungen auf, woran unterschiedliche Kompetenzstufen im Bereich Bewerten zugeordnet werden könnten. Zwischen der Anwendung vorgegebener Bewertungskriterien und der Arbeit mit selbstentwickelten Bewertungskriterien, einschließlich der Auswahl und Gewichtung von Bewertungskriterien könnte eine Unterteilung von Kompetenzstufen vorgenommen werden. Höhere Stufen würden darauf aufbauend zusätzliche Fähigkeiten, wie die Reflexion des Bewertungsprozesses und der Bewertungsproblematik sowie die Systematisierung von Bewertungskriterien im Hinblick auf übergeordnete Wertorientierungen erfordern (Mayer et al., 2004).

Eine weitere bekannte Definition aus der biologiedidaktischen Forschung von Mittelsten Scheid und Hößle (2008) mit Fokus auf die kontextspezifische ethische Urteilskompetenz (vgl. Reitschert et al., 2007) beschreibt Bewertungskompetenz als *„die Fähigkeit, die ethische Relevanz naturwissenschaftlicher Themen wahrzunehmen, damit verbundene Werte zu erkennen und abzuwägen sowie ein reflektiertes und begründetes Urteil zu fällen“* (Mittelsten Scheid & Hößle, 2008, S. 88). Das Modell der ethischen Urteilskompetenz nach Reitschert et al. (2007) wird aufgrund seiner fächerspezifischen Ausrichtung mit Fokussierung auf bioethische Themen nicht weiter ausgeführt. Dennoch sollte es einer kurzen Erwähnung erfahren. Für eine ausführliche Darstellung des Modells zur ethischen Urteilskompetenz wird auf Mittelsten Scheid & Hößle, 2008; Reitschert et al., 2007; Reitschert & Hössle, 2007 verwiesen.

Für die verschiedenen vorgestellten Definitionen lässt sich zusammenfassen: Die Befähigung begründet und strukturiert in einer Bewertungssituation eine Entscheidung treffen zu können ist zentral für Bewertungskompetenz. Ausgangspunkt für die Entscheidungsfindung ist das Vorhandensein verschiedener Optionen, zwischen denen eine kriteriengeleitete Abwägung und systematische Auswahl erfolgen muss.

In den Entscheidungsprozess fließen sowohl individuelle und als auch gesellschaftliche Werte und Normen mit ein. Ebenfalls muss eine Berücksichtigung und gegebenenfalls Gewichtung von Bewertungskriterien erfolgen.
Ein wichtiger Teil der Bewertungskompetenz ist auch die Fähigkeit, sowohl eigene als auch bereits getroffene Entscheidungen anderer reflektiert bewerten zu können. (Hostenbach et al., 2011).
Um Bewertungskompetenz erfassen und erklären zu können, werden unter anderem Theorien aus der Entscheidungsfindung herangezogen, die Entscheidungen durch verschiedene Elemente beschreiben. Diese werden im folgenden Kapitel exemplarisch erläutert.

3.2 Entscheidungen

Im Rahmen von Bewertungen müssen Entscheidungen getroffen werden. Entscheidungen können durch die Situation der Entscheidung, den Entscheidungsprozess und die Verwendung von Entscheidungsstrategien beschrieben werden (Betsch et al., 2011).
Die folgenden Kapitel stellen nur einen vereinfachten, kurzen Umriss der wichtigsten Fachtermini aus dem Bereich der klassischen, normativen Entscheidungstheorie dar (zur Vertiefung vgl. Betsch et al., 2011; Pfister et al., 2017). An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass bei der Darstellung der Begrifflichkeiten das rational-analytische Verhalten von Individuen im Vordergrund steht, dieses aber keinesfalls für jedes - vor allem in der Realität auftretende - Entscheidungsverhalten angenommen bzw. vorausgesetzt werden kann (Betsch et al., 2011; Pfister et al., 2017). Für eine vollständige Beschreibung müsste eine Vielzahl weiterer Theorien - z. B. deskriptive Entscheidungstheorien - ergänzt werden.

Die Kenntnis der Begrifflichkeiten sowie der Prozesse soll vor allem helfen, die von der Bewertungskompetenz geforderten Entscheidungen zu beschreiben und einzuordnen: Das Verständnis von Bewertungskompetenz, wie es in der naturwissenschaftsdidaktischen Literatur (s. Kapitel 3.1) sowie den curricularen Vorgaben (s. Kapitel 2.6.5) beschrieben wird, fokussiert begründete und explizite Entscheidungen, die durch die Vermittlung eines rationalen und strukturierenden Entscheidungsverhaltens gefördert werden sollen (Hößle & Menthe, 2013).
Aus diesem Grund konzentriert sich dieses Kapitel vor allem auf die Beschreibung von *rationalem* und *normativem* Entscheidungsfindungsverhalten.

3.2.1 Situation der Entscheidung

Bei einer Entscheidungssituation liegen mindestens zwei Optionen vor, zwischen denen entschieden werden muss, die als „wesentliche Komponente“ der Entscheidungssituation beschrieben werden (Pfister et al., 2017). Optionen können bereits zu Beginn der Entscheidungssituation vorliegen oder müssen selbst generiert werden. Sie können Handlungen, aber auch Objekte oder Strategien sein, denen bestimmte Eigenschaften (*Attribute*) zugrunde liegen (Pfister et al., 2017). Die Auswahl einer Option soll etwas erreichen oder vermeiden, die Folge der Auswahl hat somit positive oder negative Konsequenzen (Betsch et al., 2011). Konsequenzen können unter Sicherheit oder Unsicherheit antizipiert werden sowie eindimensional oder mehrdimensional sein (Pfister et al., 2017). Eine Entscheidungssituation kann weiter aus einer oder mehrerer, aufeinanderfolgenden Stufen bestehen, sie kann einmalig sein oder wiederholt getroffen werden und sie kann eine Person oder mehrere Personen (bzw. eine ganze Gruppe) betreffen (Pfister et al., 2017). Einfluss auf die Wahl einer Option können Ereignisse (z. B. Umweltereignisse), Ziele, Gründe sowie individuelle Maßstäbe und Werte haben (Pfister et al., 2017).

Betsch et. al (2011) definieren den Begriff des *Entscheidens* wie folgt:

> „Entscheiden (»decision making«) ist der Prozess des Wählens zwischen mindestens zwei Optionen, mit dem Ziel, erwünschte Konsequenzen zu erreichen und unerwünschte Konsequenzen zu vermeiden. Der Prozess führt im günstigen Fall zu einer Entscheidung (Wahl). Durch die Entscheidung wird eine Option selektiert und der Entschluss gebildet, diese zu realisieren, z. B. eine Handlung auszuführen.“ (Betsch et al., 2011, S. 68)

Demnach ist Entscheiden als Prozess definiert. Für diesen Prozess haben Betsch & Haberstroh (2014) ein Rahmenmodell für den Prozess des Entscheidens formuliert.

3.2.2 Entscheidungsprozess

Nach dem Rahmenmodell von Betsch & Haberstroh (2014) unterteilt sich der Prozess der Entscheidungsfindung in insgesamt drei Phasen: die *präselektionale*, die *selektionale* und die *postselektionale* Phase. In Abbildung 7 sind die drei Phasen des Modells dargestellt und ihrer inhaltlichen Differenzierung zugeordnet:

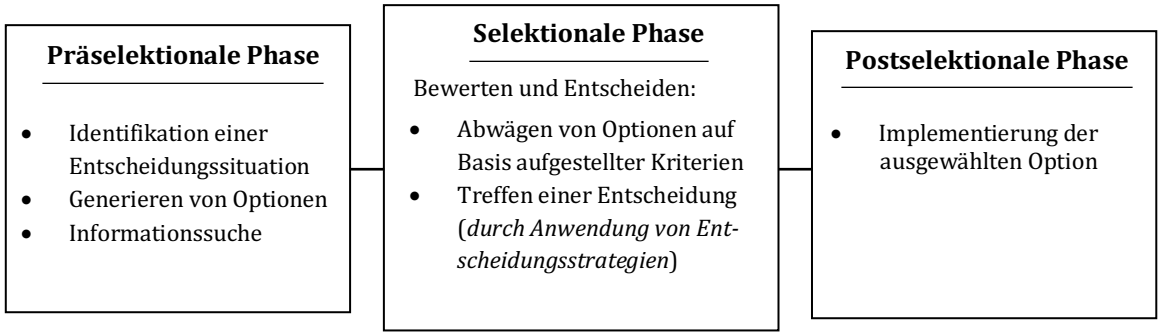


Abbildung 7: Schematische Übersicht des Rahmenmodells für Entscheidungsfindungsprozesse (Betsch & Haberstroh, 2014).

In der *präselektionalen* Phase wird zunächst ein Problem (die Entscheidungssituation) identifiziert und durch die Suche nach weiteren Informationen inhaltlich beschrieben. Es werden Kriterien bestimmt, die bei der Lösung des Problems relevant sind und Optionen (z. B. Handlungen) generiert. In der darauffolgenden *selektionalen* Phase findet der eigentliche Bewertungsprozess statt, bei dem die verschiedenen Optionen anhand der Kriterien gegeneinander abgewogen werden, um schließlich eine Entscheidung zu treffen. Hierzu können Entscheidungsstrategien herangezogen werden (s. Kapitel 3.2.3). In der *postselektionalen* Phase wird die ausgewählte Option implementiert (Betsch et al., 2002; Betsch & Haberstroh, 2014). Bei einer erneuten (ähnlichen) Entscheidung können die Erfahrungen aus der *postselektionalen* Phase in die neue präselektionale Phase eingehen, da je nach „Feedback", eine Tendenz zur Auswahl oder zum Ausschluss generierter Optionen bestehen kann (Betsch, 2005).

Das Rahmenmodell für Entscheidungsfindungsprozesse von Betsch und Haberstroh (2014) ist aus didaktischer Perspektive nach Hößle und Menthe (2013) insofern interessant, weil es „eine Einteilung des Entscheidungsprozesses in lehr- und lernbare Teilschritte erlaubt" (S. 53) und eine gleichgestellte Betrachtung unterschiedlicher Entscheidungsstrategien ermöglicht (Hößle & Menthe, 2013).

3.2.3 Entscheidungsstrategien

Die im Rahmen der Definition von Bewertungskompetenz geforderte systematische und strukturierte Entscheidung (vgl. Kapitel 2.6.5) kann durch die Anwendung von sogenannten Entscheidungsstrategien erfolgen (Bögeholz et al., 2018).
Entscheidungsstrategien können in *kompensatorische* und *non-kompensatorische* Entscheidungsstrategien unterschieden werden. Sie finden vor allem Anwendung bei Entscheidung unter Sicherheit, also bei einer vollständigen Informationslage und Kenntnis über mögliche Konsequenzen (Pfister et al., 2017). Die Entscheidungsstrategien lassen sich vereinfacht wie folgt erklären:

Bei einer *kompensatorischen* Entscheidung erfolgt ein Abwägen und Vergleichen der identifizierten Informationen, Kriterien, Optionen. Eine negative Ausprägung in einem Kriterium einer Option, kann beispielsweise durch eine als positiver bewertete Ausprägung in einem anderen Kriterium aufgewogen werden (Bögeholz, 2007, S. 212; Eggert & Bögeholz, 2006). Das Abwägen von Optionen wird auch durch den Begriff „trade-offs" beschrieben, anhand derer eine Hierarchisierung von Optionen erfolgt (Eggert, 2008, S. 11). Höttecke (2013a) beschreibt als Beispiel einer kompensatorischen Entscheidung: Ein voller Reisebus benötigt zwar weniger Energie als ein Zug, der Zug ist jedoch aufgrund seiner häufigen Abfahrzeiten flexibler. Das Beispiel stellt eine mögliche Fragestellung mit Alltagsbezug für Lernende dar, bei der sie eine von mehreren Handlungsoptionen auswählen sollen.

Bei einer *non-kompensatorischen* Entscheidung wird die Auswahl durch „Schwellenwerten" beziehungsweise „cut-off"-Kriterien getroffen, die einen Ausschluss der Option zur Folge haben (Bögeholz, 2011, S. 39; Eggert & Bögeholz, 2006, S. 190). Dabei sind dann die Ausprägungen, die einen bestimmten Schwellenwert unter- oder überschreiten, entscheidend. Die Ausführung des oben genannten Beispiels würde bei einer non-kompensatorischen Entscheidung lauten: Ein möglicher Schwellenwert in Bezug auf das Reisebeispiel könnte der Preis (z. B. der Fahrkarte für den Zug) oder die insgesamte Reisezeit sein. Wurde vorher ein bestimmter Preis oder eine bestimmte Fahrzeit bestimmt, sind diese ausschlaggebend für die Entscheidung (Höttecke, 2013a).

Wird die angewandte Entscheidungsstrategie und eine Begründung für die Entscheidung kenntlich gemacht und offengelegt, wird das Verhalten als *explizites Entscheiden* bezeichnet. *Implizites Entscheiden* kann ebenfalls Entscheidungsstrategien, bzw. ein systematischen Vorgehen beinhalten, jedoch wird dieses nicht deutlich und nur „das Ergebnis der Entscheidung sichtbar" (Hostenbach et al., 2011, S. 268)

Auch können vor allem alltagsnahe Entscheidungen, *intuitiv* oder *spontan* erfolgen, ohne dass die Anwendung einer Entscheidungsstrategie oder eines systematischen Vorgehens erfolgt. Nach dem *social intuitionist model* nach Haidt (2001) tendieren Menschen in vielen Entscheidungssituationen dazu, intuitiv zu handeln (*ad-hoc*) und ihre intuitiven Entscheidungen nachträglich (*post-hoc*) zu rechtfertigen (Haidt, 2001 zitiert nach Eggert & Bögeholz, 2006).
Weitere nicht-analytische Entscheidungen können noch auf Basis von Erfahrungen *(routinisiertes Entscheiden)* verlaufen, wenn die Entscheidung zum Beispiel schon einmal getroffen wurde und die Konsequenz bekannt ist. Auch der Zufall (Münzwurf) oder die Meinung von Experten können über den Ausgang einer Wahl entscheiden, ebenso wie vorgefasste Meinungen oder das Kopieren der Entscheidung anderer (Betsch & Haberstroh, 2014).

3.3 Modellierung von Bewertungskompetenz in den naturwissenschaftlichen Fächern

Seit der Einführung der Bildungsstandards mit dem Übergang zur Kompetenzorientierung wurde parallel dazu in den Fachdidaktiken die Forschung und Entwicklung von Kompetenzmodellen forciert, um die formulierten Kompetenzen zu operationalisieren und messbar zu machen. Übergeordnetes Ziel von Kompetenzmodellen ist die Diagnose und Förderung der jeweiligen Kompetenz (Bögeholz et al., 2018).
Es wurden seitdem, vor allem aus dem Forschungsbereich der Biologiedidaktik, auf Grundlage verschiedener relevanter Bezugstheorien und curricularer Anbindung, verschiedene Modelle für den Kompetenzbereich der *Bewertung* ausgearbeitet, teils empirisch fundiert und weiterentwickelt (Bögeholz et al., 2004, 2018; Hößle & Menthe, 2013). Als Beitrag der Fachdidaktik zur Kompetenzforschung für den Bereich Bewertung werden im Folgenden zwei ausgewählte bekannte Kompetenzmodellen vorgestellt: Das Modell zur *Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger* Entwicklung und das ESNas-Modell zur *Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I.*

3.3.1 Modell zur Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung

Das Modell zur *Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung* nach Eggert & Bögeholz (2006) ist ein theoriebasiertes und überwiegend empirisch fundiertes Kompetenzstruktur- bzw. Kompetenzentwicklungsmodell aus dem Bereich der biologiedidaktischen Forschung. Es wurde spezifisch für den Kontext der nachhaltigen Entwicklung konzipiert und fokussiert im Rahmen dessen die Entwicklung und Bewertung von Handlungsoptionen in Entscheidungs- bzw. Gestaltsituationen (Eggert & Bögeholz, 2006). Fragen einer nachhaltigen Entwicklung ergeben sich aus komplexen Problemsituationen aus den Bereichen der angewandten Naturwissenschaften (Biologie, Chemie, Physik) und erfordern systematische Entscheidungsfindungsprozesse (Bögeholz, 2011; Eggert & Bögeholz, 2006). Dabei sind Lernende sowohl mit faktischer als auch ethischer Komplexität konfrontiert und müssen durch Bewertungskompetenz mit deren Umgang geschult werden (Bögeholz, 2011; Bögeholz & Barkmann, 2003).

Das Kompetenzmodell zielt sowohl auf die Diagnose als auch die Förderung von Bewertungskompetenz ab (Bögeholz et al., 2018). Dafür bedarf es eines theoretischen Modells, das zentrale Teilkompetenzen des Kompetenzbereichs der Bewertung beschreibt. Zur Messbarkeit müssen diese Teilkompetenzen durch Kompetenzniveaus graduiert sein.

Dadurch soll sowohl der Kompetenzerwerb als auch die Kompetenzentwicklung beschrieben und eingeordnet werden können (Bögeholz et al., 2018; Eggert & Bögeholz, 2006). Theoretische Grundlage für den strukturellen Aufbau des Kompetenzmodells ist neben bestehenden Ansätzen der Bewertungskompetenz und der naturwissenschaftlichen Grundbildung, das in Kapitel 3.2.2 vorgestellte Modell der Entscheidungsfindung (s. Abbildung 7) nach Betsch & Haberstroh (2014) (Eggert & Bögeholz, 2006).
Das Modell zur Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung postuliert die in Abbildung 8 dargestellten Teilkompetenzen (Bögeholz, 2007, 2011; Bögeholz et al., 2014; Eggert & Bögeholz, 2006) :

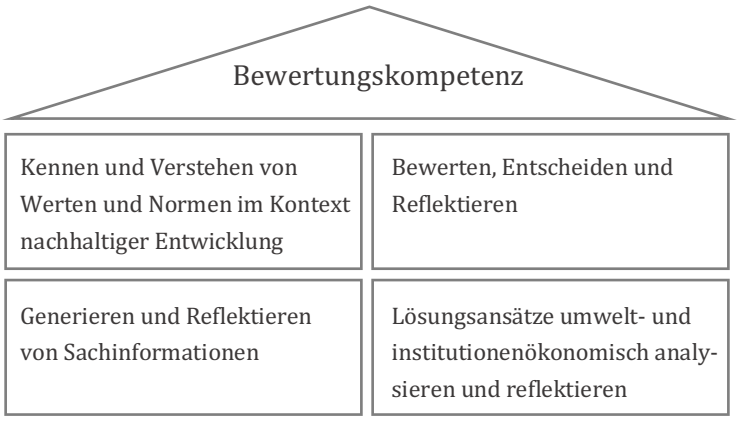


Abbildung 8: Modell zur Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung nach Bögeholz, (2011); Bögeholz, (2007); Eggert & Bögeholz, (2006)*;* Bögeholz et al. (2014).

Zwei Teilkompetenzen leiten sich explizit aus dem Modell der Entscheidungsfindung nach Betsch & Haberstroh (2014) ab und können diesem zugeordnet werden: Die Teilkompetenz *Generieren und Reflektieren von Sachinformationen* beschreibt den Inhalt der *präselektionalen* Phase (s. Abbildung 7). Lernende sollen mögliche Handlungsoptionen, die den Zielen des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung entsprechen, identifizieren, entwickeln und reflektieren lernen. Das Generieren dieser Optionen umfasst, abhängig von der jeweils gestellten Fragestellung und des zu lösenden Problems, auch das Sammeln und Erheben von Daten oder das Durchführen von Untersuchungen. Deren Ergebnisse können das Beschreiben verschiedener Optionen einschließlich ihrer ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekte sowie deren Zusammenhang untereinander (*Retinität*) spezifizieren (Eggert & Bögeholz, 2006; Gausmann et al., 2010) und faktisch komplexe Entscheidungssituationen im Kontext nachhaltiger Entwicklung charakterisieren (Bögeholz et al., 2018). Auch sollen Lernende dazu befähigt werden, vorliegende Datenerhebungen zu kritisieren und zu hinterfragen, damit die Eignung und Qualität der entwickelten Handlungsoptionen reflektiert werden kann (Gausmann et al., 2010). Sie sollen außerdem erkennen, dass „defizitäre Datenlagen“ vorliegen können und den Umgang mit „unsicherem Wissen“ erlernen (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 190). Gausmann et al. (2010) entwickelten für die Teilkompetenz *Generieren und Reflektieren von Sachinformationen* ein Rahmenkonzept für die Entwicklung und Analyse von Aufgaben, aus dem sich Überlegungen zur Graduierung ableiten ließen. Diese beruhen auf der Annahme, dass die

Berücksichtigung von Einzelaspekten weniger anspruchsvoll sei, als das Herstellen von Verbindungen zwischen verschiedenen Aspekten (Gausmann et al., 2010).

Die Teilkompetenz *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren* beschreibt die zentrale, *selektionale Phase* (s. Abbildung 7). Lernende sollen dazu befähigt werden, kriteriengeleitet Handlungsoptionen im Hinblick auf das Leitbild nachhaltiger Entwicklung zu vergleichen und eine Abwägung vornehmen zu können (Eggert & Bögeholz, 2006). Die Auswahl der Option soll dabei nicht intuitiv, sondern systematisch erfolgen und zudem Entscheidungsstrategien (s. Kapitel 3.2.3) einbinden. Dafür wird „Bewertungsstrukturwissen" (vgl. Bögeholz & Barkmann, 2003) benötigt, also ein Wissen über den Prozess des Bewertens (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 190). Einhergehend mit der Auswahl einer Option soll die getroffene Entscheidung, einschließlich des durchlaufenen Entscheidungsprozesses, kritisch reflektiert werden können. Die Anzahl und Qualität der aufgeführten Kriterien sowie die Auswahl von Entscheidungsstrategien bestimmt den Grad der vier postulierten Kompetenzniveaus (Eggert & Bögeholz, 2006, 2010). Eine vereinfachte Darstellung mit Fokus auf die Auswahl von Entscheidungsstrategien ist in Tabelle 4 dargestellt. Zur vollständigen Darstellung der vier Kompetenzstufen für die Teilkompetenz *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren* siehe Eggert & Bögeholz (2006, S. 270).

Tabelle 4: Graduierung der Entscheidungsstrategien (Eggert & Bögeholz, (2006, 2010) *zitiert nach* Sakschewski, (2013).

Kompetenzniveau ▲		
	kompensatorisch	Verwendung von *trade-offs*: hohe Reflexionsfähigkeit
	kompensatorisch/ non-kompensatorisch	Mischstrategie, Verwendung von *cut-offs* und *trade-offs*: mittlere Reflexionsfähigkeit
	non-kompensatorisch	Verwendung von *cut-offs*: eher geringe Reflexionsfähigkeit
	intuitiv-rechtfertigend	spontan, kein Vergleich von Optionen

Niveau 1, die unterste Stufe in Tabelle 4, ist durch ein nicht-systematisches Vorgehen gekennzeichnet. Eine Entscheidung wird intuitiv oder rechtfertigend getroffen, ohne das Anwenden einer Entscheidungsstrategie und nur auf Basis einer Option oder eines Kriteriums. Vor allem Alltagserfahrungen werden zur Wahl und Argumentation herangezogen (Eggert & Bögeholz, 2006). Die weiteren Stufen (Niveau 2-4) zeichnen sich durch das Anwenden einer Entscheidungsstrategie (*non-kompensatorisch, kompensatorisch, Mischstragie*) aus. Es werden mehrere Optionen und Kriterien beachtet, verglichen und eine systematische Entscheidung getroffen. Dabei steigt der Grad der Niveaustufe mit zunehmender Anzahl und Vollständigkeit an berücksichtigten Optionen und Kriterien, und einer steigenden Reflexionsfähigkeit an (Eggert & Bögeholz, 2006).

Für die Teilkompetenz *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren* findet sich weiter die übergeordnete Bezeichnung *qualitatives Bewerten* (Bögeholz et al., 2018; Böhm et al., 2020)

Die dritte Teilkompetenz *Kennen und Verstehen von Werten und Normen im Kontext nachhaltiger Entwicklung* (Bögeholz, 2011) wurde zu Beginn der Modellentwicklung und in früheren Publikationen noch in zwei Teilkompetenzen aufgeteilt und entsprechend beschrieben durch *Kennen und Verstehen von Werten und Normen* und *Kennen und Verstehen von Nachhaltiger Entwicklung* (Eggert & Bögeholz, 2006). Sie wird nicht dem Phasenmodell nach Betsch & Haberstrauch (2014) zugeordnet, sondern als konzeptuelle Teilkompetenz verstanden, die den „Wissenshintergrund für eine Entscheidung" (Hostenbach et al., 2011, S. 269) bildet. Lernende sollen relevante Werte und Normen im Rahmen des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung erfassen und reflektieren (Bögeholz, 2011). Unter anderem sollen Lernende zur Berücksichtigung intra-und intergenerationeller Gerechtigkeit und einer Orientierung und Einhaltung an Grundbedürfnissen sensibilisiert werden sowie die Ziele aller drei Dimensionen von Nachhaltigkeit (*ökologisch verträglich, sozial gerecht, ökonomisch tragfähig)* in den Blick nehmen (Bögeholz et al., 2018).

Nachträglich wurde das Modell noch um eine vierte Teilkompetenz, die eine quantitative Dimension integriert, erweitert: *Lösungsansätze umwelt- und institutionenökonomisch analysieren und reflektieren* (Bögeholz et al., 2014; Böhm et al., 2013). Inhaltlich beschreibt die Teilkompetenz die Fähigkeit Handlungsalternativen zu verstehen, mathematisch zu modellieren, zu bewerten und reflektieren zu können, indem sie verschiedene „Stakeholder"-Perspektiven in den Blick nehmen und ein Grundverständnis für ökonomische Begriffe und Analysen erlernen (Bögeholz et al., 2014, S. 239). Der Fokus liegt hier auf dem Erwerb einer mathematisch-formalen und quantitativen Vorgehensweise (Böhm et al., 2013) um eine stärkere Einbringung der ökonomischen Dimension von Nachhaltigkeit zu berücksichtigen (Böhm, 2019). Durch das Erstellen von mathematischen Modellierungen zu Handlungsoptionen (z. B. politische Optionen) die auf eine nachhaltige Entwicklung abzielen, kann das Bewerten von verschiedenen Szenarien im Hinblick auf das mögliche Erreichen der Ziele nachhaltiger Entwicklung unterstützt werden und das Treffen einer Entscheidung dadurch bekräftigt werden. Die Durchführung und Betrachtung von ökonomischen Analysen (z. B. Kosten-Nutzen-Analyse) können dabei helfen, die Rolle von Institutionen und Regierungen bei der Förderung der nachhaltigen Entwicklung zu verstehen (Bögeholz et al., 2018).

Die Teilkompetenz *Lösungsansätze umwelt- und institutionenökonomisch analysieren und reflektieren* wurde zu einem späteren Zeitpunkt in zwei Dimensionen aufgespaltet: *Quantitatives Bewerten* und *Perspektivwechsel* (Böhm, 2019; Böhm et al., 2020). Insbesondere die Teildimension *Perspektivwechsel* als Teil von Bewertungskompetenz gerade weist im

Kontext nachhaltiger Entwicklung eine hohe Relevanz auf: Wie in Kapitel 2.4.2 erläutert, beschreibt auch der *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung* in seinem Konzept für BNE-relevante Kompetenzen *Perspektivenwechsel und Empathie* (s. Tabelle 2) als Teilkompetenz für den Bereich *Bewerten* (Böhm et al., 2020). Das Konzept der Gestaltungskompetenz verweist ebenfalls auf die Fähigkeit zur Einnahme verschiedener Perspektiven (s. Kapitel 2.4.1, Tabelle 1). Auf curricularer Ebene wird besonders durch die Bildungsstandards und Kernlehrpläne der naturwissenschaftlichen Fächer (vgl. z. B. KMK, 2004b, 2004a, 2020; MSB, 2019a, 2022) an verschiedenen Stellen die Vermittlung zur Befähigung multiperspektivisch zu bewerten und handeln betont und hervorgehoben (Böhm et al., 2020).

Das Modell zur Bewertungskompetenz von Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung ist domänenspezifisch ausgerichtet, sodass es nicht beliebig übertragbar ist. Über die Ausrichtung auf den Kontext nachhaltige Entwicklung, dessen fächerübergreifende Perspektive bereits ausführlich in den Kapiteln 2.6.1 beschrieben wurde, lässt es sich jedoch an die anderen naturwissenschaftlichen Fächer anknüpfen.

3.3.2 Das ESNas-Kompetenzstrukturmodell für Bewertungskompetenz

Zur Evaluierung der Bildungsstandards und zur Untersuchung des Kompetenzerwerbs von Schülerinnen und Schülern wurde im Rahmen des Projekts *Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I* (ESNas) ein Kompetenzstrukturmodell entwickelt, dass sich der Modellierung und Operationalisierung des Kompetenzbereichs der Bewertung widmet. Unter anderem soll es als Grundlage zur Entwicklung von Aufgaben dienen, an denen eine Kompetenzmessung erfolgen und somit die Evaluation der Bildungsstandards für den Kompetenzbereich der *Bewertung* durchgeführt werden kann (Hostenbach et al., 2011). Analog erfolgte die Ausarbeitung des Modells auch für die drei anderen Kompetenzbereiche *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung* und *Kommunikation* (Kauertz et al., 2010; Ziepprecht et al., 2017).
Im gesamten fächerübergreifenden und kontextunabhängigen Kompetenzstrukturmodell für die Naturwissenschaften werden drei Dimensionen dargestellt: Die Dimension der *Kompetenzbereiche*, sowie die Dimensionen *Kognitive Prozesse* und *Komplexität* (Kauertz et al., 2010; Walpuski et al., 2008).
Für die inhaltliche Dimension der Bewertungskompetenz formuliert das Modell für die Aufgabenentwicklung drei Teilbereiche: *Bewertungskriterien*, *Handlungsoptionen* und *Reflexion*. Diese Teilbereiche werden durch die „schwierigkeitserzeugenden Merkmale" (Hostenbach et al., 2011, S. 273) der Dimensionen *Komplexität* und *Kognitive Prozesse*

jeweils ausdifferenziert. Auf dieser Grundlage können Aufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden hergeleitet und konstruiert werden.

Die Summe der drei Teilbereiche stellt eine Vielfalt von Bewertungsprozessen dar, die sich nicht trennscharf voneinander abgrenzen lassen. Auch für das ESNas-Modell kann analog zum Modell zur *Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung* (s. Kapitel 3.3.1) eine Zuordnung der Phasen des Rahmenmodells zum Prozess der Entscheidungsfindung nach Betsch und Haberstroh (2014) erfolgen. Insgesamt weisen die Modelle Ähnlichkeiten auf, bzw. die Entwicklung des ESNas-Modells lehnt sich teilweise an Eggert & Bögeholz (2006) an und implementiert wichtige Aspekte. Auch Elemente des Modells zur *ethischen Urteilskompetenz*, deren nähere Betrachtung aufgrund der kontextspezifischen Ausrichtung ausgelassen wurde, finden sich adaptiert wieder (Hostenbach et al., 2011).
Der Bereich *Bewertungskriterien* bezieht sich auf die *präselektionale* Phase (s. Abbildung 7). Es geht vor allem um das Ableiten, der für die Bewertung wichtigen Informationen, Bewertungskriterien sowie Werte und Normen.
Das Generieren von Handlungsoptionen (*präselektionale Phase,* s. Abbildung 7), das Bewerten von Handlungsoptionen (*selektionale Phase,* s. Abbildung 7) sowie der Bereich der Perspektivübernahme und das Abschätzen von Folgen, umfassen den zweiten Teilbereich der *Handlungsoptionen*. Der dritte Teilbereich, die *Reflexion,* konzentriert sich überwiegend auf die *selektionale* Phase und erfordert einen kritischen Rückblick auf die Bewertungssituation sowie die Evaluation eines Bewertungsprozesses. Innerhalb aller Teilbereiche kann die Bewertung unter Berücksichtigung von Aspekten persönlicher, gesellschaftlicher oder ethischer Relevanz erfolgen und somit die Vielfalt an Bewertungsperspektiven aufzeigen (Hostenbach et al., 2011).

Die *Komplexität* einer Aufgabe ergibt sich aus der Anzahl der zu beachtenden Bewertungskriterien und Handlungsoptionen, beziehungsweise wie diese zueinander in Beziehung zu setzen sind (Hostenbach et al., 2011). Insgesamt stellt das Modell fünf Komplexitätsniveaus für diese Dimension auf. Die Formulierung der Niveaus zur *Komplexität* weisen Ähnlichkeiten zur Graduierung der Kompetenzniveaus im Modell zur *Bewertungskompetenz von Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung* nach Eggert und Bögeholz (2006) auf. Folgende Auflistung beschreibt die zugrunde liegenden Komplexitätsniveaus (Stufe 1-5) beispielhaft für den Teilbereich *Bewertungskriterien* (Hostenbach, 2011, S. 280):

(1) Ein Bewertungskriterium
(2) Zwei Bewertungskriterien
(3) Ein Zusammenhang zwischen zwei Bewertungskriterien
(4) Zwei Zusammenhänge zwischen zwei oder mehr Bewertungskriterien

(5) Übergeordnetes Konzept Anwendung/Analyse eines Bewertungsprozesses

Anders als bei Eggert und Bögeholz (2006) wird dem *intuitive*n Entscheiden ohne Nennung von Kriterien und Entscheidungsstrategien keine Komplexitätsstufe zugeordnet (Hostenbach, 2011). Dies wird durch die dafür notwendige Entwicklung qualitativer Messinstrumente begründet, die in der Durchführung der Evaluation nicht vorgesehen sind. *Implizite* Entscheidungen, die keine Auskunft über den durchgeführten Entscheidungsprozess geben, auch wenn die Anwendung von Entscheidungsstrategien vorhanden ist, werden darin ebenfalls nicht berücksichtigt (Hostenbach, 2011).
Die Dimension der *Kognitiven Prozesse* verfolgt eine Graduierung von vier Niveaus zur Beschreibung möglicher anzuwendender Denkvorgänge bei der Bearbeitung der entwickelten Aufgabe: *reproduzieren*, *selegieren*, *organisieren* und *integrieren* (vgl. Hostenbach, 2011, S. 44). Diese orientieren sich nicht am Vorwissen der Lernenden, sondern nur an den Informationen, die in den Aufgaben vorgegeben sind (Hostenbach, 2011).

Das ESNas-Modell wurde zur Evaluation der Bildungsstandards der naturwissenschaftlichen Fächer konzipiert. Dementsprechend wurde es für den Kompetenzbereich Bewertung domänenunspezifisch modelliert und eignet sich für eine Breite an bewertungsrelevanten Fragen und Kontexten, die sämtliche Alltagsentscheidungen sowie komplexe Fragen und Probleme nachhaltiger Entwicklung ansprechen.
Beide vorgestellten Kompetenzmodelle fokussieren vor allem auf ein rationales Entscheidungsverhalten. Dieser Fokus basiert auf den Formulierungen der Bildungsstandards und der Verortung der Bewertungskompetenz in der Kompetenzdiskussion, die sich insbesondere auf ein informiertes, rational begründetes und reflektiertes Bewerten, Urteilen und Entscheiden beziehen (Bögeholz et al., 2018).
Dieses Verständnis wird auch in den exemplarisch vorgestellten Definitionen von Bewertungskompetenz (s. Kapitel 3.1) deutlich.

Im folgenden Kapitel 3.4 soll der aktuelle Forschungsstand zu Methoden und Konzepten, die auf die Förderung von Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltigkeit abzielen, umrissen werden. Dabei kann aufgrund der Vielzahl an fachdidaktischen Vorschlägen kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden, sondern lediglich eine relevante und sinnhafte Auswahl vorgestellt werden.

3.4 Übersicht: Bewertungskompetenz und Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht

Für den naturwissenschaftlichen Unterricht sind aufgrund der zunehmenden Bedeutung von Nachhaltigkeitsthemen und der Forderung Bewertungskompetenzen zu fördern, zahlreiche Unterrichtskonzepte und Unterrichtsvorschläge aus dem Bereich der Fachdidaktik entstanden und entwickelt worden.
Zur Bestandsaufnahme des aktuellen Forschungsstandes soll im Folgenden ein Überblick verschiedener Überlegungen aus dem Bereich der deutschsprachigen Fachdidaktik für die Sekundarstufe I und II erfolgen. Der Fokus liegt dabei auf Vorschlägen, die die Förderung von Bewertungskompetenz gleichzeitig mit Themen nachhaltiger Entwicklung verbinden und dadurch einen Beitrag zur geforderten Bildung für nachhaltige Entwicklung leisten. Die Übersicht umfasst Beispiele für die Fächer Biologie, Chemie und Physik sowie den fächerübergreifenden Unterricht. Abschließend wird eine Einordnung der beschriebenen Überlegungen vorgenommen und der Forschungsstand zusammengefasst.

Die folgende Darstellung erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie umfasst ein breites Spektrum bestehender Vorschläge aus dem Bereich der fachdidaktischen Forschung der naturwissenschaftlichen Fächer. Die Darstellung erfolgt auf Basis einer für den Verlauf und Entwicklung dieser Arbeit als relevant erachteten Literauswahl.
Ausgelassen wird daher unter anderem die Beschreibung von Materialien, die für die Generierung von Daten im Rahmen von Studien entwickelt bzw. als Mess- und Diagnoseinstrumente erarbeitet wurden (vgl. u.a. Eggert, 2008; Gausmann et al., 2010; Sakschewski, 2013).
Entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit konzentriert sich die Zusammenfassung ausschließlich auf konkrete Materialien und Vorschläge, die für den Einsatz in der Praxis konzipiert sind und sowohl die Bewertungskompetenz als auch Themen und Fragestellungen der nachhaltigen Entwicklung in den Mittelpunkt stellen.

Biologiedidaktik
Der Biologiedidaktik lässt sich bei der Forschung und Entwicklung von Unterrichtsvorschlägen und Materialien, die sowohl das Bewerten als auch nachhaltigkeitsbezogene Themen in den Blick nehmen, die längste Tradition zuschreiben (Hellberg-Rode, 2011; Hößle & Menthe, 2013; Knittel, 2013). Dies lässt sich vor allem auf die geeigneten, domänenspezifischen Themen des Faches zurückführen, die schon früh durch den Bereich der Umweltbildung und Umwelterziehung (s. Kapitel 2.1) Einzug in den Unterricht fanden.
Im Bereich der Biologie lassen sich als Beitrag u.a. die frühen Arbeiten im Bereich der *ökologischen Bewertungskompetenz* (Bögeholz & Barkmann, 2003) nennen. Diese ist definiert als „das Vermögen, ökologische Sachverhalte systematisch auf umweltrelevante

Werthaltungen beziehen zu könne, um zu einem entscheidungsvorbereitenden Urteil zu gelangen“ (Bögeholz & Barkmann, 2003, S. 3). Durch die Bezeichnung „ökologische Bewertungskompetenz“ wird hervorgehoben, dass der Fokus hier stark auf der Ökologie und umwelt- und naturbezogenen Themen liegt. Die in Kapitel 2.1 und 2.2 dargestellte Entwicklung des Konzepts *Bildung für nachhaltige Entwicklung* lässt sich zum Teil exemplarisch am Wandel der Unterrichtsthemen und -vorschläge im Fach Biologie nachvollziehen. Auch die anderen beiden Fächer lassen Hinweise auf eine parallele Entwicklung von BNE und fachdidaktischen Bemühungen erkennen.

Im Rahmen des BLK Programms „21“ (s. Kapitel 2.3) sind unter anderem Materialien entstanden, in denen es um das *explizite Bewerten* geht (Ahlf-Christiani et al., 2003). Als Beispielthema wurde die Bewertung eines „Knicks“, eine bestimmte Art von Hecke im Norden Deutschlands, für eine explizite Umweltbewertung gewählt.
Die Methode des *expliziten Bewertens* geht auf Bögeholz (2006, 2001) zurück. Zu einem spezifischen Kontext sammeln Lernende Bewertungskriterien und identifizieren Handlungsoptionen, um zum Vergleich eine Bewertungstabelle in Anlehnung an ökonomische Bewertungsverfahren zu erstellen (Bögeholz, 2006). Dafür gewichten sie die für sie relevanten Bewertungskriterien indem sie ihnen Zahlenwerte zuweisen (Bögeholz, 2001). Anschließend werden diese Kriterien auf die verschiedenen, identifizierten Handlungsoptionen angewendet und je nach Erfüllung des Kriteriums bewertet, indem sie mit dem Gewichtungsfaktor des Kriteriums multipliziert werden. Am Ende werden alle kriterienbezogenen Bewertungen für die verschiedenen Handlungsoptionen aufsummiert, um durch den höchsten Zahlenwert die zu wählende Option zu identifizieren (Böttcher et al., 2016). Ebenfalls möglich ist eine Variante, in der die Bewertungstabelle bereits vorstrukturiert ist und die Lernenden diese ausfüllen (Bögeholz, 2006).
Konkretes Unterrichtsmaterial wurde beispielsweise anhand des Themas „Streuobstwiese“ veröffentlicht, dass auf das Lösen einer Gestaltungsaufgabe im Kontext nachhaltiger Entwicklung abzielt (vgl. Bögeholz, 2006). Mögliche Kriterien, die für den Kauf einer „Streuobstwiese“ aufgestellt werden, sind die „Größe der Fläche“ oder der zu erwartende „Ertrag“.
Weitere Materialien, welche die Methode des *expliziten Bewertens* integrieren finden sich beispielsweise bei Eggert et al. (2008) zur Gestaltung eines Flusses oder bei Fiebelkorn und Kuckuck (2019) zum Thema Ernährung.

Böttcher et. al (2016) sehen das komplexe „Berechnen einer Entscheidung“ (Böttcher et al., 2016, S. 4), wie es in der Methode des *expliziten Bewertens* eingesetzt wird, kritisch. Sie verweisen auf Probleme der Transparenz, Anschlussfähigkeit und der Komplexität der Strategie. Sie schlagen für Gewichtungsprozesse verschiedener Kontexte in einem eigenen Ansatz die Methode der *Zielscheibe* als „leicht erschließbares Instrument“ (Meisert et al., 2016, S. 4) zum Gewichten von Argumenten vor.

Diese soll dem Problem der mangelnden Transparenz entgegenwirken. Innerhalb der Zielscheibe findet eine Zweiteilung in Pro- und Contra Argumenten statt, zu denen die zuvor formulierten Argumente in drei Gewichtungsstufen (*sehr wichtig* bis *wenig wichtig*) zugeordnet werden. Darüber hinaus bietet die Zielscheibe das Potenzial, individuelle und gruppenbasierte Bewertungen der Gewichtung im Vergleich zu betrachten (Meisert et al., 2016).
In Anlehnung an den von Meisert et al. (2016) vorgeschlagenen Bewertungsansatz mit dem Einsatz der Zielscheibe, ist eine Unterrichtsidee zum nachhaltigkeitsbezogenen Thema „Fleischkonsum" von Wings et al. (2021) entwickelt worden.

Zur Frage „Ist die Produktion von Insekten wirklich so nachhaltig?" entwickelten Fiebelkorn und Putchert (2018) eine Unterrichtsidee, in der Lernende im Rahmen von Rechercheaufträgen eine gemeinsame Beurteilung der Frage erarbeiten. Weitere ausgearbeitete Unterrichtsmaterialien finden sich bei Rodemer (2018) zum Thema Pflanzenzucht und zum Thema Fleischzucht bei Trauschke (2018). Einen entwickelten *Lernzirkel* mit den drei Phasen Information, Anwendung und Präsentation zum Thema „Plünderung der Meere" erarbeiteten Grotjohann und Sommerfeld (2012). Durch das Beschreiben der Auswirkungen durch den Fischfang auf die Umwelt sollen die menschlichen Eingriffe und die Folgen beurteilt werden und so auf ein reflektiertes Verhalten der Lernenden abzielen. Auch das eigene Konsumverhalten in Bezug auf Werteentscheidungen soll thematisiert werden (Grotjohann & Sommerfeld, 2012). Die Unterrichtseinheit endet mit einer Abschlussdiskussion der herausgearbeiteten Erkenntnisse und Handlungsoptionen.
Gresch (2020) entwickelte eine Unterrichtseinheit zum Biodiversitäts-Thema „Korallenriffe - Gefährdung eines Ökosystem und Entwicklung von Schutzmaßnahmen". Übergeordnetes Ziel ist die Analyse einer Gestaltungsaufgabe und die Bewertung von Handlungsoptionen im Rahmen einer *Podiumsdiskussion*.

Chemiedidaktik
Für den Chemieunterricht sind ebenfalls in den vergangenen Jahren zahlreiche Materialien und Unterrichtskonzepte entstanden, die Methoden und Vorschläge präsentieren, wie Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltigkeit vermittelt werden kann.
Ökobilanzen geben Einschätzungen über die Umweltauswirkungen eines Produkts und können zum Vergleich zweier Produkte herangezogen werden. In der Arbeit mit Ökobilanzen sehen Eilks und Klinkebeil (1998) ein großes Potenzial für den Chemieunterricht. Das Ziel sollte dabei aufgrund der Komplexität weniger eine umfassende und detaillierte Aufstellung von Ökobilanzen sein, als vielmehr einen kritischen Umgang veröffentlichter Ergebnisse in den Medien schulen (Eilks & Klinkebiel, 1998). Der Fokus einer vorgeschlagenen Unterrichtseinheit zum Thema Biodiesel liegt auf dem direkten Vergleich zweier Stoffe (nachwachsender Rohstoff vs. fossiler Rohstoff) in Bezug auf ihre Ökobilanz, sodass soziale Fragen ausgelassen werden (Eilks & Klinkebiel, 1998). Zentral werden

ökonomische und insbesondere ökologische Aspekte fokussiert und die Vor-und Nachteile wachsender Rohstoffe betrachtet. Die Auseinandersetzung der Lernenden mit den Ökobilanzen erfolgt im Rahmen einer *Diskussionsrunde* im Plenum.
In einer Weiterentwicklung der Unterrichtseinheit für die Sekundarstufe II erfolgte eine Einbettung in den Rahmen des *gesellschaftskritisch-problemorientierten* Chemieunterrichts (Marks et al., 2006) sowie eine methodische Erweiterung in Form eines *Lernzirkels*. Die „ökologische Bewertung" (Eilks, 2001, S. 10) der zwei gegenübergestellten Produkte wird durch eine *Podiumsdiskussion* diskutiert, die durch einen Zeitungsartikels eingeführt wird.

Auch Sommer et al. (2022) schlagen den Einsatz von *Lebenszeitanalyse*n (LCA), eine synonyme Beschreibung von Ökobilanzen, zum Erwerb von Bewertungskompetenz vor und verweisen ebenfalls auf die zugrunde liegende Komplexität. Zur didaktischen Reduktion wird die Bewertungsmethode auf die qualitative Ebene beschränkt. Die Unterrichtseinheit behandelt den Kontext Flüssigwaschmittel, u.a. werden Regeln zum nachhaltigen Waschen sowie Fragen des Recyclings thematisiert.
Weitere Überlegungen zum Einsatz von LCAs finden sich bei Linkwitz & Eilks (2019b, 2019a) sowie Siol et al. (2023).

Feierabend & Eilks (2009) schlagen im Rahmen des *gesellschaftskritisch-problemorientierten* Chemieunterrichts (Marks et al., 2006) eine Unterrichtseinheit zum Kontext Bioethanol als alternativen Kraftstoff unter der Einordung des Themas als Kontroverse vor. Der Inhalt wird fachlich-experimentell durch ein *Stationenlernen* bzw. einen *Lernzirkel* erarbeitet und durch Einsatz eines *Gruppenpuzzles* abgesichert. Die Bewertung von Bioethanol erfolgt über die Methode *Fachausschuss-Planspiel* (Feierabend & Eilks, 2009). Ziel ist das Treffen einer Entscheidung durch einen Fachausschuss (eine ausgewählte Gruppe von Schülerinnen und Schülern) auf Basis von Expertenvorträgen (einzelner Schülerinnen und Schüler) der Bereiche Landwirtschaft, Technik, Entwicklungshilfe, Wirtschaft zugeteilt.

Zum Thema Kunststoffe mit Fokus auf Nachhaltigkeitskriterien bezüglich verschiedener Kunststoffarten entwickelten Burmeister und Eilks (2011) die *Warentestmethode*. Innerhalb der vorgeschlagenen Unterrichtseinheit geht es um die Reproduktion eines Produkttests in Anlehnung an Stiftung Warentest oder Ökotest, die Lernenden eine relevante Bewertungspraxis aus dem Alltag vorstellen soll (Burmeister & Eilks, 2011). Ziel ist es durch den vorkonstruierten Test eine gemeinsame Bewertung (hier: Note) zu erarbeiten. Teil des Bewertungsprozesses ist unter anderem das Gewichten der im Test vorgegeben Kriterien (z. B. Werkstoffeigenschaften, verwendeter Rohstoff) und eine anschließende Einigung der Arbeitsgruppe sowie der gesamten Klasse (Burmeister & Eilks, 2011).

Das Problem der „gefilterten Informationen“ (vgl. Marks et al., 2012) wird dabei durch eine implementierte Quellenbewertung eingebunden, da Bewertungskriterien von Produkttests selten vollständig transparent sind. Die Unterrichtseinheit schließt mit einer Reflexionsphase über die getroffenen Entscheidungen und das gemeinsame Ergebnis ab (Burmeister & Eilks, 2011).

Der Einsatz von sogenannten *Spinnennetzdiagrammen*, wie sie zum Beispiel in der Fachwissenschaft Chemie mit Bezug zum Prinzip der *Green Chemistry* (Anastas & Eghbali, 2010) für den Vergleich zweier Chemikalien oder Synthesewege eingesetzt werden, wird von Zowada et al. (2019) empfohlen. Im Vergleich zur *Warentestmethode* (Bewertung im Alltag) wird damit ein Einblick zur nachhaltigkeitsbezogenen Bewertung in der Chemie gegeben (Zowada et al., 2020).
Für das Thema Pestizide wurde ein Unterrichtsvorschlag zum Vergleich von Glyphosat und Orangenöl (als „grünes Pestizid“) unter Einsatz des Spinnennetzdiagramms entwickelt. Die zu bewertenden Kriterien innerhalb des Diagramms orientieren sich in reduzierter Form an den Prinzipien von *Green Chemistry* nach Anastas und Warner (vgl. Anastas & Eghbali, 2010; Linkwitz & Eilks, 2019a). Dabei ist eine Abstufung in drei Zuordnungen („*Trifft zu*“, „*Trifft teilweise zu*“, „*Trifft nicht zu*“) vorgesehen. Durch die Wahl dieser „weichen“ Skala soll insbesondere die anschließende Diskussion gefördert werden. Die Anwendung erfolgt beispielweise für die Kriterien „Die Substanz kann im großen Maßstab hergestellt werden“ oder „Bei der Verwendung der Substanz besteht im Moment ein geringes Umweltrisiko“ (Zowada et al., 2019, S. 42). Dabei lehnen sich die formulierten Kriterien nicht nur an die *Green Chemistry*-Prinzipien an, sondern auch an allgemeinere Aspekte, die Auskunft über die Wirkung eines Stoffes geben. Zowada et al. (2019) beschreiben, dass der Schwerpunkt insgesamt mehr auf ökologischen Aspekten als auf ökonomischen Aspekten liegt und die soziale Dimension nicht abgebildet wird. Es wird darauf verwiesen, dass dieses Defizit im Rahmen der Reflexion des Diagramms thematisiert werden könne (Zowada et al., 2019). Ebenso sollte eine aus der Visualisierung resultierende Interpretation der Parameteräquivalenz sowie eine mögliche Priorisierung einzelner Kriterien diskutiert werden (Zowada et al., 2020). Die Schlussfolgerung der ausgefüllten Spinnennetzdiagramme durch die Lernenden erfolgt anhand des Arbeitsauftrags, eine *fiktive E-Mail* über die Bewertung des Pestizid-Einsatzes zu schreiben. Positive wie negative Bewertungen werden in einem *Meinungsstrahl* positioniert (Zowada et al., 2019).
Weitere Ideen zu Unterrichtseinheiten mit dem Fokus auf *Green Chemistry* finden sich bei Linkwitz et al. (2021), Linkwitz & Eilks (2019a, 2019b, 2022), Burmeister et al. (2011) und Wilke et al. (2017).

Zu den Beispielthemen „Nanosilber in der Waschmaschine“ (Lanfermann et al., 2022; Menthe et al., 2015) oder „Das Ökohandy- eine echte Alternative?“ (Menthe et al., 2016)

sind S*chülerlaboreinheite*n bzw. *außerschulische Lernorte* entstanden, die das Thema Bewerten während oder im Anschluss an eine praktische Einheit aufgreifen und etablieren. Hier findet vor allem die Methode des *Planspiels* Anwendung (Lanfermann et al., 2022; Menthe et al., 2015, 2016). Der Besuch eines Schülerlabors ist in der Regel aufgrund der Ortsabhängigkeit und des Zeitaufwandes nur in geringem Maße zugänglich, sodass eine Durchführung eher die Ausnahme darstellt. Positiv hervorzuheben ist jedoch, dass viele Experimente für den Schulunterricht adaptiert werden können und auch explizit für den Einsatz in der Schule publiziert werden (Dege et al., 2016; Menthe et al., 2015, 2016).

Des Weiteren kann noch das Konzept des *GreenLab_OS* vorgestellt werden, ein innovatives Schülerlabor, dass auch eine mobile Variante anbietet und eine Übertragung der Inhalte auf den regulären Chemieunterricht in der Schule vorsieht (Otte et al., 2023). Es fokussiert aktuelle Themen von Nachhaltigkeit und verbindet die experimentellen Inhalte mit der Förderung von Bewertungskompetenz (Beeken et al., 2018). Das Angebot umfasst beispielsweise die Themen Mikroplastik, Ernährung sowie die Nitrat- oder Stickoxidbelastung (Beeken et al., 2018; Otte et al., 2020b).
Für das Bewerten wird die schon beschriebene Methode des *expliziten Bewertens* nach Bögeholz (2006) herangezogen und beispielhaft durch eine *Reflexion* von realen Internet-Kommentaren oder einer *Podiumsdiskussion* ergänzt (Beeken et al., 2018; Otte et al., 2020b).

Physikdidaktik
Auch in der Physikdidaktik wurden verschiedene Unterrichtsvorschläge entwickelt, die sich auf einen bewussten Umgang mit dem Prozess des Bewertens beziehen.
Knittel & Mikelski-Seifert (2013) stellen eine Unterrichtseinheit im Umfang von 14 Unterrichtsstunden vor, in der die Implementierung eines *expliziten Bewertungstrainings* erfolgt und Lernenden *Bewertungsstrukturwissen* durch die Einführung von kompensatorischen und non-kompensatorischen Entscheidungsstrategien (s. Kapitel 3.2.3) vermittelt wird. Als Kontext wurde das Thema Photovoltaik im Kontext ökologischen Bauens gewählt, wodurch sich Unterrichtseinheit durch einen überwiegend fachlichen Inhalt auszeichnet. Dieser wird insbesondere durch die Durchführung verschiedener Experimente vermittelt. In die Bewertung werden ökologische Aspekte und ökonomische Aspekte (*Kosten-Nutzen-Analyse* zur Anschaffung einer Anlage für das Schuldach) einbezogen (Knittel & Mikelskis-Seifert, 2013).

Ein weiteres Unterrichtsbeispiel, das auf die Vermittlung von *Bewertungsstrukturwissen* abzielt findet sich bei Höttecke (2013a) zum Thema Batterievergleich.
Eine Methode, um Argumente in einem Bewertungsprozess u.a. zu Fragen nachhaltiger Entwicklung sortieren zu können, schlägt Höttecke (2013) mit der *Argumente-Kommode* vor. Die Argumente-Kommode sieht eine Einteilung in die Schubladen: *Sachwissen*, *Werte*

und *Normen* und *Interessen* vor. Insbesondere durch die Schublade *Werte* und *Normen* könnten Argumente, die die Ziele einer nachhaltigen Entwicklung (z.B. Erhalt der Umwelt, Klimaschutz) verfolgen, kenntlich machen. Darüber hinaus, können aber auch Aspekte wie persönliches oder gesellschaftliches Wohlergehen einsortiert werden, sowie verschiedene Interessen (z. B. von Unternehmen) beschrieben werden. Eine vorgeschlagene Beispielfrage befasst sich mit den Optionen „kurzes Duschen" oder „langes Duschen" (Höttecke, 2013c).

Im Projekt BLUKONE (*Blended Learning Umgebung zum Kompetenzerwerb Nachhaltiges Energiemanagement*) wurde im Rahmen von *Blended-Learning* (Kombination von computergestützten E-Learning und verschiedenen Unterrichtsmethoden) ein Unterrichtskonzept zu nachhaltigem Energiemanagement mit *Spielcharakter* entwickelt (Ortiz, 2020; Ortiz & Bartosch, 2016). Elemente der Lernumgebung sind u.a. *Gruppendiskussionen*, ein abschließendes *Planspiel* sowie die Anwendung der *Argumente-Kommode* nach Höttecke (Höttecke, 2013c). Es werden ökologische, ökonomische und soziale Aspekte akzentuiert, um Entscheidungen für einen nachhaltigen Umgang mit Energie zu diskutieren (Ortiz, 2020).

Holland (2021) stellt eine *Zukunftswerkstatt* zum Thema nachhaltiges Einkaufen (Online-Shopping vs. Ladenkauf) vor. Eine Zukunftswerkstatt besteht immer aus drei Phasen: Kritikphase, Fantasiephase und Realisierungsphase. Schwerpunkt der präsentierten Unterrichtseinheit liegt vor allem auf dem Vergleich ökologischer und ökonomischer Faktoren, wie der Kohlenstoffdioxid-Bilanz oder der anfallenden Transportwege (Holland, 2021).

Sach und Kipper (2021) schlagen eine *„virtuelle Experteneinladung"* zum Thema Klimawandel vor. Durch gezielte Aufgabenstellungen sollen sowohl fachliche Inhalte erschlossen als auch Bewertungskompetenzen gefördert werden, indem die Lernenden zu einer kritischen Reflexion der Aussagen aufgefordert werden.
Für Lehrkräfte wird zudem ein Vorschlag zur Diagnose der möglichen Kompetenzerweiterung im Bereich Bewertung vorgestellt, der sich an das Modell der Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben nachhaltiger Entwicklung nach Eggert und Bögeholz (2006) orientiert. Durch eine offene Aufgabe (*Verfassen eines Zeitungsartikels*) soll der Kompetenzerwerb diagnostiziert werden.

Zum Thema Elektromobilität haben Spatz et al. (2018) ein *Stationenlernen* entwickelt, in dem sowohl eigene Bewertungen formuliert als auch andere Bewertungen reflektiert werden sollen (Spatz et al., 2018). Schwerpunkt der jeweiligen Station ist der Erwerb des fachlichen Inhalts durch *Experimentiersettings* (z. B. zum Elektromotor). Durch ein *Gruppenpuzzle* findet eine Auseinandersetzung mit einzelnen, lokalbezogenen Aspekten der

Themen Umwelt, Finanzen, Gesellschaft und Privatleben statt. Während der Unterrichtseinheit sammeln die Lernenden alle erhaltenen Informationen in einem „Rechercheheft“ und sollen am Ende einen *Zeitungsartikel* zur Frage der Eignung und Zukunftsfähigkeit des Elektroautos verfassen. Anhand dessen kann die Lehrkraft Aussagen über den Erwerb von Bewertungskompetenz generieren (z. B. anhand von Entscheidungsstrategien) (Spatz et al., 2018).

Fachübergreifend
Das Projekt „Klimawandel vor Gericht“ ist ein Beispiel für einen fächerübergreifenden und fächerverbindenden Vorschlag, wie das Thema Klimawandel in den Unterricht der Sekundarstufe I integriert werden kann (Eilks et al., 2011b). Insgesamt vier Fächer waren im Rahmen der *partizipativen Aktionsforschung* (Eilks & Ralle, 2002) an der Entwicklung des Projekts und der Begleitforschung beteiligt: Biologie, Chemie, Physik und Politik. Bei der Konzeption der Unterrichtseinheiten (je 10-12 Stunden) der einzelnen Fächer, wurde neben dem fachspezifischen Beitrag, insbesondere ein Fokus auf die Förderung von überfachlicher Bewertungskompetenz gelegt (Eilks et al., 2011a; Menthe et al., 2012).

Alle Unterrichtseinheiten integrieren einheitlich die Methode des *Plan-* bzw*. Rollenspiels*, unterscheiden sich aber in ihrer konkreten Ausgestaltung (Eilks et al., 2011a).
In der Biologie wird die Frage „Kein Fleisch in der Mensa?“ durch ein *klassisches Rollenspiel* diskutiert und unter anderem Warenkörbe auf ihren Kohlenstoffdioxid-Gehalt analysiert (Methode: *CO_2-Warenkorb-Gruppenpuzzle*). In der Chemie beschäftigen sich die Lernenden mit der Debatte um die Einführung des Führerscheins ab 21 durch ein *Fachausschuss-Spiel auf EU-Ebene*. In der Physik führen die Lernenden ein *Planspiel* um den „Importstopp von Flugobst“ durch, das einen stark strukturierenden Charakter aufweist (Eilks et al., 2011a). Es werden voreingenommene und unvoreingenommene Rollen verteilt: Experten und Interessensvertreter, eine EU-Kommission (*mit hohem Entscheidungsdruck*) und Journalisten (*mit hohem Urteilsdruck*) (Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013). Die verteilten Rollen sind „nicht entscheidungsoffen“ und haben jeweils eine „unbewegliche Perspektive“ (Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013, S. 28) inne. Insgesamt wird eine Vielzahl an Sachwissen, Interessen, Werte, Normen und Perspektiven eingebracht und unter anderem durch die Methode der *Argumenten-Kommode* (Höttecke, 2013c) herausgearbeitet (Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013). Im Fach Politik soll in einem *Planspiel* ein fiktiver Ethikrat der EU den Importstopp von Bioethanol behandeln. Die Lernenden vertreten in ihren Rollen verschiedene Interessen und erarbeiten zuvor die jeweilige Position (Eilks et al., 2011a). Allen Spielphasen folgt eine Reflexionsphase.
Eine Übersicht über die Einheiten der einzelnen Fächer findet sich bei Eilks et al. (2011a) sowie in der Veröffentlichung der Projektmaterialien (Eilks et al., 2011b).

Die Methode *Rollen*- oder *Planspiel*, findet sich in einer Vielzahl an naturwissenschaftlichen Unterrichtsvorschlägen wieder, die den Fokus auf die Förderung von Bewertungskompetenz legen und gleichzeitig einen Beitrag zur Bildung für nachhaltige Entwicklung generieren wollen.
Ergänzend zu den in diesem Kapitel vorgestellten Vorschlägen findet sich beispielsweise bei Rabe und Bub (2021) eine Übersicht zu *Planspielen* mit dem Schwerpunkt Klimawandel. Auch Wodzinski (2013) fasst Planspiele nachhaltigkeitsbezogener Themen zusammen und ergänzt zusätzlich Möglichkeiten zur Kombination der Methode. Sie führt zum Beispiel den *Einsatz von Webquests* oder *Planspiele als Computersimulation* auf. Wodzinski (2013) beschreibt Planspiele unter anderem als „komplexe und anspruchsvolle Unterrichtsmethode" (S. 13), die einen hohen Zeitaufwand erfordern. Dementsprechend wird zur Entlastung von Lehrkräften empfohlen, auf bestehende Materialien zurückzugreifen (Wodzinski, 2013).

Die entwickelten Vorschläge mit der Methode *Planspiel* oder *Rollenspiel* unterscheiden sich durch ihre fachliche oder inhaltlichen Schwerpunktsetzung, ihrem zeitlichen Umfang sowie der Offenheit der Rollen (Beispiel: sehr stark strukturierte Rollenvorgabe, s. Projekt *Klimawandel vor Gericht*). Gemeinsamer Bestandteil ist immer eine intensive Vorbereitung und Einarbeitung der Rollen auf die szenische Darstellung (Höttecke, 2013b).
Rollenspiele legen den Fokus auf „die Erkundung sozialer Situationen und die Gedanken, Gefühle, Haltungen und Verhaltensweisen der gespielten Figuren" während *Planspiele* als „institutionelle Rollenspiele" (Höttecke, 2013b, S. 107) bezeichnet werden können. Sie bilden im Rahmen von „institutionell-systemischen Bedingungen" (Höttecke, 2013b, S. 107) Strukturen von Entscheidungen, Konflikten und Handlungen verschiedener Gruppen ab und simulieren beispielsweise die Durchführung von Gremien oder politischen Verhandlungen. Beide zielen darauf ab, Entscheidungsprozesse szenisch darzustellen und so erfahrbar und reflektierbar zu machen (Höttecke, 2013b; Wodzinski, 2013).

3.5 Zusammenfassung Forschungsstand

Die dargestellte Bestandsaufnahme fachdidaktischer Vorschläge legt eine Vielzahl unterschiedlicher Unterrichtseinheiten, Konzepte und Methoden der naturwissenschaftlichen Fächer dar, wie Förderung von Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltigkeit in den Unterricht integriert werden kann. Sie lassen sich als Beiträge zusammenfassen, die Forderung nach BNE umsetzen und deren Etablierung vorantreiben. Die Vorschläge verbinden dabei inhaltliche und kompetenzorientierte, curriculare Vorgaben der naturwissenschaftlichen Unterrichtsfächer.
Im Folgenden sollen die aufgeführten Unterrichtsideen zusammengefasst und klassifiziert werden, um abschließend den aktuellen Stand der Fachdidaktik zu resümieren.

Zum einen kann eine Unterteilung in allgemeine Methoden zur inhaltlichen Erarbeitung des Themas beziehungsweise des erforderlichen Fachwissens vorgenommen werden. Zum anderen können die Methoden zusammengefasst werden, die sich konkret auf den Kompetenzbereich *Bewerten* beziehen. Eine Übersicht über die Unterteilung ist in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht: Unterteilung in inhaltliche Methoden und Bewertungsmethode

Inhaltliche Methoden	**Bewertungsmethoden**
• Stationenlernen • Lernzirkel • Gruppenpuzzle • Experimentiersettings • Schülerlaboreinheit	• Rollen- oder Planspiel • Podiumsdiskussion, Pro-und Contra Debatte, allgemein: Diskussionsrunden • explizites Bewerten/Vermittlung von Bewertungsstrukturwissen • Argumente-Kommode, Zielscheibe • Spinnennetzdiagramme, Warentestmethode • Ökobilanzen, LCAs

Inhaltliche Methoden:
Zur inhaltlichen Erarbeitung des benötigten Fachwissens ausgewählter Kontexte werden häufig Materialien im Rahmen von *Stationenlernen* oder *Lernzirkeln* entwickelt. Eine weitere beliebte Methode stellt das *Gruppenpuzzle* dar. Diese allgemeinen methodischen Vorschläge finden sich in allen drei naturwissenschaftlichen Fächern. Schülerlaboreinheiten oder Experimentiersettings können im Fach Chemie zur inhaltlichen Erarbeitung beitragen. Ersteres bietet jedoch nur einen sehr eingeschränkten Zugang, hier sind insbesondere übertragbare Formate für die Schulpraxis von Bedeutung. Auch für das Fach Physik finden sich Experimentierstationen.
Die Erarbeitung durch *Stationenlerne*n oder der Einsatz der Methode *Gruppenpuzzle* lässt darauf schließen, dass ein Thema im Kontext Nachhaltigkeit verschiedener Informationen und Aspekte bedarf und zunächst benötigtes Fachwissen eines bestimmten Umfangs erworben werden muss. In den Fächern Chemie und Physik bietet sich je nach Kontext die Möglichkeit an, das Fachwissen über experimentelle Erarbeitung zu erwerben.
Unter anderem finden sich auch sehr konkret ausgearbeitete Vorschläge in Form von (fach-)spezifischen Unterrichtsmaterialien zu ausgewählten Nachhaltigkeitsthemen. Diese sind für den direkten und vollständigen Einsatz im Unterricht für Lehrkräften vorgesehen (z. B. Fiebelkorn & Putchert, 2018; Grotjohann & Sommerfeld, 2012; Ortiz, 2020). Eine Übertragung auf die anderen Fächer oder andere nachhaltigkeitsbezogene Kontexte lässt sich daraus nicht ableiten.

Bewertungsmethoden:
In einer großen Anzahl an Überlegungen, die das Thema *Bewerten von Nachhaltigkeit* fokussieren, findet die Methode des *Plan-* oder *Rollenspiels* Anwendung. Sie findet sich in allen Fächern, insbesondere in fachübergreifenden Unterrichtseinheiten (z. B. als Schwerpunktmethode im Projekt *Klimawandel vor Gericht*) wieder. Sie ist somit eine *fächerunabhängige* Methode. Die entwickelten Materialien zum Einsatz eines Rollen- oder Planspiels sind immer konkret auf ein ausgewähltes Thema ausgerichtet. Der Ausführung der Methode liegen verschiedene Varianten zugrunde, die sich jedoch nicht im Wesentlichen voneinander unterscheiden (Höttecke, 2013b). Je nach Verteilung können Lernende eine aktive Rolle als Teilnehmende des Diskussionsprozesses oder eine beobachtende Funktion der szenischen Darstellung erhalten. Die ausgewählten Rollen der Lernenden können sich nach dem Grad der Offenheit unterscheiden. In sehr stark strukturierten Einheiten erhalten Lernende beispielsweise sämtliche Informationen inklusive Wertvorstellungen und Interessen ihrer Rolle (Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013). In einigen Planspielbeispielen können Lernende in ihren Rollen implizit Positionen verschiedener Nachhaltigkeitsdimensionen (Menthe et al., 2016) vertreten, andere Beispielen stellen einen expliziteren Bezug her (Dege, 2016).
Einige Einheiten beschreiben für die Phase der Bewertung, die Durchführung von *Podiumsdiskussion* oder abschließenden *Diskussions- und Reflexionsrunden*. Auch *Pro - und Contra-Debatten* werden genannt. Innerhalb der Beschreibungen dieser Unterrichtsideen lassen sich keine Hinweise erkenne, ob in dieser Phase bewusst Kriterien für Nachhaltigkeit verfolgt werden. Sie sind daher vor allem als allgemeine Abschlussphase einer Unterrichtseinheit einzuordnen, in der die erarbeiteten Ergebnisse diskutiert und gesichert werden.

Der Vergleich von *Ökobilanzen* (bzw. *LCA*s) sowie die Erstellung und Gegenüberstellung von *Spinnennetzdiagrammen* können als *fachspezifische Methoden* für den Chemieunterricht eingeordnet werden. Bei Ökobilanzen geht es vor allem um den ökologischen und teilweise ökonomischen Vergleich zweier Produkte (z. B. Kraftstoffe). Die Spinnennetzdiagramm fokussieren die Nachhaltigkeitsbewertung von Chemikalien bzw. Reaktions- und Synthesewegen in Orientierung an den Prinzipien von *Green Chemistry*. Die zu betrachtenden Nachhaltigkeitsparameter beziehen sich auf die chemische Industrie und Forschung. Sie lehnen sich weniger an das ganzheitliche Leitbild für nachhaltige Entwicklung an. Der Fokus liegt überwiegend auf der ökologischen Dimension, in einigen Aspekten wird auch die ökonomische Dimension integriert.

Die Warentestmethode sieht ebenfalls die Bewertung mindestens zweier Produkte in einer direkten Gegenüberstellung durch *kontextspezifische* Kriterien vor. Der Vergleich von Handlungen oder Maßnahmen ist nicht vorgesehen. Ziel der Einheit ist vor allem das Wissen über einen Bewertungsprozess aus dem Alltag, das Lernende für einen kritischen

Umgang mit *gefilterten Informationen* sensibilisieren soll. Der Begriff der Dimensionen wird innerhalb der Bewertungsmethode synonym als Oberbegriff für zusammenhängende Kriterien (als Teildimensionen bezeichnet) verstanden. Als Beispiel ist die Dimension *Werkstoffeigenschaften* mit Kriterien wie *gute Haltbarkeit und lange Lebensdauer* (Burmeister & Eilks, 2011) zu nennen. Größtenteils stellen die Bezeichnungen erkennbare Bezüge zu den Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* her (z. B. Dimension *Green Chemistry*).

Die *Argumente-Kommode* eignet sich vor allem als allgemeines Hilfsinstrument um identifizierte Argumente in einem ersten Schritt zu ordnen und zu klassifizieren. Sie kann auch für Fragestellungen nicht-nachhaltigkeitsbezogener Themen genutzt werden. Der Einsatz der Argumente-Kommode stellt eine vorbereitende Aufgabe zum Umgang mit verschiedenen Informationen dar und wird beispielsweise Diskussionsrunden oder szenischen Darstellungen vorangestellt. Ähnlich ist das Instrument der *Zielscheib*e für verschiedene Fragen einsetzbar. Es stellt eine methodische Unterstützung für die Gewichtung herausgearbeiteter Argumente dar, und kann innerhalb von Bewertungsaufgaben angesiedelt werden. Die Gewichtung erfolgt nicht durch vorgegebene Kriterien, sondern individuell durch die Lernenden.

Die Bewertungsmethode des *expliziten Bewertens* findet neben dem Einsatz im Biologieunterricht auch Einsatz in veröffentlichten Beispielen für den Chemieunterricht (Beeken et al., 2018). Sie kann als *fächerunabhängige* Methode charakterisiert werden. Die Bewertung findet sowohl bei vorgegebenen als auch eigens erstellten Kriterien, durch *kontextspezifische* Kriterien statt, die nicht explizit als Nachhaltigkeitskriterien deklariert werden. Je nach Kriterium kann dieses als nachhaltigkeitsorientiert beschrieben und einer Nachhaltigkeitsdimension zugeordnet werden (z. B. *Klimabilanz Herkunftsland*, vgl. (Beeken et al., 2018)). Die Methode bezieht aber auch das Aufstellen nicht-nachhaltigkeitsbezogener, allgemeiner Kriterien ein (z. B. *Geschmack*, vgl. (Beeken et al., 2018)). Eine Übertragbarkeit der jeweiligen Kriterien auf beliebige weitere Themen im Kontext Nachhaltigkeit wird dadurch nicht anvisiert.

Die entwickelten Unterrichtseinheiten, in denen die Vermittlung von *Bewertungsstrukturwissen* im Zentrum steht, fokussieren vor allem allgemeines Metawissen über Bewerten. Die ausgewählten Themen der vorgestellten Unterrichtseinheiten lassen sich als Nachhaltigkeitskontexte identifizieren, jedoch wird dies nicht explizit in den Materialien thematisiert oder durch die Nennung von Kriterien bewusst gemacht.
Der Fokus liegt auf der Reflexion, wie bewertet werden kann und der Unterscheidung zwischen begründeten und intuitiven Entscheidungen.

Der Schwerpunkt der genannten Unterrichtseinheiten liegt überwiegend auf der ökologische Dimension (z. B. „ökologisches Bauen“, vgl. Knittel & Mikelskis-Seifert, 2013) sowie Teilaspekten der ökonomischen Dimension.

Die aufgeführten Vorschläge zu Unterrichtsideen, Konzepten und Methoden zur Förderung von Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltigkeit unterscheiden sich zusammenfassend in folgenden wesentlichen Punkten:

- Übertragbarkeit auf weitere Nachhaltigkeitsthemen (*kontextspezifisch*)
- Übertragbarkeit auf andere naturwissenschaftliche Fächer (*fächerspezifisch*)
- Berücksichtigung aller drei Dimensionen von Nachhaltigkeit
- Transparenz des Begriffs Nachhaltigkeit und der Dimensionen von Nachhaltigkeit
- Nähe zum Leitbild für nachhaltige Entwicklung
- Dauer der Unterrichtseinheit
- Umfang benötigtes Fachwissen
- Eigene Bewertung/Gruppenbewertung
- Flexibilität der eingesetzten Methode

Fazit

Es kann folgendes Fazit gezogen werden: In der Fachdidaktik gibt es eine Vielzahl von Überlegungen, wie Nachhaltigkeitsthemen im Zusammenhang mit dem Kompetenzbereich *Bewerten* in den naturwissenschaftlichen Unterricht integriert werden können. Viele davon lassen sich als *kontextspezifisch*, einige als *fachspezifisch* einordnen. Zumeist findet sich ein eher *indirekter Bezug zu den Nachhaltigkeitsdimensionen* und ihren jeweiligen, vielfältigen Aspekten innerhalb von Umwelt, Soziales und Wirtschaft. Eine *transparente Berücksichtigung* bzw. Bewusstmachung (z. B. durch erkennbare Nennung) aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit sowie der *Ziele des Leitbildes einer nachhaltigen Entwicklung* (inter- und intragenerationelle Gerechtigkeit, globale Perspektive) findet häufig nicht statt. Es finden sich sehr umfangreiche und zeitintensive Unterrichtseinheiten, die sich über mehrere Unterrichtsstunden erstrecken und ein hohes Maß an Fachwissen beinhalten.

III Forschungsrahmen

4 Design-Based Research

Das vorliegende Projekt und sein Ablauf orientieren sich am forschungsmethodischen Ansatz des Design-Based Research. Dieser kann auch als „anwendungsorientierte Grundlagenforschung“ (Reinmann, 2017, S. 23) bezeichnet werden.
Das Ziel von Design-Based Research (DBR) ist die Lösung eines relevanten und aktuellen Problems aus der Praxis, die gleichzeitig mit der Gewinnung theoretischer Erkenntnisse verknüpft ist. Im Fokus der Problemlösung steht dabei die theoriebasierende und theoriegenerierende Gestaltung einer praktischen Intervention (z. B. Lehr-Lernmaterialien), die in einem iterativen Prozess entwickelt wird (Design-Based Research Collective, 2003; Dube & Hussmann, 2019).
Damit werden zwei Ziele verfolgt: Ein praxisorientieres Ziel (*Entwicklung einer Intervention*) und ein theorieorientiertes Ziel (*theoriebildende Erkenntnisse*) (Knogler & Lewalter, 2014). Im folgenden Kapitel wird der methodische Forschungsrahmen DBR vorgestellt.

4.1 Allgemein

Grundlegend für die Entstehung und weitere Entwicklung von DBR waren zu Beginn der 1990er Jahre die publizierten Arbeiten von Allan Collins (1992) und Ann Brown (1992). Collins (1992) Ansatz der *design science* resultierte aus der Erkenntnis, dass die Einführung von technologischer Innovation im schulischen Kontext ohne die Gewinnung von Informationen über deren Erfolg durchgeführt werden. Dadurch wird der Aufbau von nachhaltigem und systematischem Wissen zugunsten der Entwicklung weiterer Innovationen vernachlässigt. Im Rahmen einer *design science* soll die Implementierung neuer Technologien (*Praxis*) gleichzeitig zum Aufbau von Wissen darüber führen, wie und was zum Erfolg einer Implementierung beiträgt (*Theorie*) (Collins, 1992).
Browns (1992) Ansatz fokussiert den Begriff des *design experiment*. Für Brown (1992) ist die Notwendigkeit methodologischer Veränderungen in der Unterrichtsforschung eine logische Konsequenz aus den Veränderungen der Lerntheorien seit den 1970er Jahren. Ziel bleibt dabei die Erarbeitung eines theoretischen Modells auf empirischer Grundlage. Dies geschehe nach Brown (1992) jedoch nicht durch ein kontrolliertes Laborsetting, sondern durch das Beobachten von realen Unterrichtssituationen im Klassenzimmer (Brown, 1992).

Der Ausgangspunkt für die Entstehung des DBRs war demnach „die Kritik an der mangelnden praktischen Anwendung von Befunden aus der empirisch-analytisch ausgerichteten Lehr- Lernforschung“ (Euler & Sloane, 2014, S. 7).

Neben der Bezeichnung *Design-Based Research* existiert sowohl international als auch national eine Vielzahl an Termini für die Bezeichnung des Ansatzes (Anderson & Shattuck, 2012; Dube & Hussmann, 2019; Euler & Sloane, 2014; van den Akker et al., 2006; T. Wilhelm & Hopf, 2014). Für den Diskurs der fachdidaktischen Entwicklungsforschung im deutschsprachigen Raum hat sich die Bezeichnung *Design-Based Research* etabliert. Diese ist auf Hoadley (2002) zurückzuführen und wurde durch das zusammengeschlossene Design-Based Research Collective (2003) geprägt (Reinmann, 2022b; Rott & Marohn, 2016).

Die Identifizierung eines Problems aus der Praxis, zum Beispiel aus der alltäglichen Unterrichtspraxis in der Schule, stellt den Ausgangspunkt für ein Forschungsprojekt im Rahmen von DBR dar. Dabei werden in der Zielsetzung zwei Perspektiven berücksichtigt: Eine praktische Zielformulierung, die die Entwicklung einer Innovation beinhaltet und eine theoretische Zielformulierung, die Theoriebildung, als Beitrag zur Lehr-Lernforschung (Knogler & Lewalter, 2014).

4.2 Merkmale von Design-Based Research

Während der Entwicklung des DBR-Ansatzes wurde an verschiedenen Stellen eine Zusammenstellung von Merkmalen zur Charakterisierung des Forschungsrahmens vorgenommen und mit der Zeit weiter ergänzt. Unter anderem aus den Arbeiten von Anderson & Shattuck (2012), Cobb et al. (2003), Design-Based Research Collective (2003) und McKenney & Reeves (2012) lassen sich folgende Merkmale zusammenfassen:

Verknüpfung von Theorie und Praxis
Ein zentrales Ziel ist die gleichzeitige Verknüpfung von Praxis und Theorie (Design-Based Research Collective, 2003). Dabei verbinden sich bei der Entwicklung der Intervention „Forschungs- und Erkenntnisgewinnungsinteressen“ (Euler & Sloane, 2014, S. 8). Die Konzeption der praxisorientieren Intervention erfolgt von Beginn an theoriebasiert und orientiert sich auch im weiteren Forschungsprozess innerhalb der verschiedenen Phasen (s. Kapitel 4.4) an einer vorhandenen theoretischen Grundlage (McKenney & Reeves, 2019; van den Akker et al., 2006).

Entwurf und Erprobung einer Intervention

Die Entwicklung und Erprobung einer Intervention stellt die praxisorientierte Zielsetzung dar. Ausgangspunkt für die Entwicklung ist die Formulierung eines Problems aus der Praxis, einer realen Bildungssituation. Eine Intervention kann zum Beispiel die Gestaltung einer Lernumgebung in Form von Lehr-Lernmaterialien (Design-Based Research Collective, 2003; Dube & Hussmann, 2019) oder einer Methode sein (Wilhelm & Hopf, 2014). Auch die Entwicklung eines Programms zur beruflichen Entwicklung (McKenney & Reeves, 2019) oder eines Seminarkonzepts für die Hochschullehre (Rohrbach-Lochner, 2019; Rohrbach-Lochner & Marohn, 2018) stellen mögliche Interventionen für den praktischen Output dar.

Theoriebildung

Das Design-Experiment soll nicht nur theoriebasiert entwickelt werden, sondern in seinem Output auch theoriegenerierend sein (Dube & Hussmann, 2019). Neben der praxisorientierten Zielsetzung der Intervention stellt die Theoriebildung das zweite Ziel im DBR dar (Cobb et al., 2003; Design-Based Research Collective, 2003; Knogler & Lewalter, 2014). Nach Edelson (2002) können im Rahmen von DBR Theorien auf unterschiedlichen Grundlagen und mit unterschiedlichen Implikationen gebildet werden: „Bereichsspezifische Theorien" (durch Problemanalyse), sogenannte „Design-Frameworks" (durch Generalisierung von Design-Lösungen) und „Design-Methodologien" (durch Verallgemeinerung des Ablaufs von Gestaltungsprozessen) (Edelson, 2002, S. 113 zitiert nach Reinmann 2005).

Durchführung im realen Bildungskontext/in einer authentischen Umgebung

Die Intervention soll in einer realen Bildungssituation, einer authentischen Umgebung, durchgeführt werden. Diese Umsetzung ermöglicht nicht nur eine genaue Beobachtung von Erfolg und Misserfolg der entwickelten Intervention, sondern gleichzeitig auch die Einblicke in die Interaktion von und zwischen Lernenden. Dadurch können wichtige Erkenntnisse über das Verständnis der Lernprozesse gewonnen werden (Design-Based Research Collective, 2003; McKenney & Reeves, 2019).

Iteration

Die Entwicklung der Intervention zeichnet sich durch ein iteratives Design (Cobb et al., 2003) aus, dass eine „progressive Verfeinerung" (übersetzt nach Collins et al., 2004, S. 19) ermöglicht und gewonnene Erkenntnisse unmittelbar in die weitere Entwicklung einfließen lässt. Ein Zyklus besteht aus den Phasen „Gestaltung, Durchführung, Analyse und Re-Design" (Reinmann, 2005, S. 60).

Zusammenarbeit von Forschenden und Lehrenden
Eine Zusammenarbeit zwischen Forschenden und Lehrenden während (einzelner) Phasen des Forschungsprozesses kann durch das Zusammenbringen unterschiedlicher Perspektiven eine hilfreiche Begleitung und Unterstützung für Anpassungen der Intervention darbieten (Anderson & Shattuck, 2012; Collins et al., 2004; McKenney & Reeves, 2019). Insbesondere „unterrichtspraktische" (Wilhelm & Hopf, 2014, S. 36) Probleme können vor der erstmaligen Durchführung einer Intervention von Forschenden nicht genau eingeschätzt oder unterschätzt werden. Hinweise und Einschätzungen praktizierender Lehrkräfte können daher Erkenntnisse von Forschenden in der Umsetzung konstruktiv erweitern. Eine Kooperation verschiedener Akteure auch über „disziplinäre Grenzen hinweg" (Rott & Marohn, 2016, S. 24) schließt dieses Merkmal ebenfalls mit ein.

Einsatz unterschiedlicher Methoden (Mixed Methods)
Die Durchführung in der Praxis, einer realen Situation im Bildungskontext, erfordert den Einsatz und die Verknüpfung multipler Methoden, sowohl in der Datengenerierung als auch zur Auswertung der erhobenen Daten (Anderson & Shattuck, 2012; Design-Based Research Collective, 2003; Reinmann, 2005). Denn eine Erprobung, die zum Beispiel im Rahmen einer Unterrichtsstunde im regulären Schulalltag stattfindet, wird von vielen unterschiedlichen Variablen beeinflusst, die kaum bis gar nicht kontrollierbar sind (Collins et al., 2004). Im DBR werden ebenso quantitative wie auch qualitative Methoden eingesetzt, wobei die qualitativen hier stärker in den Fokus rücken (Dube & Hussmann, 2019; T. Wilhelm & Hopf, 2014). Die Auswahl der Methoden richtet sich immer nach den jeweiligen Forschungsfragen und dem praxisorientieren Ziel des Projekts (Reinmann, 2017).

4.3 Struktur im Design-Based Research

DBR wird im engen Sinne nicht als Forschungsmethode charakterisiert, sondern als Forschungsrahmen, innerhalb dessen sich der Verlauf eines Forschungsprojektes integriert und in mehreren Phasen (s. Kapitel 4.4) beschreiben lässt (Reinmann, 2007, 2017).
Nach Cobb et al. (2003) gliedert sich ein Forschungsprojekt im DBR in die drei Phasen *Vorbereitung*, *Design-Experiment* und *retrospektive Analyse*. Darüber hinaus finden sich in der Literatur auch abweichende Beschreibungen der Phasenanzahl sowie ihren Benennungen (Reinmann, 2017). Im Kern weisen diese aber ein hohes Maß an Übereinstimmung auf (Euler, 2014).
In Abbildung 9 wird in Anlehnung an Rohrbach-Lochner (2019) sowie Rott (2018) ein Strukturmodell der Projektphasen im DBR, das basierend auf Cobb et al. (2003), McKenney & Reeves (2012) und van den Akker et al. (2006) entwickelt wurde (Rohrbach-Lochner, 2019; Rohrbach-Lochner & Marohn, 2018; Rott, 2018; Rott & Marohn, 2016), dargestellt:

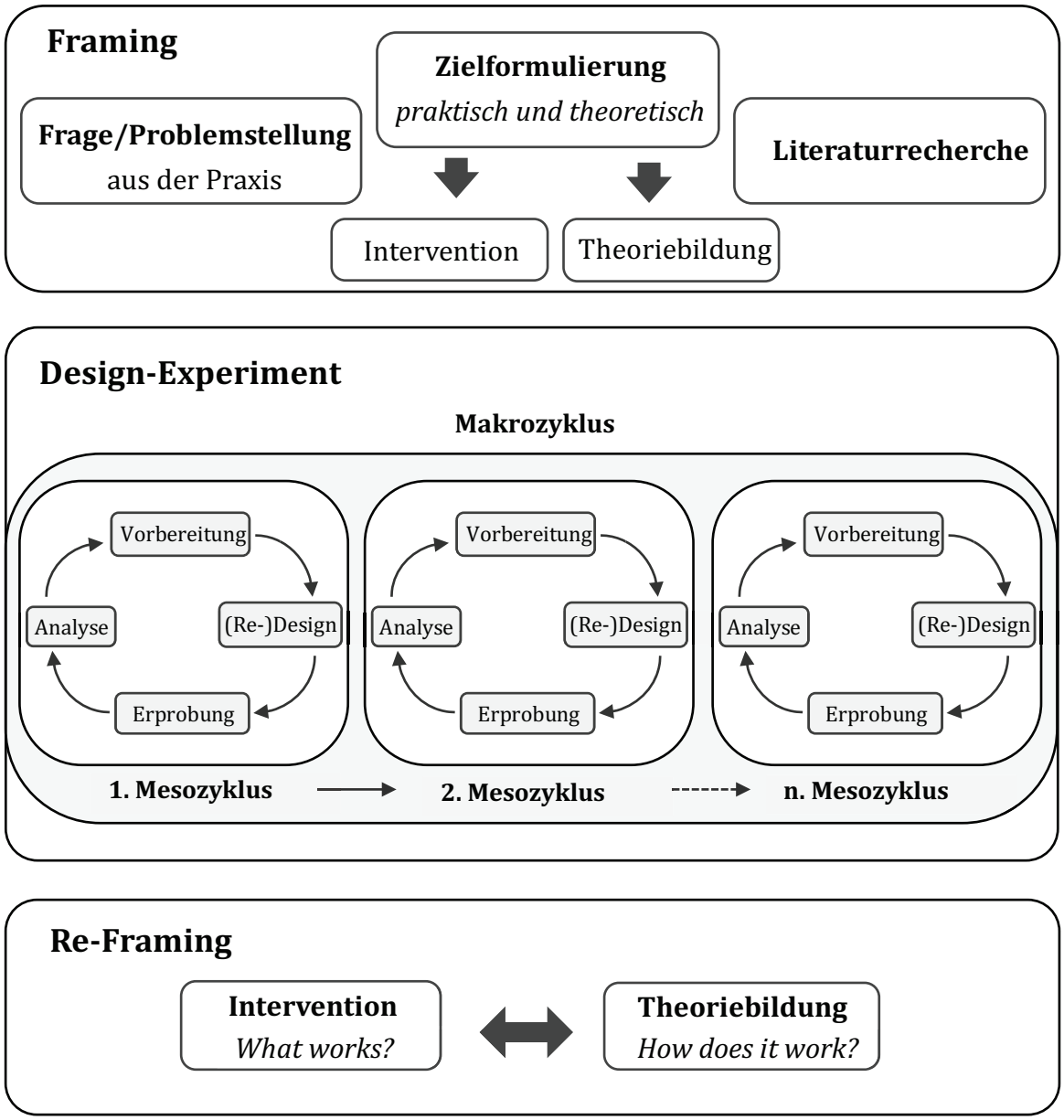


Abbildung 9: Strukturmodell der Projektphasen im Rahmen von Design-Based Research. Schema in Anlehnung an Rohrbach-Lochner & Marohn (2018) und Rott & Marohn (2016).

Die Darstellung der Projektphasen im Strukturmodell sind als „idealisierter Verlauf" (Rohrbach-Lochner, 2019, S. 32) zu verstehen. Sowohl Rückgriffe auf vergangene Phasen als auch das Weglassen einzelner Phasen sind im Forschungsverlauf möglich (Rohrbach-Lochner & Marohn, 2018, S. 37).

Eine modellhafte Darstellung wie in Abbildung 9, ist also vor allem als richtungsweisende Übersicht der Projektphasen zu verstehen, die keinesfalls eine lineare oder zeitliche Abarbeitung der Phasen im Forschungsprozess impliziert (Reinmann, 2014, 2017).

Seit der Entstehung des DBR sind zahlreiche Darstellungen entstanden, die den Projektverlauf im Rahmen von DBR in einem Modell anordnen (Reinmann, 2017). Das generische Modell nach McKenney & Reeves (2012) sowie das Sechs-Phasen Modell nach Euler (2014) sind dabei als bekannteste Darstellungen zu nennen.

4.4 Projektphasen im Design-Based Research

Im Folgenden werden die drei Phasen des Forschungsprozesses im DBR (s. Abbildung 9) nach Cobb et. al (2003) ihrer Reihenfolge nach erläutert.

4.4.1 Framing

Das Framing (=Vorbereitungsphase) konstatiert als vorbereitende Phase den Beginn des Forschungsprozesses (Rott & Marohn, 2016). In dieser Phase geht es um die Identifizierung und Herausarbeitung eines konkreten, relevanten Problems aus dem bildungspraktischen Kontext (Euler, 2014; McKenney & Reeves, 2012). Dazu wird der aktuelle Forschungsstand im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche erhoben und bestehende Theorieansätze aufgearbeitet (Cobb et al., 2003; T. Wilhelm & Hopf, 2014). Die Literaturrecherche ist dabei im Sinne des iteratives Charakters von DBR als „prozesshaft zu verstehen" (Rohrbach-Lochner, 2019, S.33) und begleitet das Forschungsprojekt über das Framing hinaus. Auch die übergeordnete Fragestellung, die im Framing entwickelt wird, ist gemäß der Prozessorientierung veränderbar und kann zu Beginn des Forschungsablaufes daher als vorläufig beschrieben werden (Rohrbach-Lochner, 2019).
Ausgangspunkts des Framings bildet die Formulierung des übergeordneten Ziels (Rott & Marohn, 2016). Dieses beinhaltet sowohl eine praxisorientierte Zielsetzung (Entwicklung einer *Intervention*) als auch eine theorieorientierte Zielsetzung (*theoriebildende Erkenntnisse*) (Collins et al., 2004; T. Wilhelm & Hopf, 2014).

4.4.2 Design-Experiment

Die Phase des Design-Experiments ist der Gestaltungs- bzw. Entwicklungsprozess im DBR-Ansatz (Reinmann, 2005). In dieser Phase geht es um die Entwicklung der Intervention im Rahmen eines zyklischen Vorgehens, an deren Ende die Lösung des zuvor identifizierten Problems aus der Praxis stehen soll. Damit ist diese Phase sowohl vom zeitlichen als auch inhaltlichen Umfang als der Mittelpunkt im DBR zu bezeichnen. Die übergeordnete Fragestellung und die übergeordnete Zielsetzung aus der Framing-Phase unterteilen sich innerhalb des Design-Experiments in konkretisierte Fragestellungen und Zielformulierung, die einen sogenannten *Mesozyklus* innerhalb des Design-Experiments abbilden (Rott & Marohn, 2016). Ein Mesozyklus (s. Abbildung 9) setzt sich zusammen aus *Vorbereitung*, *(Re-)Design*, *Erprobung* und *Analyse* (Rott & Marohn, 2016).

Die Phase der *Vorbereitung* im Design-Experiment grenzt sich insofern von der vorbereitenden Framing-Phase ab, dass nun eine Konkretisierung der übergeordneten Fragestellung erfolgt. Hierzu kann die Literaturrecherche noch einmal mit Fokus auf eine spezifische Forschungsfrage vertieft werden, sowie eine Erweiterung der theoriebasierten Grundlage notwendig sein. Auch die Rahmenbedingungen für das Design (Ort der Intervention, Zielgruppe etc.) werden festgelegt (Rott & Marohn, 2016). Auf einen abgeschlossenen Zyklus folgende *Vorbereitungsphasen* beziehen dem iterativen Charakter nach auch immer die bereits gewonnenen Erkenntnisse mit ein und setzen sie wieder in Bezug zur theoretischen Fundierung (Rott & Marohn, 2016).

Es folgt das *Design*, die Gestaltung der praktischen Intervention, zum Beispiel in Form von Lehr-Lernmaterialien zu einem ausgewählten Kontext (McKenney & Reeves, 2012). Gründe und Entscheidungen für die Konzeption der Intervention sollen nachvollziehbar und vollständig dokumentiert werden (Tulodziecki et al., 2013). Die Gestaltung der Intervention basiert sowohl auf theoretischen als auch praktischen Erkenntnissen. Nach einem ersten Durchlauf wird zur iterativen Weiterentwicklung auf der ersten Version aufbauend ein *Re-Design* durchgeführt.

In der *Erprobung* erfolgt die Durchführung der entwickelten Intervention in der Praxis. Begleitet wird die Erprobung durch eine umfangreiche Datenaufnahme. Durch den Einsatz in einer realen Lernsituation und der daraus resultierenden Komplexität wird eine möglichst umfassende und breite Erfassung aller relevanten Einflussfaktoren angestrebt und dadurch eine große Menge an Datenmaterial generiert (Collins et al., 2004). Die Erhebungsmethode bzw. die Erhebungsinstrumente werden durch die jeweilige Fragestellung begründet ausgewählt (s. Kapitel 4.2 *Mixed Methods*).

Die erhobenen Daten aus der Erprobung werden in der anschließenden *Analyse*, bzw. Analyse und Reflexion ausgewertet und in Bezug zur formulierten Fragestellung des Mesozyklus gesetzt (Rott & Marohn, 2016). Dabei ist die Analyse während des Design-Experiments als formative Evaluation von der letzten Phase des gesamten Forschungsprozesses, der summativen Evaluation im Re-Framing (*retrospektiven Analyse*, s. Kapitel 4.4.3) zu unterscheiden (Euler, 2014). Aus den Erkenntnissen der Analyse können sich neue Fragestellungen ergeben und den Beginn eines weiteren Mesozyklus induzieren (Rott & Marohn, 2016).
Die Zahl an Mesozyklen innerhalb des Design-Experiments ist variabel und immer abhängig von der weiteren Ausdifferenzierung einzelner Fragestellungen (Gravemeijer & Cobb, 2006). Die Notwendigkeit der Ausdifferenzierung ergibt sich wiederum durch gewonnene Ergebnisse aus vorangegangen Mesozyklen (McKenney & Reeves, 2012). Die Festlegung einer verbindlichen Anzahl an Mesozyklen ist daher zu Projektbeginn nicht möglich (Reinmann, 2014). Nach Feulner et al. (2021) werden jedoch mindestens zwei

Zyklen durchlaufen, „um die entwickelte Intervention einmal zu modifizieren und erneut auf ihre Wirksamkeit zu prüfen“ (Feulner et al., 2021, S. 15). Die Zusammenfassung aller Mesozyklen bilden den *Makrozyklus*, das Design-Experiment in seiner Gesamtheit.

4.4.3 Re-Framing

Das Re-Framing, auch als *retrospektive Analyse* (Cobb et al., 2003) bezeichnet, ist die letzte Phase des Forschungsprojekts und stellt die Evaluation und Reflexion aller Mesozyklen (=Makrozyklus) des Design-Experiments dar. In Rückbezug zur übergeordneten Forschungsfrage und deren formulierter Zielsetzung werden zur abschließenden Beantwortung die Daten und Ergebnisse der einzelnen Zyklen zusammengefasst (Gravemeijer & Cobb, 2006; Rott & Marohn, 2016). Unter dem Fokus der praktischen Zielperspektive wird die entwickelte Intervention, der praktische Output der Arbeit, reflektiert und die Frage „*what works*“ beantwortet (Cobb et al., 2003). Als gelungen gilt dabei eine praxistaugliche, flexibel einsetzbare und nachhaltige Innovation (Knogler & Lewalter, 2014).
Nach Erklärungen zu „*what works*“ (Cobb et al., 2003) richtet sich der letzte Blick insbesondere auf die theoretische Zielperspektive (theoretischer Output) und die Frage „how, when, and why it works, and by a detailed specification of what, exactly, ‘it’ is” (Cobb et al., 2003, S. 13).

4.5 Herausforderungen im DBR

Wie schon beschrieben, ist eines der zentralen Merkmale im DBR die Erprobung der entwickelten Intervention in der alltäglichen Praxis. Diese ist zugleich auch eine der größten Herausforderungen für die beteiligten Forschenden.
Da es das Ziel ist möglichst viele - bestenfalls alle - Variablen einzufangen, die durch die Komplexität einer realen Bildungssituation nicht kontrollier- oder einschränkbar sind, wird eine sehr große Menge an Daten generiert (Cobb et al., 2003; Collins et al., 2004). Die Daten sind dabei unterschiedlicher Art und Ursprungs, häufig handelt es sich dabei um umfangreiche Videographien und Audioaufnahmen der gesamten Erprobung, ergänzende Interviews sowie Prä- und Post-Tests und ausgefüllte Lehr-Lernmaterialien (Brown, 1992; Collins et al., 2004; T. Wilhelm & Hopf, 2014). Aus Grenzen der Umsetzbarkeit muss aus den erhobenen Daten eine begründete und nachvollziehbare Auswahl für die Analyse getroffen werden (Collins et al., 2004). Barab und Squire (2004) verweisen hier auf die Gefahr der Voreingenommenheit der Forschenden, Daten bewusst auszuwählen und damit das Ergebnis zu beeinflussen. Deshalb ist eine detaillierte und transparente Dokumentation aller Entscheidungen im Forschungsprozess wichtig (Collins et al., 2004; Design-Based Research Collective, 2003).

Eine weitere Herausforderung ist die Frage, wie weit Ergebnisse eines Forschungsprojekts im Rahmen von DBR generalisierbar sind bzw. sein können (Collins et al., 2004). Durch die Eingebundenheit in einen Kontext, innerhalb dessen die Gestaltung und abschließende Evaluation der Intervention durchgeführt wird, kann der Generalisierungsanspruch eines einzelnen Projekts nur begrenzt möglich sein (Cobb et al., 2003; Collins et al., 2004). Jedoch können sich aus den kontextualisierten Ergebnissen und Erklärungsansätzen die Grundlage zur sukzessiven Erarbeitung einer weitergreifenden Theorie ableiten (Cobb et al., 2003; Reinmann, 2005, 2017).

Seit der Entstehung von DBR wird dessen Entwicklung von Diskussionen um die Wissenschaftlichkeit begleitet – vor allem in Gegenüberstellungen zur quantitativ-experimentellen Forschung, (Collins et al., 2004; Fischer et al., 2005; Reinmann, 2005). Zentral sind dabei häufig die anhaltenden Fragen zur Rolle der klassischen Gütekriterien sowie nach einheitlichen methodischen Standards (Reinmann, 2017, 2022b; Tulodziecki et al., 2013). Eine einheitliche Antwort bleibt offen, jedoch existieren verschiedene Vorschläge und Einordnungen (Reinmann, 2022a). Reinmann (2005) schlägt vor, ein Projekt im Forschungsrahmen DBR sollte in der Gesamtheit „weniger an den klassischen Gütekriterien wie Objektivität, Reliabilität und Validität“ bewertet werden, sondern an seiner „Neuheit, Nützlichkeit und Nachhaltigkeit“ (Reinmann, 2005, S. 63). Die Beachtung der klassischen Gütekriterien verortet Reinmann (2005) daher insbesondere während des Forschungsprozesses, in der Phase des Design-Experiments, ein. Das Design-Based Research Collective (2003) beschreibt die Rolle der Gütekriterien als wichtig und notwendig, jedoch unter Rücksichtnahme auf eine auf DBR angepasste Interpretation: „(…) but these qualities are managed in noticeably different ways than in controlled experimentation“ (Design-Based Research Collective, 2003, S. 7).
Um diesen Herausforderungen bezüglich der Gütekriterien zu begegnen, wird unter anderem auf die Wichtigkeit der genauen und vor allem vollständigen Dokumentation aller Schritte, Überlegungen und getroffenen Entscheidungen hingewiesen. Dadurch soll die Nachvollziehbarkeit des Forschungsprozess sichergestellt und das Kriterium der *Objektivität* gewährleistet werden (Design-Based Research Collective, 2003). Die theoriegeleitete iterative Entwicklung des Design-Experiments unterstützt das Kriterium der *Reliabilität*. Um die Reliabilität der Ergebnisse zu gewährleisten, ist es weiterhin unabdingbar, verschiedene Datentypen und Methoden zu kombinieren (Design-Based Research Collective, 2003). Darüber hinaus sollte die Analyse über verschiedene Mesozyklen hinweg fortgeführt werden und standardisierte Verfahren zum Einsatz kommen. (Tulodziecki et al., 2013). Die Berücksichtigung der Validität sieht das Design-Based Research Collective (2003) durch die charakteristische Iteration des Forschungsprozesses gegeben, die zu einer progressiven Angleichung von Theorie Design und Praxis hinführen.

IV Projektverlauf

5 Framing

Im folgenden Kapitel wird aus dem dargelegten theoretischen Hintergrund die Ausgangslage für das vorliegende Projekt herausgearbeitet. Dazu werden die wichtigsten Erkenntnisse der theoretischen Grundlagen kurz skizziert und auf die entsprechenden Kapitel Bezug genommen.

In Kapitel 1 wurde ausführlich die zunehmende Bedeutung des Themas Nachhaltigkeit auf historischer, gesellschaftlicher und politischer Ebene dargelegt. Die Rolle der Bildung wird seit dem Rio-Gipfel als wesentlich für die Umsetzung der Ziele nachhaltiger Entwicklung angesehen und hat zur Entwicklung des Konzepts Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) geführt (s. Kapitel 2.1; 2.2).
Sowohl auf Bundes- als auch auf Länderebene sind bildungspolitische Vorgaben zur Umsetzung von BNE im schulischen Bereich entstanden (s. Kapitel 2.3). Diese benennen BNE-spezifische Inhalte und Kompetenzen und stellen darüber hinaus Bezüge zu naturwissenschaftlichen Inhalten und Kompetenzen her (s. Kapitel 2.3).
Für die Verknüpfung mit bestehenden curricularen Vorgaben der naturwissenschaftlichen Fächer wird insbesondere die Rolle der Bewertungskompetenz hervorgehoben (s. Kapitel 2.6.3), die inhaltlich in allen Naturwissenschaften vielfältige Anknüpfungsmöglichkeiten bietet (s. Kapitel 2.6.1).

Für die Verankerung von BNE im naturwissenschaftlichen Unterricht eignen sich daher besonders Unterrichtseinheiten, die die Förderung der Bewertungskompetenz in den Mittelpunkt stellen. In Kapitel 2.4 wurden die beiden bekanntesten Kompetenzkonzepte für BNE auf nationaler Ebene beschrieben: Bewertungskompetenz findet sich sowohl im Konzept der Gestaltungskompetenz (s. Kapitel 2.4.1) als auch im Kompetenzmodell für den Lernbereich Globale Entwicklung wieder (s. Kapitel 2.4.2). Im Kontext Nachhaltigkeit kann sie definiert werden als:

> „Fähigkeit, sich in komplexen Problemsituationen begründet und systematisch bei unterschiedlichen Handlungsoptionen zu entscheiden, und kompetent am gesellschaftlichen Diskurs um die Gestaltung von Nachhaltiger Entwicklung teil haben zu können." (Bögeholz, 2007, S. 209).

In den Fachdidaktiken der Naturwissenschaften sind bereits verschiedene Beiträge entwickelt worden, wie Bewertungskompetenz im Kontext von Nachhaltigkeit vermittelt

und gefördert werden kann. In Kapitel 3.4 wurde hierzu ein Überblick über ausgewählte Beiträge aus den Fachdidaktiken erarbeitet und im Rahmen einer Zusammenfassung eine Einordnung und Klassifizierung der vorliegenden Vorschläge vorgenommen (s. Kapitel 3.5). In allen drei Naturwissenschaften lässt sich eine Vielfalt an Ideen und Auswahl an Materialien finden, die sich für den direkten Einsatz im Unterricht eignen.

Diese zeichnen sich jedoch häufig durch eine *fachspezifische* oder *kontextabhängige* Konzeption aus (s. Kapitel 3.5). Festzustellen ist ein Mangel an allgemein übertragbaren Kriterien, anhand derer Lernende die Nachhaltigkeit eines Produktes, einer Maßnahme oder einer Handlung im Hinblick auf das Leitbild für nachhaltigen Entwicklung bewerten können.
Die Forderung, Kriterien anzuwenden, lässt sich jedoch aus den Vorgaben der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften und der Kerncurricula (s. Kapitel 2.6.5) ableiten. Exemplarisch kann auf die Kernlehrpläne der Fächer Biologie, Chemie und Physik der Sekundarstufe I für Gymnasium und Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen verwiesen werden: Für den Bereich der Bewertungskompetenz wird beschrieben, dass die Lernenden unter anderem befähigt werden sollen, sich *kriteriengeleitet* für eine Handlungsoption zu entscheiden, Bewertungen und Entscheidungen zu *begründen* und diese *argumentativ* zu vertreten und zu *reflektieren* {Formatting Citation}.
Die Integration von interdisziplinärem Wissen ist zudem eines der Gestaltungselemente für die erfolgreiche Umsetzung von BNE (s. Kapitel 2.3). Daher sollten die Kriterien in allen Fächern gleichermaßen gelten und anhand unterschiedlicher nachhaltigkeitsbezogener Themen anwendbar sein.

In Orientierung an den methodischen Forschungsverlauf im Design-Based Research (s. Kapitel 4.4) kann in der Phase des Framings an dieser Stelle ein Bedarf an einem interdisziplinären, kontextunabhängigen Instrument identifiziert werden, das Lernenden allgemeingültige Kriterien zur Bewertung von Nachhaltigkeit an die Hand gibt.
Dieser Bedarf ergibt sich auch aus dem in Kapitel 2.5 dargestellten Stand der Umsetzung von BNE. Unter anderem wird als Reaktion auf die Ergebnisse eine „breitere Verteilung von Nachhaltigkeitsbezügen im Unterricht aller Fächer gefordert“ (s. Kapitel 2.5, S. 27).

Das zugrundeliegende Verständnis von Nachhaltigkeit sowie die seit dem Brundtland-Bericht bekannte Definition des Leitbildes nachhaltiger Entwicklung wurden in Kapitel 1 ausführlich dargestellt. Aus diesen lässt sich herausstellen, dass die Bewertung von Nachhaltigkeit eine mehrdimensionale Sichtweise (s. Kapitel 1.4) auf die drei Dimensionen *Ökologie*, *Soziales* und *Ökonomie* sowie die Berücksichtigung der verschiedenen Aspekte des Leitbildes für nachhaltige Entwicklung erfordert (s. Kapitel 1.2). Damit ist die Einbeziehung einer globalen Perspektive sowie die Auseinandersetzung mit inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit verbunden.

In einem naturwissenschaftlichen Unterricht, der sowohl auf die Förderung von BNE als auch von Bewertungskompetenz ausgerichtet ist, sollten dieses mehrdimensionale Begriffsverständnis und die Aspekte des Leitbildes nachhaltiger Entwicklung integriert und im Unterricht transparent umgesetzt werden.
Der Begriff Nachhaltigkeit wird häufig in erster Assoziation mit der ökologischen Dimension (s. Kapitel 1.4) in Verbindung gebracht und vor allem auf den Schutz und Erhalt der Umwelt bezogen (Griese et al., 2016; Stepanek, 2022).
Dies zeigt sich zum Beispiel durch folgende exemplarische Aussage einer Schülerin der neunten Jahrgangsstufe[1]:

> „Ich verstehe unter Nachhaltigkeit, dass man auf die Umwelt achtet und sie nicht beschädigt mit Plastik oder andere Sachen (Umweltfreundlichkeit)." (Schülerin einer 9. Klasse)

Demnach muss Unterricht zum Bewerten von Nachhaltigkeit auch den Blick auf die anderen Nachhaltigkeitsdimensionen legen, um der Mehrdimensionalität und Komplexität von Fragen nachhaltiger Entwicklung gerecht zu werden und ein umfassendes Verständnis des Begriffs Nachhaltigkeit zu vermitteln.

Aus der geschilderten Ausgangslage lässt sich für das Projekt folgende übergeordnete Fragestellung ableiten:

In welcher Weise kann eine multiperspektivische Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht initiiert werden?

Daraus ergibt sich das übergeordnete Ziel dieser Arbeit:

Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht.

Die Entwicklung des Unterrichtskonzepts, die *Intervention*, ist das *praxisorientierte* Ziel. Dabei soll eine mehrdimensionale Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im Zentrum stehen, die kriteriengeleitet am Leitbild für nachhaltige Entwicklung ausgerichtet ist.
Als *theorieorientiertes* Ziel soll durch die Erprobung und Evaluation der Intervention, theoriegenerierendes Wissen über die Wirksamkeit der Durchführung gewonnen werden.
Die übergeordnete Fragestellung wird im Rahmen des Design-Experiments in Kapitel 6 durch konkretisierte Forschungsfragen in einzelnen Mesozyklen (s. Kapitel 6.3 bis 6.6)

[1] Es handelt sich um eine schriftliche Antwort, die im Rahmen des Prä-Tests der durchgeführten Erprobungen erhoben wurde (s. Kapitel 6.5.2; 6.5.3).

weiter ausdifferenziert. Innerhalb der Mesozyklen werden zu den einzelnen Forschungsfragen weitere Sub-Forschungsfragen formuliert, die am Ende eines Mesozyklus beantwortet werden. Eine Übersicht aller Forschungsfragen findet sich in Kapitel 6.1 (s. Tabelle 6). Die Beantwortung der übergeordnet Fragestellung erfolgt abschließend in Rückbezug zu den Ergebnissen der einzelnen Mesozyklen im Re-Framing in Kapitel 7.

6 Design Experiment

Im *Framing* (s. Kapitel 5) wurde die übergeordnete Forschungsfrage sowie das Ziel dieser Arbeit auf Grundlage des theoretischen Rahmens herausgestellt: Die Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht.
Das folgende Kapitel stellt das *Design-Experiment* (s. Kapitel 4.4.2) des vorliegenden Projekts dar, in dem der iterative Entwicklungsprozess zur Beantwortung der Forschungsfrage durchgeführt und nachvollziehbar dargelegt wird. Das Design-Experiment des Forschungsprojekts gliedert sich in insgesamt vier Mesozyklen, in denen die zugrundeliegende Forschungsfrage weiter ausdifferenziert und durch einzelne Fragestellungen innerhalb der Mesozyklen konkretisiert wird. Zur Orientierung wird in Kapitel 6.1 zunächst ein tabellarischer Überblick über die vier Mesozyklen und deren Forschungs- und Subforschungsfragen gegeben. In Kapitel 6.2 wird das methodische Vorgehen im Rahmen des Design-Experiments zur Datenerhebung und -auswertung beschrieben (s. Kapitel 6.2.1; 6.2.3). In Kapitel 6.2.2 werden alle durchgeführten Erprobungen des Projekts zur Datenaufnahme beschrieben. Es wird jeweils kurz dargestellt, in welchen Mesozyklen und für welche Fragestellungen die erhobenen Daten verwendet wurden. Die Durchführung der Erprobungen erfolgte nicht chronologisch nach dem Aufbau der Mesozyklen. Unterschiedliche Forschungsfragen aus verschiedenen Mesozyklen beziehen sich unter anderem auf die gleichen Erprobungen. Die Schwerpunkte und Zielsetzungen sind jedoch unterschiedlich und werden entsprechend herausgestellt. In den Kapiteln 6.3 (Mesozyklus 1), 6.4 (Mesozyklus 2), 6.5 (Mesozyklus 3) und 6.6 (Mesozyklus 4) werden die vier Mesozyklen dargelegt und enden jeweils mit einer kurzen Zusammenfassung ihrer Ergebnisse.

6.1 Forschungsfragen

Im Framing (s. Kapitel 5) wurde auf Grundlage des theoretischen Rahmens die Fragestellung des vorliegenden Forschungsprojekts hergeleitet und formuliert:

> *In welcher Weise kann eine multiperspektivische Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht initiiert werden?*

Die folgende Tabelle (Tabelle 6) stellt eine Übersicht über alle vier durchlaufenen Mesozyklen und den zugrundeliegenden Forschungs- und Subforschungsfragen zur Beantwortung der formulierten Forschungsfrage dar:

Tabelle 6: Übersicht aller Mesozyklen des Design-Experiments mit den zugehörigen Forschungs- und Sub-Forschungsfragen.

Mesozyklus 1: Entwicklung eines Unterrichtskonzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit		
übergeordnete Forschungsfrage:		Kapitel
FF 1	*Inwiefern kann ein Konzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt werden, das ein Verständnis von Nachhaltigkeit fördert und Lernende befähigt, Nachhaltigkeit zu bewerten und zu reflektieren?*	6.3
Einzelne Forschungsfragen und Sub-Forschungsfragen:		
FF 1.1	Welche Dimensionen von Nachhaltigkeit sollten im Unterricht betrachtet werden? FF 1.1.1: *Welche Dimensionen von Nachhaltigkeit werden in der Literatur beschrieben?* FF 1.1.2: *Welche Kriterien lassen sich für die Auswahl der Nachhaltigkeitsdimensionen formulieren?* FF 1.1.3: *Welche Nachhaltigkeitsdimensionen entsprechen den Kriterien?* FF 1.1.4: *Wie kann eine Darstellung der ausgewählten Nachhaltigkeitsdimensionen im Unterricht gestaltet werden?*	6.3.1
FF 1.2	Welche Kriterien können Lernende zum Bewerten von Nachhaltigkeit im Unterricht anwenden?	6.3.2

	FF 1.2.1: *Welche Anforderungen müssen die Bewertungskriterien erfüllen?* FF 1.2.2: *Welche Bewertungskriterien erfüllen diese Anforderungen?* FF 1.2.3: *Wie kann eine Darstellung der Bewertungsebenen im Unterricht gestaltet werden?*	
FF 1.3	In welcher Weise kann die Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit methodisch unterstützt werden? FF 1.3.1: *Welche Anforderungen sollte ein methodisches Instrument zur Bewertung und Reflexion für den naturwissenschaftlichen Unterricht erfüllen?* FF 1.3.2: *In welcher Weise kann ein methodisches Instrument unter Berücksichtigung der formulierten Anforderungen entwickelt werden?* FF 1.3.3: *In welcher Weise kann eine Anwendung des methodischen Instruments der Bewertungsscheibe umgesetzt werden?*	6.3.3
Mesozyklus 2: Entwicklung und Optimierung von Lernmaterialien		
übergeordnete Forschungsfrage:		
FF 2	*In welcher Weise kann das entwickelte Konzept „nachhaltig:bewerten" im naturwissenschaftlichen Unterricht umgesetzt werden?*	6.4
Einzelne Forschungsfragen und Sub-Forschungsfragen:		
FF 2.1	Welche Kontexte eignen sich zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht? FF 2.1.1: *Welche Kriterien sollte ein geeigneter Kontext zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht erfüllen?* FF 2.1.2: *Welcher Kontext erfüllt die entwickelten Kriterien zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit für den Chemieunterricht?*	6.4.1

FF 2.2	In welcher Weise können Lernmaterialien zur praktischen Umsetzung des Konzepts gestaltet werden? FF 2.2.1: *Welche Gestaltungsprinzipien sollte das Lernmaterial berücksichtigen?* FF 2.2.2: *Welche Elemente sollte das Lernmaterial enthalten?*	6.4.2
FF 2.3	In welcher Weise können die explizierten Gestaltungskriterien und Elemente am Beispielkontext Elektromobilität umgesetzt werden?	
FF 2.4	Inwiefern kann das entwickelte Lernmaterial optimiert werden? FF 2.4.1: *Bearbeiten die Lernenden das Material innerhalb des Zeitrahmens?* FF 2.4.2: *Wie werden die Aufgabenstellungen innerhalb des Materials bearbeitet und welche Verständnisschwierigkeiten lassen sich im Umgang mit dem Material erkennen?* FF 2.4.3: *Welcher Verbesserungsbedarf ergibt sich?*	6.4.3
Mesozyklus 3: Umsetzung und Evaluation des Konzepts		
übergeordnete Forschungsfrage:		
FF 3	*Inwiefern kann nach der Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit eine erfolgreiche Umsetzung des Unterrichtskonzepts beschrieben und identifiziert werden?*	6.5
Einzelne Forschungsfragen und Sub-Forschungsfragen:		
FF 3.1	In welcher Weisen nutzen die Lernenden das methodische Instrument der Bewertungsscheibe? FF 3.1.1: *Inwieweit ordnen die Lernenden die erarbeiteten Informationen zu ausgewählten Aspekten von Elektromobilität in die Bewertungsscheibe ein?* FF 3.1.2: *Inwieweit ordnen die Lernenden weitere Informationen zu Elektromobilität in die Bewertungsscheibe ein?*	6.5.1

	FF 3.1.3: *Inwieweit unterstützt das Ergebnis der Bewertungsscheibe eine kriteriengeleitete Reflexion zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität?*	
FF 3.2	Welches Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen die Lernenden vor und nach der Intervention?	6.5.3
FF 3.3	Welche Vorteile- und Nachteile von Elektroautos sehen Lernende vor der Intervention?	6.5.4
FF 3.4	In welcher Weise bewerten Lernende die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention?	
Mesozyklus 4: Lehrkräfteworkshop		
übergeordnete Forschungsfrage:		
FF 4	*Wie evaluieren Chemielehrkräfte das Unterrichtskonzept „nachhaltig:bewerten" im Rahmen eines Workshops*?	6.6
Einzelne Forschungsfragen und Sub-Forschungsfragen:		
FF 4.1	Welches Wissen und welche Erfahrungen haben Chemielehrkräfte mit Unterrichtseinheiten zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit?	6.6.4
FF 4.2	Wie evaluieren Chemielehrkräfte den Einsatz der Bewertungsscheibe?	
FF 4.3	Wie evaluieren Lehrkräfte die entwickelten Materialien zum Kontext Elektromobilität?	

6.2 Methodik

Ein charakteristisches Merkmal von DBR ist der Einsatz multipler Methoden (s. Kapitel 4.2) sowohl bei der Datenerhebung als auch bei der Datenauswertung. Die Umsetzung im realen Bildungskontext, z. B. die Integration einer Erprobung in den Schulalltag der Lernenden, erfordert eine Kombination verschiedener Erhebungsmethoden, um ein umfassendes Bild der Umsetzung zu generieren und die komplexen Prozesse einer realen Unterrichtssituation erfassen zu können.
Im folgenden Kapitel wird zunächst das methodische Vorgehen der Datenerhebung in dieser Arbeit erläutert (s. Kapitel 6.2.1). Daran schließt sich die Beschreibung aller im Projekt durchgeführten Erhebungen sowie der zugrunde liegenden Stichprobe und Rahmenbedingungen an (s. Kapitel 6.2.2). In Kapitel 6.2.3 wird das methodische Vorgehen bei der Auswertung der erhobenen Daten erläutert.

6.2.1 Datenerhebung

Im Rahmen des Projekts wurden Daten mittels schriftlicher Befragungen sowie Audio- und Videoaufnahmen erhoben. Darüber hinaus wurden in Erprobungen verschiedene Artefakte erfasst. Im Folgenden werden die einzelnen Erhebungsmethoden beschrieben.

6.2.1.1 Artefakte

Als Artefakte werden die bearbeiteten und ausgefüllten Materialien der Lernenden bezeichnet (Egbers, 2017). Die entwickelten Materialien zu einzelnen Aspekten der Elektromobilität stellen daher die Grundlage der Artefakte dar (s. Kapitel 6.4.3). Da die Lernenden während der Erprobung mit diesen Materialien arbeiten und in den verschiedenen Phasen der Unterrichtsstunde nutzen, sind sie auch als indirekte Datengenerierung zu bezeichnen (Jürgensmeier, 2020). Sie erfüllen eine doppelte Funktion: Zum einen dienen sie der Erprobung des Unterrichtskonzepts mit den Lernenden, zum anderen erlauben sie Rückschlüsse auf die Wirksamkeit und Effektivität der entwickelten Materialien. Neben den Materialien zur Elektromobilität werden auch die Ergebnisse der ausgefüllten Bewertungsscheiben, die im Rahmen der Erprobung gesammelt und im Plenum diskutiert wurden, betrachtet.

Datenaufbereitung
Die gesammelten Artefakte der Lernenden wurden alle digitalisiert.

6.2.1.2 Videographie

Alle im Rahmen des Projekts durchgeführten Erprobungen wurden durch den Einsatz von Videographie zur Generierung audiovisueller Daten begleitet. Die technische Aufzeichnung erfolgt zum einen durch die Positionierung von GoPros vor den jeweils arbeitenden Gruppen und zum anderen durch den Einsatz einer Stativkamera zur Aufzeichnung des gesamten Raumes. Die Audioaufzeichnung wird zusätzlich durch den Einsatz von Diktiergräten bei den Lernenden und durch ein Ansteckmikrofon bei der Lehrkraft unterstützt und abgesichert. Eine Ausnahme bildet die Haupterprobung des Projekts, die in den Räumen des Instituts für Didaktik der Chemie an der Universität Münster (s. Kapitel 6.2.2) durchgeführt wurde. Dadurch konnte die Videoaufnahme über ein im Raum installiertes Aufnahmesystem erfolgen. Dieses ermöglicht ebenfalls die Einstellung verschiedener Kameraperspektiven.

Das Videographieren von Unterrichtssituationen ermöglicht Einblicke in reale Bildungssituationen mit einer „besonders hohen Detaildichte“ (Rauin et al., 2016, S. 50) und dokumentiert die Komplexität solcher Unterrichtseinheiten. Diese wird nach Dinkelaker (2018) auch als Überkomplexität bezeichnet. Es kann eine „unvergleichliche Fülle von Wahrnehmungsaspekten“ aufgezeichnet werden, die eine „reichhaltige und detaillierte Aufnahme sozialer Prozesse ermöglicht“ (Tuma et al., 2013, S. 31). Die Videographie ermöglicht somit die Analyse von Lehr-Lernprozessen, die sich außerhalb der Beobachtungsmöglichkeiten der Forschenden abspielen und durch schriftliche Daten nicht erfasst werden können (Herrle & Breitenbach, 2016). Insbesondere dann, wenn die Lernenden aufgefordert werden, Aufgaben gemeinsam zu bearbeiten und die Ergebnisse zu diskutieren. Auf diese Weise erhalten die Forschenden einen umfassenden Einblick in den Verlauf der Unterrichtseinheit.

Der Einsatz von Videographie als Erhebungsmethode hat den Vorteil, dass die Videoaufnahmen wiederholt und mit verschiedenen Einstellungen (z. B. langsamere oder schnellere Abspielgeschwindigkeit oder Zoom) betrachtet werden können (Herrle & Breitenbach, 2016). Auf diese Weise können wichtige Details oder Verhaltensweisen der Lernenden entdeckt werden, die bei einer einmaligen Beobachtung möglicherweise übersehen worden wären. Dies ermöglicht eine tiefergehende Analyse der Erprobung und fördert ein besseres Verständnis der beobachteten Situationen (Tuma et al., 2013).
Es gilt immer zu beachten, dass die Anwesenheit von Aufnahmegeräten für die Lernenden nicht zur gewohnten Umgebung und zum Schulalltag gehört und daher als störend empfunden werden kann. Dies kann zu Verhaltensänderungen führen. Häufig wird diese Beobachtung jedoch nur zu Beginn der Aufnahme gemacht. An dieser Stelle ist es wichtig, neben der Aufklärung im Vorfeld und dem Einholen von Einverständniserklärungen,

transparent zu machen, was mit den Daten geschieht und dass ein verantwortungsvoller Umgang mit den Daten gewährleistet ist (Dinkelaker & Herrle, 2009).

Datenaufbereitung
Zur Vorbereitung der Datenauswertung wurde zunächst eine Datenaufbereitung durchgeführt (Tuma et al., 2013). Ein Sicherungsmechanismus der verwendeten technischen Geräte zerlegt die Aufnahme automatisch in einzelne Videofragmente, so dass zur Sicherung des Rohmaterials zunächst die einzelnen Videodateien sortiert und zusammengeschnitten wurden. Häufig ist zusätzlich eine Umformatierung in ein verwertbares Dateiformat erforderlich. Ausschnitte, die nicht zum Versuch gehören, wurden entfernt, um das Video sinnvoll schneiden zu können. Dies sind z. B. Ausschnitte vor der eigentlichen Erprobung, in denen nur organisatorische Vorbereitungen und Absprachen zu sehen waren, bevor die Lernenden im Raum sind. Oder auch Pausen, in denen es aus Zeitgründen nicht möglich war, alle Geräte auszuschalten. Zudem wurden verschiedene Kameraperspektiven gesichtet und sinnvoll zusammengefügt (Bild-in-Bild), sodass pro Gruppe ein Video zur Auswertung vorliegt. Ebenso wurde die Tonqualität überprüft und wenn notwendig die Ersatztonspur der Diktiergeräte unterlegt. Die Datenaufbereitung erfolgte mit dem Programm Final Cut.

6.2.1.3 Schriftliche Befragung

Im vorliegenden Projekt wurden zwei verschiedene Arten von schriftlichen Befragungen durchgeführt: Im Rahmen der Erprobungen wurde mit allen teilnehmenden Lernenden jeweils ein *paper-pencil*-Prä- und Post-Test durchgeführt (Döring, 2023). Im Rahmen eines Workshops für Lehrkräfte erfolgte eine Fragebogenerhebung. Die Unterscheidung zwischen den beiden Erhebungsinstrumenten lässt sich wie folgt definieren:

Fragebogen
Ein Fragebogen ist ein Instrument zur qualitativen oder quantitativen Datenerhebung mittels schriftlicher Befragung. Im Wesentlichen lassen sich folgende drei Formate beschreiben:

Geschlossene Fragen
Geschlossene Fragen beinhalten vorgegebene Antwortmöglichkeiten, zum Beispiel durch Multiple-Choice- und Single-Choice-Formate (Steiner & Benesch, 2021). Auch die Verwendung von ratingskalierten Formaten mit mehrstufigen Antwortmöglichkeiten (z. B. *Likert-Skala*) zur Erfassung von Meinungen oder Einstellungen zählt zu den geschlossenen Aufgabenformaten (Tiemann & Körbs, 2014).
Die Likert-Skala gehört zu den am häufigsten verwendeten Skalen (Porst, 2013) und besteht in der Regel aus einer fünfstufigen Ratingskala, die eine Spanne von starker

Zustimmung bis zu starker Ablehnung umfasst. Eine ungerade Anzahl von Antwortmöglichkeiten (z. B. fünfstufig) kann zu einer Tendenz zur Mitte führen. Um eine „polarisierte" Meinung zu erhalten, wird beispielsweise nach Tiemann und Körbs (2014) (zitiert nach Bortz & Döring, 2016) eine vierstufige Skala eingesetzt.
Die Bearbeitung geschlossener Fragen nimmt nur wenig Zeit in Anspruch und hat auch bei der Auswertung den Vorteil der schnellen und einfachen Durchführbarkeit (Porst, 2013; Tiemann & Körbs, 2014).

Offene Fragen
Offene Fragen enthalten keine vorgegebenen Antwortmöglichkeiten (Steiner & Benesch, 2021). Sie fordern dazu auf, einen Sachverhalt in eigenen Worten zu beschreiben oder zu erklären (Döring, 2023). Dadurch ermöglichen sie die Erfassung individueller Perspektiven und die detaillierte Beschreibung subjektiver Meinungen oder Einstellungen. Sie zählen zu den *unstrukturiert-schriftlichen Befragungen* (Döring, 2023). Die Auswertung der Antworten auf offene Fragen ist daher mit einem höheren Aufwand verbunden (Porst, 2013).

Halboffene Fragen
Das Format halboffene Fragen ergänzt *geschlossene* Fragen durch *offene* Antwortmöglichkeiten und stellt somit eine Mischform dieser beiden Formate dar (Steiner & Benesch, 2021). So können weitere Aspekte erfasst werden, z. B. wenn bei geschlossenen Fragen ergänzende Begründungen erfragt und so detailliertere Informationen gewonnen werden können (Döring, 2023).

Qualitative und quantitative Fragebogenmethoden lassen sich nach Döring (2023) wie folg beschreiben: *Qualitative* Fragebogenmethode beinhalten *nicht-strukturierte* oder *halb-strukturierte* Befragungen. Sie enthalten also offene und halboffene Fragenformate. *Quantitative* Fragebogenmethoden beinhalten *strukturierte* Befragungen. Sie enthalten geschlossene Fragen.
Im Allgemeinen werden schriftliche Befragungen in Form von Fragebögen durchgeführt, um Informationen über Meinungen oder Einstellungen von Personen zu erhalten oder beispielsweise Daten über demografische Merkmale oder Verhaltensweisen zu sammeln (Döring, 2023). Wird ein Fragebogen zweimal durchgeführt, einmal vor einer Intervention (Prä) und einmal nach einer Intervention (Post), spricht man von einem Prä-Post-Design. Dieses Verfahren wird angewendet, wenn eine Veränderung oder ein Effekt gemessen werden soll (Döring, 2023).

Prä- und Post-Test
Ein Prä- und Post-Test ist ein Instrument zur Messung von Veränderungen oder Effekten im Zusammenhang mit einer Intervention oder einem Ereignis (Döring, 2023). Sie geben

Auskunft über mögliche Auswirkungen der durchgeführten Intervention. Per Definition handelt es sich um Fragebögen, die durch wiederholte Durchführung den Zusatz Prä- und Postfragebogen (oder kurz Test) erhalten.
Der Prä-Test dient der Erfassung der Ausgangssituation, der Post-Test der Erfassung der Veränderungen nach der Intervention.

Es lässt sich zusammenfassen: Ein Fragebogen ist ein Instrument zur Erhebung von Daten, während ein Prä- und Post-Test ein Instrument zur Erhebung von Veränderungen oder Effekten.
Im vorliegenden Projekt werden sowohl Fragebögen als auch Fragebögen in Form eines Prä- und Post-Tests eingesetzt.

Datenaufbereitung
Da es sich bei beiden schriftlichen Befragungen um *paper-pencil*-Fragebögen handelt, wurden die Daten zur Aufbereitung zunächst digitalisiert. Dazu wurden die Antworten in das Programm Microsoft Excel 2019 eingepflegt.

6.2.2 Erprobungen im Projektverlauf

Insgesamt wurden fünf Erprobungsdurchgänge in sieben Klassen bzw. Kursen mit insgesamt 156 Schülerinnen und Schülern durchgeführt. Eine tabellarische Übersicht aller Erprobungen und erhobener Daten findet sich in Tabelle 7 zusammengefasst.
Ein Erprobungsdurchgang ist durch den Einsatz der gleichen Materialien und einen identischen Ablauf definiert. Somit kann ein Erprobungsdurchgang die Durchführung in mehreren Klassen umfassen, wenn diese inhaltlich analog abliefen.
In den folgenden Abschnitten werden jeweils die Rahmenbedingungen der einzelnen Erprobungen beschrieben und der allgemeine Ablauf skizziert. Darüber hinaus werden das jeweilige Vorgehen bei der Datenerhebung und die zugrunde liegende Stichprobe beschrieben.

Tabelle 7 Übersicht über alle durchgeführten Erprobungen im Rahmen des Projektes.

Art	Erprobung	Erprobung	Erprobung	Erprobung	Haupterprobung	Lehrkräfteworkshop
Datum	Dezember 2021	Februar 2022	März 2022	März 2022	November 2022	Mai 2023
Zeit	Je 90 Minuten	Je 90 Minuten	90 Minuten	90 Minuten	3 Stunden 15 Minuten	120 Minuten
Inhalt	Feinstaub, Stickoxide, Kohlenstoffdioxid	Feinstaub, Stickoxide, Kohlenstoffdioxid	Stickoxide	Kohlenstoffdioxid	Alle Aspekte	Vorstellung Konzept, vier Aspekte
Ort, Schule	Lotte-Westerkappeln Gesamtschule	Münster Gymnasium	Münster Gymnasium	Münster Gymnasium	Institut für Didaktik der Chemie, Münster Gymnasium	ZSL Bad Wildbad
Teilnehmende	Zwei 10. Klassen Kurs 1: 13 Lernende Kurs 2: 17 Lernende	Zwei 9. Klassen 9.1: 23 Lernende 9.2: 25 Lernende	9.Klasse 9.3: 29 Lernende	9.Klasse 9.4: 27 Lernende	9. Klasse 22 Lernende	22 Ausbildungsbeauftrage für das Fach Chemie in BW
Datenerhebung	Video- und Audiographie, Artefakte, Prä-Post-Test	Video- und Audiographie, Artefakte, Prä-Post-Test	Video- und Audiographie, Artefakte, Prä-Post-Test	Video- und Audiographie, Artefakte, Prä-Post-Test	Video- und Audiographie, Artefakte, Prä-Post-Test	Fragebogen
Vollständige Daten (Prä- und Post)	30 x	40 x	14 x	22 x	18 x	20 x
Forschungsfrage	2.3, 2.4, 3.1, 3.2, 3.4	2.3, 2.4, 3.1, 3.2, 3.4	2.3, 2.4, 3.1, 3.2, 3.4	2.3, 2.4, 3.1, 3.2	2.3, 2.4, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4	4.1,4.2,4.3
Kapitel	6.4.3.; 6.5.1	6.4.3; 6.5.1	6.4.3, 6.5.1	6.4.3, 6.5.1	6.4.3, 6.5.3, 6.5.1	6.6

Erste Erprobung

Der erste Erprobungsdurchgang fand im Dezember 2021 in einer Gesamtschule in Lotte-Westerkappeln statt. An der Erprobung nahmen zwei Chemie-Kurse mit insgesamt 30 Schülerinnen und Schülern der zehnten Jahrgangsstufe teil. Es handelte sich dabei um zwei E-Kurse, das Leistungsniveau der Schülerinnen und Schüler wird als Erweiterungsniveau bezeichnet. E-Kurse werden von den leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe besucht. Die Erprobungen wurden in beiden Kursen zeitlich getrennt durchgeführt, der Ablauf erfolgte analog. Der Stundenverlaufsplan der Unterrichtseinheit befindet sich im Anhang A.3.

Für die Erprobung war ein zeitlicher Umfang von einer Doppelstunde (90 Minuten) vorgesehen. Der erste Kurs (im weiteren Verlauf als Kurs 1 bezeichnet) bestand aus 13 Schülerinnen und Schülern und fand in der fünften und sechsten Unterrichtsstunde (11:30-13:00 Uhr) statt. Der zweite Kurs (im weiteren Verlauf als Kurs 2 bezeichnet) bestand aus 17 Schülerinnen und Schülern und fand in der siebten und achten Unterrichtsstunde (14:00-15:30 Uhr) statt.

Für Kurs 1 wurden insgesamt 12 und für Kurs 2 insgesamt 13 Einverständniserklärungen zur Videographie eingereicht. Die Schülerinnen und Schüler ohne Erlaubnis zur Audio- und Videoaufnahme saßen in einem abgetrennten Bereich des Klassenraumes außerhalb der Aufnahmegeräte. Die Einverständniserklärungen wurden zwei Wochen vor der Erprobung an die betreuende Lehrkraft geschickt und vor Beginn der Erprobung eingesammelt. Des Weiteren wurden die ausgefüllten Lernmaterialien eingesammelt und mit den Schülerinnen und Schülern ein Prä- und Post-Test am Tag der Erprobung durchgeführt (n=30). Das Erhebungsinstrument wird in Kapitel 6.5.2 dargestellt.

In der Erprobung wurden Materialien zu drei Aspekten durchgeführt. Die Lernenden bearbeiteten die erste Version der Materialien zu *Kohlenstoffdioxid*, *Stickoxide* und *Feinstaub*. Die Entwicklung der Materialien wird im Rahmen des zweiten Mesozyklus in Kapitel 6.4.4 dargestellt. Die Auswertung und Diskussion der inhaltlichen Erarbeitung der drei Aspekte erfolgt in den Kapiteln 6.4.3.1; 6.4.3.2 und 6.4.3.3.

Nach der Erarbeitung folgte die Phase der Bewertung mit Hilfe der Bewertungsscheibe, indem die Lernenden die erarbeiteten Informationen zu den drei Aspekten in die Bewertungsscheibe einordnen sollten. Das methodische Vorgehen der Bewertungsphase sowie die vorangestellte Einführung in das Thema Nachhaltigkeit und die Bewertungsscheibe wird im Rahmen des dritten Mesozyklus in Kapitel 6.5 erläutert. Die Auswahl der drei Aspekte ist dadurch begründet, dass diese zum Zeitpunkt der Erprobung bereits in ihrer ersten Version entwickelt waren, weitere Aspekte waren noch nicht ausgearbeitet.

Sowohl die Erarbeitung als auch die Bewertung sollten zunächst in Partnerarbeit erfolgen, mit dem Auftrag, sich bei Fragen oder Problemen mit den Gruppen desselben Aspektes zu beraten und in eine Diskussion gehen zu können. Anschließend präsentierten die Gruppen ihre Ergebnisse dem Plenum (s. Stundenverlaufsplan, Anhang A3).

Die Aufteilung der Lernenden auf die drei Aspekte stellte sich wie folgt dar:

Kurs 1:

- Kohlenstoffdioxid: 6 (1) Lernende
- Stickoxide: 3 Lernende
- Feinstaub: 4 Lernende

Kurs 2:

- Kohlenstoffdioxid: 7 Lernende
- Stickoxide: 6 (4) Lernende
- Feinstaub: 4 Lernende

Die Zahl in den Klammern gibt jeweils die Schülerinnen und Schüler ohne Einverständnis an. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen jeweils eine Darstellung der Sitzplatzverteilungen, aus der die Gruppenzuordnung und die jeweilige Zuordnung zu einem Aspekt sowie die Anordnung der Aufzeichnungsgeräte ersichtlich sind.

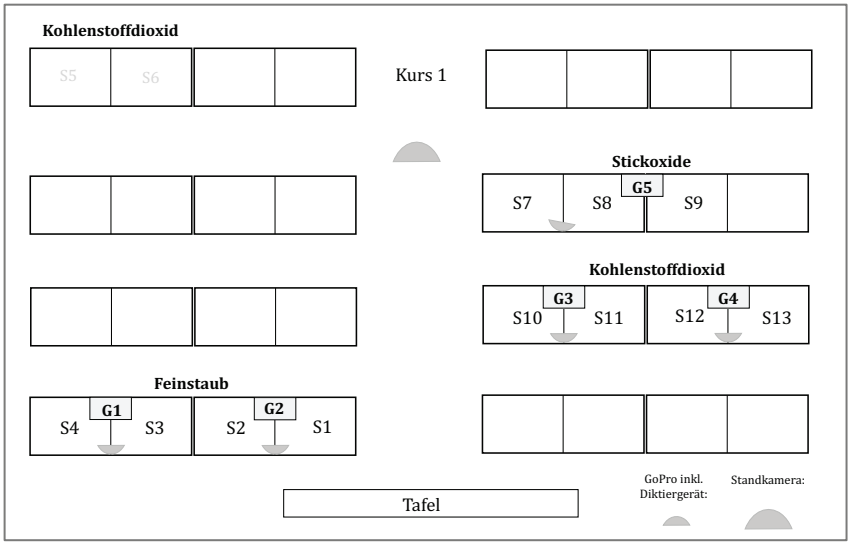


Abbildung 10: Sitzplan Kurs 1. Darstellung der Sitzplatzverteilung (S=Schülerin oder Schüler), Gruppeneinteilung (G= Gruppe), inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlenstoffdioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende).

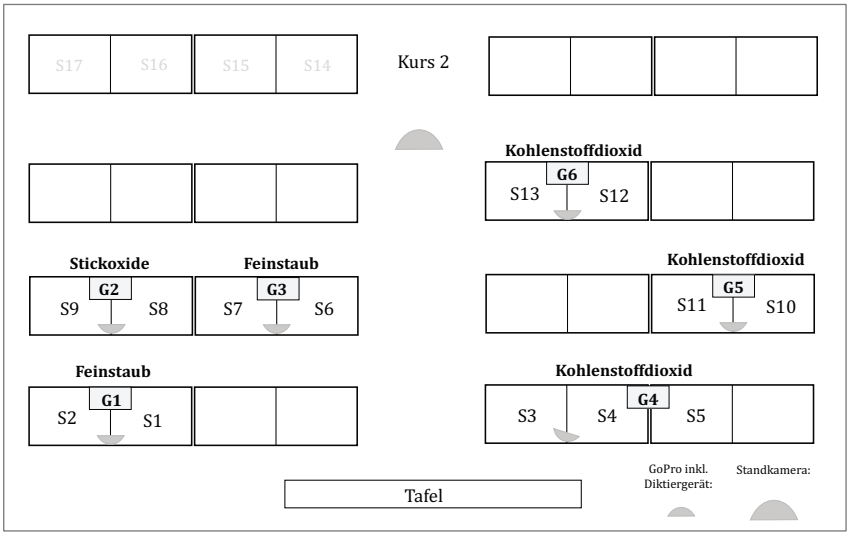


Abbildung 11: Sitzplan Kurs 2. Darstellung der Sitzplatzverteilung, Gruppeneinteilung, inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlenstoff-dioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende).

Vor jede Zweier-Gruppe wurde auf dem Tisch eine GoPro inkl. eines Diktiergeräts positioniert. Eine Stativkamera wurde am hinteren Ende in der Raummitte aufgestellt. Die Lehrkraft erhielt zusätzlich ein Ansteckmikrofon. Für die Auswertung erhielten alle Lernenden ein entsprechendes anonymes Kürzel. Es besteht keine Möglichkeit personenbezogene Daten zuordnen zu können. Die Materialien und der Prä- und Post-Test sind ebenfalls nur mit dem Kürzel versehen.
Dadurch ist für die Auswertung eine genau Zuordnung aller erhobener Daten (Artefakte, Videoaufnahme, Prä- und Post-Test) möglich. Dieses Vorgehen wurde bei allen Erprobungen vorgenommen.

Ziel der Erprobung:
Das Ziel des ersten Erprobungsdurchgangs war es, eine Einschätzung über die generelle Durchführbarkeit der Aufgaben und der geplanten Unterrichtseinheit zu erlangen. Die Materialien sollten in ihrer ersten Version hinsichtlich des geplanten Zeitrahmens und ihrer Eignung überprüft werden, um mögliche Verständnisschwierigkeiten zu identifizieren. Zur Phase der Bewertung sollte ebenfalls eine erste Einschätzung zur Durchführbarkeit erlangt werden.

Zweite Erprobung
Der zweite Erprobungsdurchgang wurde im Februar 2022 mit zwei neunten Klassen eines Gymnasiums in Münster durchgeführt. Der Zeitumfang der Planung betrug ebenfalls eine Doppelstunde (90 Minuten) und die Durchführung erfolgte wieder in beiden Klassen getrennt. Die erste Klasse (im Folgenden mit 9.1 bezeichnet) mit insgesamt 23 anwesenden Schülerinnen nahm in der ersten und zweiten Schulstunde (7:50-9:20 Uhr) an der Erprobung teil und die zweite Klasse (im Folgenden mit 9.2 bezeichnet) mit insgesamt 25 anwesenden Schülerinnen in der achten und neunten Schulstunde (14:00-15:30 Uhr). Inhaltlich wurde in beiden Klassen das überarbeitete Material (zweite Version) der Aspekte *Kohlenstoffdioxid*, *Stickoxide* und *Feinstaub* durchgeführt. Die Optimierung und Auswertung der bearbeiteten Materialien wird im zweiten Mesozyklus in Kapitel 6.4.3 beschrieben und diskutiert. Der Stundenverlaufsplan, der nach Durchführung des ersten Erprobungsdurchgangs verändert wurde, befindet sich im Anhang A.3. Die veränderten Phasen, die sich auf die Einführung, den Einsatz und die Besprechung der Bewertungsscheibe beziehen werden im Rahmen des dritten Mesozyklus in Kapitel 6.5 beschrieben.

Die Aufteilung der Lernenden beider Klassen auf die drei Aspekte stellte sich wie folgt dar: Klasse 9.1: Kohlenstoffdioxid: 7 Lernende, Stickoxide: 9 Lernende, Feinstaub: 7 Lernende; Klasse 9.2: Kohlenstoffdioxid: 8 Lernende, Stickoxide: 6 (4) Lernende und Feinstaub: 4 Lernende.
Von den 23 anwesenden Schülerinnen der ersten Klasse hatten 21 Schülerinnen die Erlaubnis zur Audio- und Videographie. Von der zweiten Klasse hatten 18 Schülerinnen die

Erlaubnis zur Audio- und Videographie. Schülerinnen ohne Einverständniserklärung nahmen an der Erprobung in einem getrennten Bereich teil. Die Sitzplanverteilungen des Erprobungsdurchgangs, anhand derer sich die jeweiligen Gruppen- und Themenzuordnung entnehmen lässt, wird in den Abbildungen 12 und 13 dargestellt.

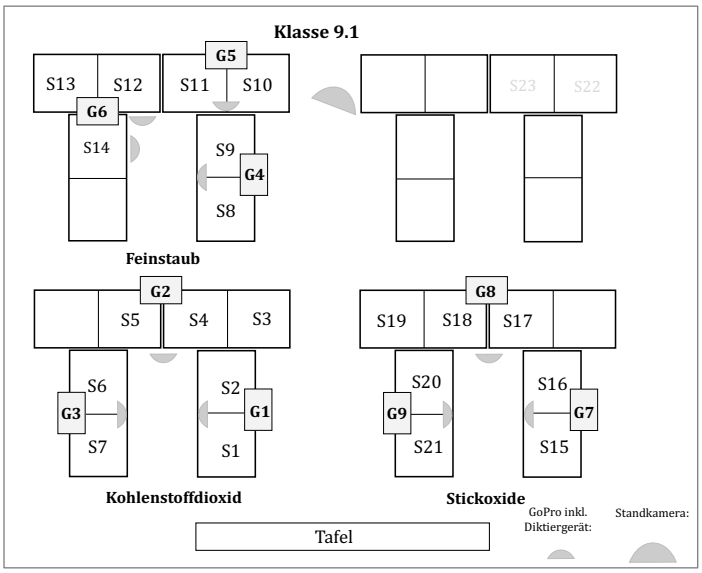


Abbildung 12: Sitzplan Klasse 9.1. Darstellung der Sitzplatzverteilung, Gruppeneinteilung, inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlenstoff-dioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende).

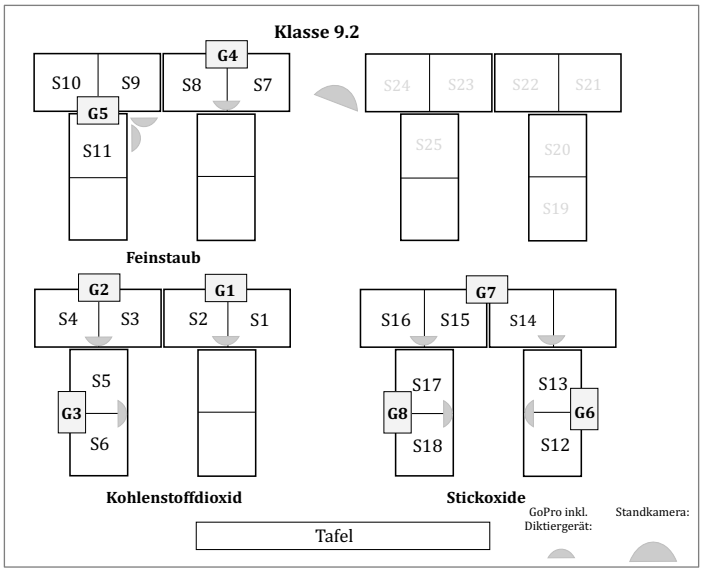


Abbildung 13: Sitzplan Klasse 9.2. Darstellung der Sitzplatzverteilung, Gruppeneinteilung, inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlen-stoff-dioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende).

Der Prä-Test wurde 14 Tage vor der Erprobung an die betreuende Lehrkraft gesendet und durch diese im regulären Unterricht vorher mit den Schülerinnen durchgeführt. Für die Bearbeitung wurden 15 Minuten veranschlagt. Insgesamt liegt von 20 Schülerinnen der Klasse 9.1 ein Prä-Test und von 23 Schülerinnen ein Post-Test vor. Ein vollständiger Datensatz für beide Tests liegt für 18 Schülerinnen vor.

In Klasse 9.2 haben insgesamt 26 Schülerinnen den Prä-Test und 25 Schülerinnen den Post-Test ausgefüllt. Von insgesamt 22 Schülerinnen liegen beide Tests vor.

Die unterschiedliche Teilnahme an den Befragungen ist durch einen hohen Krankheitsstand im Februar 2022 durch die Covid-19 Pandemie zu begründen. Zu dieser Zeit gab es nach Auskunft der Lehrkraft eine sehr schwankende Anwesenheit, durch die nicht alle Schülerinnen einen Prä-Test ausfüllen konnten, die am Erprobungstag aktiv teilgenommen haben.
Für den gesamten Erprobungsdurchgang mit zwei neunten Klassen lässt sich zusammenfassen: 48 Schülerinnen haben aktiv an der Erprobung teilgenommen. Im Vorfeld haben 46 Schülerinnen den Prä-Test bearbeitet und am Tag der Erprobung haben alle 48 anwesenden Schülerinnen den Post-Test durchgeführt. Ein vollständiger Datensatz (Prä- und Post-Test) steht von 40 Schülerinnen zur Auswertung und Analyse zu Verfügung.

Ziele der zweiten Erprobung:
Ziel des zweiten Erprobungsdurchgang war es, das Material mit der angestrebten Zielgruppe einer neunten Klasse eines Gymnasiums durchzuführen. Bislang erlangte Erkenntnisse der ersten Erprobung sollten überprüft werden, um das Material auf Basis einer größeren Stichprobe schrittweise zu optimieren. Darüber hinaus kann auf Basis einer größeren Stichprobe eine empirisch fundierte Aussage zu den Ergebnissen generiert und ein größerer Datensatz zur Auswertung der Prä- und Post-Tests erhoben werden. Es sollten Hinweise auf Anpassungen des Stundenverlaufs beobachtet und Erkenntnisse über einen veränderten Ablauf der Bewertungsphase gesammelt werden, um diese im weiteren Verlauf anzupassen.

Dritte und vierte Erprobung
Der dritte und vierte Erprobungsdurchgang fand im März 2022 mit zwei weiteren neunten Klassen (im Folgenden 9.3 und 9.4 genannt) desselben Gymnasiums in Münster wie der Erprobungsdurchgang im Februar 2022 statt. Der zeitliche Umfang betrug analog eine Doppelstunde (90 Minuten).
Am ersten Erprobungstag (21.03.2022) waren insgesamt 29 Schülerinnen der Klasse 9.3 anwesend, wovon 22 Schülerinnen eine Einverständniserklärung eingereicht hatten. Die Unterrichtseinheit fand in der ersten und zweiten Schulstunde (7:50-9:20 Uhr) statt.
Der inhaltliche Fokus lag auf der alleinigen Erarbeitung des Aspekts *Stickoxide* (dritte Version). Alle 29 anwesenden Schülerinnen haben das Material bearbeitet und zur Auswertung bereitgestellt werden. Der Prä-Test wurde ebenfalls 14 Tage vorher an die zuständige Lehrkraft gesandt. Durch organisatorische und krankheitsbedingte Schwierigkeiten, teilweise durch die Covid-10 Pandemie geschuldet, konnten in der Klasse vom 21.03.2022 nur von 18 Schülerinnen ein Prä-Test generiert werden. Der Post-Test wurde von 19 Schülerinnen ausgefüllt. Einige Schülerinnen mussten den Unterricht früher verlassen und verpassten dadurch die Durchführung des Post-Tests. Ein vollständiger Datensatz liegt von 14 Schülerinnen vor. Die Sitzplatzverteilung von Klasse 9.3 ist in Abbildung 14 dargestellt.

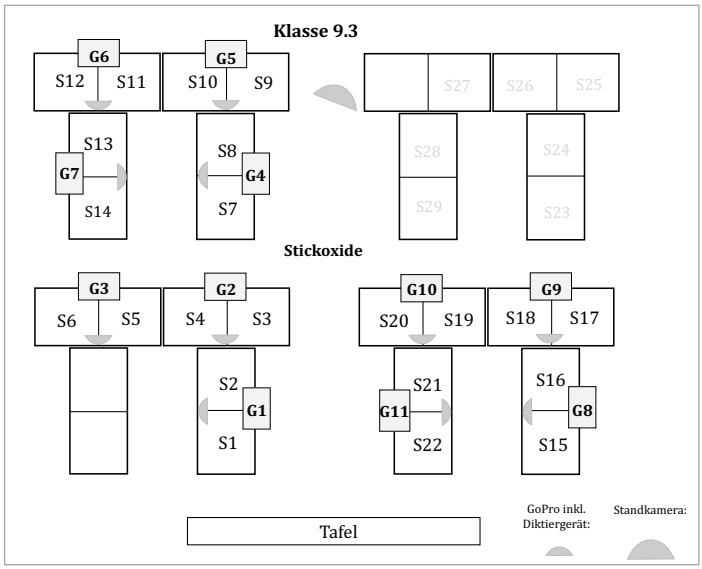


Abbildung 14: Sitzplan Klasse 9.3. Darstellung der Sitzplatzverteilung und Gruppeneinteilung zur Bearbeitung des Aspekts Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende).

Am Erprobungstag von Klasse 9.4 (23.03.2022) waren 27 Schülerinnen anwesend, 20 Schülerinnen durften videographiert werden. Die Durchführung erfolgte in der achten und neunten Schulstunde (14:00-15:30 Uhr). In der Unterrichtseinheit wurde nur der Aspekt *Kohlenstoffdioxid* behandelt (dritte Version). Von allen 27 Schülerinnen liegen die Materialien zur Auswertung vor.

Von 28 Schülerinnen wurde der zwei Wochen vorher durchgeführte Prä-Test abgegeben. Der Post-Test innerhalb der Erprobungsstunde wurde von allen 27 anwesenden Schülerinnen ausgefüllt. Ein vollständiger Datensatz liegt von 22 Schülerinnen vor. Die Sitzplatzverteilung wird in Abbildung 15 dargestellt.

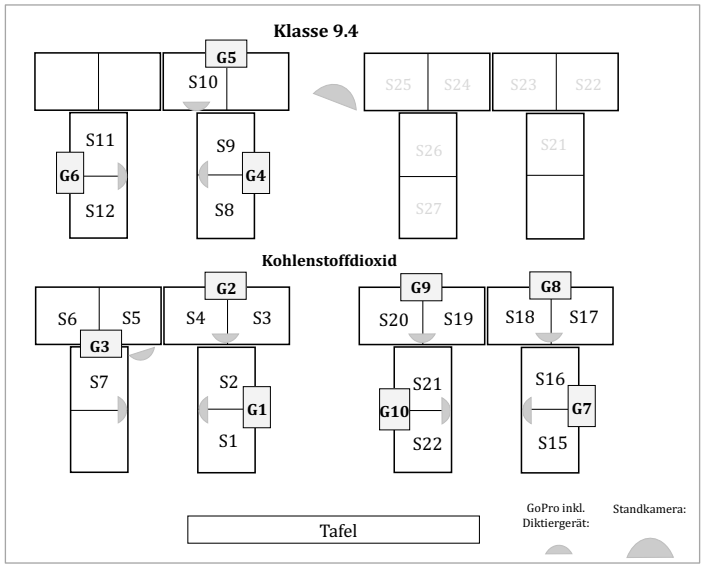


Abbildung 15: Sitzplan Klasse 9.4. Darstellung der Sitzplatzverteilung und Gruppeneinteilung zur Bearbeitung des Aspekts Kohlenstoffdioxid sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende).

Der angepasste Stundenverlaufsplan für beide Erprobungen befindet sich im Anhang 3. Ebenfalls werden auch für diese Erprobung die Ergebnisse der optimierten Materialentwicklung in Kapitel 6.4.4 im zweiten Mesozyklus beschrieben und die Auswertung diskutiert. Der Ablauf der Einführung und Bewertungsphase wird in Kapitel 6.5 im dritten Mesozyklus dargelegt und zur Diskussion gestellt.

Ziele der dritten und vierten Erprobung

Die dritte und vierte Erprobung zielte darauf ab, optimierte Elemente zu überprüfen und nur die Durchführung eines Materials (zu einem Aspekt) in der Unterrichtseinheit zu fokussieren. Auch hier wurde durch weitere Erprobungen eine Ausweitung der Stichprobe und erhobener Daten generiert, die Aussagen bereits gewonnener Erkenntnisse festigen und absichern können. Ebenfalls wurde die Bewertungs- und Plenumsphase ausgewertet und auf Hinweise untersucht, inwiefern eine Anpassung dieser abschließenden Phase für einen erfolgreichen Abschluss der Unterrichtseinheit notwendig ist.

Haupterprobung

Die Haupterprobung des Unterrichtskonzepts nachhaltig⁝ bewerten fand im November 2023 in den Räumen des Instituts für Didaktik der Chemie der Universität Münster statt. Teilgenommen haben 22 Schülerinnen und Schüler einer neunten Klasse eines Gymnasiums in Lengerich. Von 18 Lernenden lagen Einverständniserklärungen zur Videographie vor. Die Sitzplatzverteilung sowie die daraus zu entnehmende Gruppen- und Themenverteilung ist in Abbildung 16 visualisiert. Der Prä-Test wurde von 19 Schülerinnen durchgeführt und der Post-Test von allen 22 anwesenden Schülerinnen. Insgesamt liegt ein vollständiger Datensatz von 18 Schülerinnen vor.

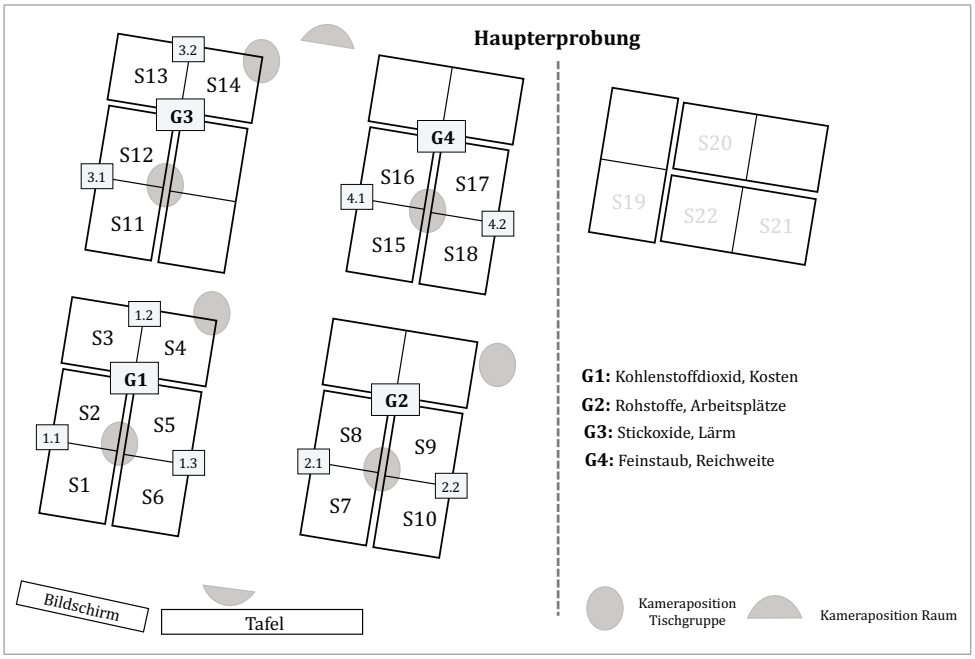


Abbildung 16: Sitzplan Haupterprobung. Darstellung der Sitzplatzverteilung und Gruppeneinteilung sowie Positionierung der der Kamerapositionen (s. Legende).

Der Besuch der Schulklasse war für den Zeitraum von 9:00 bis 14:00 Uhr einschließlich der Pausenzeiten geplant. Die inhaltliche Durchführung der Unterrichtseinheit betrug davon insgesamt drei Stunden und 15 Minuten.
Die Schülerinnen und Schüler bearbeiteten in Partner- und Gruppenarbeit alle entwickelten Materialien zu den acht ausgewählten Aspekten der Elektromobilität. Dazu wurden die Arbeitsphasen im Vergleich zu den vorangegangenen Erprobungen noch einmal verändert und angepasst. Diese Änderungen sind dem Stundenverlaufsplan im Anhang A.3 zu entnehmen. Die detaillierte Beschreibung der Änderungen, insbesondere die Durchführung der Bewertungsphase mit Hilfe der Bewertungsscheibe, erfolgt im dritten Messzyklus (s. Kapitel 6.5.1). Die Materialentwicklung bzw. Optimierung der acht Aspekte ist vollständig in Kapitel 6.4.3 zu finden, ebenso die erzielten Ergebnisse und eine anschließende Diskussion.

Ziele der Haupterprobung
In der Haupterprobung wurden die erarbeiteten Materialien zu den acht Aspekten der Elektromobilität in einem ausreichend zur Verfügung stehenden Zeitrahmen durchgeführt. Der Stundenplan wurde durch eine angepasste Einführungsphase, Ergebnis- und Sicherungsphasen sowie unterstützende Materialien ergänzt. Ziel war es, die Eignung der Materialien in ihrer Gesamtheit herauszuarbeiten und verbleibende sowie neu auftretende Verständnisschwierigkeiten zu identifizieren. Durch Partner- und Gruppenarbeit sollte die Arbeit mit der Auswertungsscheibe besonders aktivierend gestaltet und ein Fokus auf die Ergebnisse der Auswertungs- und Plenumsphase gelegt werden. Auch eine Variation des methodischen Einsatzes der Bewertungsscheibe sollte erfolgen.

Für die Erprobungen im Rahmen des Projekts lässt sich zusammenfassen: Insgesamt wurden fünf Erprobungsdurchgänge mit sieben verschiedenen Klassen und 156 anwesenden Schülerinnen und Schülern durchgeführt.
Zur vergleichenden Analyse der Prä- und Post-Tests stehen 124 vollständige Datensätze zur Verfügung (s. Tabelle 7). Die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse des Prä-Postvergleichs erfolgt im dritten Mesozyklus in Kapitel 6.5.3.

Lehrkräfteworkshop
Nach Abschluss der Materialentwicklung und -optimierung sowie der Erprobung mit Lernenden wurde ein Workshop mit Lehrkräften durchgeführt. Der Workshop fand im Mai 2023 im Rahmen einer Lehrkräftefortbildung zum Thema „Qualifizierung Fortbildende und Beratende Chemie Sekundarstufe I“ am Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (Außenstelle Bad Wildbad) des Landes Baden-Württemberg statt und war Teil einer Einheit zur Bewertungskompetenz. Der Workshop zum Unterrichtskonzept nachhaltig⁝ bewerten dauerte ca. 120 Minuten. Teilnehmende waren 22 Lehrkräfte, die im Fach

Chemie als Ausbildungsbeauftragte, als Fachleitung oder in beratender Funktion für angehende Chemielehrkräfte der Sekundarstufe I tätig sind.
Die inhaltliche Beschreibung des Workshops erfolgt im Rahmen des vierten und letzten Mesozyklus in Kapitel 6.6. Des Weiteren wurde am Ende des Workshops ein Fragebogen zur Evaluation durchgeführt, die Vorstellung des Erhebungsinstruments erfolgt in Kapitel 6.6.2. Die Auswertung der Ergebnisse und Diskussion erfolgt in Kapitel 6.6.4 und 6.6.5.

Ziele des Workshops
Ziel des Workshops war es, das Unterrichtskonzept Lehrkräften aus der Praxis vorzustellen und beinhaltete unter anderem die eigenständige Erprobung der Materialien durch die Lehrkräfte. Durch die Funktion der anwesenden Lehrkräfte als Ausbildungsbeauftragte für Lehramtsanwärter:innen sollte gleichzeitig ein Transfer des Konzeptes an Multiplikator:innen in der Chemielehrkräfteausbildung initiiert werden. Die Durchführung einer Evaluation am Ende des Workshops wird dabei als gewinnbringende Möglichkeit angesehen, ein Feedback von Lehrkräften aus der Praxis zu generieren. Dieses Vorgehen folgt den Charakteristika des DBR.

6.2.3 Datenauswertung

In den folgenden Kapiteln wird die gewählte Vorgehensweise zur Auswertung der in den Erprobungen erhobenen Daten erläutert. Es wird beschrieben, in welchen Mesozyklen die Ergebnisse dargestellt und analysiert werden und welche Forschungsfragen bei der Diskussion der Ergebnisse berücksichtigt werden.

6.2.3.1 Artefakte

Zur Auswertung der inhaltlichen Erarbeitung der Lernmaterialien zu den acht erarbeiteten Aspekten wurde ein Punktesystem erstellt. Dieses wurde ausgehend von den antizipierten Musterlösungen der einzelnen Aufgaben entwickelt und befindet sich im Anhang A.1. Die entwickelten Materialien zum Kontext Elektromobilität (s. Kapitel 6.4) aller Erprobungsdurchgänge wurden anhand dieses Punktesystems bewertet und unter den einzelnen Klassen verglichen. Die Ergebnisse der Materialbearbeitung werden in Kapitel 6.4.3 im Rahmen des zweiten Messzyklus ausführlich dargestellt und diskutiert. Sie werden zur Beantwortung der Forschungsfragen 2.3 und 2.4 sowie der zugehörigen Sub-Forschungsfragen herangezogen.
Neben den von den einzelnen Lernenden ausgefüllten Materialien aus der Erarbeitungsphase zur Elektromobilität wurden auch die Ergebnisse der Bewertungsscheiben aus der Plenumsphase festgehalten. Diese werden im dritten Mesozyklus in Kapitel 6.5.1 beschrieben.

6.2.3.2 Videographie

Die aufbereiteten Videos der Erprobungen wurden in die Analysesoftware *MAXQDA2022* eingepflegt. Die Videoaufnahmen gliedern sich in die jeweiligen Gruppenperspektiven der Lernenden sowie jeweils ein Video aus der Frontalperspektive mit Fokus auf die Lehrperson und das Geschehen an der Tafel. Zur Strukturierung der Auswertung wurden die Videoaufnahmen zunächst deduktiv nach den Unterrichtssequenzen codiert (s. Kapitel 6.2.3.3), die sich aus den Phasen der Stundenverlaufsplänen (s. Anhang A.3) ergeben. Dies ermöglicht einen Vergleich der jeweiligen Dauer der einzelnen Phasen zwischen den Erprobungen und erleichtert die deskriptive Auswertung des Videomaterials. Die Unterrichtssequenz der *Plenumsphase* sowie einzelne interessante Ausschnitte wurden anschließend für alle sieben Erprobungen transkribiert. Die Transkription der ausgewählten Sequenzen erfolgte mit dem Programm *f4transkript*. Dabei wurden die modifizierten Transkriptionsregeln nach Rädiker und Kuckartz (2022) angewendet, die in Anhang A.2 dargestellt sind.
Zur unterstützenden Analyse der Ergebnisse der inhaltlichen Materialbearbeitung zu Elektromobilität wurden die Videoaufnahmen ergänzend zur Untersuchung der Forschungsfragen 2.4 im zweiten Mesozyklus (s. Kapitel 6.4) herangezogen. Die transkribierten Videosequenzen werden im dritten Mesozyklus (siehe Kapitel 6.5) vorgestellt und im Hinblick auf die Forschungsfrage 3.1 und die zugehörigen Subforschungsfragen untersucht.

6.2.3.3 Qualitative Inhaltsanalyse

Die Auswertung der offenen Fragenformaten der schriftlichen Befragungen folgt der inhaltlich-strukturierenden Variante der qualitativen Inhaltsanalyse nach Rädiker und Kuckartz (2022).
Rädiker und Kuckartz (2022) formulieren folgende Definition von qualitativer Inhaltsanalyse

> „Unter qualitativer Inhaltsanalyse wird die systematische und methodisch kontrollierte wissenschaftliche Analyse von Texten, Bildern, Filmen und anderen Inhalten von Kommunikation verstanden. Es werden nicht nur manifeste, sondern auch latente Inhalte analysiert. Im Zentrum der qualitativen Analyse stehen Kategorien, mit denen das gesamte für die Forschungsfrage(n) bedeutsame Material codiert wird. Die Kategorienbildung kann deduktiv, induktiv oder deduktiv-induktiv erfolgen. Die Analyse geschieht primär qualitativ, kann aber auch quantitativ-statistische Auswertungen integrieren; sie kann sowohl kategorienorientiert als auch fallorientiert erfolgen." (S. 39)

Im Zentrum der qualitativen Inhaltsanalyse steht die Bildung von Kategorien zur Auswertung des Materials. Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen: deduktiv, induktiv oder deduktiv-induktiv.
Bei einem deduktiven Vorgehen werden Kategorien unabhängig vom Material vorab (a priori) festgelegt. Grundlage dafür können verschiedene Quellen sein, z. B. der theoretische Hintergrund, der einer Forschungsfrage zugrunde liegt. Daraus ergibt sich das „Konstrukt der leitenden Theorien" (Kuckartz & Rädiker, 2022, S. 72), das zur deduktiven Kategorienbildung beitragen kann. Ebenso können Prozessmodelle ein deduktives Kategoriensystem vorgeben, z. B. die zeitliche Abfolge einer Unterrichtseinheit. Zur Strukturierung können Unterrichtssequenzen einzelnen Kategorien zugeordnet werden (Kuckartz & Rädiker, 2022).
Die induktive Kategorienbildung erfolgt am Material und zeichnet sich in der Regel durch ein zirkuläres Durchgehen des Materials aus, bis eine Sättigung der Daten erreicht ist. Es folgt eine Systematisierung und Ordnung der Kategorien, indem unter anderem ähnliche Kategorien zusammengefasst werden und aus einem zunächst linearen ein hierarchisches Kategoriensystem entsteht. Dazu werden Subcodes durch die Definition von Obercodes geordnet. In einem deduktiv-induktiven Verfahren dienen die deduktiven Kategorien als Ausgangspunkt und werden im induktiven Verfahren sukzessive erweitert und ergänzt. Im Anschluss an die Kategorienbildung und die Festlegung des Kategoriensystems erfolgt die Definition der Kategorien. Diese stellen zum einen die Dokumentation der grundlegenden Elemente der qualitativen Inhaltsanalyse dar, um die Ergebnisse der Analyse nachvollziehbar zu gestalten. Zum anderen wird mit Hilfe der Kategoriendefinitionen ein Codierleitfaden für die Anwendung der Kategorien erstellt. Je präziser dieser formuliert ist und je anschaulichere Ankerbeispiele gewählt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit der Übereinstimmung zwischen zwei Codierenden (Kuckartz & Rädiker, 2022).
Ausgehend von der Forschungsfrage bzw. den Forschungsfragen wird der Ablauf der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Rädiker und Kuckartz (2022) in sieben Phasen beschrieben (Kuckartz & Rädiker, 2022, S. 132):

1. Initiierende Textarbeit, Memos, Fallzusammenfassung
2. Hauptkategorien entwickeln
3. Daten mit Hauptkategorien codieren (1. Codierprozess)
4. Induktiv Subkategorien bilden
5. Daten mit Subkategorien codieren (2. Codierprozess)
6. Einfach und komplexe Analysen
7. Ergebnisse verschriftlichen, Vorgehen dokumentieren

Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der Abfolge der Phasen nicht um einen linearen, sondern um einen zyklischen Prozess handelt. Die einzelnen Phasen sind nicht strikt voneinander trennbar. Es besteht die Möglichkeit, dass weitere erhobene Daten hinzukommen oder eine Modifikation des Kategoriensystems notwendig ist. Die einzelnen Phasen können daher mehrfach durchlaufen werden (Kuckartz & Rädiker, 2022).
Für Phase sechs, die *einfache und komplexe Analyse*, werden von Rädiker und Kuckartz insgesamt acht mögliche Analyseformen benannt, die zum Teil bereits fließend in die letzte Phase (*Ergebnisdarstellung*) übergehen:

- Kategorienbasierte Analyse entlang der Hauptkategorien
- Zusammenhänge zwischen den Subkategorien einer Hauptkategorie
- Paarweise Zusammenhänge zwischen Kategorien
- Mehrdimensionale Konfiguration
- Fall- und Gruppenvergleiche: qualitativ und quantifizierend
- Tabellarische Fallübersichten
- Vertiefende Einzelfallanalysen
- Visualisierungen

Die Auswertung der Daten *offenerer Items* anhand der inhaltlich-strukturierende qualitative Inhaltsanalyse erfolgt im Rahmen des Projekts computerunterstützt mit Hilfe Analysesoftware MAXQDA2022. Die Auswertung der *geschlossenen Items* der schriftlichen Befragungen wird mithilfe von Microsoft Excel 2019 durchgeführt und erfolgt durch deskriptive Statistik anhand Mittelwertbestimmungen.

Die Ergebnisse des Prä- und Post-Tests werden im dritten Mesozyklus (s. Kapitel 6.5) dargelegt und diskutiert. Sie werden zur Beantwortung der Forschungsfragen 3.1, 3.2 und 3.3 herangezogen. Die Ergebnisse des Fragebogens zur Evaluierung des Lehrkräfteworkshops werden im vierten Mesozyklus (s. Kapitel 6.6) zur Beantwortung der Forschungsfrage 4 ausgewertet und diskutiert.

6.3 Mesozyklus 1: Entwicklung eines Konzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit

In diesem Kapitel wird der erste Mesozyklus (MZ 1) beschrieben. Die zugrundeliegende übergeordnete Forschungsfrage (FF) lautet:

> *FF 1: Inwiefern kann ein Konzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt werden, das ein Verständnis von Nachhaltigkeit fördert und Lernende befähigt, Nachhaltigkeit zu bewerten und zu reflektieren?*

Die Fragestellung wird durch die folgenden drei Forschungsfragen strukturiert:

> *FF 1.1: Welche Dimensionen von Nachhaltigkeit sollten im Unterricht betrachtet werden?*
>
> *FF 1.2: Welche Kriterien können Lernende zum Bewerten von Nachhaltigkeit im Unterricht anwenden?*
>
> *FF 1.3: In welcher Weise kann die Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im Unterricht methodisch unterstützt werden?*

Die Entwicklung eines neuen Unterrichtskonzepts als praktisches Ziel dieser Arbeit soll sich auf zwei Schwerpunkte konzentrieren, die auf der Grundlage des theoretischen Hintergrunds in Kapitel II dieser Arbeit herausgearbeitet wurden: Die Förderung von *Bewertungskompetenz* und die Vermittlung von *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Dabei sollen unter anderem Merkmale berücksichtigt werden, die BNE-Lernprozesse kennzeichnen. Eine Auflistung von insgesamt sechs Merkmalen für BNE-Lernprozesse findet sich in der Leitlinie BNE NRW (s. Kapitel 2.3.1, S. 22). Diese beschreiben Gestaltungshinweise für eine erfolgreiche Auseinandersetzung mit BNE im Unterricht und werden daher als Orientierungshilfe im Rahmen des ersten Mesozyklus herangezogen. Im Folgenden werden Merkmale von BNE-Lernprozessen (zitiert nach MSB NRW, 2019d, S. 14f.) dargestellt:

Merkmale von BNE-Lernprozessen
1. Auswahl und Bearbeitung von exemplarischen Fragestellungen in Hinblick auf Zukunftsrelevanz
BNE-Lernprozesse sind dadurch charakterisiert, dass sie exemplarisch relevante Fragestellungen bzw. Themen aus dem gesellschaftspolitischen und fachwissenschaftlichen

Diskurs in ihrer historischen, gegenwärtigen und potentiell zukünftigen Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung aufgreifen.

2. Berücksichtigung mehrerer Dimensionen
BNE-Lernprozesse zeichnen sich dadurch aus, dass sie mehrere Dimensionen wie die ökologische, ökonomische, soziale, kulturelle sowie die politische Dimension und ihre Interdependenz berücksichtigen.

3. Multiperspektivische Betrachtung (fachliche Zugänge, unterschiedliche Räume, zeitliche Perspektiven, Interessenlagen)
BNE-Lernprozesse sind durch multiperspektivische Betrachtungsweisen hinsichtlich unterschiedlicher Denkweisen, fachlicher Zugänge und Narrative, Räume (von lokal bis global), zeitlicher Perspektiven und Interessenlagen gekennzeichnet.

4. Förderung systemischen Denkens und der Vernetzung von Wissen
BNE-Lernprozesse beruhen auf systemischem Denken und zielen darauf ab, sowohl fachlich als auch überfachlich vernetztes Wissen zu erwerben. Dabei sollte die Begrenztheit (heutigen) Wissens und (heutiger) Erkenntnisse reflektiert und dem Prozesscharakter nachhaltiger Entwicklung Rechnung getragen werden.

5. Berücksichtigung von Widersprüchen, Unwägbarkeiten, Risiken sowie Zielkonflikten und persönlichen Dilemmata
Die Verwirklichung nachhaltiger Entwicklung geht einher mit Unsicherheiten, Widersprüchen und Risiken, welche zu Zielkonflikten und zu persönlichen Dilemmata führen können. Deshalb zielen BNE-Lernprozesse darauf ab, Erkenntnisse zu gewinnen und zu überprüfen, Diskurse zu führen sowie bei der Entwicklung intelligenter Lösungen kreative Wege zu gehen.

6. Eigenverantwortliche und partizipative Lernprozesse
BNE beruht wesentlich auf eigenverantwortlichen und partizipativen Lernprozessen. Dies erfolgt mit Methoden und Arbeitsweisen, die zukunftsgerichtete Planungs- und Gestaltungsprozesse fördern.

6.3.1 Auswahl Nachhaltigkeitsdimensionen

FF 1.1: Welche Dimensionen von Nachhaltigkeit sollten im Unterricht betrachtet werden?

Die Forderung, mehrere Dimensionen zu berücksichtigen, lässt sich aus dem mehrdimensionalen Verständnis von Nachhaltigkeit ableiten, wie es im theoretischen Teil dieser Arbeit umfassend dargelegt wurde (s. Kapitel 1). Des Weiteren wird diese Forderung auch in Merkmal 2 für Lernprozesse im Rahmen von BNE expliziert (MSB NRW, 2019d). Die Beantwortung der Forschungsfrage 1.1. wird durch vier Sub-Forschungsfragen strukturiert:

FF 1.1.1: Welche Dimensionen von Nachhaltigkeit werden in der Literatur beschrieben?

FF 1.1.2: Welche Kriterien lassen sich für die Auswahl der Nachhaltigkeitsdimensionen formulieren?

FF 1.1.3: Welche Nachhaltigkeitsdimensionen entsprechen den Kriterien?

FF 1.1.4: Wie kann eine Darstellung der ausgewählten Nachhaltigkeitsdimensionen im Unterricht gestaltet werden?

In einem ersten Schritt werden die Dimensionen von Nachhaltigkeit in Bezug auf die entsprechenden Ausführungen im theoretischen Hintergrund benannt und kurz erläutert (FF 1.1.1). Aus diesen Dimensionen wird eine Auswahl getroffen (FF 1.1.3). Dazu werden Kriterien entwickelt, anhand derer die Auswahl getroffen und geprüft wird (FF 1.1.2).
Die Frage, wie die Darstellung der Dimensionen im Rahmen des Unterrichtkonzepts gestaltet werden sollte, wird abschließend behandelt (FF 1.1.4).

In Kapitel 1 wurde das Begriffsverständnis von Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung ausführlich dargestellt. Dabei konzentriert sich Kapitel 1.4 auf die Beschreibung der Dimensionen der Nachhaltigkeit und geht auf die damit verbundenen Aspekte der *Gewichtung* (vgl. Kapitel 1.4.1), der *starken* und *schwachen Nachhaltigkeit* (vgl. Kapitel 1.4.2) sowie auf bestehende *Nachhaltigkeitsmodelle* (Kapitel 1.4.3) und deren *Kritik* (Kapitel 1.4.4) ein.
An dieser Stelle wird auf die Ausführungen im theoretischen Teil Bezug genommen und die relevanten Passagen hervorgehoben:

Das Verständnis von Nachhaltigkeit ist spätestens seit der Veröffentlichung des Brundtland-Berichts (World Commission on Environment and Development, 1987) auf die Betrachtung von drei zentralen Dimensionen ausgerichtet. Diese werden bezeichnet als (Hauff, 2021): Die *ökologische* Dimension, die *soziale* Dimension und die *ökonomische* Dimension.

In Kapitel 1.4 ist eine Definition der drei Dimensionen aufgeführt, auf die an dieser Stelle verwiesen wird. Als Antwort auf den Brundtland-Bericht betont auch die Agenda 21 (United Nations, 1992), dass sich die Herausforderungen einer nachhaltigen Entwicklung an diesen drei Dimensionen orientieren und diese miteinander verknüpft werden müssen (Grunwald & Kopfmüller, 2022; Hauff, 2021; Zimmermann, 2016). Weiter hebt auch die aktuelle Agenda 2030 diese drei Dimensionen hervor und beschreibt die Zugehörigkeit der 17 Nachhaltigkeitsentwicklungsziele (s. Abbildung 1) zu den drei Dimensionen als „ausgewogen“ (United Nations, 2015, S. 1). Den Versuch einer Zuordnung der Nachhaltigkeitsentwicklungsziele zu den drei Dimensionen zeigt das „Wedding-Cake-Modell“ (s. Abbildung 3) nach Rockström und Sukhdev (2014).
Allerdings sind die Dimensionen nicht immer klar voneinander abgrenzbar. Beispiele sind in Kapitel 1.4 zu finden. Die Vielfalt der Herausforderungen innerhalb der Dimensionen kann nicht isoliert betrachtet werden, sondern überschneidet sich zwangsläufig. Bei der Zuordnung zu den Bereichen Ökologie, Ökonomie und Soziales geht es vor allem um die jeweilige Schwerpunktsetzung.
Darüber hinaus wird in Kapitel 1.4 dargestellt, dass es auch Konzepte und Darstellungen gibt, die neben den bekannten drei Dimensionen zusätzliche Dimensionen einbeziehen: Die *kulturelle* und die *politische* Dimension. Die Berücksichtigung beider Dimensionen ist eher selten.
Es kann daher zusammengefasst werden: In der Literatur dominiert die Darstellung der drei Dimensionen Ökologie, Soziales und Ökonomie, was sich in einem breiten nationalen und internationalen Konsens widerspiegelt (Hauff, 2021).

Um die Auswahl der zu betrachtenden Dimensionen für die Entwicklung der Unterrichtskonzeption zu begründen, wurden zur Beantwortung der Fragestellung Kriterien für die Auswahl der Dimensionen entwickelt. Folgende fünf Kriterien sollen bei der Auswahl berücksichtigt werden:

1. Relevanz
2. Verbreitung
3. Trennschärfe
4. Komplexität
5. Anknüpfung an naturwissenschaftliche Themen

Tabelle 8 erläutert die formulierten Kriterien:

Tabelle 8: Kriterien zur Auswahl der Dimensionen.

Kriterium	Erläuterung
Relevanz	Das Kriterium der *Relevanz* bezieht sich auf die Bedeutung für das Begriffsverständnis von Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung. Die Dimensionen sollen die Definition von Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung umfassend abbilden.
Verbreitung	Das Kriterium der *Verbreitung* bezieht sich auf die Häufigkeit der Erwähnung oder Visualisierung der Dimension. Die Dimensionen sollten sich in der Literatur und in verbreiteten Visualisierungen wiederfinden. Ein hoher Bekanntheitsgrad und Wiedererkennungswert ist für die schnelle Erschließung der Begriffe förderlich.
Trennschärfe	Das Kriterium der *Trennschärfe* bezieht sich auf die inhaltliche Abgrenzung. Die Dimensionen sollen möglichst gut voneinander abgrenzbar sein. Da eine vollständige Trennschärfe nicht möglich ist, wird eine möglichst hohe Trennschärfe angestrebt.
Komplexität	Das Kriterium der *Komplexität* bezieht sich auf eine möglichst reduzierte Komplexität eines Lerngegenstandes.
Anschlussfähigkeit an naturwissenschaftliche Themen	Das Kriterium der *Anschlussfähigkeit* bezieht sich auf die inhaltlichen Anforderungen der naturwissenschaftlichen Fächer. Die Dimensionen müssen mit naturwissenschaftlichen Themen in Verbindung gebracht werden können.

Die folgenden drei Dimensionen sind für die Entwicklung der Unterrichtskonzeption unter Berücksichtigung der formulierten Kriterien ausgewählte worden:

- Ökologie
- Soziales
- Ökonomie

Zusammenfassend kann auch von den drei „klassischen“ Dimensionen von Nachhaltigkeit gesprochen werden (MSB, 2019d). Die getroffene Auswahl lässt sich wie folgt anhand der Kriterien begründen:
Sowohl die literaturbasierten Darstellungen als auch die Visualisierungen in Form von Modellen (s. Kapitel 1.4.3) beziehen sich mit wenigen Ausnahmen auf ein Verständnis von nachhaltiger Entwicklung, das explizit auf die Betrachtung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Dimension abzielt. Die Diskussion um die Gewichtung von Nachhaltigkeit (s. Kapitel 1.4.1) sowie die Unterscheidung zwischen starker und schwacher Nachhaltigkeit (s. Kapitel 1.4.2) lassen keine explizite Berücksichtigung der kulturellen oder politischen Dimension erkennen. Die Debatte um die Gewichtung wird im Wesentlichen unter den drei zentralen Dimensionen geführt (s. Kapitel 1.4.1). Ebenso beziehen sich die bekanntesten Nachhaltigkeitsmodelle wie das Nachhaltigkeitsdreieck oder das Schnittmengenmodell (s. Abbildung 4) nur auf die Betrachtung von Ökologie, Soziales und Ökonomie (s. Kapitel 1.4.3). Daraus lässt sich schließen, dass die drei Dimensionen in ihrer Gesamtheit als am weitesten verbreitet angesehen werden können.

Gleichwohl hängen ohne Zweifel bedeutsame Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele zwingend an politischen Entscheidungsträgern. Veröffentlichungen wie die Agenda 21 oder Agenda 30 sind als politische Zielvorgaben zu verstehen. Die politische Zuständigkeit und Verantwortung sind obligatorisch. Sie verändert sich durch die Betrachtung unterschiedlicher Nachhaltigkeitsthemen nicht.
Einer gesonderten Nennung der politischen Dimension wird daher mit Blick auf die Auswahl der Dimensionen in Bezug auf die Entwicklung der Unterrichtskonzeption kein Nutzen zugesprochen. Auch werden durch die Dimensionen Politik und Kultur gezielt nur bestimmte Akteure (z. B. die Regierung) angesprochen (Osranek, 2017) und weichen damit von den drei umfassenden zentralen Dimensionen ab. Damit sind die Kriterien der *Relevanz* und der *Verbreitung* erfüllt.

Das Problem der mangelnden *Trennschärfe* zwischen den Dimensionen wurde bereits in Kapitel 1.4 erläutert. Daher kann nur eine möglichst hohe Trennschärfe angestrebt werden. Das Hinzufügen weiterer Dimensionen kann die Trennschärfe weiter erschweren und der Versuch einer inhaltlichen Zuordnung der Dimensionen zu einem ausgewählten Nachhaltigkeitsthema kann zu einer stärkeren Vermischung führen. Wie bereits im Theorieteil angedeutet, muss hier die Frage gestellt werden, inwieweit die Hinzunahme der Dimensionen Kultur und Politik dann tatsächlich einen Mehrwert bringt, der sich an dieser Stelle nicht ersichtlich zeigt.

Die Reduzierung der *Komplexität* eines Gegenstandes ist im Sinne der didaktischen Reduktion anzustreben. Didaktische Reduktion kann nach Streller et al. (2019) wie folgt definiert werden:

> „Didaktische Reduktion ist ein Vorgang, bei dem die Abstraktheit und Komplexität eines Sachverhalts auf das Wesentliche zurückgeführt wird, um ihn für Lernende überschaubar und begreifbar zu machen“ (S. 12)

Je mehr Faktoren (=*Dimensionen*) bei der Betrachtung von Nachhaltigkeitsthemen berücksichtigt werden müssen, desto anspruchsvoller wird der Lerngegenstand für Schülerinnen und Schüler. Um die Komplexität zu reduzieren, ist es daher sinnvoll, sich auf die drei ursprünglichen, klassischen Nachhaltigkeitsdimensionen zu beschränken.
Die Dimensionen Kultur und Politik können somit ausgeklammert und die Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Soziales als wesentlich deklariert werden.

In Kapitel 2.6.1 wurden vielfältige inhaltliche Bezüge der naturwissenschaftlichen Fächer zu BNE aufgeführt. Bei der Betrachtung der exemplarisch beschriebenen Themen aus den Curricula der Fächer lassen sich zahlreiche Anknüpfungspunkte zu allen drei Dimensionen identifizieren. Damit ist das Kriterium der *Anschlussfähigkeit* an naturwissenschaftliche Themen im Rahmen Nachhaltigkeit erfüllt.

Gestaltung von Definitionskarten
Im Anschluss an die Auswahl der drei Nachhaltigkeitsdimensionen wurden Überlegungen zur geeigneten Darstellung im Rahmen der Unterrichtskonzeption angestellt. Diese Überlegungen beziehen sich auf folgende Aspekte:

- Bezeichnung
- Farbwahl
- Visualisierung durch Symbole
- Definition

In einem ersten Schritt wurde festgelegt, dass die Dimensionen konsequent mit den Bezeichnungen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* eingeführt werden sollen. Damit wird eine größere Alltagsnähe der Begriffe suggeriert. Die Benennung der Dimensionen mit Ökologie, Soziales und Ökonomie ist dem Bereich der Fachtermini zuzuordnen. Die Wahl der alltagsnäheren Begriffe soll einen schnellen Zugang zu den Begriffen und deren Verständnis fördern.

Für die grafische Darstellung wurden Überlegungen zu geeigneten Farben und Symbolen angestellt. Diese orientieren sich an bekannten bzw. verbreiteten Darstellungen der Nachhaltigkeitsdimensionen (vgl. u.a. Müller & Niebert, 2017, S. 65; Wilhelm et al., 2022, S. 11)

Die folgende Darstellung in Abbildung 17 visualisiert die drei Nachhaltigkeitsdimensionen für die geplante Unterrichtskonzeption. Die Darstellung ist möglichst einfach gehalten. Die Farben haben zudem symbolischen Charakter und sollen durch die Variation von Farben und Symbolen klar abgrenzbar und wahrnehmbar sein (Rott, 2018).

Abbildung 17: Visualisierung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen im Unterrichtskonzept.

Die Dimension Umwelt wird durch die Farbe Grün und einen Baum als Symbol visualisiert. Soziales wird durch die Farbe Rot und zwei sich reichende Hände dargestellt. Die Wirtschaft wird durch die Farbe Blau und zwei Münzen und zwei Geldscheine abgebildet. Der Einsatz der Visualisierungen soll das Verständnis und die Unterscheidung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen unterstützen. Die gewählte Farbgebung und Symbolik wird in der weiteren Konzeptentwicklung berücksichtigt und integriert.
Dazu sind als Unterstützungsmaterial für die praktische Umsetzung *Definitionskarten* für alle drei Dimensionen entwickelt worden. Diese sind dem Anhang dieser Arbeit beigefügt (s. Anhang B.1). Die Definitionskarte Umwelt wird beispielhaft in Abbildung 18 dargestellt.

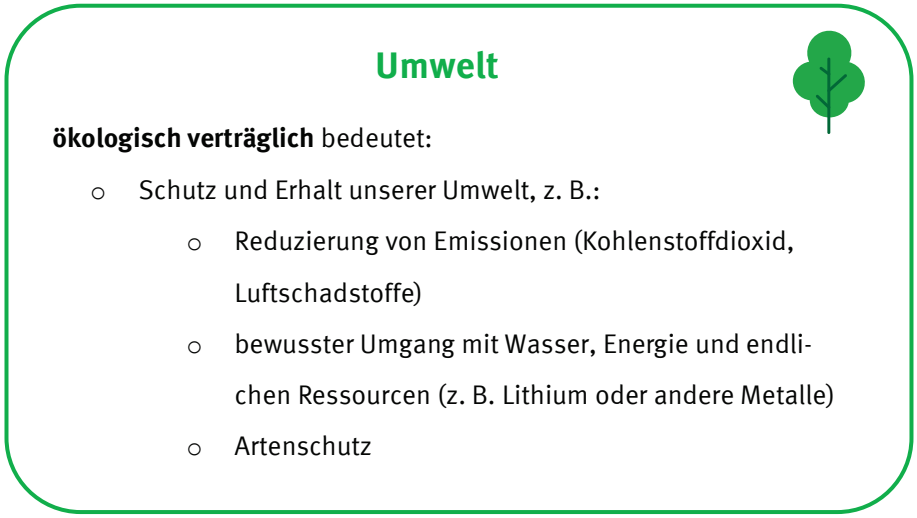


Abbildung 18: Definitionskarte: Die Nachhaltigkeitsdimension Umwelt.

Zu allen drei ausgewählten Dimensionen sind bereits im Theorieteil dieser Arbeit literaturbasierte Definitionen aufgeführt (s. Kapitel 1.4.1). Aus diesen Definitionen lassen sich vereinfachte und verkürzte Definitionen ableiten. Anhand ausgewählter Stichpunkte

sollen wichtige Aspekte der jeweiligen Dimensionen herausgearbeitet werden. Bei der Auswahl der Stichpunkte erfolgte eine gedankliche Überprüfung anhand möglicher Nachhaltigkeitsthemen im naturwissenschaftlichen Unterricht (s. Kapitel 2.6).
Die Definitionskarten sind für alle Dimensionen analog gestaltet: Die charakteristische Farbe dominiert das Erscheinungsbild. Der Rahmen ist jeweils in der entsprechenden Farbe formatiert, ebenso die Schriftfarbe der Überschrift. Die Überschrift steht für die jeweilige Dimension (s. Abbildung 18). Am rechten oberen Rand befindet sich das Symbol (s. Abbildung 18). Zur besseren Lesbarkeit sind die Stichpunkte in schwarzer Schriftfarbe gehalten. Auch wenn der Begriff *ökologisch* ansonsten ersetzt wird, findet sich für die Umwelt die fettgedruckte Beschreibung *ökologisch verträglich* und analog zu Soziales und Wirtschaft die Einleitungen *sozial gerecht* und *wirtschaftlich leistungsfähig*. An verschiedenen Stellen, an denen konkret auf die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Bezug genommen wird, findet sich die Beschreibung, dass eine Entwicklung, die auf nachhaltige Entwicklung abzielt, insgesamt *ökologisch verträglich, sozial gerecht* und *wirtschaftlich leistungsfähig* ist (vgl. BMUV, 2023; Deutsche Bundesregierung, 2016; KMK & DUK, 2007). Diese verbreitete Beschreibung wird hier aufgegriffen und integriert.

6.3.2 Entwicklung Bewertungsebenen

> *FF 1.2: Welche Kriterien können Lernende zum Bewerten von Nachhaltigkeit im Unterricht anwenden?*

Im Rahmen des Framings (s. Kapitel 5) wurde unter anderem deutlich, dass ein Bedarf an Kriterien besteht, anhand derer Lernende Nachhaltigkeit im Unterricht bewerten können. Die Bewertung kann sich dabei sowohl auf die Auswirkungen einer Maßnahme (z. B. Ausbau von Windkraftanlagen) als auch auf das individuelle Handeln (z. B. Verzicht auf eine Flugreise) beziehen.
Folgende Sub-Forschungsfragen begleiten die zweite Forschungsfrage (FF 1.2) innerhalb des ersten Mesozyklus:

> *FF 1.2.1 Welche Anforderungen müssen die Bewertungskriterien erfüllen?*

> *FF 1.2.2 Welche Bewertungskriterien erfüllen diese Anforderungen?*

> *FF 1.2.3* Wie *kann eine Darstellung der Bewertungsebenen im Unterricht gestaltet werden?*

Zunächst werden Anforderungen an Kriterien formuliert, die im Rahmen des geplanten Unterrichtskonzepts zur Bewertung von Nachhaltigkeit berücksichtigt werden sollen (FF 1.2.1). Ausgehend von diesen Anforderungen werden auf Grundlage des dargestellten

Nachhaltigkeitsverständnisses geeignete Bewertungskriterien entwickelt und erläutert (FF 1.2.2). Analog zu FF 1.1.4 erfolgt abschließend die Gestaltung der Darstellung im Unterrichtskonzept (FF 1.2.3).

Bei der Entwicklung von Kriterien sind folgende Anforderungen zu berücksichtigen: Kriterien, die die Bewertung von Nachhaltigkeit bzw. nachhaltiger Entwicklung zum Ziele haben, müssen sich aus den *Zielen nachhaltiger Entwicklung* ableiten und diese integrieren. Sie müssen daher aus der *Definition von Nachhaltigkeit* bzw. dem *Leitbild nachhaltiger Entwicklung* (s. Kapitel 1) abgeleitet werden. Daraus ergibt sich auch der Anspruch, dass die Kriterien in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen - *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* - im Rahmen der Unterrichtskonzeption anwendbar sind.
Darüber hinaus sollen die Bewertungskriterien *allgemeingültig* und in ihrer Anwendbarkeit *übertragbar* sein. Diese Forderung bezieht sich konkret auf die Übertragbarkeit auf *verschiedene Nachhaltigkeitskontexte* und *Fächer*. Ein Unterrichtskonzept, das nicht nur Bewertungskompetenz fördern, sondern auch die Leitideen der BNE vermitteln will, muss in seiner Entwicklung einen besonderen Fokus auf die fächerübergreifende Anwendbarkeit legen.

Für die Entwicklung des Unterrichtskonzepts werden insgesamt drei *Bewertungsebenen* formuliert, die den beschriebenen Anforderungen gerecht werden und erstmals in Banse & Marohn (2021) veröffentlicht wurden. Aus den *Bewertungsebenen* ergeben sich in ihrer Ausdifferenzierung, die von den Lernenden anzuwendenden *Bewertungskriterien*, so dass die Bezeichnung in diesem Zusammenhang synonym zu verstehen ist. Die Bewertungsebenen lauten: *Raum-Ebene, Zeit-Ebene* und *Gruppen-Ebene.*
Diese Ebenen lassen sich aus dem Begriffsverständnis einer nachhaltigen Entwicklung sowie aus dem Leitbild und seinen Zielen ableiten. Sie werden im Folgenden beschrieben (Banse & Marohn, 2021, 2022):

Raum-Ebene
Die räumliche Ebene bezieht sich auf die globale Perspektive, die seit dem Brundtland-Bericht in den Vordergrund gerückt ist und in der Folgezeit immer wieder aufgegriffen und weiter präzisiert wurde. Es wird betont, dass nachhaltige Entwicklung global ausgerichtet sein muss, auch wenn sie immer auf nationaler oder lokaler Ebene beginnt (s. Kap. 1.2).

Zeit-Ebene
Die zeitliche Ebene bezieht sich auf den Zeitaspekt der Nachhaltigkeit, der sich ebenfalls konkret aus der in dieser Arbeit bereits zitierten Definition des Brundtland-Berichts ableitet: „Nachhaltige Entwicklung muss sowohl die Bedürfnisse der heute lebenden

Generation als auch die Bedürfnisse zukünftiger Generationen berücksichtigen“, (s. Kapitel 1.2, S. 2). Es ist also eine bestimmte Zeitspanne vorgesehen, die angestrebt werden sollte.

Gruppen-Ebene

Die Gruppen-Ebene verweist auf den anthropozentrischen Ansatz, wie er seit dem Brundtland-Bericht betont wird. Dabei geht es insbesondere um die Berücksichtigung inter- und intragenerationeller Gerechtigkeit (s. Kapitel 1.2). Daraus ergibt sich zum einen konkret eine Einteilung in verschiedene Altersgruppen: Verschiedene Generationen sind z. B. unterschiedlich stark von den Folgen des Klimawandels betroffen.

Die Definition bezieht sich darüber hinaus konkret auf die Gerechtigkeit *zwischen den heute* lebenden Generationen und betont dabei die Unterschiede zwischen Industrie- und Entwicklungsländern (Hauff, 2021). Beispiele sind der unterschiedliche Zugang zu Bildung oder auch die unterschiedliche Gleichberechtigung der Geschlechter.

Es ist daher möglich, eine Unterteilung in Altersgruppen und in Gruppen nach Geschlecht vorzunehmen. Diese lassen sich unter anderem in der Formulierung der Nachhaltigkeitsentwicklungsziele der Agenda 2030 (United Nations, 2015) wiederfinden, zum Beispiel in SDG 4 (*Hochwertige Bildung*) oder SDG 5 (*Geschlechtergleichheit*) mit den Unterzielen:

> „4.1 Bis 2030 sicherstellen, dass alle Mädchen und Jungen gleichberechtigt eine kostenlose und hochwertige Grund- und Sekundarschulbildung abschließen, die zu brauchbaren und effektiven Lernergebnissen führt“ (United Nations, 2015, S. 18)

> „5.1 Alle Formen der Diskriminierung von Frauen und Mädchen überall auf der Welt beenden“ (United Nations, 2015, S. 19)

Unabhängig von Alter und Geschlecht lassen sich weitere Gruppen in den Unterzielen der 17 SDGs herausstellen:

> „2.3 Bis 2030 die landwirtschaftliche Produktivität und die Einkommen von kleinen Nahrungsmittelproduzenten, insbesondere von Frauen, Angehörigen indigener Völker, landwirtschaftlichen Familienbetrieben, Weidetierhaltern und Fischern, verdoppeln […]“ (United Nations, 2015, S. 16)

> „4.5 Bis 2030 geschlechtsspezifische Disparitäten in der Bildung beseitigen und den gleichberechtigen Zugang der Schwachen in der Gesellschaft, namentlich von Menschen mit Behinderungen, Angehörigen indigener Völker und Kindern in prekären Situationen, zu allen Bildungs- und Ausbildungsebenen gewährleisten.“ (United Nations, 2015, S. 18)

So können unter anderem verschiedene *Berufsgruppen*, *ethnische Gruppen* und Gruppen, die durch ein gemeinsames wirtschaftliches, politisches oder soziales Interesse gekennzeichnet sind, identifiziert werden. Beispielsweise können sich *Interessensgruppen* aus Anwohner:innen zusammensetzen, die von einer bestimmten Maßnahme betroffen sind (z. B. Bau einer Windkraftanlage), oder aus Hauseigentümer:innen, die Maßnahmen zum nachhaltigen Bauen bewerten (z. B. Installation einer Photovoltaikanlage).

Ausdifferenzierung der Bewertungsebenen
Aus den formulierten Bewertungsebenen leiten sich die Bewertungskriterien im Rahmen des Unterrichtskonzepts ab. Dies erfordert eine Konkretisierung der vor allem für die Lernenden abstrakt erscheinenden Begriffe, um die Lernenden in die Lage zu versetzen, Entscheidungen innerhalb der Bewertungsebenen zu treffen.
Für jede Bewertungsebene wird eine Unterscheidung in zwei Bereiche vorgenommen (Banse & Marohn, 2021, 2022). Diese Bereiche müssen klar voneinander abgrenzbar und verständlich sein. Auf diese Weise können aus den abstrakten *Bewertungsebenen* praxistaugliche *Bewertungskriterien* abgeleitet werden. Zusätzlich werden alle Bewertungsebenen durch die Formulierung einer Leitfrage unterstützt.

Raum-Ebene: Auf der Raum-Ebene wird zwischen *Lokal* und *Global* unterschieden. *Lokal* bezeichnet einen definierbaren eingeschränkten Raum. Dies kann beispielsweise eine Stadt oder ein Land sein, sowie ein kleines Dorf oder eine bestimmte Region. *Global* betrifft die ganze Welt.
Dabei wird die Frage gestellt:

Wo wirkt sich eine Maßnahme oder eine Handlung aus?

Mit Auswirkung kann ein Nutzen (*positive Auswirkung*) oder ein Schaden (*negative Auswirkung*) beschrieben werden.

Zeit-Ebene: Auf der Zeit-Ebene wird zwischen *Kurzfristig* und *Langfristig* unterschieden. Die Begriffe beziehen sich dabei auf eine Zeitspanne, die nicht durch eine konkrete Anzahl an Jahren definiert werden kann. Sie orientieren sich am Generationen-Begriff, der aus der Definition des Brundtland-Berichtes hervorgeht (s. Kapitel 1.2).
Es wird die Frage gestellt:

Wie lange wirkt sich eine Maßnahme oder eine Handlung aus?

Die Antworten beziehen sich auf Auswirkungen, die innerhalb einer *kurzen* Zeitspanne, von einer (der jetzt lebenden) Generation, spürbar sind. Oder über mehrere Generationen hinweg, über eine *lange* Zeitspanne spürbar sind.

Gruppen-Ebene: Auf der Gruppen-Ebene wird zwischen der Betroffenheit von *einer Gruppe* und der Betroffenheit *vieler Gruppen* unterschieden.
Es wird die Frage gestellt:

Wer ist von den Auswirkungen einer Maßnahme oder einem Handeln betroffen?

Die Unterteilung in zwei Bereiche wurde bewusst gewählt, um eine klare Zuordnung zu erleichtern. Ein weiterer Grund ist die Übersichtlichkeit: Es gibt bereits drei Nachhaltigkeitsdimensionen, innerhalb derer jeweils drei Bewertungsebenen unterschieden werden können. Die Komplexität sollte möglichst nicht weiter erhöht werden. Für jede Ebene wären hier ergänzende Bereiche möglich gewesen. Die räumliche Ebene könnte z. B. weiter differenziert werden in die Bereiche regional, national oder kontinental. Die Zeitebene könnte ergänzt werden durch den Bereich mittelfristig oder durch verschiedene benennbare Zeiträume wie ein Jahrzehnt oder ein Jahrhundert. Auf der Gruppenebene könnten genaue Zahlenwerte wie zwei Gruppen oder drei Gruppen unterschieden werden. Die Erweiterung der Bereiche war Gegenstand ausführlicher Diskussionen und Abwägungen zwischen den Projektbeteiligten bei der Entwicklung der Bewertungsebenen. Abschließend wurde sich zur besseren Übersicht für die duale Abgrenzung entschieden.

Analog zur Darstellung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen wurden Überlegungen für eine geeigneten Darstellung der Bewertungsebenen im Unterrichtskonzept angestellt. Diese beziehen sich auf die Entwicklung von stilisierten Symbolen und einer analogen Gestaltung von Definitionskarten als unterstützendes Material (s. Anhang B.2).
Wie in Abbildung 19 dargestellt, wurden einerseits stilisierte Symbole entwickelt, die die Ebenen als Ganzes visualisieren und somit als übergeordnete Symbole der Ebenen zu bezeichnen sind. Um die Ebenen nicht nur durch Symbole, sondern auch durch eine farbliche Kennzeichnung voneinander zu unterscheiden, wurde eine Farbcodierung gewählt. Im Gegensatz zur Farbwahl für die Nachhaltigkeitsdimensionen, wurden für die Darstellung der Bewertungsebenen beliebige Farben ausgewählt. Sie sollten sich insbesondere deutlich voneinander und von den Farben der Dimensionen unterscheiden.

Abbildung 19: Symbole der Bewertungsebenen.

Die *Raum-Ebene* wird durch einen Globus dargestellt, auf dem eine Standortfahne einen Punkt markiert. Als Farbe für die *Raum-Ebene* wurde gelb gewählt. Die *Zeit-Ebene* wird

durch eine Uhr dargestellt, als Farbe wurde türkis gewählt. Die *Gruppen-Ebene* wird durch die Darstellung von insgesamt sechs abstrakten Figuren abgebildet, als Farbe wurde violett gewählt. Die sechs Figuren unterscheiden sich durch unterschiedliche Violetttöne.
In Anknüpfung zu den in Abbildung 19 dargestellten Ebenen-Symbolen, sind für die jeweils definierten Bereiche der Ebenen ebenfalls zugehörige stilisierte Symbole entwickelt worden. Sie leiten sich aus den Ebenen-Symbolen ab und sind konsequent durch dieselbe Farbcodierung gekennzeichnet.

Abbildung 20: Symbole für Lokal und Global (Banse & Marohn, 2021, 2022).

Die Unterscheidung in *Lokal* und *Global* auf der *Raum-Ebene* wird in Abbildung 20 dargestellt: *Lokal* wird durch eine gelbe Standortfahne visualisiert, und *Global* durch einen gelben Globus. Beide Symbole ergeben zusammen das Ebenen-Symbol (s. Abbildung 19). Die Visualisierungen bildet konkret die Bedeutung der Symbole ab, dies ist von Vorteil für das Erlernen der Symbole (Rott, 2018).
Die Unterscheidung auf der Zeit-Ebene wird in Abbildung 21 dargestellt: *Kurzfristig* und *Langfristig* wird jeweils durch eine türkise Uhr abgebildet, die eine Zeitspanne angibt. Die Zeitspanne wird jeweils durch einen kleineren und größeren ausgefüllten Bereich dargestellt. *Kurzfristig* zeigt eine Uhr mit einer kurzen Zeitspanne, *Langfristig* mit einer längeren Zeitspanne.

Abbildung 21: Symbole für Kurzfristig und Langfristig (Banse & Marohn, 2021, 2022).

Die gewählten Symbole für die Zeit-Ebene können kritisch diskutiert werden: Die Darstellung einer Uhr kann auf das Verständnis einer ganz konkreten Zeitangabe abzielen. Ein analoges Zifferblatt stellt immer einen Ablauf von insgesamt 12 Stunden dar, je nachdem, ob es Tag oder Nacht ist. Eine Stoppuhr kann, je nach Ausführung, z. B. einen Zeitraum von 60 Minuten messen.

Genau dies stellt die Zeitebene nicht dar, es geht um viel längere Zeiträume, die nicht allgemein durch eine genaue Anzahl von Tagen, Monaten oder Jahren festgelegt werden können. Die Abbildung einer Uhr hat jedoch immer auch eine allgemeine symbolische Bedeutung, die über die bloße Darstellung des Zeichens hinausgeht. Diese Symbolik wird für Lernende der Sekundarstufe I als durchaus bekannt und geeignet eingestuft.
Abbildung 22 stellt die Unterscheidung in *eine Gruppe* und *viele Gruppen* dar. Eine Gruppe besteht aus mindestens drei Personen (Dimbath, 2021), sodass für die Darstellung *einer Gruppe* auch eine Visualisierung durch drei abstrakte Figuren in der Farbe Dunkelviolett vorgenommen wurde. Zur Darstellung von *vielen Gruppen* wurde die Darstellung einer Gruppe übernommen und durch drei Wiederholungen hintereinander abgebildet. Die Gruppen unterscheiden sich in ihrer Farbe und sind durch verschiedene Violetttöne voneinander abgegrenzt.

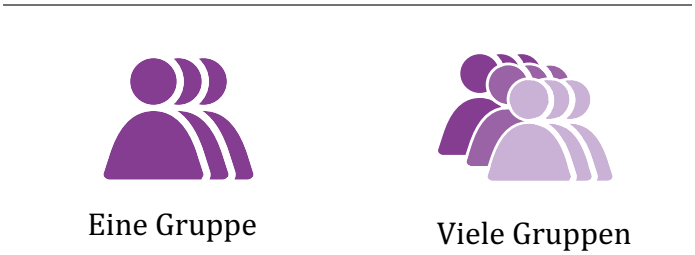


Abbildung 22: Symbole für Eine Gruppe und Viele Gruppen (Banse & Marohn, 2021, 2022).

Auch hier kann eine kritische Anmerkung erfolgen: „Viele“ ist ein abstrakter Begriff und erfolgt in der Darstellung durch die konkrete Angabe der Anzahl drei (=drei verschiedene Gruppen).
Bei der Entwicklung der Symbole wurde insgesamt auf Einfachheit und Verständlichkeit geachtet (Rott, 2018). Sie sollen unterstützend wirken und daher immer gleichzeitig mit den Begriffen eingeführt werden (Marohn & Rott, 2020). Es ist davon auszugehen, dass die aufgeführten Kritikpunkte bei Lernenden der Sek I nicht zu Verständnisschwierigkeiten führen.

Gestaltung von Definitionskarten
Für die Bewertungsebenen wurden ebenfalls drei entsprechende Definitionskarten gestaltet. Abbildung 23 zeigt beispielhaft die Definitionskarte für die Raum-Ebene. Die Definitionskarten für die Zeit- und Gruppen-Ebene befinden sich im Anhang B.2.

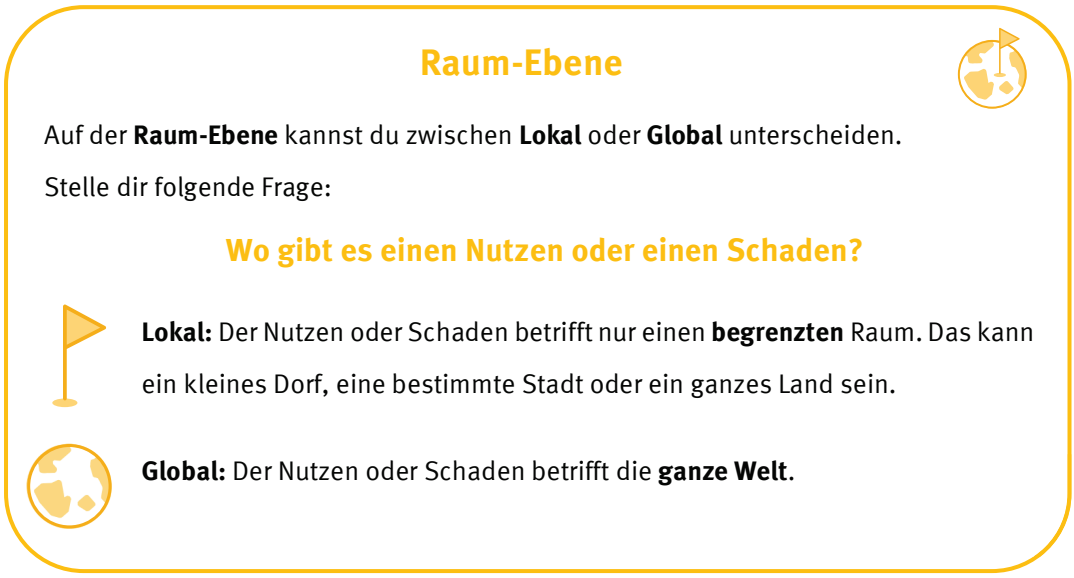


Abbildung 23: Definitionskarte der Raum-Ebene.

Auch hier dienten die entwickelten Symbole und die festgelegten Farben als strukturierende Elemente für eine einheitliche Gestaltung. Der Rahmen wurde jeweils in der zugeordneten Farbe formatiert. Die Überschrift benennt die Ebene. Sie ist ebenfalls farblich hervorgehoben (*Signalisierungsprinzip*, s. Kapitel 6.4.3.1). Am rechten oberen Rand befindet sich jeweils das übergeordnete Symbol für die Bewertungsebene (s. Abbildung 23).

Nach dem *Personalisierungsprinzi*p (s. Kapitel 6.4.3.1) erfolgt eine persönliche Anrede an die Lernenden: *Auf der Raum-Ebene kannst du zwischen Lokal und Global unterscheiden. Stelle dir folgende Frage*. Die Begriffe *Raum-Ebene* sowie *Lokal* und *Global* sind fett markiert (*Signalisierungsprinzip*, s. Kapitel 6.4.3.1).
Zentral ist die Frage positioniert, die zur Bewertung der Ebene gestellt werden muss: *Wo gibt es einen Nutzen oder einen Schaden?* Die Antwort stellt eine Entscheidung zwischen den zwei Bereichen *Lokal* oder G*lobal* dar. Beide Bereiche werden durch das stilisierte Symbol und einer Kurzdefinition aufgeführt. Diese beschränkt sich auf die wesentlichen Punkte der Bereiche und sind ebenfalls durch Fettmarkierung gestaltet (*Signalisierungsprinzip*, s. Kapitel 6.4.3.1).

6.3.3 Entwicklung Bewertungsscheibe

FF 1.3: In welcher Weise kann die Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit methodisch unterstützt werden?

Die dritte Forschungsfrage des ersten Mesozyklus beschäftigt sich mit der Frage, wie die Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit methodisch unterstützt werden kann. Die Entwicklung einer neuen Methode soll die Ergebnisse der vorangegangenen Fragestellungen (FF 1.1 und FF 1.2) aufgreifen und miteinander verknüpfen. Sowohl die drei Nachhaltigkeitsdimensionen als auch die drei Bewertungsebenen sollen berücksichtigt werden.
Sie erfüllen bereits wichtige Merkmale für BNE-Lernprozesse (s. Kapitel 2.3.1). Merkmal 2 bezieht sich auf die mehrdimensionale Betrachtung und wird durch die Auswahl der drei zentralen Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* umgesetzt. Die entwickelten Bewertungsebenen entsprechen unter anderem dem dritten Merkmal, da sie durch die Entscheidung zwischen den definierten Bewertungsbereichen eine multiperspektivische Betrachtungsweise fordern. Diese wird formuliert durch die Hinzunahme von „unterschiedlichen Räumen", „zeitliche Perspektiven" und „Interessenlagen" (MSB NRW, 2019d, S. 26).
Die Auswahl und Entwicklung einer geeigneten Methode kann ebenfalls als Merkmal von BNE-Lernprozessen genannt werden (Merkmal 6, s. Kapitel 2.3.1). Sie sollte zudem unterschiedliche Sozialformen ansprechen und kooperative Unterrichtsformen ermöglichen.

Die Beantwortung der Forschungsfrage FF 1.3 gliedert sich in folgende Sub-Forschungsfragen:

FF 1.3.1: Welche Anforderungen sollte ein methodisches Instrument zur Bewertung und Reflexion für den naturwissenschaftlichen Unterricht erfüllen?

FF 1.3.2: In welcher Weise kann ein methodisches Instrument unter Berücksichtigung der formulierten Anforderungen entwickelt werden?

FF 1.3.3: In welcher Weise kann eine Anwendung des methodischen Instruments der Bewertungsscheibe umgesetzt werden?

An die Methode werden analog folgende Anforderungen gestellt:

- Fächerunabhängig
- Kontextunspezifisch
- Berücksichtigung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* (s. Kapitel 6.3.1)
- Kriteriengeleitete Strukturierung durch die drei Bewertungsebenen *Raum*, *Zeit* und *Gruppe* (s. Kapitel 6.3.2)
- Möglichkeit verschiedener Sozialformen

Die Methode soll *fächerunabhängig* einsetzbar und auf *beliebige Kontexte* nachhaltiger Entwicklung übertragbar sein. Das Bewerten von Nachhaltigkeit erfordert die Betrachtung verschiedener *Nachhaltigkeitsdimensionen* und *Bewertungskriterien*. Diese wurden bereits im ersten Mesozyklus herausgearbeitet und ausführlich vorgestellt (s. Kapitel 6.3.1 und 6.3.2). Durch die Einbeziehung verschiedener Dimensionen wird die Forderung einer multidimensionalen Betrachtung von Nachhaltigkeit erfüllt. Weiter vervollständigen die formulierten Bewertungsebenen die Vermittlung eines umfassenden Nachhaltigkeitsverständnisses, wie es im theoretischen Hintergrund dieser Arbeit erläutert wurde (s. Kapitel 1) und wie es die Merkmale für BNE-Lernprozesse (s. Kapitel 2.3.1) konkret herausstellen. Sie sollen eine kriteriengeleitete Strukturierung des Bewertungsprozesses ermöglichen und dadurch die Reflexion von Entscheidungen unterstützen. Außerdem soll die Methode in Anlehnung an das sechste Merkmal der Leitlinie BNE NRW (s. Kapitel 2.3.1) Steigerung des inhaltlichen Verständnisses die Anwendung verschiedener Sozialformen ermöglichen (MSB NRW, 2019d).

Zur Verknüpfung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen mit den drei Bewertungsebenen im Rahmen des geplanten Unterrichtkonzepts sowie unter Berücksichtigung der weiteren Anforderungen (FF 1.3.1) ist das methodische Instrument der Bewertungsscheibe entstanden (s. Abbildung 24):

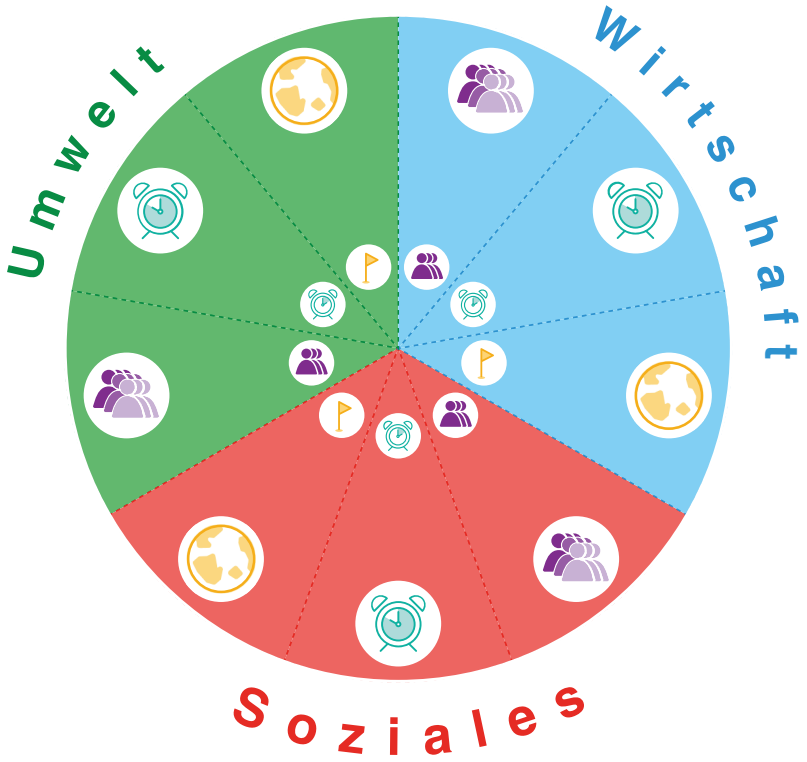


Abbildung 24: Das methodische Instrument der Bewertungsscheibe (Banse & Marohn, 2021, 2022).

Die Bewertungsscheibe visualisiert die Komplexität von Nachhaltigkeit. Sie stellt die Multiperspektivität des Nachhaltigkeitsbegriffes transparent und übersichtlich dar. Dies schafft sie durch eine gleichzeitige Darstellung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* und den drei Bewertungsebenen *Raum*, *Zeit* und *Gruppe*. Die Bewertungsscheibe soll nicht als statische Visualisierung dienen, sondern als aktive Methode, mit der Lernende die Nachhaltigkeit einer Maßnahme oder Handlung bewerten können. Eine erste Veröffentlichung der Bewertungsscheibe erfolgte in Banse & Marohn (2021).

Sie ist in drei gleich große, farblich abgegrenzte Bereiche unterteilt, die die Dimensionen darstellen. Dabei orientiert sich die Abgrenzung an den bekannten Farben: Grün für die *Umwelt*, Rot für *Soziales* und Blau für die *Wirtschaft*. Ergänzend findet sich um die jeweiligen Bereiche noch einmal die schriftliche Benennung der Nachhaltigkeitsdimensionen. Dadurch kann auch in einer schwarz-weißen Version der Bewertungsscheibe eine Zuordnung der Dimensionen erfolgen. Auf eine zusätzliche Benennung der Ebenen-Symbole (s. Abbildung 19) wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Die jeweiligen Bereiche der Nachhaltigkeitsdimensionen werden durch eine gestrichelte Linie weiter unterteilt, innerhalb derer sich die drei Bewertungsebenen anordnen. Die Bewertungsebenen werden durch die Symbole ihrer Bereiche (*Lokal/Global; Kurzfristig/Langfristig; eine Gruppe/Viele Gruppen*) abgebildet. Die Anordnung der Symbole unterscheidet sich zwischen einer inneren und äußeren Platzierung. Die Symbole sind auf einem weißen

Hintergrund in der Form eines Kreises angeordnet und werden im Folgenden als Felder bezeichnet. In den inneren Feldern befinden sich Symbole der Bereiche, die eine begrenzte Auswirkung beschreiben (*Lokal*, *Kurzfristig* und *eine Gruppe*). Sie sind zur Veranschaulichung kleiner dargestellt. In den Außenfeldern befinden sich jeweils die Symbole, die große Auswirkungen beschreiben (*Global*, *Langfristig* und *Viele Gruppen*). Sie sind entsprechend größer dargestellt.
Die gesamte Darstellung orientiert sich an der gewählten Farbcodierung der Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen (s. Abbildung 17und 19). Durch die Farben der Ebenen-Symbole wird verdeutlicht, dass in drei *verschiedenen* Nachhaltigkeitsdimensionen, jeweils die drei *gleichen* Bewertungsfragen (*Wo, Wie lange* und *Wer?)* gestellt werden müssen.

In Bezug zu den vorgestellten Nachhaltigkeitsmodellen in Kapitel 1.4.3 soll an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die entwickelte Bewertungsscheibe keine Gewichtung der Dimensionen beabsichtigt ist. Ziel ist es vor allem, eine Berücksichtigung aller Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen durch eine übersichtliche und transparente Visualisierung zu erreichen. Eine Wertung, welche Dimension stärker zu gewichten ist, ist nicht enthalten, wenngleich die Darstellung als „nebeneinander" interpretiert werden könnte. In der Entwicklungsphase der Scheibe wurde unter anderem eine Tabellenform zur Diskussion gestellt. Tabellen stellen jedoch häufig Hierarchien dar, die z. B. dazu führen können, dass eine zuerst aufgeführte Dimension in den Vordergrund gerückt wird oder eine stärkere Gewichtung zugesprochen bekommt. Auch aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde eine Tabelle als nicht geeignet verordnet. Die Bewertungsscheibe ist daher ausdrücklich nicht als modellhafte Darstellung von Nachhaltigkeit zu verstehen, sondern als Methode zur multiperspektivischen Bewertung von Nachhaltigkeit.

Einsatz der Bewertungsscheibe
Die Bewertungsscheibe ist ein methodisches Instrument zur Bewertung der Nachhaltigkeit einer Maßnahme oder einer Handlung im naturwissenschaftlichen Unterricht. Mit Hilfe der Bewertungsscheibe können Lernende Informationen zu einem beliebigen Nachhaltigkeitsthema einordnen und somit eine Bewertung vornehmen. Die Bewertung orientiert sich immer an einer eingangs formulierten Leitfrage. Häufig impliziert die Leitfrage einen Vergleich zwischen zwei Optionen (z. B. Verbrennungsmotor oder Elektromotor), dies ist jedoch nicht zwingend, sondern hängt von der gewählten Fragestellung ab. Im Folgenden wird die Anwendung der Bewertungsscheibe zunächst allgemein erläutert und anschließend beispielhaft skizziert.
Wie beschrieben, werden die Bewertungsebenen durch ihre Symbole als Felder innerhalb der drei Nachhaltigkeitsdimensionen dargestellt. Den Feldern können in jeder der drei Dimensionen im Rahmen des Bewertungsprozesses *positive* Auswirkungen (*Nutzen*)

oder *negative* Auswirkungen (*Schaden*) in Bezug zu den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung zugeschrieben werden. Dafür werden die jeweiligen Bewertungsfragen gestellt:

> *Wo gibt es (für die Umwelt, das Soziale, für die Wirtschaft) einen Nutzen oder Schaden?*
>
> *Wie lange gibt es (für die Umwelt, das Soziale, für die Wirtschaft) einen Nutzen oder Schaden?*
>
> *Wer ist von einem Nutzen oder Schaden (durch ökologische, soziale oder ökonomische Auswirkungen) betroffen?*

Die jeweilige Entscheidung wird von den Lernenden durch die Markierung der Felder eingetragen: Wenn die Lernenden für ein Feld einen *Nutzen* erkennen, markieren sie es mit der Farbe *Grün*. Erkennen die Lernenden einen *Schaden*, markieren sie das Feld in der Farbe *Rot*. Grün und Rot wurden als geeignete Farben ausgewählt, da sie bekannte Farben für die Assoziation von Positivem und Negativem sind.

Während der Entwicklungsphase wurde eine dritte Möglichkeit zur Markierung der Felder im Sinne eines „Ampel-Systems" erwogen. Neben der roten und grünen Markierung wurde die Einführung einer dritten Farbe - *gelb* - für den Fall einer unsicheren oder „mittleren" Entscheidung erwogen. Dies hätte eine „weder-noch"-Antwort ermöglicht. Eine weitere Regulierungsmöglichkeit zur Abstufung der Markierungen beinhaltete die Überlegung, die Markierung zwischen den beiden inneren und äußeren Feldern zu platzieren. Diese Markierungsoption hätte die Möglichkeit eröffnet, Entscheidungen *zwischen* den Bereichen zu visualisieren. So hätte z. B. auf der Zeit-Ebene ein Bereich mit der Bezeichnung *mittelfristig* eröffnet werden können. Die Unterscheidung sollte sich jedoch, wie bereits in Kapitel 6.3.2 erläutert, konkret auf zwei Bereiche beschränken.
Diese Ideen wurden zwischen den Projektbeteiligten ausführlich diskutiert und darüber hinaus im Rahmen eines internen Kolloquiums zur Diskussion gestellt. Aufgrund der Annahme, dass eine dritte Farbe dazu führen könnte, dass sich die Lernenden nicht entscheiden, indem sie eine Ausweichsituation schaffen, in der Gelb als „Kompromissfarbe" gewählt wird, wurde auf das Hinzufügen einer dritten Farbe verzichtet. Die Übersichtlichkeit und klare Struktur der Bewertungsscheibe sollten ebenfalls gewahrt werden. Eine Entscheidung, bei der Unsicherheit besteht, kann dadurch zum Ausdruck gebracht werden, dass das Feld leer gelassen wird.

Je nach Thema und verfügbaren Informationen können nur eine oder zwei, oder alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen von positiven oder negativen Auswirkungen einer Maßnahme oder Handlung betroffen sein. Nicht betroffene Nachhaltigkeitsdimensionen bleiben auf der Bewertungsscheibe frei. Ebenfalls kann die Möglichkeit bestehen, dass nicht

immer alle Ebenen bewertet werden können. Dies wird auch durch das Freilassen der entsprechender Felder visualisiert.
Es ist möglich, dass ein und dieselbe Information zu grünen Markierungen in der Nachhaltigkeitsdimension *Umwelt*, aber zu roten Markierungen in der Nachhaltigkeitsdimension *Wirtschaft* führt. Darüber hinaus können auf derselben Bewertungsebene und in derselben Nachhaltigkeitsdimension sowohl rote als auch grüne Markierungen vorkommen. Es ist auch denkbar, dass ein und dasselbe Feld mit mehr als einer und mit verschiedenen Markierungen versehen ist. Entscheidend ist, welche unterschiedlichen Argumente eine Information bereithält. Letztlich stellt die Markierung immer die Visualisierung eines Arguments dar.
Es ist ausdrücklich nicht Ziel der Bewertungsscheibe, alle Felder oder möglichst viele Felder anzukreuzen. Nachhaltigkeitsdimensionen oder Bewertungsebenen können frei bleiben. Entscheidend ist, dass durch die Visualisierung transparent gemacht wird, welche Dimensionen und Ebenen bei Fragen nachhaltiger Entwicklung insgesamt zu berücksichtigen sind.

Für das Gesamtergebnis der Bewertungsscheibe gilt: Desto mehr grüne Markierungen in den Außenfeldern vorhanden sind, desto eher entspricht eine Maßnahme oder eine Handlung den Zielen nachhaltiger Entwicklung. Ein *globaler*, *langfristiger* Nutzen von dem möglichst *viele Gruppen* profitieren, ist im Sinne der Nachhaltigkeit erstrebenswert. Grüne Markierungen in den Innenbereichen sollten jedoch nicht als weniger erstrebenswert angesehen werden, da Nachhaltigkeit immer auf lokaler Ebene beginnt (s. Kapitel 1). Das übergeordnete Ziel nachhaltiger Entwicklung ist jedoch eine weltweite und langfristige positive Entwicklung, die allen Menschen zugutekommt (s. Kapitel 2).

Beispiel: Bau einer Windkraftanlage:
Um die Anwendung der Bewertungsscheibe zu veranschaulichen, wird im Folgenden eine exemplarische Vorgehensweise anhand einzelner Beispielinformationen skizziert:
Als ein Beispiel für eine zu bewertende Maßnahme soll hier der *Bau von Windkraftanlagen* betrachtet werden. Eine mögliche Leitfrage könnte lauten: „Wie nachhaltig ist der Bau einer neuen Windkraftanlage?“. Der Ausbau von Windkraftanlagen kann den Anteil erneuerbarer Energien erhöhen und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen, die große Mengen an Kohlenstoffdioxid verursachen, verringern. Diese Auswirkung bezieht sich auf die *Umwelt*. *Global* wird ein *Nutzen* durch die Reduzierung von Emissionen generiert und kann demnach grün markiert werden. Je nach Informationslage, ob der Ausbau von Windkraftanlagen langfristig vorgesehen ist und dauerhaft fossile Brennstoffe ablösen soll, kann für die *Umwelt* auch eine grüne Markierung des Feldes *Langfristig* erfolgen. Schlussfolgernd betreffen *globale* und *langfristig* positive Umweltauswirkungen *viele Gruppen*.

In dieselbe Nachhaltigkeitsdimension (Umwelt) kann aber auch die Information eingeordnet werden, dass es in unmittelbarer Nähe von Windkraftanlagen zu einer Gefährdung bestimmter Vogelarten kommen kann. In diesem Fall würde eine rote Markierung für *Lokal* erfolgen. Dies ist ein Beispiel dafür, dass in der gleichen Dimension (Umwelt) und auf der gleichen Ebene (Raum-Ebene) unterschiedliche Markierungen möglich sind. Werden neue Standorte für den Bau von Windrädern diskutiert, werden häufig Stimmen von Anwohner:innen laut, die sich gegen den Ausbau von Windrädern wehren. Argumente könnten zum Beispiel entstehender Lärm sein. Hier wird die *soziale* Dimension berührt. Dies wäre ein Beispiel für *eine (Interessens-) Gruppe*, die sich *negativen* Auswirkungen ausgesetzt sehen.
Das Beispiel ließe sich noch weiter fortsetzen. Es soll vor allem eines deutlich werden: Die Markierung der Felder anhand eines nachhaltigkeitsbezogenen Themas ist vor allem anhand konkreter und verfügbarer Informationen möglich. Je nach Vorwissen oder Interpretation von Informationen können darüber hinaus individuell weitere, unterschiedliche Markierungen möglich werden.

Ergebnis und Reflexion der Bewertungsscheibe
Insgesamt gilt für das Ergebnis einer ausgefüllten Bewertungsscheibe ausdrücklich keine Bewertung in Form einer Unterscheidung in Richtig oder Falsch. Wie gelungen das Ergebnis einer Bewertungsscheibe angesehen werden kann, hängt letztlich von der zugrundeliegenden Argumentation ab, mit der die Lernenden die Felder markiert haben. Hier stellt sich vor allem die Frage, ob die Markierung aufgrund eines Arguments bzw. der konkreten Benennung der Information oder eher intuitiv ohne Wissens- oder Faktenbasis erfolgte.
Die Reflexion des Ergebnisses der Bewertungsscheibe beinhaltet abschließend die Bewertung der eingangs formulierten Leitfrage. Diese Reflexion anhand der Bewertungsscheibe ist immer eine individuelle Entscheidung der Lernenden. Sie kann von persönlichen oder politischen Einstellungen abhängig sein. Im Rahmen einer individuellen Bewertung des Gesamtergebnisses der Bewertungsscheibe in Bezug auf eine Leitfrage kann beispielsweise eine direkte oder indirekte Gewichtung der Dimension zum Ausdruck gebracht werden. So könnte z. B. ein *lokaler Schaden* im *sozialen* Bereich individuell höher gewichtet werden als ein *globaler wirtschaftlicher Nutzen*.

Ziel der Bewertungsscheibe ist es, die Komplexität und Multiperspektivität von Fragen nachhaltiger Entwicklung zu visualisieren und eine Bewertung und Reflexion methodisch zu stützen. Die Lernenden sollen erkennen, dass die Bewertung einer Maßnahme oder Handlung hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit immer umfassend und differenziert unter Berücksichtigung der verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen erfolgen muss. Durch die Bewertungsebenen werden allgemeingültige Kriterien formuliert, anhand derer die

Lernenden verschiedenen Themen im Kontext Nachhaltigkeit bewerten und reflektieren können.
Das mögliche Fehlen von Informationen wird durch freie Felder sichtbar. Dadurch können die Lernenden erkennen, dass ggf. erst weitere Informationen benötigt, werden um eine abschließende Bewertung vornehmen zu können bzw. die Vorläufigkeit einer Bewertung diskutieren. Das Freilassen ganzer Dimensionen kann darauf hindeuten, dass entweder nur eine Dimension berührt wird, oder dass eine Bewertung aufgrund fehlender Informationen nur eindimensional oder zweidimensional erfolgt ist. Die Betrachtung der anderen Dimensionen kann als Folge beispielsweise in einem weiteren Schritt dann stärker fokussiert werden. Beispielsweise könnte den Lernenden ein Rechercheauftrag zugeteilt werden, um Informationen zu ergänzen.

Der Einsatz der Bewertungsscheibe kann in verschiedenen Sozialformen erfolgen. Es kann eine Einzelbewertung, eine Partnerbewertung oder eine Gruppenbewertung durchgeführt werden. Auf diese Weise kann die Bewertungsscheibe den Vergleich von Bewertungen ermöglichen und sichtbar machen, dass diese immer individuell sind.
Es ist sowohl eine analoge als auch digitale Anwendung der Bewertungsscheibe möglich. Damit kann der Einsatz der Bewertungsmethode auf die jeweiligen schulischen Rahmenbedingungen angepasst werden. In der analogen Form kann das Markieren der Felder durch rote und grüne Stifte erfolgen, durch rote und grüne Klebepunkte oder auch durch das Auflegen von roten und grünen Punkten. Letzteres könnte auch durch den Einsatz von Magneten ergänzt werden. In digitaler Form kann die Abbildung der Bewertungsscheiben in verschiedenen Apps (z. B. Good Notes, OneNote) oder Programme (MS Office) eingebettet werden und mit einer zu Verfügung stehenden Stiftfunktion gearbeitet werden.

Im späteren Verlauf der Arbeit (s. Kapitel 6.5) werden verschiedenen Möglichkeiten der Anwendung der Bewertungsscheibe in den durchgeführten Erprobungen beschrieben.

6.3.4 Fazit Mesozyklus 1

Im Rahmen des ersten Mesozyklus wurde die grundlegende Entwicklung und Gestaltung des geplanten Unterrichtskonzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht erarbeitet und stellt die Beantwortung der ersten Forschungsfrage dar:

> *FF 1: Inwiefern kann ein Konzept für den naturwissenschaftlichen Unterricht entwickelt werden, das ein Verständnis von Nachhaltigkeit fördert und Lernende befähigt, Nachhaltigkeit zu bewerten und zu reflektieren*?

Es erfolgte im ersten Schritt eine literatur- und kriterienbasierte Auswahl der zu betrachtenden Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt, Soziales und Wirtschaft* (FF 1.1).
Im zweiten Schritt erfolgte die kriteriengeleitete Entwicklung von allgemeingültigen und übertragbaren Bewertungskriterien, die Lernende zur Bewertung der Nachhaltigkeit einer Maßnahme oder Handlung heranziehen können (FF 1.2). Es wurden zudem Überlegungen zu einer geeigneten Darstellung im naturwissenschaftlichen Unterricht durchgeführt (FF 1.1.4; 1.2.3).

Die Frage nach der methodischen Unterstützung der Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht (FF 1.3) verknüpft die Ergebnisse der Forschungsfragen FF 1.1 und FF 1.2. Die Beantwortung erfolgt durch die Entwicklung eines neuen methodischen Instruments: Die Bewertungsscheibe (s. Kapitel 6.3.3).
Entsprechend den formulierten Anforderungen (FF 1.3.1) ist die Bewertungsscheibe *fächerunabhängig* und *kontextunspezifisch*. Sie berücksichtigt die drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales*, und *Wirtschaft* und ermöglicht eine *kriteriengeleitete Strukturierung* unter Berücksichtigung der drei Bewertungsebenen *Raum*, *Zeit* und *Gruppe*. Ihre Anwendung kann methodisch vielfältig erfolgen und ermöglicht den *Einsatz unterschiedlicher Sozialformen*. Sie entspricht in vielerlei Hinsicht den literaturbasierten Merkmalen für BNE-Lernprozesse (MSB NRW, 2019d).

Zum Abschluss des ersten Mesozyklus erfolgte die Benennung des Projekts bzw. des Unterrichtskonzepts sowie die Entwicklung eines Logos (s. Abbildung 25):

Abbildung 25: Projektlogo „nachhaltig:bewerten“.

Das Unterrichtskonzept trägt den Namen „nachhaltig:bewerten“ und wurde erstmals in Banse & Marohn (2021) vorgestellt. Die beiden Schwerpunkte des Konzepts, die Vermittlung von Bewertungskompetenz (*bewerten*) und die Förderung von Bildung für Nachhaltige Entwicklung (*nachhaltig*) mit dem Fokus auf der Bewertung nachhaltigkeitsbezogener Themen, werden durch die Zusammensetzung der beiden Wörter „nachhaltig“ und „bewerten“ klar benannt. Die Trennung der beiden Wörter erfolgt durch einen Dreipunkt. Dieser soll die drei Dimensionen mit den drei Bewertungsebenen abbilden. Der Name soll die Schwerpunkte des Konzepts hervorheben. Darüber hinaus beinhaltet der Dreipunkt ein gewisses Maß an Wiederkennung zu einem anderen Projekt (chem:LEVEL) aus dem Arbeitskreis von Annette Marohn am Institut für Didaktik der Chemie der Universität

Münster. Inhaltlich besteht kein direkter Anknüpfungspunkt, jedoch wird durch den Dreipunkt ein verbindendes Element berücksichtigt.
In Anlehnung an das Institutslogo und weitere Projekt-Logos aus der Arbeitsgruppe von Annette Marohn besteht das Logo von „nachhaltig⁝bewerten“ als Wort-Bild-Marke aus einer stilisierten Bewertungsscheibe (Bildmarke) in der Farbe Orange mit einem offenen Pfeil und der Wortmarke „nachhaltig bewerten“.

6.4 Mesozyklus 2: Entwicklung und Optimierung von Lernmaterial

Im ersten Mesozyklus (s. Kapitel 6.3) erfolgte die theoretische Entwicklung des Unterrichtskonzepts *nachhaltig:bewerten* für den naturwissenschaftlichen Unterricht mit dem methodischen Instrument der Bewertungsscheibe. Der zweite Mesozyklus beschäftigt sich mit der praktischen Umsetzung des Konzepts durch die Entwicklung und Optimierung von Lernmaterialien zu einem geeigneten Beispielkontext unter der übergeordneten Fragestellung:

FF 2: In welcher Weise kann das entwickelte Konzept „nachhaltig:bewerten" im naturwissenschaftlichen Unterricht umgesetzt werden?

In einem ersten Schritt wird theoriebasiert und kriteriengeleitet die Frage nach einem geeigneten Kontext (FF 2.1) untersucht (s. Kapitel 6.4.1).

FF 2.1: Welche Kontexte eignen sich zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht?

Die zweite Frage (FF 2.2) wird in Kapitel 6.4.2 behandelt und bezieht sich auf die theoretische Gestaltungsgrundlage zur Entwicklung von Lernmaterialien.

FF 2.2: In welcher Weise können Lernmaterialien zur praktischen Umsetzung des Konzepts gestaltet werden?

Die Forschungsfragen FF 2.3 und FF 2.4 befassen sich mit der Entwicklung und Optimierung von Lernmaterialien (s. Kapitel 6.4.3). Um Aussagen über die Wirksamkeit und Eignung der entwickelten Materialien treffen zu können und eine zyklische Optimierung im Sinne des DBR durchführen zu können, werden hier die Ergebnisse der Materialbearbeitung aus den durchgeführten Erprobungen mit Lernenden (s. Kapitel 6.4.4) dargestellt und integriert.

FF 2.3: In welcher Weise können die explizierten Gestaltungskriterien und Elemente für das Beispiel Elektromobilität umgesetzt werden?

FF 2.4: Inwiefern kann das entwickelte Material optimiert werden?

6.4.1 Auswahl Kontext

FF 2.1: Welche Kontexte eignen sich zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht?

Für die Entwicklung von Lernmaterialien muss zunächst die Frage beantwortet werden, welche Kontexte sich für die Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht eignen (FF 2.1) und ein exemplarischer Kontext für die Umsetzung des Konzepts im Rahmen dieser Arbeit ausgewählt werden. Die Fragestellung wird durch folgende Sub-Forschungsfragen strukturiert.

FF 2.1.1: Welche Kriterien sollte ein geeigneter Kontext zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht erfüllen?

FF 2.1.2: Welcher Kontext erfüllt die entwickelten Kriterien zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit für den Chemieunterricht?

Die Auswahl eines geeigneten Kontextes für das Bewerten und Reflektieren von Nachhaltigkeit erfolgt kriteriengeleitet (FF 2.1.2). In einem ersten Schritt werden in Kapitel 6.4.1.1 Kriterien für Kontexte beschrieben, die sich für die Förderung von Bewertungskompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht eignen und in entsprechenden Unterrichtskonzepten mit Bewertungsschwerpunkt bereits Anwendung finden. Anschließend werden spezifische Kriterien für die Auswahl von Fragestellungen und Themen zur Initiierung von BNE-Lernprozessen benannt. Darüber hinaus werden Kriterien ergänzt, die auf den konkreten Einsatz der Bewertungsscheibe abzielen. Am Ende des Kapitels 6.4.1.1 werden die erarbeiteten Kriterien sinnvoll zusammengeführt. In Kapitel 6.4.1.2 erfolgt die Auswahl eines Beispielkontextes (FF 2.1.2) mit der ausführlichen Darstellung einer Sachanalyse sowie einer didaktischen Analyse.

6.4.1.1 Theoretische Grundlage: Kontext

Kriterien für Kontexte zur Förderung von Bewertungskompetenz

Viele Fragen und Themen, die im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung stehen, lassen sich den sogenannten *socio-scientific issues* (SSI) zuordnen (Eggert & Bögeholz, 2010). Der Klimawandel kann unter anderem als geeignetes Beispiel für ein nachhaltigkeitsbezogenes *socio scientific issue* aufgeführt werden (Niebert, 2016; Sadler, 2004; Sadler & Donnelly, 2006). Die Auseinandersetzung mit SSIs hat ihren Ursprung im angloamerikanischen Raum und lässt sich unter dem Begriff *socio scientific decision making* als ein analoges, internationales Konstrukt zur Bewertungskompetenz charakterisieren (Hostenbach, 2011; Sakschewski, 2013).

SSIs sind Themen, die sich an der „Schnittstelle“ (Sakschewski, 2013, S. 24) von Naturwissenschaften und Gesellschaft befinden. Es handelt sich dabei um komplexe Fragen oder Sachverhalte von hoher Relevanz, die ergebnisoffen sind und kontrovers diskutiert werden (Sadler, 2004). Sie besitzen in der Regel keine endgültige Antwort oder Lösung. Diskussionen im Rahmen von SSIs umfassen verschiedene gesellschaftliche und wissenschaftliche Aspekte und enthalten oft konkurrierende Perspektiven (Eggert & Bögeholz, 2010; Sadler & Donnelly, 2006).
SSI eignen sich, Lernende mit aktuellen Problemstellungen zu konfrontieren, bei denen sie sich mit Argumenten auseinandersetzen oder Entscheidungen treffen müssen (Eggert & Bögeholz, 2010). Durch die Aktualität der Fragestellungen soll für Lernende ein Bezug zwischen naturwissenschaftlichen Aspekten und ihrer Lebenswelt hergestellt werden (Sadler, 2004). Probleme und möglichen Handlungsoptionen im Rahmen von SSI werden von einer Vielzahl gesellschaftlicher Faktoren, wie z. B. wirtschaftlichen oder ethischen Aspekten, beeinflusst. Sie können von globaler Natur sein, wie z. B. der Klimawandel, oder lokal, wie z. B. die Standortwahl für ein neues Kraftwerk (Sadler, 2011).

Ein bekanntes Unterrichtskonzept, dass auf die Förderung von Bewertungskompetenz anhand der Auseinandersetzung mit gesellschaftlichen Kontroversen im Sinne von SSIs im naturwissenschaftlichen Unterricht abzielt, ist der *gesellschaftskritisch-problemorientierte* Unterricht (Eilks et al., 2016; Marks et al., 2006). SSIs werden dabei zum Gegenstand des Unterrichts. Sie sind nicht einem vorab ausgewählten fachlichen Inhalt des Curriculums zugeordnet, sondern das Erlernen des fachlichen Inhalts erfolgt mit dem Ziel, die gesellschaftliche Fragestellung auf der Basis von Wissen zu beantworten (Eilks et al., 2016). Ausgearbeitete Unterrichtseinheiten zum *gesellschaftskritisch-problemorientierten* Unterrichtsverfahren für den Chemieunterricht existieren beispielsweise zu den Themen: Biodiesel (Eilks, 2001), Doping (Stolz et al., 2011) oder Tätowierungen (Eilks et al., 2018).
Das Unterrichtskonzept formuliert zur Auswahl eines geeigneten Kontextes insgesamt fünf Kriterien, die sich u.a. an den Merkmalen von SSIs (Sadler, 2004, 2011) anlehnen (Eilks et al., 2016, S. 35). Diese Kriterien werden in Tabelle 9 aufgeführt:

Tabelle 9: Kriterien zur Auswahl eines Kontextes für das gesellschaftskritisch-problemorientiertes Unterrichtsverfahren nach Eilks et al. (2016). S. 35; Marks et al. (2006), S. 71.

Kriterium	Erklärung
Relevanz	Das Thema soll einen unmittelbaren Bezug zum Alltag der Schülerinnen und Schüler aufweisen.
Authentizität	Das Thema soll aktuell und kontrovers in der Gesellschaft diskutiert werden. Es soll sich in Alltagsmedien (Zeitungen, Zeitschriften und Fernseher) wiederfinden.

Offene Bewertungslage	In der Kontroverse gibt es verschiedenen Positionen, die jeweils nicht als eindeutig richtig oder falsch klassifizierbar sind.
Offene Diskutierbarkeit	Das Thema soll offen diskutierbar sein. Meinungsäußerungen mit verschiedenen Standpunkten sind möglich, ohne dass sich der Einzelne aus ethischen oder gesellschaftlichen Zwängen ins Abseits setzt.
Naturwissenschaftlicher Bezug	Das Thema dreht sich um eine naturwissenschaftlich-technische Sachfrage, bei deren Entscheidung das Verständnis naturwissenschaftlicher Zusammenhänge und Fakten die Basis ist.

Auch das von Marohn und Jungkamp (2016) entwickelte Unterrichtskonzept *choice²reflect*, zielt auf die Förderung von Bewertungskompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht anhand kontroverser Themen ab (Jungkamp, 2021; Kralisch, 2022; Marohn & Jungkamp, 2016). Im Rahmen des Konzepts sollen Lernende durch die Erarbeitung und Anwendung von Wissenschaftskriterien zu einer rationalen Bewertung von Kontroversen befähigt werden. Zu den Themen *Homöopathie* (Jungkamp, 2021) und *Nahrungsergänzungsmittel* (Kralisch, 2022) sind exemplarische Unterrichtseinheiten zur Durchführung und Evaluation von *choice²reflect* entwickelt worden. Bei der Auswahl geeigneter Kontexte orientiert sich *choice²reflect* unter anderem an den Kriterien des *gesellschaftskritisch-problemorientierten* Unterrichtverfahrens (s. Tabelle 9) (Jungkamp, 2021; Kralisch, 2022).

Bezogen auf den ersten Schwerpunkt des vorliegenden Projekts, die Förderung von B*ewertungskompetenz*, wird eine Orientierung an den Kriterien des *gesellschaftskritisch-problemorientierten* Unterrichts (Eilks et al., 2016) als geeignet herausgestellt. Bezogen auf den zweiten Schwerpunkt des Projektes *Bildung für nachhaltige Entwicklung* sind darüber hinaus spezifische Kontextkriterien für BNE-Lernprozesse zu ergänzen.

Kriterien für Kontexte zur Förderung von BNE

Die Merkmale von BNE-Lernprozessen wurden bereits in Kapitel 6.4 beschrieben und sind zum Teil bereits in die Gestaltung der Unterrichtskonzeption eingeflossen. Das erste Merkmal *Auswahl und Bearbeitung von exemplarischen Fragestellungen in Hinblick auf Zukunftsrelevanz* (s. Kapitel 6.3), bezieht sich dabei konkret auf die Auswahl eines passenden Kontextes.

In Form einer Checkliste für Lehrkräfte werden in der *Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung* (MSB, 2019d) eine Reihe von Kriterien aufgelistet, die bei der Auswahl von Themen und Fragestellungen für die Gestaltung von BNE-Lernprozessen herangezogen werden können.

Die Auswahlkriterien lauten (MSB, 2019d, S. 26):

- *Aufgreifen relevanter Fragestellungen/Themen aus dem gesellschaftspolitischen und (fach-) wissenschaftlichen Diskurs*
- *Berücksichtigung von neuen Entwicklungen und Erkenntnissen*
- *Beachtung von lokalen und globalen Auswirkungen*
- *Orientierung an der Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler*

Die Entwicklung des methodischen Instruments der Bewertungsscheibe und der zugrunde liegende theoretische Rahmen legen darüber hinaus bereits folgende Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Kontextes zur Anwendung der Bewertungsscheibe im Unterricht nahe:

- Mehrdimensionalität (Anknüpfungspunkte an die drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt, Soziales* und *Wirtschaft*) (s. Kapitel 6.3.1)
- Berücksichtigung verschiedener räumlicher und zeitlicher Perspektiven sowie verschiedener Gruppen (s. Kapitel 6.3.2)

Auswahl Kontext-Kriterien
Um eine sinnvolle Anwendung der Bewertungsscheibe zu ermöglichen, sollte der gewählte Kontext mehrdimensional sein, indem Berührungspunkte mit den drei ausgewählten Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* erkennbar sind. Es sollte weiterhin eine möglichst breite Berücksichtigung der drei Bewertungsebenen (*Raum*, *Zeit* und *Gruppe*) und ihrer Unterscheidung in *lokal/global*, *kurzfristig/langfristig* sowie *eine Gruppe/viele Gruppen* möglich sein. Eine vollständige Berücksichtigung sowohl aller Dimensionen als auch aller Bewertungsebenen hängt jedoch letztlich immer von der verfügbaren Informationslage und dem gewählten Kontext ab (s. Kapitel 6.3.3). Daher ist eine möglichst umfassende Bewertungsmöglichkeit zwar immer anzustreben, kann aber möglicherweise aus verschiedenen Gründen nicht immer erreicht werden, so dass diese Kontexte nicht von vornherein ausgeschlossen werden sollten. Hier ist eine reflektierte Auswahl im Hinblick auf das jeweilige Lernziel erforderlich.

Viele Fragen nachhaltiger Entwicklung lassen sich, wie bereits ausgeführt, als SSI klassifizieren. Es ist jedoch zu beachten, dass nicht alle Fragen nachhaltiger Entwicklung den Kriterien von SSIs entsprechen und daher nicht automatisch alle als solche charakterisiert werden können. Da die Entwicklung des Unterrichtskonzepts jedoch die Förderung von Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung beabsichtigt, eignen

sich in besonderem Maße Themen zu Fragen nachhaltiger Entwicklung, die den Kriterien eines SSI-Kontextes entsprechen.
In Tabelle 10 werden die Kriterien des *gesellschaftskritisch-problemorientierten* Unterrichtsverfahrens (Eilks et al., 2016), die Auswahlkriterien für Fragen und Themen zur Initiierung von *BNE-Lernprozessen* sowie die Kriterien (MSB, 2019d), die sich aus der *unmittelbaren Anwendbarkeit* der Bewertungsscheibe ergeben, gegenübergestellt.

Tabelle 10: Gegenüberstellung der Kriterien.

gesellschaftskritisch-problemorientiertes Unterrichtskonzept	**Merkmale BNE-Lernprozesse**	**Bewertungsscheibe**
Authentizität Relevanz Offene Bewertungslage in Bezug auf gesellschaftlich relevante Fragen offene Diskutierbarkeit Naturwissenschaftlicher Bezug	Orientierung an der Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler Aufgreifen relevanter Fragestellungen/Themen aus dem gesellschaftspolitischen und (fach-) wissenschaftlichen Diskurs Berücksichtigung von neuen Entwicklungen und Erkenntnissen Beachtung von lokalen und globalen Auswirkungen	Anknüpfungspunkte an die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Umwelt, Soziales und Wirtschaft (Mehrdimensionalität Berücksichtigung verschiedener räumlicher und zeitlicher Perspektiven sowie verschiedene Gruppen

Die Betrachtung der Gegenüberstellung führt zu folgendem Fazit:

- Das Kriterium *Authentizität* ist gleichzusetzen mit dem Kriterium *Orientierung an der Lebenswirklichkeit der Schülerinnen und Schüler.*
- Das Kriterium der *Relevanz* entspricht den Kriterien *Aufgreifen relevanter Fragestellungen/Themen aus dem gesellschaftspolitischen und (fach-) wissenschaftlichen Diskurs* sowie *Berücksichtigung von neuen Entwicklungen und Erkenntnissen.*
- Das Kriterium *Beachtung von lokalen und globalen Auswirkungen* entspricht der *Berücksichtigung verschiedener räumlicher Perspektiven*, wie es sich aus Gestaltung der Bewertungsscheibe durch die formulierten Bewertungsebenen ergibt.

- Das Kriterium *Naturwissenschaftlicher Bezug* wird durch eine Umbenennung der Bezeichnung in *Bezug zum naturwissenschaftlichen Curriculum* konkretisiert. Es soll eine konkrete Ausrichtung an den curricularen Vorgaben der Bildungsstandards und Kernlehrplänen der Naturwissenschaftlichen Fächer erfolgen.

Zur Auswahl eines geeigneten Kontextes für die Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht mit Hilfe der Bewertungsscheibe im Rahmen des Unterrichtkonzepts nachhaltig⁝bewerten lassen sich abschließend folgende sieben Kriterien formulieren:

1. Authentizität
2. Relevanz
3. Offene Bewertungslage in Bezug auf gesellschaftlich relevante Fragen
4. Offene Diskutierbarkeit
5. Bezug zu den naturwissenschaftlichen Curricular
6. Mehrdimensionalität
7. Berücksichtigung verschiedener räumlicher und zeitlicher Perspektiven sowie verschiedener Gruppen

Die Herausstellung der Kriterien stellt die Antwort zur Sub-Forschungsfrage 2.1.1 dar. Ausgehend von diesen entwickelten Kriterien erfolgt in Kapitel 6.4.1.2 die Auswahl und Erläuterung eines geeigneten Themas zur praktischen Umsetzung theoretisch entwickelten Unterrichtkonzepts (Mesozyklus 1). Die Auswahl erfolgt spezifisch für den Chemieunterricht und fokussiert damit die zweite Sub-Forschungsfrage 2.1.2.

6.4.1.2 Elektromobilität

Unter Berücksichtigung der entwickelten Kriterien für geeignete Kontexte zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht (s. Kapitel 6.4.1.1) erfolgt die Auswahl eines geeigneten Beispielkontexts für eine exemplarische Unterrichtseinheit für das Fach Chemie (FF 2.1.2):

Im Rahmen des Projekts wurde als geeigneter Beispielkontext zur Erprobung und Evaluation des Unterrichtskonzepts „nachhaltig⁝bewerten“ das Thema *Elektromobilität* ausgewählt. Als Zielgruppe ergibt sich die Sekundarstufe I für Gymnasien und Gesamtschule. Im folgenden Kapitel wird zunächst eine Sachanalyse des Themas durchgeführt und anschließend eine kriterienbasierte Begründung des Kontextes aufgeführt. Abschließend

erfolgt eine didaktische Analyse des Themas zur Entwicklung und Gestaltung der Unterrichtsmaterialien.

Sachanalyse

Die Elektromobilität gilt als „Baustein einer nachhaltigen, klima- und umweltverträglichen Mobilität“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2018, S. 3) bezeichnet. Sie ist eines der zentralen Themen in der politischen und gesellschaftlichen Debatte um eine nachhaltige Entwicklung (Die Bundesregierung, 2011). Häufig werden die Vor- und Nachteile von Elektroautos kontrovers diskutiert. Die Aspekte sind vielfältig und betreffen viele unterschiedliche Bereiche.

Die Zahl der in Deutschland zugelassenen Elektroautos hat im Januar 2023 die lange angestrebte Marke von einer Million überschritten (Kraftfahrt-Bundesamt, 2023). Insbesondere in den letzten Jahren ist die Zahl der Elektrofahrzeuge stark angestiegen: Zu Beginn des vorliegenden Projekts im Jahr 2020 waren 136.617 Elektroautos auf deutschen Straßen zugelassen (Kraftfahrt-Bundesamt, 2023). Bis zum aktuellen Projektzeitpunkt hat sich diese Zahl verzehnfacht. Aktuelles Ziel der Bundesregierung ist es, bis zum Jahr 2030 15 Millionen elektrisch betriebene Pkws auf die Straße zu bringen (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022).

Im Gegensatz zu Autos mit einem Verbrennungsmotor, die auf fossile Brennstoffe angewiesen sind, werden Elektroautos von einem Elektromotor angetrieben. Dieser wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um (Karle, 2020). Zusätzlich kann bei Elektrofahrzeugen durch sogenanntes regeneratives Bremsen kinetische Energie zurückgewonnen, in elektrische Energie umgewandelt und in die Batterie zurückgespeist werden (Karle, 2020). Der Wirkungsgrad eines Elektromotors liegt bei fast 90 Prozent (Karle, 2020).

Das in Elektrofahrzeugen am häufigsten verwendete Speichermedium zur Speicherung elektrischer Energie ist der Lithium-Ionen-Akkumulator. Akkumulatoren können im Vergleich zu Batterien auf- und entladen werden (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021; Karle, 2020). Die Strecke, die ein Elektrofahrzeug von einer vollständigen Ladung bis zur nächsten Ladung zurücklegen kann, wird als Reichweite bezeichnet und in Kilometern angegeben (Karle, 2020). Die von den Herstellern angegebenen Reichweiten variieren je nach Fahrzeugmodell und Batterieleistung. Die tatsächliche Reichweite wird von vielen Faktoren wie Geschwindigkeit oder Außentemperatur beeinflusst (Kremer & Marohn, 2022). Die größte Reichweite liegt derzeit bei über 800 km, die geringste Reichweite bei ca. 120 km (ADAC, 2023). Die Durchschnittsreichweite lag 2020 bei ca. 350 km (Energis, 2023).

Eng verknüpft mit der Reichweite ist die Frage nach der Infrastruktur der Ladesäulen. Diese ist eine der wichtigsten Vorrausetzungen für die gesellschaftliche Akzeptanz von Elektromobilität und einer der häufigsten Gründe für die Ablehnung eines Elektroautos

(Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2023). Der Ausbau der Ladesäulen soll durch ein 2022 neu aufgesetztes umfangreiches Maßnahmenpaket der Bundesregierung bis 2030 erheblich vorangetrieben werden (Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), 2022).
Die Entscheidung gegen den Kauf eines Elektroautos wird häufig mit den höheren Anschaffungskosten begründet (Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2023). Durch technologische Weiterentwicklung und einer erwarteten steigenden Nachfrage dürften die Preise für Elektroautos in Zukunft sinken. Auch das seit 2015 gültige Elektromobilitätsgesetz der Bundesregierung fokussiert den Aspekt der Kosten. Das Gesetz bezieht sich auf die *Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge* und soll durch verschiedene Privilegien und Fördermaßnahmen wie den Umweltbonus für den Kauf eines neuen Elektroautos Anreize für den Umstieg schaffen (Der deutsche Bundestag, 2015).

Elektroautos verursachen im lokalen Fahrbetrieb keine direkten Emissionen von Kohlenstoffdioxid oder Stickoxiden, jedoch von Feinstaub. Dieser kann durch Faktoren wie Bremsen oder Reifenabrieb auch beim Elektroauto nicht vermieden werden (Kämper et al., 2020). Dadurch gelten sie als „klimafreundlicher“ (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2018, S. 2) im Verkehr und leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz.
In der Diskussion um Elektroautos spielt aber die Frage nach der Herkunft des erzeugten Stroms eine wichtige Rolle. Die tatsächlichen Kohlenstoffdioxid-Emissionen eines Elektroautos hängen von verschiedenen Faktoren ab, insbesondere von der Art der Stromerzeugung zum Laden der Batterie und der Fahrzeugherstellung (BMU, 2018). Nur wenn der Strom vollständig aus erneuerbaren Energien erzeugt wird, kann eine deutliche Reduzierung der Kohlenstoffdioxid-Emissionen gelingen (Kämper et al., 2020).

Der Straßenverkehr in Deutschland ist eine erhebliche Lärmquelle, die viele Menschen stört und als Stressfaktor mit möglichen gesundheitlichen Auswirkungen eingestuft wird (Beutel & Möhler, 2021). Das Motorengeräusch von Verbrennungsmotoren trägt im Stadtverkehr bei den dort zulässigen Geschwindigkeiten wesentlich zum Lärm bei. Elektrofahrzeuge können daher aufgrund ihres geräuscharmen Antriebs zur Lärmminderung in Städten beitragen. Bei höheren Geschwindigkeiten dominieren jedoch Reifen- und Fahrbahngeräusche, so dass der Unterschied zwischen Elektro- und Verbrennungsfahrzeugen außerhalb von Städten gering ist (BMU, 2018; Karle, 2020). Seit 2021 gibt eine EU-Verordnung vor, dass neu zugelassene Elektroautos mit einem sogenannten *Acoustic Vehicle Alerting System* (AVAS) ausgestattet sein müssen (Europäischen Union, 2014). Die Verordnung soll besonders zum Schutz sehbehinderter oder blinder Menschen beitragen, die auf akustische Geräusche im Straßenverkehr angewiesen sind. Aber auch die

Sicherheit aller anderen Verkehrsteilnehmenden (z. B. Kinder oder Radfahrer) soll dadurch erhöht werden (BMU, 2018; Karle, 2020).

Lithium-Ionen-Akkumulatoren bestehen aus verschiedenen Rohstoffen. Wie sich dem Namen entnehmen lässt, ist Lithium einer der Bestandteile. Häufig besteht die Anode aus Graphit und die Kathode aus Nickel, Mangan und Kobalt. Daneben werden in geringeren Mengen noch weitere Metalle wie Kupfer oder Aluminium verbaut (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021; Thielmann et al., 2020).
Bei der Betrachtung der Rohstoffe als wichtiger Bestandteil der Diskussion um Elektromobilität sind insbesondere Lithium und Kobalt hervorzuheben (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021). Durch den steigenden Bedarf bei der Herstellung von Elektroautos werden vor allem Lithium und Kobalt verstärkt nachgefragt. Dies hat aktuelle und zukünftige Auswirkungen auf den Rohstoffmarkt. Genaue Berechnungen des Rohstoffbedarfs sind derzeit schwer vorherzusagen, da sie von verschiedenen Faktoren wie Batteriegröße und technischen Innovationen abhängen (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021).
Das höchste Versorgungsrisiko wird derzeit für Kobalt gesehen. Die erwartete Nachfragesteigerung und die begrenzte Verfügbarkeit könnten zu Versorgungsengpässen führen, insbesondere aufgrund der dominierenden Rolle der Demokratischen Republik Kongo als Hauptproduzent (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021). Insgesamt werden 69 % des Marktanteils von Kobalt im Kongo durch Bergbau gewonnen. Das abgebaute Kobalt wird überwiegend weiter nach China zur Batteriezellfertigung exportiert (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021). Durch die langen Transportwege innerhalb der Produktionskette entstehen hohe Emissionen.
Ein Anteil des Kobalts wird durch Kleinbergbau unter prekären Arbeitsbedingungen gewonnen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021; Thielmann et al., 2020). Viele Minen sind informell und weisen kaum Sicherheitsstandards auf. Dadurch arbeiten die Menschen unter großen gesundheitlichen Risiken (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021). Auch Kinderarbeit und weitere Menschenrechtsverletzungen stehen im Zusammenhang mit dem Abbau von Kobalt in der demokratischen Republik Kongo (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021; Thielmann et al., 2020).
Zahlreiche Initiativen haben das Ziel, die Wertschöpfungsprozesse von Kobalt transparenter zu gestalten, um wirksame und nachhaltige Maßnahmen gegen Kinderarbeit und andere Missstände zu ergreifen (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021; Thielmann et al., 2020).
Diesen sozialen Missständen steht gegenüber, dass der Kleinbergbau für viele Betroffene, die in den Kobaltminen arbeiten, oft die einzige existenzsichernde Erwerbstätigkeit ist. Auch für die Umwelt wird der Kobaltabbau mit negativen Auswirkungen in Verbindung

gebracht (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021). Giftige Chemikalien und unsachgemäße Abfallentsorgung führen zur Verschmutzung von Gewässern und Böden. Zudem führt der Bergbau zur Abholzung von Wäldern und Zerstörung von Ökosystemen (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021).

Auch bei der Gewinnung von Lithium gibt es viele kritische Punkte. Die größten Lithiumreserven befinden sich in Südamerika. Der Abbau von Lithium konzentriert sich vor allem auf Chile und Argentinien sowie auf Australien, das der größte Produzent von Lithium als Festgestein ist(Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021). In Südamerika wird Lithium aus den lithiumhaltigen Solen (Salzseen) gewonnen, die über Bohrlöcher an die Oberfläche gepumpt werden und durch Verdunstung des Wassers bleibt Lithium in konzentrierter Salzlösung zurück. Anschließend wird es in chemischen Prozessen für die Batteriezellfertigung aufbereitet und verarbeitet. Hier findet bei beim Kobalt ebenfalls ein überwiegender Transport nach China statt (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021).

Der Abbau von Lithium wird vor allem wegen seiner schädlichen Umweltauswirkungen kritisiert. Für die Gewinnung aus Solen werden große Mengen Wasser benötigt. Dies birgt die Gefahr von Wasserknappheit und Versorgungsrisiken. Betroffene Ökosysteme können Lebensräume für Tiere und Pflanze sein, die durch den Eingriff zerstört werden (Flexer et al., 2018).
Weitere Umweltschäden können durch Chemikalien entstehen, die bei der Gewinnung und Verarbeitung von Lithium eingesetzt werden. Bei unsachgemäßer Entsorgung können Boden und Wasser verunreinigt werden (Flexer et al., 2018).
Soziale Risiken des Lithiumabbaus können unter anderem die Rechte indigener Bevölkerungsgruppen betreffen. Es bestehen Spannungen bezüglich der Land- und Ressourcennutzung (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021).
Das Recycling von Lithium-Ionen-Akkumulatoren gilt als einer der wichtigsten Punkte, um die beschriebenen Umweltauswirkungen zu reduzieren. Hier besteht noch ein großer Bedarf an der Entwicklung und Verbesserung von Recyclingprozessen (Melin, 2019). Ziel ist es unter anderem, eine Kreislaufwirtschaft für Lithium-Ionen-Akkumulatoren zu ermöglichen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021). Derzeit liegt der wirtschaftliche Schwerpunkt auf der Rückgewinnung von Kobalt, Nickel und Kupfer. Die Verwendung von recyceltem Kobalt in Batterien wird jedoch durch die Notwendigkeit einer sehr reinen Zusammensetzung eingeschränkt (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021; Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021). Lithium wird nur in sehr geringem Umfang recycelt, da dies bisher weder technisch gut möglich noch wirtschaftlich

rentabel ist (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021; Melin, 2019).

Für die Automobilindustrie in Deutschland ergeben sich aus dem Übergang zur Elektromobilität Chancen und Herausforderungen zugleich. Einerseits gewinnt die Batteriezellfertigung an Bedeutung, andererseits verliert der Bereich der Verbrennungsmotoren an Relevanz (Agora Verkehrswende, 2021). Dies wird auch durch politische Zielsetzungen verstärkt (Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2023a). Daraus können sich Veränderungen in der Beschäftigungsstruktur und in den Tätigkeitsfeldern ergeben. Der Bedarf an Fachkräften in der Elektrotechnik oder der Batterietechnologie steigt (Spath et al., 2012). Insgesamt dürfte die Zahl der Arbeitsplätze jedoch stabil bleiben, im Kern verändert sich vor allem die Art der Beschäftigung (Agora Verkehrswende, 2021). Dies kann unter anderem zu einer Verlagerung von Arbeitsplätzen führen. Insbesondere die ostdeutschen Bundesländer könnten von der Transformation zur Elektromobilität profitieren. Durch den geplanten bzw. bereits realisierten Bau neuer Batteriezellfabriken (z. B. in Brandenburg) ist dort mit einem Beschäftigungszuwachs zu rechnen (Agora Verkehrswende, 2021).

Kriterienbasierte Kontext-Auswahl

Basierend auf den in der Sachanalyse dargestellten Inhalten werden im folgenden Kapitel die entwickelten Kriterien angewendet und in Bezug zum Thema *Elektromobilität* gesetzt.

1. Authentizität

Der Kontext Elektromobilität erfüllt das Kriterium *Authentizität*, da er aktuell in der Gesellschaft diskutiert wird. Eine Präsenz lässt sich in verschiedenen Alltagsmedien finden. Dazu gehören neben den „klassischen" Medien wie der Zeitung oder als Diskussionsthema in Talkshows auch Beiträge in Social Media, z. B. durch Instagram-Posts.

2. Relevanz

Das Thema Mobilität hat in unserer Gesellschaft einen hohen Stellenwert und berührt den Alltag der Schülerinnen und Schüler unmittelbar. Insbesondere Entscheidungen zur Elektromobilität - auch auf politischer Ebene - betreffen neben dem aktuellen Alltag auch das zukünftige Leben der Schülerinnen und Schüler. So können beispielsweise konkrete Entscheidungen über Wandertage und Klassenfahrten oder auch private Urlaube mit der Familie oder Freunden zu einer Diskussion über ein geeignetes Fortbewegungsmittel in Bezug auf eine klimafreundliche Variante führen.

3. Offene Bewertungslage in Bezug auf gesellschaftlich relevante Fragen
Die Bewertung von *Elektromobilität* unterliegt vielfältigen Faktoren. Es gibt unterschiedliche Positionen, die zu einer kontroversen Diskussion über den Einsatz von Elektrofahrzeugen führen. Die Schwerpunkte der Pro- und Contra-Argumente sind häufig von den Interessen der jeweiligen Vertreter:innen der Positionen geprägt. Die Bewertungssituation zeichnet sich daher vor allem durch eine hohe Komplexität aus.

4. Offene Diskutierbarkeit
Es gibt verschiedene Meinungen und Standpunkte zu *Elektromobilität*, die sich durch eine offene Diskutierbarkeit auszeichnen.

5. Mehrdimensionalität
Das Thema *Elektromobilität* lässt sich in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen verordnen. An dieser Stelle erfolgt eine exemplarische Zuordnung einzelner Inhalte zu den drei Dimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft*:

Umwelt:
Elektroautos haben im Gegensatz zu Autos mit Verbrennungsmotor keinen Auspuff und fahren daher lokal emissionsfrei, was klimarelevante Emissionen wie Kohlendioxid oder Luftschadstoffe wie Stickoxide oder Feinstaub betrifft. Allerdings werden Feinstaubemissionen auch durch andere Faktoren wie Reifenabrieb verursacht, so dass beim Fahren in geringem Umfang Emissionen entstehen. Bei der Betrachtung der Gesamtumweltbilanz ist insbesondere auf die Art der Stromerzeugung zu achten. Der Strom, der für das Laden der Fahrzeuge, die Fahrzeugherstellung und andere Schritte im Lebenszyklus eines Elektroautos benötigt wird, wird derzeit noch nicht vollständig aus erneuerbaren Energien gewonnen. Neben den Aspekten der schädlichen Emissionen beziehen sich zahlreiche Aspekte des Rohstoffbedarfs auf die Umweltdimension und die Eingriffe in die Ökosysteme der betroffenen Regionen. Beispielhaft sei hier die Problematik des Lithiumabbaus genannt.

Soziales:
Die soziale Dimension wird durch verschiedene Aspekte berührt. Durch eine mögliche Reduzierung der Emissionen beim Autofahren kann es zu einer Verbesserung der Luftqualität in den Städten und damit zu einer Reduzierung von gesundheitsschädlichen Abgasen kommen. Ein weiterer Gesundheitsaspekt ergibt sich aus der möglichen Lärmreduzierung, die zu einer Stressreduzierung beim Menschen führen kann. Menschenrechtsverletzungen und Kinderarbeit sind aufgrund der prekären Arbeitsbedingungen in den betroffenen Ländern mit dem Abbau der Rohstoffe verbunden. Der Abbau von Kobalt erfolgt u.a. in informellen Minen, teilweise ohne Sicherheitsvorkehrungen und Werkzeuge und mit geringer finanzieller Entschädigung.

Wirtschaft:
Die wirtschaftliche Dimension wird beispielsweise durch Aspekte wie den Bau von Elektroautos und die Auswirkungen auf die Arbeitsplätze in der Automobilindustrie berührt. Auch die Kosten eines Elektroautos, die derzeit mit Steuerbefreiungen und Kaufprämien verbunden sind, haben wirtschaftliche Aspekte. Darüber hinaus berühren auch Wirtschaftsbeziehungen zwischen verschiedenen Ländern (z. B. durch die Batteriezellenproduktion in China) oder Fragen des Recyclings (z. B. Kreislaufwirtschaft) ökonomische Fragestellungen.

6. Berücksichtigung verschiedener räumlicher und zeitlicher Perspektiven sowie verschiedener Gruppen
Beispiele für die räumliche Perspektive sind unter anderem die unterschiedlichen Auswirkungen von Emissionen auf Umwelt und Gesundheit auf lokaler und globaler Ebene. Der schädliche Abbau von benötigten Rohstoffen wie Kobalt unter menschenunwürdigen Bedingungen betrifft vor allem die Menschen und die Umwelt in den Abbaugebieten. Hier lassen sich verschiedene Gruppen benennen: Die Arbeiter:innen in den Minen, die indigene Bevölkerung in Südamerika, die Betreiber:innen der Minen, die von den Exporten in andere Länder profitieren und andere. Aber auch Arbeiter:innen in der Automobilindustrie können hier aufgeführt werden. Eng mit der zeitlichen Perspektive verbunden sind unter anderem politische Zielsetzungen, die einen Ausblick darauf geben, welche Auswirkungen in der Zukunft mehr Nutzen stiften können, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind, z. B. der Umstieg auf erneuerbare Energien. Auch bei der Diskussion um die Nutzung der Rohstoffe ist es wichtig, von welchem Forschungsstand diese erfolgt und zu wissen, welche Möglichkeiten noch nicht ausgeschöpft sind.

7. Bezug zu den naturwissenschaftlichen Curricular
Elektromobilität kann unter verschiedenen naturwissenschaftlich-technischen Fragestellungen im Unterricht behandelt werden. Wichtige Aspekte der gesellschaftlichen Diskussion um den Einsatz von Elektroautos setzen das Verständnis der naturwissenschaftlichen Grundlagen sowie das Erkennen bestehender Zusammenhänge voraus.
Der Bezug zu den curricularen Vorgaben der Naturwissenschaften wird für das Projekt konkret auf das Fach Chemie bezogen. Dazu werden zugehörige Inhalte und mögliche Anknüpfungspunkte für Elektromobilität anhand des Kernlehrplans Chemie für die Sekundarstufe I Nordrhein-Westfalen (MSB NRW 2019b) skizziert. Ergänzend wird auch auf die Ausführungen der Leitlinie BNE NRW für das Fach Chemie verwiesen (MSB NRW, 2019d).

Inhaltsfeld 4: Metalle und Metallgewinnung

Für den Bau von Akkumulatoren in Elektroautos werden verschiedene Metalle benötigt, z. B. Lithium, Kobalt, Nickel, Aluminium oder Kupfer. Im Chemieunterricht kann unter

anderem die Verfügbarkeit und Gewinnung der benötigten Metalle thematisiert und die Leistungsfähigkeit und Effizienz der Metalle untersucht werden. Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit können im Rahmen des Inhaltsfeldes 4 insbesondere der „verantwortungsvolle Umgang mit Rohstoff- und Energieressourcen“ und die „Notwendigkeit des Recyclings“ (MSB NRW, 2019b, S. 16) diskutiert werden.
Inhaltsfeldbezogenen konkretisierte Kompetenzerwartungen (MSB NRW 2019b, S. 24):
„Die Schülerinnen und Schüler können…

- *ausgewählte Verfahren zur Herstellung von Metallen* erläutern *und ihre Bedeutung für die gesellschaftliche Entwicklung beschreiben (E7).*

- *die Bedeutung des Metallrecyclings im Zusammenhang mit Ressourcenschonung und Energieeinsparung beschreiben und auf dieser Basis das eigene Konsum- und Entsorgungsverhalten bewerten (B1, B4, K4).“*

Inhaltsfeld 7: Chemische Reaktionen durch Elektronenübertragung
Im Bereich der Elektrochemie können Batterien bzw. Akkumulatoren untersucht und verschiedene Batterietypen, wie z. B. der Lithium-Ionen-Akku, behandelt werden. Dazu kann die Funktionsweise von Batterien untersucht werden und auf fachlicher Ebene z. B. die Inhalte Elektrochemie, Redoxreaktionen und Elektrolyse integriert werden.
Inhaltsfeldbezogenen konkretisierte Kompetenzerwartungen (MSB NRW 2019b, S. 31):
„Die Schülerinnen und Schüler können…

- *die chemischen Prozesse eines galvanischen Elements und einer Elektrolyse unter dem Aspekt der Umwandlung in Stoffen gespeicherter Energie in elektrische Energie und umgekehrt erläutern (UF2, UF4).*

- *den grundlegenden Aufbau und die Funktionsweise einer Batterie, eines Akkumulators und einer Brennstoffzelle beschreiben (UF1).*

- *Kriterien für den Gebrauch unterschiedlicher elektrochemischer Energiequellen im Alltag reflektieren (B2, B3, K2).“*

Inhaltsfeld 10: Organische Chemie
Wesentlich in der Debatte um den Einsatz von Elektroautos ist deren Beitrag zum Klimaschutz. Verbrennungsmotoren werden durch fossile Brennstoffe wie Benzin oder Diesel angetrieben. Durch die Verbrennungsreaktionen entstehen im Fahrbetrieb daher unter anderem große Mengen Kohlenstoffdioxid. Im Chemieunterricht können kann an dieser Stelle neben der Thematisierung des beispielhaften Treibhausgases Kohlenstoffdioxid auch die Vor- und Nachteile von fossilen Brennstoffen im Vergleich zu erneuerbaren Energien aus verschiedenen Perspektiven behandelt werden (MSB NRW, 2019a). Inhaltsfeldbezogenen konkretisierte Kompetenzerwartungen (MSB NRW 2019b, S. 35 f.):

„Die Schülerinnen und Schüler können…

- *Treibhausgase und ihre Ursprünge beschreiben (UF1).*
- *Vor- und Nachteile der Nutzung von fossilen und regenerativen Energieträgern unter ökologischen, ökonomischen und ethischen Gesichtspunkten diskutieren (B4, K4).*
- *am Beispiel eines chemischen Produkts Kriterien hinsichtlich Verwendung, Ökonomie, Recyclingfähigkeit und Umweltverträglichkeit abwägen und im Hinblick auf die Verwendung einen eigenen sachlich fundierten Standpunkt beziehen (B3, B4, K4).“*

Die aufgeführten fachlichen Inhalte zeigen, wie vielfältig das Thema Elektromobilität für den Chemieunterricht genutzt werden kann. Der Verweis auf die konkretisierten Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans zeigt, dass nicht nur verschiedene Inhaltsfelder betroffen sind, sondern auch Bezüge zu allen Kompetenzbereichen zu finden sind, insbesondere im Hinblick auf die Bewertungskompetenz. Die ausgewählte Zielgruppe der Sekundarstufe I fokussiert in Anlehnung an den Kernlehrplan insbesondere die neunte Jahrgangsstufe an Gymnasien und Gesamtschulen.

Die Anwendung der entwickelten Kriterien auf das Thema *Elektromobilität* zeigt umfassend die Eignung zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im Chemieunterricht für die Zielgruppe der Jahrgangsstufe I (9. Jahrgangsstufe) auf und bestätigt damit die getroffene Auswahl.

Didaktische Analyse

In den vorangegangenen Abschnitten wurde das Thema *Elektromobilität* im Rahmen einer Sachanalyse dargestellt und durch eine Überprüfung der formulierten Kriterien als geeignet herausgestellt. Im folgenden Abschnitt soll begründet herausgestellt werden, welche Aspekte des fachlichen Inhalts von Elektromobilität für die Erstellung von Lernmaterialien geeignet sind.

Das Thema Elektromobilität umfasst zahlreiche Aspekte und zeichnet sich durch eine hohe Komplexität aus. Eine didaktische Reduktion des fachlichen Inhalts ist daher sinnvoll und notwendig. Der Schwerpunkt der geplanten Unterrichtseinheit liegt vor allem auf der Förderung der Bewertungskompetenz, so dass die Auswahl der Aspekte unter dem Ziel steht, die Schülerinnen und Schüler zu einer solchen Bewertung zu befähigen. Für die Bewertung der Nachhaltigkeit von Elektromobilität benötigen die Lernenden ganz konkrete Informationen, die sie sich zunächst inhaltlich erarbeiten und in einem zweiten Schritt für ihre Bewertung nutzen können. Wie gezeigt wurde, erfüllt das Thema Elektromobilität umfassend die benötigten Kriterien zur Bewertung und Reflexion von

Nachhaltigkeit. Damit wurde bereits herausgestellt, dass sich das Thema als geeignet für den Chemieunterricht bewiesen hat. Im Sinne einer didaktischen Analyse gilt es hier noch zu beschreiben, welche konkreten Inhalte für die Lernenden im Rahmen des Projekts ausgearbeitet werden sollten und welche Lernziele zugrunde liegen.
Die Auswahl der Aspekte orientiert sich an den Kriterien zur Kontextauswahl (s. Kapitel 6.4.1.1, S. 133). Einzelne Aspekte auszuwählen, kann dazu führen, dass z. B. nur eine Nachhaltigkeitsdimension schwerpunktmäßig betrachtet wird. Daher ist eine Kombination verschiedener Aspekte erforderlich, die in ihrer Gesamtheit die Kriterien umfassend erfüllen. Ein Beispiel ist der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid. Dieser Aspekt betrifft vor allem den Bereich der Umwelt. Ein weiterer, eher eindimensional zu betrachtender Aspekt ist die Frage nach einer möglichen Lärmreduktion durch den Einsatz von Elektrofahrzeugen. Dies betrifft insbesondere die soziale Dimension im Hinblick auf die Gesundheit der Menschen. Das Lernziel der Materialien in ihrer Gesamtheit sollte sein, dass Schülerinnen und Schüler die *Multidimensionalität* von Elektromobilität erfassen und durch die Auswahl der Aspekte beschreiben können. Damit Lernende zu einer mehrdimensionalen Bewertung befähigt werden, müssen die ausgewählten Aspekte die wesentlichen Punkte in der Debatte um Elektromobilität in den verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen widerspiegeln. Dazu gehören neben den direkten Anknüpfungspunkten an die Inhaltsfelder des Faches Chemie, wie die Betrachtung von klimaschädlichen Gasen wie *Kohlendioxi*d, der Ausstoß von Luftschadstoffen wie *Stickoxiden* und *Feinstaub* und die *Rohstoffe* für die Akkumulatoren der Elektroautos, auch Themen *Kosten* und der *Lärm* eines Elektroautos, die *Reichweite* und die möglichen Veränderungen auf dem *Arbeitsmarkt*.
Zur Erreichung des Lernziels der mehrdimensionalen Bewertung wurde eine Auswahl von acht Aspekten getroffen, die in ihrer Gesamtheit umfassend die Komplexität von Elektromobilität aufzeigen:

- Ausstoß von Kohlenstoffdioxid
- Ausstoß von Stickoxiden
- Ausstoß von Feinstaub
- Rohstoffe
- Lärm
- Arbeitsplätze
- Kosten
- Reichweite

Die Aspekte unterscheiden sich in Hinblick auf den Umfang ihrer angestrebten Ausarbeitung in vier „große“ Aspekte und vier „kleine“ Aspekte. Die Aspekte *Kohlenstoffdioxid*, *Stickoxide*, *Feinstaub* und *Rohstoffe* beinhalten konkrete Anknüpfungsmöglichkeiten an

die curricularen Vorgaben des Chemieunterrichts (s. Kapitel 2.6) und sollen daher einer ausführlicheren Ausarbeitung des Materials unterliegen („große Aspekte“). Sie bieten unter anderem die Möglichkeit Versuche in den Materialien einzusetzen und können auch unabhängig in Unterrichtseinheiten des Chemieunterrichts integriert werden. Für Lehrende sind diese Aspekte dadurch besonders attraktiv.
Die Aspekte *Lärm*, *Arbeitsmarkt*, *Kosten* und *Reichweite* werden als „kleine“ Aspekte bezeichnet. Sie sind präsenter und aktueller Bestandteil der Diskussion um Elektromobilität und sollten bei der Umsetzung nicht ausgelassen werden. Sie sind jedoch nicht chemiespezifisch und sollen daher einer weniger intensiven Betrachtung unterzogen werden. Darüber hinaus wird eine didaktische Reduktion der ausgewählten Aspekte auf den nationalen Raum angestrebt. Emissionsgehalte beispielsweise von Kohlenstoffdioxid sind länderspezifisch und unter anderem abhängig von nationalen Gesetzen und politischen Regelungen der jeweiligen Länder. Ebenfalls die Frage nach Veränderungen auf dem Arbeitsmarkt oder eine Aufstellung der Kosten lässt sich nicht für alle Nationen verallgemeinern. Daher wird an entsprechenden Stellen die Ausarbeitung der Aspekte auf das Beispiel Deutschland eingeschränkt. Ebenfalls sollte eine Vereinfachung auf die Betrachtung rein elektrisch betriebener Fahrzeuge, also keine Hybrid-Modelle, gegenüber einem Beispiel von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor (Fokus Ottomotor) fokussiert werden. Im Mittelpunkt aller Materialien soll immer ein direkter Vergleich beider Fahrzeugtypen in Bezug auf den jeweiligen Aspekt stehen. Aufgrund der Komplexität des Themas ist der Einsatz von Vereinfachungen zur Hervorhebung der wesentlichen Punkte des Vergleichs zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor daher unvermeidbar.

6.4.2 Theoretische Gestaltungsgrundlage

FF 2.2: In welcher Weise können Lernmaterialien zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit gestaltet werden?

Im folgenden Kapitel wird zunächst die theoretische Grundlage für die Entwicklung und Gestaltung der Lernmaterialien dargestellt. Dazu werden folgende Fragen fokussiert:

FF 2.2.1: Welche Gestaltungsprinzipien sollte das Lernmaterial berücksichtigen?

FF 2.2.2: Welche Elemente sollte das Lernmaterial enthalten?

Es werden Gestaltungsprinzipien aufgezeigt, die bei der Gestaltung der Lernmaterialien zu berücksichtigen sind (FF 2.2.1). Außerdem werden Elemente benannt, die das Lernmaterialien enthalten soll (FF 2.2.2).

Ziel der Entwicklung und Gestaltung der Lernmaterialien ist es, eine Anwendung der Bewertungsscheibe auf die verschiedenen Aspekte von Elektromobilität zu ermöglichen.

6.4.2.1 Gestaltungsprinzipien

Cognitive Load Theory

Die *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) basiert auf der Annahme, dass das Arbeitsgedächtnis über eine begrenzte Kapazität verfügt. Das Arbeitsgedächtnis ist der Ort, an dem neue Informationen zuerst gespeichert werden, zum Beispiel wenn es darum geht, Lernmaterialien zu bearbeiten. Eine Überlastung des Arbeitsgedächtnisses kann zu einer Einschränkung des Lernens führen. Aus diesem Grund besteht das Hauptziel darin, die verfügbaren kognitiven Ressourcen von Lernenden optimal für lernrelevante Verarbeitungsprozesse zu nutzen. Bei der Gestaltung und Entwicklung effektiver Lernmaterialien sollte der Schwerpunkt auf der Reduzierung der Belastung des Arbeitsgedächtnisses liegen. Ziel ist es, es eine langfristige Veränderung des Langzeitgedächtnisses zu erreichen (Sweller et al., 2011).

In der *Cognitive Load Theory* wird zwischen den folgenden drei Belastungsarten unterschieden: Die *intrinsische* Belastung bezieht sich auf den Lerninhalt. Sie steigt für die Lernenden mit der Schwierigkeit und Komplexität des Lerninhalts. Wenn Lernende über ein höheres Vorwissen zum Lerninhalt verfügt, verringert sich hingegen die Belastung (Heinen & Heinicke, 2021). Insgesamt sollte der Lerninhalt auf das Wesentliche eingegrenzt werden und nicht notwendige „additive Informationen“ sollten vermieden werden (Heinicke & Lumer, 2018, S. 31).
Die *extrinsische* Belastung bezieht sich im Vergleich dazu auf die Darstellung und Gestaltung des Lerninhaltes (Chandler & Sweller, 1991 zitiert nach Heinen & Heinicke, 2021). Die Kapazität, die für das Verstehen von Aufgabenstellungen und das Filtern von Informationen verwendet werden, wird als *extrinsische Ressour*cen bezeichnet (Sweller et al., 2011). Bei der Gestaltung und Entwicklung von Lernmaterialien ist die Reduzierung der extrinsischen Belastung von besonderer Bedeutung um einen möglichst hohen Lernerfolg zu ermöglichen. Ein Beispiel ist die ungünstige Anordnung von Bild und Text in Lernmaterialien (Heinen & Heinicke, 2018).
Der eigentliche Lernprozess zur Verarbeitung der dargestellten Informationen betrifft die *lernbezogene* Belastung. Diese sollte einen möglichst hohen Anteil, durch die Reduzierung an *intrinsischer* und *extrinsischer* Belastung in der Gestaltung von Lernmaterialien, an der Gesamtkapazität des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen können (Heinicke & Lumer, 2018).

Cognitive Theory of Multimedia Learning

Eine Erweiterung und Ergänzung der *Cognitive Load Theory* stellt die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* nach Mayer (2021a) dar. Beide Theorien sind eng miteinander verknüpft und beziehen sich auf kognitive Prozesse des Lernens.

Die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* befasst sich spezifisch mit multimedialen Lernumgebungen und basiert nach Mayer (2021a) auf drei wesentlichen Annahmen: Die *dual channel assumption* besagt, dass Lernende Informationen über zwei getrennte Verarbeitungskanäle aufnehmen. Zum einen über den visuellen Kanal und zum anderen über den auditiv-verbalen Kanal. Durch die gleichzeitige Präsentation relevanter Informationen über visuelle und auditive Kanäle kann die Integration von Informationen im Gedächtnis verbessert werden. Es wird also die Bedeutung einer multimedialen Gestaltung von Lernmaterialien, zum Beispiel durch die Kombination von Text und Bild hervorgehoben. Dies kann zu einer effektiveren Verarbeitung der Inhalte bei den Lernenden führen und den Lernerfolg steigern (R. E. Mayer, 2021a).

Die zweite Annahme, die *limited capacity assumption,* beschreibt in Bezug zur *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) die begrenzte Kapazität der beiden Kanäle. Lernmaterialien sollten Informationen in einem ausgeglichenen Verhältnis (beispielsweise eine Text-Bild-Kombination) beider Kanäle bereithalten sodass es nicht zu einer Überlastung (*cognitive overload*) (R. E. Mayer, 2021a).

Die *active processing assumption* (aktive Verarbeitung) beschreibt die dritte Annahme. Lernende führen aktive kognitive Prozesse zur Informationsverarbeitung durch, zum Beispiel die Suche nach relevanten Informationen, die Organisation der Information in eine kohärente kognitive Struktur oder die Verknüpfung der Informationen mit anderem Wissen. Lernende sind also „aktive Verarbeiter" von Informationen (Mayer, 2021a, S. 61). Mayer (2021a) benennt drei wesentliche kognitive Prozesse des aktiven Lernens: Die Auswahl des relevanten Materials (*selecting*), die Organisation des ausgewählten Materials (*organizing*) und die Integration des ausgewählten Materials in das vorhandene Wissen (*integrating*) (Mayer, 2021, S. 61).

In der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* werden unter Berücksichtigung der drei beschriebenen Annahmen fünf kognitiven Prozesse formuliert, die zu erfolgreichem multimedialen Lernen führen (R. E. Mayer, 2021a):

- Auswahl relevanter Wörter für die Verarbeitung im verbalen Arbeitsgedächtnis.
- Auswahl relevanter Bilder für die Verarbeitung im visuellen Arbeitsgedächtnis.
- Organisation und Verbindung ausgewählter Wörter zur Erzeugung eines verbalen Modells.
- Organisation und Verbindung ausgewählter Bilder zur Erzeugung eines bildlichen Modells.

- Integration der verbalen und bildlichen Darstellungen sowohl untereinander als auch mit dem relevanten Vorwissen, das aus dem Langzeitgedächtnis aktiviert wird. (übersetzt aus Mayer, 2021, S. 63)

Gestaltungsprinzipien

Aus der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) und der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (R. E. Mayer, 2021a) ergeben sich Gestaltungsprinzipien für das Design von wirksamen Lernmaterialien. Diese zielen darauf ab, eine kognitive Überlastung zu vermeiden und erfolgreiches und effektives Lernen zu unterstützen (Heinen & Heinicke, 2021).
Im folgenden Abschnitt wird eine Auswahl der Gestaltungsprinzipien dargestellt, die bei der Entwicklung und Gestaltung der Lernmaterialien im Rahmen des vorliegenden Projekts berücksichtigt wurden.

Segmentierungsprinzip

Das *Segmentierungsprinzip* beschreibt das Unterteilen des Lerninhalts in sinnvolle Sequenzen. Es besagt, dass intensiver gelernt wird, wenn die Inhalte in lerngerechten Segmenten und nicht als kontinuierliche Einheit präsentiert werden, da nur ein kleiner Teil der Informationen im Arbeitsgedächtnis behalten werden muss. Dies hilft, die kognitive Belastung zu verringern und zu verhindern, dass das Arbeitsgedächtnis überlastet. Handelt es sich bei dem Lerninhalt beispielsweise um einen Text, bedeutet dies eine angemessene Gliederung der Informationen einzelne Abschnitte. Das Segmentierungsprinzip bezieht sich auf die Reduzierung der *intrinsischen Belastung*. (R. E. Mayer & Fiorella, 2021)

Kohärenzprinzip

Das *Prinzip der Kohärenz* besagt, dass so genannte *externe* Informationen („*extraneous information*“) aus dem Lernmaterial ausgeschlossen werden sollten. Die Aufnahme irrelevanter, wenn auch für die Lernenden interessanter Informationen führt zu einer Beeinträchtigung des Lernerfolgs (Fiorella & Mayer, 2021). Dekorative Bilder sollten vermieden werden (Heinen & Heinicke, 2018).

Signalisierungsprinzip

Das *Signalisierungsprinzip* beschreibt, dass Lerninhalte leichter verarbeitet werden können, wenn Hinweise hinzugefügt werden, die die Aufmerksamkeit auf relevante Elemente des Lernmaterials lenken oder die Organisation wesentlicher Informationen hervorheben. Auch die Struktur der Informationen kann dadurch verbessert werden. Die Auswahl relevanter Informationen wird durch zwei Prozesse bestimmt: den *Bottom-Up-Prozess*

und den *Top-Down-Prozess*. *Bottom-up* bedeutet, dass Merkmale des Lernmaterials bestimmen, welche Aspekte die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Dabei spielen visuelle Merkmale eine entscheidende Rolle, um die Aufmerksamkeit der Lernenden auf bestimmte Informationen zu lenken. *Top-down* bedeutet, dass auch das Aufgabenwissen bzw. die Instruktionen bestimmen, welche Aspekte berücksichtigt werden (van Gog, 2021).
Es gibt verschiedene Möglichkeiten, Signale oder Hinweise in Lernmaterialien zu verwenden. Zum einen können text- und bildbasierte Hinweise verwendet werden, wie z. B. kurze erklärende Texte oder Bilder mit Markierungen, die auf zentrale Aspekte und Elemente des Themas hinweisen. Zum anderen kann das Lernmaterial durch die Markierung von Textstellen und die Hervorhebung wichtiger Aspekte in Bildern verbessert werden. Visuelle Merkmale können beispielsweise Fettdruck oder farbliche Hervorhebungen („*color-coding*“) sein (van Gog, 2021).
Die Verwendung von Formen (Kästchen, Pfeile) oder die Verwendung von entsprechenden Piktogrammen kann ebenfalls integriert werden (Heinen & Heinicke, 2021).
Für den naturwissenschaftlichen Unterricht lässt sich an dieser Stelle allgemein herausstellen, dass die Erarbeitung von Fachinhalten kann für Lernende durch den Einsatz von Symbolen oder Zeichnungen erleichtert und unterstützt werden. Die Einsatzmöglichkeiten von Visualisierungen sind vielfältig. Sie können u.a. zur Strukturierung von Lernmaterialien eingesetzt werden, indem sie z. B. verschiedene Aufgabentypen charakterisieren (Marohn & Rott, 2020).
Das Signalisierungsprinzip hilft bei der Auswahl (*selecting*), Organisation (*organizing*) und Integration (*integrating)* der zu lernenden Informationen und kann so dazu beitragen, die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses optimal zu nutzen (van Gog, 2021).

Kontiguitätsprinzip

Das *räumliche Kontiguitätsprinzip* besagt, dass das Lernen erleichtert wird, wenn Text und Bild in unmittelbarer Nähe zueinanderstehen. Dies gilt auch für Tabellen, Diagramme oder Graphiken. Sie sollten unmittelbar neben dem Textabschnitt stehen, zu dem sie gehören (Fiorella & Mayer, 2021b). Das zeitliche *Kontiguitätsprinzip* bezieht sich insbesondere auf digitale Medien wie Videos oder Animationen und besagt das zueinander zugehörige Inhalte auch zeitgleich präsentiert werden sollten (R. E. Mayer & Fiorella, 2021).
Wenn Lernende ihre Aufmerksamkeit gleichzeitig auf räumlich oder zeitlich getrennte Elemente (z. B. Text und Bild) eines Lernmaterials richten müssen, kann dies zu einer Überlastung des Arbeitsgedächtnisses führen, da die kognitiven Ressourcen aufgeteilt werden, um die verschiedenen Elemente zu verarbeiten.

Als Folge kann das Lernen beeinträchtigt werden, da es schwieriger wird, Informationen zu integrieren und Zusammenhänge herzustellen (Ayres & Sweller, 2021; Fiorella & Mayer, 2021b). Diese Folge wird als der sogenannte *Split-Attention-Effekt* bezeichnet (Ayres & Sweller, 2021).

Das *Kohärenzprinzi*p, das *Signalisierungsprinzip* und das *Kontiguitätsprinzip* beziehen sich auf eine Reduzierung der *extrinsischen Belastung* (Fiorella & Mayer, 2021b; R. E. Mayer, 2021a).

Multimediaprinzip

Das *Multimediaprinzip* besagt, dass Lernen durch die Kombination von Text und Bildeffektiver ist als durch die Verwendung von Worten allein (R. E. Mayer, 2021a).
Die theoretische Begründung für dieses Prinzip ist, dass Lernende verbale und visuelle mentale Modelle erstellen und verbinden können, wenn ihnen Wörter und Bilder gleichzeitig präsentiert werden. Wenn jedoch nur Wörter präsentiert werden, besteht die geringere Wahrscheinlichkeit, ein visuelles mentales Modell zu erstellen und Verbindungen herzustellen (R. E. Mayer, 2021b).

Personalisierungsprinzip

Die Verwendung von persönlicher oder konversationeller Sprache kann zu einer erhöhten Motivation für die Verarbeitung der Lerninhalte führen. Als Beispiel ist eine Verwendung von Pronomen der ersten und zweiten Person zu bevorzugen (Fiorella & Mayer, 2021a). Das Personalisierungsprinzip gehört zu den sogenannten „*social cues*“ (soziale Bezugspunkte) und bezieht sich auf die *lernbezogene Belastung*. Diese wird nach Mayer (2021a) auch als *generative Verarbeitung* des Lernmaterials bezeichnet und hängt unter anderem von der Motivation der Lernenden ab (Fiorella & Mayer, 2021a).

Zur Vervollständigung des sprachlichen Aspekts sollten *kurze, prägnante* Sätze verwendet und lange, verschachtelte Sätze vermieden werden (Heinen & Heinicke, 2018). Darüber hinaus kann die Verwendung von unbekannten und fachbezogenen Begriffen die Komplexität von Texten erhöhen (Heinicke et al., 2018). Dieser Vorgang führt zu einer zusätzlichen kognitiven Belastung (Heinen & Keßling, 2022).
Die Verwendung *einfacher Sprache* kann daher zu einer Entlastung führen. Zur Umsetzung bieten die Regeln für *Leichte Sprache* des Netzwerks Leichte Sprache (2022) eine unterstützende Orientierung, um sprachliche Barrieren zu minimieren.

Für die äußere Gestaltung von Texten für Lernende werden nach Heinicke und Heinen (2018) in Anlehnung an die *Cognitive Load Theory* und die *Cognitive Theory of Multimedia Learning* darüber hinaus folgende typographische Mittel formuliert: Verwendung einer

serifenlose Schrift in angemessener Schriftgröße und ein ausreichend großer Zeilenabstand, kurze Zeilenlänge, Überschriften in anderer Schriftgröße und Fettdruck, Strukturierung in Abschnitte mit einzelnen Überschriften, Schlüsselwörter durch Fettdruck hervorheben, Texte durch Linien oder Rahmungen unterteilen und portionieren sowie Kästen um inhaltliche Zusammenhänge hervorzuheben (Heinen & Heinicke, 2018).

6.4.2.2 Elemente Lernmaterialien

Die Lernmaterialien sollen verschiedene Elemente enthalten. Sie sollen *sachliche Informationen* vermitteln, Lernende zu einer *selbstständigen Erarbeitung* des Materials befähigen, *aktivierende* und *motivierende Aufgaben* verschiedener Arten beinhalten sowie *Experimente* integrieren. Am Ende eines jeden Materials sollte eine *Sicherungsaufgabe* stehen, um die bewertungsrelevanten Lerninhalte zusammenzufassen und für die Anwendung der Bewertungsscheibe hervorzuheben.
Im folgenden Kapitel werden die einzelnen Elemente beschrieben und literaturbasiert erläutert:

Sachliche Informationen
Inhaltlich sollen die Lernenden sachliche Informationen zu dem jeweiligen Aspekt von Elektromobilität – beispielsweise zu Kohlenstoffdioxid – erhalten. Die Informationen sollen sich auf die wesentlichen Punkte des Aspekts beschränken und möglichst kurz dargestellt werden. Sie sollen insbesondere auf die Methode der Bewertungsscheibe abzielen und sich daher auf die benötigten Informationen zur Eintragung in die Bewertungsscheibe fokussieren. Wie bereits in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben (s. Kapitel 6.4.1.1), berühren die acht ausgewählten Aspekte der Elektromobilität nicht immer alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen bzw. lassen sich nicht immer auf allen drei Bewertungsebenen einordnen. In der Gesamtheit bzw. Kombination der Materialien soll jedoch eine Einordnung in allen drei Dimensionen anvisiert werden.

Eigenständige Erarbeitung durch die Lernenden
Die konstruktivistische Lehr-Lerntheorie besagt, dass der Erwerb von Wissen ein individueller Prozess ist, bei dem die Lernenden ihr Wissen aktiv konstruieren. Sie betont die Bedeutung des selbstgesteuerten und eigenverantwortlichen Lernens. Daraus folgt, dass Lernmaterialien insbesondere diesen Prozess unterstützen und ermöglichen sollten indem sich die Erarbeitung von Materialien durch selbstständiges oder selbstgesteuertes Arbeiten der Lernenden auszeichnet (Gerstenmaier & Mandl, 1995; Reinmann & Mandl, 2006).
Dieser Ansatz soll in der Entwicklung berücksichtigt werden. Auf eine ausführliche Darstellung der konstruktivistischen Lehr-Lerntheorie wird an dieser Stelle verzichtet. Es

wird unter anderem auf folgende Literatur verwiesen: Dubs, 1995, Gerstenmaier & Mandl, 1995, Reinmann & Mandl, 2006 und Riemeier, 2007.

Aufgabentypen
Bei der Gestaltung von Lernmaterialien können verschiedene Aufgabentypen berücksichtigt werden, um eine abwechslungsreiche und motivierende Lernumgebung zu schaffen. Aufgabentypen können unterschieden werden in: Offene Aufgaben, halboffene Aufgaben und geschlossene Aufgaben (Graf, 2001).
Beispiele der jeweiligen Aufgabentypen lassen sich unter anderem den Methoden-Werkzeugen nach Leisen (2003) zuordnen.

geschlossene Aufgaben
Aufgaben, bei denen die Antwortmöglichkeiten vorgegeben sind, werden als *geschlossene* Aufgaben bezeichnet. Beispiele sind Richtig-Falsch-Aufgaben, Mehrfachwahlaufgaben (*Multiple-Choice-Aufgaben*) sowie Zuordnungsaufgaben (nach Leisen (2004): *Zuordnung*) oder Identifikationsaufgaben (nach Leisen (2004) u.a.: *Worträtsel*). Die Vorteile solcher Aufgabenformate liegen z. B. darin, dass die gesuchte Antwort leicht zu erfassen ist (Graf, 2001).

halboffene Aufgaben
Aufgaben bei denen Lernende gesuchte Begriffe oder Symbole einsetzen müssen oder auch kurze zeichnerische Darstellungen erstellen müssen, werden als *halboffenen* Aufgaben bezeichnet (Kultusministerkonferenz, n.d.). Lückentexte (s. *Methoden-Werkzeuge*) oder auch ähnlich Ergänzungsaufgaben lassen sich hier als Beispiele aufführen. Ebenso Freiantwortaufgaben oder Assoziationsaufgaben die eine knappe Antwort vorsehen (Graf, 2001). Vorteile sind die Möglichkeit zur individuellen oder freie Antwort sowie die Eingrenzung von Antworten auf das Wesentliche (Kultusministerkonferenz, n.d.). Halboffenen Aufgaben lassen sich durch verschiedene Hilfsmittel, wie die Unterstützung durch einen Wortpool, differenzieren.

Offene Aufgaben
Geschlossene Aufgaben sind Aufgaben, bei denen selbstformulierte Antworten erwartet werden und mehrere Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Sie können auch als *komplexe* Aufgaben bezeichnet werden (Graf, 2001; Petschenka et al., 2004). Dieser Aufgabentyp umfasst die umfangreichsten Aufgabenformen. Zum Beispiel Gestaltungsaufgaben oder Analyseaufgaben sowie Problemlöseaufgaben oder die Erstellung einer Mind-Maps (Kultusministerkonferenz, n.d.; Petschenka et al., 2004). Auch Bewertungsaufgaben zählen zu diesem Aufgabentyp. Die Vorteile liegen in den individuellen und freien Möglichkeiten bei der Suche nach Lösungen (Kultusministerkonferenz, n.d.).

Methoden-Werkzeuge (Leisen)

Nach Leisen (2003) werden insgesamt 40 verschiedene Methoden-Werkzeuge beschrieben. Methoden-Werkzeuge dienen als „Hilfen in der methodischen Gestaltung und Unterstützung von Lehr- und Lernvorgängen" (Leisen, 2004, S. 22). Sie können Lehrkräfte bei der Strukturierung und Planung von Unterricht unterstützen und zur Gestaltung und Entwicklung effektiver Lernmaterialien herangezogen werden (Leisen, 2013). Für die Lernenden können sie das Verständnis von Sachverhalten fördern und den Zugang zu Lernmaterialien erleichtern (Leisen, 2013).

Methodische Werkzeuge sind vielfältig einsetzbar und können sowohl als methodisches Element in Arbeitsblätter integriert als auch z. B. zur methodischen Unterstützung von Unterrichtsgesprächen eingesetzt werden (Leisen, 2013). Dadurch können sie „kommunikative oder kooperative Situationen" fördern und zu einem „handlungsorientierten Unterricht" (Leisen, 2003, S. 9) beitragen. Sie sind nicht spezifisch auf eine bestimmte Unterrichtssituation oder ein bestimmtes Konzept ausgerichtet, sondern können auf jede Art von Unterrichtsplanung angewendet werden (Leisen, 2003).

Es wird im folgenden Abschnitt eine Auswahl der Methoden-Werkzeuge nach Leisen (2004) vorgestellt, die bei der Gestaltung der Lernmaterialien verwendet wurden:

Begriffsnetz

In einer Netzstruktur werden zuvor erarbeitete oder vorgegebene Begriffe und Zusammenhänge bildlich dargestellt. Das Begriffsnetz bündelt, strukturiert und visualisiert ein Beziehungsgeflecht. Die Lernenden können entweder selbstständig vorgegebene Begriffe miteinander vernetzen oder Begriffe in eine vorgegebene Netzstruktur eintragen. (Leisen, 2004).

Begriffsnetze werden auch als Concept-Maps bezeichnet (Leisen, 2022). Sie unterscheiden sich durch die „kommentierte" (Leisen, 2004, S. 43) Darstellung des Beziehungsgeflechts von der Mindmap-Methode.

Bildsequenz

Bildsequenzen können zur Veranschaulichung zeitlicher oder räumlicher Anordnungen oder zur Darstellung inhaltlicher Zusammenhänge dienen. Ein Beispiel ist die Darstellung eines Versuchsablaufs (Leisen, 2004, 2022).

Worträtsel

Worträtsel können zum Beispiel in Form von Wortsuchrätseln oder Wortpuzzeln eingesetzt werden. Sie können als „spielerisch reproduktives" (Leisen, 2004, S. 44) Werkzeug eingesetzt werden und eignen sich zum Lernen, Festigen und Wiederholen von Begriffen.

Zuordnung

Die Zuordnung ist eine einfach Strukturierungsaufgabe. Es können beispielsweise Bilder oder Symbole zu (Fach)-Begriffen oder Antwortmöglichkeiten zu Fragestellungen zugeordnet werden (Leisen, 2003).

Lückentext

In Texten werden gezielt Lücken eingebaut, in denen die Lernenden fehlende Begriffe eintragen müssen. Insbesondere als Sicherungsaufgabe können Lückentexte zur Festigung oder Überprüfung neuer Fachbegriffe oder Informationen verwendet werden. Durch die Vorgabe oder das Weglassen der gesuchten Begriffe oder der Erstellung eines Lösungswortes lässt sich der Schwierigkeitsgrad von Lückentexten variieren (Leisen, 2003).

Experiment

Der Einsatz von Experimenten im Chemieunterricht kann verschiedenen Funktionen erfüllen. Experimente im Chemieunterricht können unter anderem „gesellschaftliche Bezugsfelder“ (Barke et al., 2018, S. 215) innehaben und eine Verbindung zum Alltag der Lernenden oder dem Thema Umwelt herstellen. Sie können eingesetzt werden um bei Lernenden eine „sachbezogenen Motivation“ (Barke et al., 2018, S. 71) zu erzeugen. Beispielsweise können Experimente sich auf konkrete Fragen des Umweltschutzes beziehen oder auf eine „praxisnahe Umwelterziehung“ (Barke et al., 2018, S. 215) (heute: BNE) abzielen. Für den Chemieunterricht lassen sich verschiedenen passende Beispiele realisieren (vgl. u.a. Barke et al., 2018; Otte et al., 2020; Prechtl, 2019; Wilke & Ruppersberg, 2017).

Für die Auswahl von geeigneten Experimenten zum Einsatz im Chemieunterricht benennen Barke et al. (2018) verschiedene Kriterien. Das Experiment sollte (Barke et al., 2018, S. 210):

- für die Altersgruppe geeignet sein, d. h. es soll motivierend und interpretierbar sein,
- auf vorhandenes Wissen der Lernenden aufbauen,
- didaktisch wertvoll sein und einen wichtigen Sachverhalt aus dem Bereich der Chemie darstellen,
- Bedingungen der Schulsammlung berücksichtigen,
- eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit haben
- kein Sicherheitsrisiko darstellen,
- in einem angemessenen Zeitraum durchführbar sein,
- einen deutlich sichtbaren Effekt haben,

- als Schülerversuch möglich sein.

SAMR-Modell

Neben der vielfältigen Erstellung analoger Aufgaben können auch digitale Elemente die Entwicklung des Materials sinnvoll unterstützen. Das SAMR-Modell nach Puentedura (2006) stellt einen strukturierten Ansatz vor um den Einsatz digitaler Medien oder Werkzeuge im Schulunterricht zu analysieren und zu bewerten. Es beschreibt die Integration von digitalen Medien in vier Stufen: Substitution, Augmentation, Modification und Redefinition (s. Tabelle 11).

Tabelle 11: SAMR-Modell nach Puentedura (zitiert nach Leisen, 2022*, S.118, Tabelle 5.5).*

Ebene	Stufe	Beschreibung
Verbesserung	1	**S**ubstitution (Ersatz): Digitale Medien als direkter Ersatz, ohne funktionelle Änderung
	2	**A**ugmentation (Erweiterung): Digitale Medien als direkter Ersatz, mit funktionaler Verbesserung
Umgestaltung	3	**M**odification (Änderung, Umgestalten): Digitale Medien zur Neugestaltung von Lernaufgaben
	4	**R**edefinition (Transformation, Neugestalten): Digitale Medien zur Erzeugung neuartiger Aufgaben, die ohne dies nicht möglich wären

Das Modell soll Lehrenden unterstützen, den Einsatz digitaler Medien für ihren Unterricht einzuordnen und zu reflektieren. Mithilfe des Modells können sie eine Einschätzung vornehmen, inwiefern digitale Medien ein geplantes Unterrichtsvorhaben sinnvoll ergänzen, verbessern oder verändern kann.

Durch eine strukturierte Betrachtung anhand der vier Stufen kann ein möglicher Mehrwert digitaler Medien herausgearbeitet und bewertet werden. Auf dieser Grundlage kann eine Begründung für den sinnvollen und gewinnbringenden Einsatz digitaler Medien erfolgen.

Die Integration digitaler Elemente in das Lernmaterial zur Elektromobilität soll in Orientierung an das SAMR-Modells unterstützt werden.

6.4.3 Materialentwicklung

FF 2.3: In welcher Weise können die explizierten Gestaltungsprinzipien und Elemente am Beispielkontextes Elektromobilität umgesetzt werden?

Im vorangegangenen Kapitel 6.4.2 wurden theoriegeleitet Gestaltungsprinzipien und Elemente beschrieben, die bei der Entwicklung und Gestaltung von Lernmaterialien beachtet werden sollten. Unter Berücksichtigung dieser theoretischen Grundlagen erfolgt im weiteren Verlauf die Entwicklung der Lernmaterialien für den in Kapitel 6.4.1 kriteriengeleitet ausgewählten Kontext der *Elektromobilität*. Die Entwicklung der Materialien fokussiert auf das Ziel einer exemplarisch ausgearbeiteten Unterrichtseinheit zum Thema *Elektromobilität* zur Erprobung und Evaluation des Unterrichtskonzepts „nachhaltig⁝ bewerten“ unter Anwendung der Bewertungsscheibe.

FF 2.4: Inwiefern kann das entwickelte Lernmaterial optimiert werden?

Entsprechend dem DBR-Ansatz erfolgt die Materialentwicklung innerhalb des zweiten Mesozyklus in einem iterativen Prozess und ist durch mehrere Durchläufe der Phasen *Vorbereitung*, *(Re-)Design*, *Erprobung* und *Analyse* (s. Kapitel 4.4.2) gekennzeichnet. Durch die unmittelbare Einbeziehung der in der Praxis gewonnenen Erkenntnisse erfolgt eine progressive Optimierung des Materials.
Insgesamt werden zu allen acht ausgewählten Aspekten von Elektromobilität (s. Kapitel 6.4.1.1) Lernmaterialien entwickelt. Jeder Aspekt bildet mit der Entwicklung und Optimierung einen eigenen Zyklus mit mehreren Durchläufen innerhalb des zweiten Mesozyklus. Die zugrundeliegenden Forschungsfragen FF 2.3 und FF 2.4 werden daher spezifisch für die jeweiligen Aspekte betrachtet. Zur Strukturierung wird die Fragestellung der FF 2.4 durch drei Sub-Forschungsfragen begleitet:

FF 2.4.1: Bearbeiten die Lernenden das Material innerhalb des Zeitrahmens?

FF 2.4.2: Wie werden die Aufgabenstellungen innerhalb das Materials bearbeitet und welche Verständnisschwierigkeiten lassen sich im Umgang mit dem Material erkennen?

FF 2.4.3: Welcher Verbesserungsbedarf ergibt sich?

Das vorliegende Kapitel gliedert sich zur Übersicht in acht Unterkapitel, die jeweils die Entwicklung und Optimierung eines Aspektes behandeln. Im Rahmen der Unterkapitel erfolgt die Beantwortung der Forschungsfrage 2.3 anhand der Materialentwicklung. Die

Forschungsfrage 2.4 beinhaltet die Analyse der Ergebnisse zur Materialbearbeitung im Rahmen der durchgeführten Erprobungen (s. Tabelle 6.2.2). Die Ergebnisse werden jeweils in einer Diskussion und anschließendem Fazit zusammengefasst (FF 2.4.1, 2.4.2) und mögliche Schlussfolgerungen für Verbesserungen fließen in die Optimierung der Materialien anhand der Beschreibung eines Re-Designs (FF 2.4.3) mit in die weitere Entwicklung ein.

Eine vollständige Darstellung der Materialien zu allen acht Aspekten findet sich in Anhang C.

6.4.3.1 Kohlenstoffdioxid

Der Aspekt Kohlenstoffdioxid-Emission wurde in der zeitlichen Abfolge der Entwicklung zuerst erarbeitet. Daher kann dem entwickelten Material zu Kohlenstoffdioxid die Funktion einer Vorlage für die weitere Materialentwicklung zugeschrieben werden. Aus diesem Grund werden exemplarisch für Kohlenstoffdioxid in diesem Kapitel die angewandten Gestaltungsprinzipien ausführlicher beschrieben. Die sich anschließende Gestaltung der weiteren Aspekte orientiert sich an den für Kohlenstoffdioxid ausgearbeiteten und umgesetzten Gestaltungselementen und übernimmt die angewandten typographischen Merkmale. Um Redundanzen in der Beschreibung der Materialentwicklung für die folgenden Aspekte zu vermeiden, werden sich wiederholende Elemente nicht explizit erneut beschrieben.
Die in Kapitel 6.4.2.1 vorgestellten Prinzipien der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) sowie der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (R. E. Mayer, 2021a) finden im Material vielfältig Anwendung. Das *Multimediaprinzip* und *Kohärenzprinzip* lassen sich an dieser Stelle als implizit verwendete Prinzipien bezeichnen. Sie werden in der Materialbeschreibung nicht gesondert diskutiert. Insgesamt zielen alle Materialien auf eine eigenständige Erarbeitung ohne Intervention der Lehrkraft ab. Dafür werden verschiedene Aufgabentypen und -formate (s. Kapitel 6.4.2.2) integriert und miteinander kombiniert.

Entwicklung

Der Umfang des Materials wurde für eine Bearbeitungszeit von 30 Minuten festgelegt und besteht aus insgesamt sechs Seiten. Erste Ausschnitte des Materials wurden in einer vorläufigen Version in Banse & Marohn (2021) erstmals publiziert.
Das Material wird durch einzelne *Überschriften* strukturiert und unterteilt sich dadurch übersichtlich in einzelne Abschnitte (*Segmentierungsprinzip,* vgl. Heinen & Heinicke, 2021). Die sprachliche Gestaltung orientiert sich am *Personalisierungsprinzip* und an Regeln der *einfachen Sprache* (s. Kapitel 6.4.2.1).
Insgesamt besteht das Material aus fünf Aufgaben, wobei die erste Aufgabe in der Durchführung eines kurzen Versuches besteht.

Die erste Seite beginnt mit der Überschrift: *„Kohlenstoffdioxid-Emission: Was ändert sich mit Elektroautos?“*. Es folgt eine kurze Definition (s. Abbildung 26).

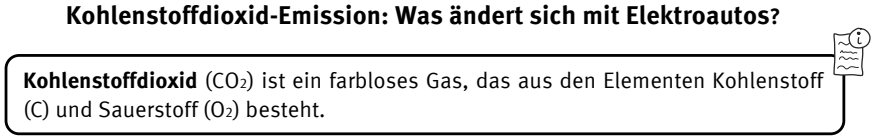


Abbildung 26: Ausschnitt Material Kohlenstoffdioxid (1. Seite).

Diese wird durch einen schwarzen Kasten eingerahmt und enthält in deren oberen rechten Ecke ein Piktogramm (*Signalisierungsprinzip*).
Es wurden im Rahmen der Materialentwicklung verschiedene Piktogramme mit der kostenlosen App *Vectornator* entwickelt. Unter anderem gemäß des *Signalisierungsprinzips* zur Kennzeichnung von Infokästen, Aufgaben mit Schreibauftrag oder zusammenfassenden Lückentexten (s. Abbildung 27). Durch die Verwendung von Piktogrammen soll eine klare Struktur in den Lernmaterialien geschaffen werden, die von den Lernenden in den verschiedenen Aspekten wiedererkannt werden soll (Marohn & Rott, 2020).

Abbildung 27: Piktogramme Lernmaterialien.

Wodurch entsteht Kohlenstoffdioxid?

Die ersten beiden Seiten des Materials beginnen mit einem Einstiegsversuch zur Frage: *„Wodurch entsteht Kohlenstoffdioxid?“*. Es handelt sich dabei um einen sehr vereinfachten Versuch zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid mithilfe der Kalkwasserprobe[2]. Als Schutzmaßnahme ist aufgrund des Einsatzes von Kalkwasser eine Schutzbrille zu tragen. Der Versuch wird von den Lernenden zu zweit durchgeführt. Ein leeres Reagenzglas wird mit einer Pipette Kalkwasser gefüllt und dient als Blindprobe. Ein zweites, leeres Reagenzglas wird für eine halbe Minute mit der Öffnung nach unten über ein brennendes Teelicht gehalten. Dadurch wird das entstehende Gas aufgefangen. Anschließend wird die gleiche Menge Kalkwasser hinzugefügt und das Reagenzglas vorsichtig hin und her geschwenkt. Der positive Nachweis von Kohlendioxid wird durch eine milchige Trübung oder einen weißen Niederschlag angezeigt.
Der ausgewählte Versuch entspricht den beschriebenen Auswahlkriterien nach Barke et al. (2018) (s. Kapitel 6.4.2.2): Die Durchführung des Schülerversuchs, der für eine neunte Klasse überaus geeignet ist, dauert nur wenige Minuten und enthält außer des Kalkwassers, vor dem sich die Schülerinnen und Schüler mit einer Schutzbrille schützen, keine Chemikalien, die ein Sicherheitsrisiko darstellen. Der Versuch kann auch als sicher in Bezug auf sein Gelingen beschrieben werden, was durch einen sichtbaren Effekt (Trübung)

[2] Nachweis von Kohlenstoffdioxid - https://www.experimentas.de/experiments/view/2592

erkennbar ist. Es wird davon ausgegangen, dass die benötigten Materialien auch in weniger umfangreichen Schulsammlungen vorhanden sind.
Die Beobachtungen der Blindprobe und der Vergleichsprobe sind als Arbeitsauftrag zu notieren (Seite 2). Die Erklärung des Versuchs wird durch einen *Lückentext* (*Methoden-Werkzeug*, s. Kapitel 6.4.2.2) angeleitet.

Auf Seite 3 folgen zwei *sachliche Informationstexte* in der sich wiederholenden Gestaltung einer schwarzen Umrandung und Kennzeichnung durch das entsprechende Piktogramm. Die Überschriften der Texte lauten: *„Wodurch entsteht Kohlenstoffdioxid?“* (Text 1) und *„Wo wird viel Kohlenstoffdioxid ausgestoßen?“* (Text 2). Wichtige Wörter werden in den Texten durch Fettmarkierung hervorgehoben (*Signalisierungsprinzip*). Im ersten Text wird beschrieben, dass Kohlenstoffdioxid unter anderem durch Verbrennungsreaktionen entsteht, z. B. beim Abbrennen einer Kerze, und übergeleitet, dass Verbrennungsreaktionen im Alltag in sehr großem Umfang stattfinden. Als Folgen eines steigenden Kohlenstoffdioxid-Gehalts in der Atmosphäre werden der Klimawandel, das Abschmelzen der Gletscher, der Anstieg des Meeresspiegels und der Rückgang der Artenvielfalt beispielhaft genannt.

Wo wird viel Kohlenstoffdioxid ausgestoßen?
Der zweite Informationstext beschreibt, dass der Verkehr durch den Einsatz von Verbrennungsmotoren als einer der größten Verursacher von Kohlenstoffdioxid-Emissionen gilt und dass nach Möglichkeiten gesucht wird, diesen Anteil zu reduzieren. Als eine mögliche Lösung wird die Frage nach dem Einsatz von Fahrzeugen mit Elektromotor aufgeworfen. Es wird darauf hingewiesen, dass der gesamte Lebenszyklus eines Elektroautos betrachtet werden muss, um die Fragestellung zu untersuchen.
Für die Visualisierung der beiden fokussierten Fahrzeugtypen Elektroauto und Auto mit Verbrennungsmotor wurden die in Abbildung 28 dargestellten Abbildungen erstellt:

Abbildung 28: Visualisierung Auto mit Elektromotor (orange) und Verbrennungsmotor (gelb).

Diese finden in sämtlichen Materialien der Unterrichtseinheit Verwendung und generieren dadurch einen Wiedererkennungswert.

Wodurch entsteht die Kohlenstoffdioxid-Emission beim Auto?
In einer zweiten Aufgabe (Seite 4) werden durch die Betrachtung eines Balken-Diagramms (s. Abbildung 29) die verschiedenen Ursachen für Kohlenstoffdioxid-Emissionen im Vergleich zwischen Autos mit Verbrennungsmotor und Autos mit Elektromotor dargestellt.

Es wird der Ausstoß an Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten in Gramm pro gefahrenen Kilometer abgebildet. Der Vergleich bezieht sich auf ein mit Benzin betriebenes Auto (Ottomotor) und ein Elektroauto mit einer realistischen Reichweite von 200 km (Umweltbundesamt, 2015). Die Strombereitstellung bezieht sich auf die Stromzusammensetzung im Jahr 2017 (ifeu, 2017; Umweltbundesamt, 2015).
Die Farbwahl und Schraffierung innerhalb der Balken wurden bewusst so ausgewählt, dass auch in einem Schwarz-Weiß-Druck des Materials noch eine Bearbeitung der Aufgabe möglich ist. Dadurch sollen die üblichen Rahmenbedingungen von Schulen berücksichtigt werden. Die Anordnungen der Abbildung und Aufgabenbestellung auf dem Arbeitsblatt beachten das *räumliche Kontiguitätsprinzip*.

Vergleiche den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß von einem Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor anhand der Abbildung:

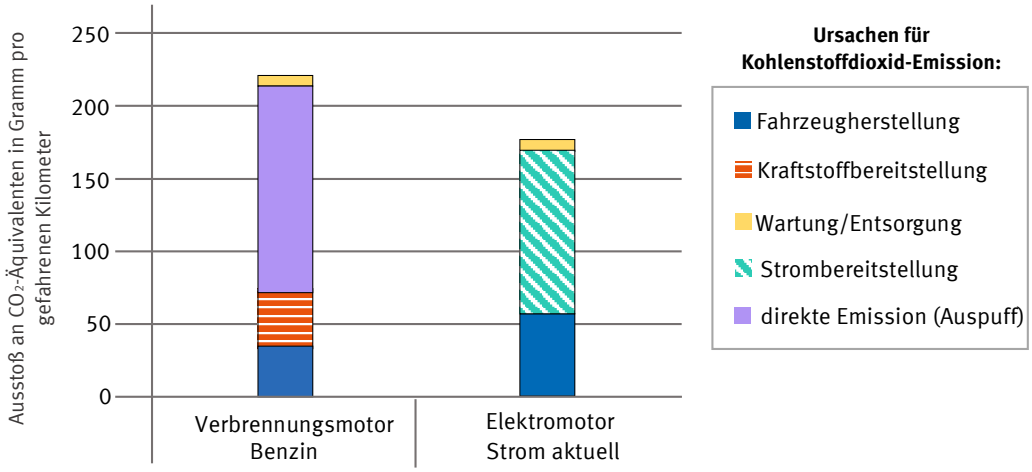


Abbildung: Klimabilanz von einem Verbrennungsmotor verglichen mit einem Elektromotor (200 km Reichweite).

Abbildung 29: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 4). Vergleich der Kohlenstoffdioxid-Emission zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor. Eigene Darstellung verändert in Anlehnung an ifeu (2017) auf Grundlage von Helms et al., (2011) und Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2015) (Banse & Marohn, 2021).

Die Hinzunahme eines Autos mit Dieselmotor zum erweiterten Vergleich hätte sich in der Darstellung von der eines Ottomotors unterschieden (BMU, 2018; Helms et al., 2011; ifeu, 2017). Auch ist der Kohlenstoffdioxid-Ausstoß durch die Fahrzeugherstellung eines Elektroautos ebenfalls von der Batteriegröße abhängig und ändert sich je nach Reichweite (Agora Verkehrswende, 2019). Die Auswahl auf jeweils ein Beispiel wird damit begründet, dass der Schwerpunkt auf dem Erkennen der wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Fahrzeugtypen liegt, die den Lernenden durch die folgenden Aufgaben bewusst gemacht werden sollen. Die Abbildung wurde auf Grundlage der recherchierten Daten zum Zeitpunkt der Entwicklung des Materials erstellt (BMU, 2018; Helms et al., 2011; ifeu, 2017). Um dauerhaft den aktuellen Stand abzubilden, wäre eine ständige Aktualisierung der Daten durch die Lehrkraft erforderlich. Dieses Vorgehen wird für das Ziel der Aufgabe als nicht angemessen erachtet. Im Vordergrund soll die Relation zwischen den verschiedenen Ursachen stehen, die von den Lernenden durch Aufgabe 2 (s. Abbildung 30) herausgearbeitet werden. Die Lernenden werden aufgefordert, in einer

vorstrukturierten Tabelle die jeweiligen Ursachen für den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß einzutragen (*halboffene Aufgabe*).
Darüber hinaus sollen sie Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten und die Hauptursache für beide Fahrzeugtypen ermitteln (s. Abbildung 30).

2. Aufgabe:
a) Liste die Ursachen der Kohlenstoffdioxid-Emission für einen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor in der Tabelle auf.
b) Markiere mit einer Farbe die **Gemeinsamkeiten** und mit einer anderen Farbe die **Unterschiede** der beiden Fahrzeugtypen. Umkreise jeweils die **größte Ursache** der Kohlenstoffdioxid-Emission.

Verbrennungsmotor	**Elektromotor**

Insgesamt ist die Kohlenstoffdioxid-Emission durch die Ursache _____
bei einem Auto mit _____ am höchsten.

Abbildung 30: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Aufgabe 2, Seite 4).

Es wird antizipiert, dass die Lernenden als größten Faktor jeweils die direkte Emission beim Verbrenner und die Strombereitstellung beim Elektroauto erkennen. Durch einen *Ergänzungssatz* zur Sicherung (*Methoden-Werkzeug*, s. Kapitel 6.4.2.2) wird noch einmal hervorgehoben, dass insgesamt im Vergleich aller Ursachen die direkte Emission durch den Auspuff bei Verbrennungsmotoren am höchsten ist.

Strombereitstellung in Deutschland
Um zu verdeutlichen, warum auch Elektroautos im Vergleich zu Verbrennungsmotoren viel Kohlenstoffdioxid ausstoßen, erhalten die Lernenden Informationen über die Zusammensetzung des Stroms in Deutschland: Knapp die Hälfte des Stroms wird durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe bereitgestellt und die andere Hälfte durch erneuerbare Energien (Fraunhofer ISE, 2021). Außerdem wird beschrieben, dass bis zum Jahr 2050 eine Umstellung auf 100 % erneuerbaren Strom angestrebt wird, mit dem Elektroautos an öffentlichen Ladestationen aufgeladen werden können (BMUB, 2016; Klaus et al., 2010). Zum Zeitpunkt der Erstellung der ersten Version des Materials entsprach diese Angabe noch den Bestrebungen der damaligen Bundesregierung (Die Bundesregierung, 2022a). Aufgrund des Wechsels der Bundesregierung wurde die Jahreszahl in späteren Versionen des Materials aufgrund der Verabschiedung des neuen EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) im Jahr 2022 auf 2035 angepasst (Die Bundesregierung, 2022a).

In Aufgabe 3 auf Seite 5 des Materials (s. Abbildung 31) werden die Lernenden aufgefordert, unter Berücksichtigung der geplanten Stromzusammensetzung eine mögliche Zukunftsbilanz für das Jahr 2050 zu zeichnen, indem sie den Balken für Elektroautos im Vergleich zur Abbildung der zweiten Aufgabe (s. Abbildung 31) verändern. Es handelt sich dabei um eine *halboffene* Aufgabe (s. Kapitel 6.4.2.2).

3. Aufgabe:
Wie **könnte** die Abbildung der Klimabilanz nach erfolgreicher Energiewende im Jahr **2050** aussehen?
Zeichne den Balken für den Elektromotor ein:

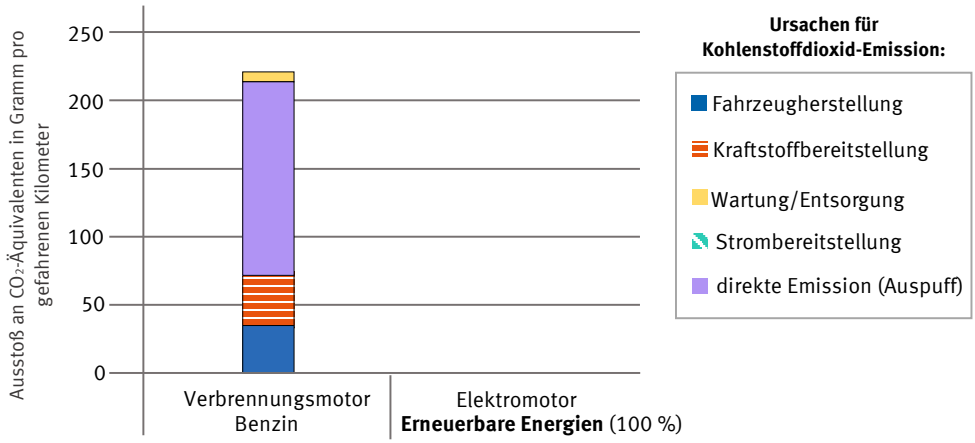


Abbildung: Klimabilanz von einem Verbrennungsmotor verglichen mit einem Elektromotor im Jahr 2050.

Abbildung 31: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 5). Aufgabe 3: Vergleich der Kohlenstoffdioxid-Emission zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor für die Klimabilanz im Jahr 2050. (Banse & Marohn, 2021).

Die erwartete Darstellung des Balkens kann nur als ideale Lösung verstanden werden, für eine realistische und vollständige Lösung unter Berücksichtigung aller Faktoren fehlen den Lernenden weitere Informationen. Die antizipierte Lösung der Aufgabe besteht darin, den Balken für die Strombereitstellung, der sich auf den Strom zum Laden von Elektrofahrzeugen bezieht, wegzulassen. Die notwendigen Informationen finden die Lernenden im vorangehenden Text. Dieser beschreibt den Plan, Elektroautos ab 2050 mit Strom aus 100 % erneuerbaren Energien zu laden. Über den gesamten Lebenszyklus von Elektroautos wird so eine deutliche Reduktion der Kohlendioxid-Emissionen sichtbar.

Auf der letzten Seite des Materials wird den Lernenden folgende Aussage präsentiert: *„Null-Emission bei batteriebetriebenen Fahrzeugen: Jetzt CO_2-frei“*. Sie werden dazu aufgefordert die Aussage für die aktuelle Zeit und für das Jahr 2050 zu beurteilen.

nachhaltig bewerten

4. Aufgabe: Beurteile folgende Aussage **im Vergleich** für die **aktuelle** und die **2050** geplante **Strombereitstellung**:

„Null-Emission“ bei batteriebetriebenen Fahrzeugen: Jetzt CO_2-frei!“

a) **aktuell**

b) **2050**

Zusammenfassung

5. Aufgabe: Fülle die Lücken aus.

Wird der Lebensweg eines Autos mit Verbrennungsmotor und Elektromotor betrachtet sind _____ Faktoren für die Kohlenstoffdioxid-Emission verantwortlich. Es gibt sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. Der_____ Faktor für den Kohlenstoffdioxid -Ausstoß ist die direkte Emission am Auspuff eines Verbrennungsmotors.

Mit der Strombereitstellung **heute** haben Autos mit _____ im Vergleich zu einem Auto mit _____ schon einen **geringeren** Ausstoß an Kohlenstoffdioxid -Emission.

Mit der geplanten Strombereitstellung _____haben Autos mit _____einen **noch geringeren** Ausstoß an Kohlenstoffdioxid-Emission.

6

Abbildung 32: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 6) in Anlehnung an Banse & Marohn (2021).

Die Lernenden sollen erkennen, dass die Aussage für keinen Fall, nicht für beispielsweise 2023 und nicht für 2050, zutreffen kann. Dass die Strombereitstellung bei Elektroautos der größte Verursacher von Kohlendioxid-Emissionen ist, wird in Aufgabe 2 deutlich. Durch den Informationstext (Seite 5) und die antizipierte Transferleistung in Aufgabe 3 erarbeiten die Lernenden, warum die Strombereitstellung derzeit noch sehr hohe Emissionen verursacht und wodurch sich diese verbessern könnte (Umstellung auf erneuerbare Energien). Sie sollen schlussfolgern, dass wenn der Strom mit den Elektroautos geladen werden zu 100 % aus erneuerbaren Energien bezogen wird, im Jahr 2050 eine deutlichere Reduzierung an Kohlenstoffdioxid-Emissionen erreicht werden kann.

Es wird erwartet, dass auch die Fahrzeugherstellung sowie die Wartung und Entsorgung als zusätzliche Emissionsquellen aufgeführt werden, die weiterhin bestehen bleiben, wie aus der antizipierten Lösung von Aufgabe 3 hervorgeht.
Die Aussage wurde bewusst allgemein formuliert. Sie kann je nach Interpretation des zugehörigen Bildes (s. Abbildung 32) jedoch auch zu einer weiteren richtigen der Beurteilung führen. Würde die Aussage sich nur auf den eigentlichen Fahrbetrieb und nur in Bezug auf Kohlenstoffdioxid beziehen, kann von einer Emissionsneutralität gesprochen werden. Unter dieser Einschränkung, die von den Lernenden expliziert werden soll, sind auch alternative Antworten denkbar. Der Begriff „Null-Emission“ wurde bewusst in das Material aufgenommen und kann Anlass zur Diskussion bieten, da er oftmals irreführend verwendet wird. In den Materialien zu Feinstaub wird unter anderem deutlich, dass auch im Fahrbetrieb von Elektroautos keine „Null-Emission“ möglich ist.

Als letzte Aufgabe mit der Überschrift *„Zusammenfassung“* erhalten die Lernenden einen offenen *Lückentext* ohne vorgegebene Wörter. Dadurch soll eine Festigung der neuen Informationen erfolgen. Alle Materialien enden mit einem zusammenfassenden Lückentext. Die abschließende Sicherungsaufgabe ist immer erkennbar durch die Rahmung eine gestrichelte orangene Linie und der Kennzeichnung durch das passende Piktogramm (s. Abbildung 32). Der Lückentext fokussiert auf die wesentlichen Informationen zum Aspekt Kohlenstoffdioxid, die für die Anwendung der Bewertungsscheibe als relevant erachtet werden. Die Sicherungsaufgaben am Ende der Materialien sollen abschließend immer die Aufmerksamkeit auf die Punkte lenken, die bei der Bewertung zu berücksichtigen sind.

Erprobung Kohlenstoffdioxid
In der gesamten Entwicklungsphase des Projekts wurden für das Material Kohlenstoffdioxid vier Erprobungsdurchgänge mit insgesamt sechs unterschiedlichen Lerngruppen (n=60) durchgeführt. Eine Übersicht sowie die Rahmenbedingungen aller im Projektverlauf durchgeführten Erprobungen findet sich in Kapitel 6.2.2.
Auf Grundlage der ausgefüllten Lernmaterialien erfolgt im Anschluss an jede *Erprobung* eine Auswertung und Diskussion der Ergebnisse (*Analyse*). Ergänzend werden Videosequenzen der Arbeitsphase explanativ betrachtet, um im Rahmen der Analyse mögliche Erklärungsansätze zu identifizieren. Die Ergebnisse der Erprobungen werden jeweils zur Optimierung des Materials genutzt und durch ein *Re-Design* umgesetzt. Dadurch werden die gewonnenen Erkenntnisse direkt für die weitere Entwicklung eingesetzt.
Die Phasen *Vorbereitung*, *(Re-)Design*, *Erprobung* und *Analyse* wurden für Kohlenstoffdioxid innerhalb des zweiten Mesozyklus insgesamt vier Mal durchlaufen.

Erprobung (erste Version)

Die erste Version des Materials wurde im ersten Erprobungsdurchgang des Projektverlaufes in zwei Kursen durchgeführt (s. Übersicht Kapitel 6.2.2).

In Kurs 1 bearbeiteten insgesamt sechs Schülerinnen und Schüler den Aspekt Kohlenstoffdioxid, wovon eine Schülerin (S5) keine Erlaubnis zur Videoaufnahme hatte und daher außerhalb der Aufnahme mit Schüler 6 eine Zweier-Gruppe bildete (s. Sitzplan, Abbildung 10). Über diese Gruppe können daher keine Aussagen über die schriftlichen Ergebnisse hinaus generiert werden. In Kurs 2 bearbeiteten sieben Schülerinnen und Schüler das Material (s. Sitzplan, Abbildung 11). Insgesamt haben somit die erste 13 Schülerinnen und Schülern durchgeführt.

Ziel dieser ersten Erprobung war vor allem die Untersuchung der grundsätzlichen Durchführbarkeit der Materialien.

Ergebnisse

Durch die deduktive Codierung der Unterrichtssequenzen (s. Kapitel 6.2.3.2) nach den Phasen des Stundenverlaufsplans (s. Anhang A.3), konnte für jede Gruppe die Bearbeitungszeit ermittelt und tabellarisch zusammengefasst werden (Tabelle 12):

Tabelle 12: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Kohlenstoffdioxid) von Kurs 1 und Kurs 2 in der ersten Erprobung.

	Kurs	**Gruppe**	**Schüler:in**	**Zeit (min)**
1.Erprobung (13.12.2021)	1	G3	S10, S11	35:26 min
	1	G4	S12, S13	34:11 min
	Durchschnitt Kurs 1			**34:48 min**
	2	G4	S3, S4, 5	29:34 min
	2	G5	S11,10	25:56 min
	2	G6	S13, S12	32:35 min
	Durchschnitt Kurs 2			**29:21 min**
	Durchschnitt (gesamt)			**31:32 min**

Die inhaltliche Erarbeitung des Aspekts Kohlenstoffdioxid wurde für eine Bearbeitungszeit von 30 Minuten konzipiert. Im Vergleich der beiden Kurse zeigt sich, dass die Gruppen in Kurs 1 durchschnittlich 34:48 Minuten und die Gruppen in Kurs 2 durchschnittlich 29:21 Minuten benötigten. Die durchschnittliche Bearbeitungszeit beider Kurse liegt bei 31:32 Minuten.

Die ausgefüllten Materialien wurden anhand eines entwickelten Punktesystems ausgewertet (s. Kapitel 6.2.3.1). Das Ergebnis der jeweiligen Punkteverteilung der einzelnen Lernenden und die Angabe der maximal zu erreichenden Punkte sowie die Gesamtergebnisse der Kurse und der einzelnen Lernenden in Prozent sind in Tabelle 13 dargestellt:

Tabelle 13: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Kohlenstoffdioxid) von Kurs 1 und Kurs 2 nach Punkten und in Prozent in der ersten Erprobung.

				A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	
			Punkte	1	11	2	4	6	24
			Schü-ler:in						**gesamt (%)**
1. Erprobung (13.12.2021)	**Kurs 1**	o.E.	S5	1	11	2	2	4	83 %
			S6	1	10	2	4	6	96 %
		G3	S10	1	11	2	4	6	100 %
			S11	1	11	2	2	6	92 %
		G4	S12	1	11	2	4	6	100 %
			S13	1	11	2	3	6	96 %
		gesamt		**100 %**	**98 %**	**100 %**	**79 %**	**94 %**	
	Kurs 2	G4	S3	1	7	0	2	4	58 %
			S4	1	10	0	2	4	71 %
			S5	1	10,5	0	4	3	77 %
		G5	S10	1	10	2	2	6	88 %
			S11	1	11	2	0	6	83 %
		G6	S12	1	10	0	1	4	67 %
			S13	1	3	0	1	4	38 %
		gesamt		**100 %**	**80 %**	**29 %**	**43 %**	**74 %**	
	zusammen			**100 %**	**88 %**	**62 %**	**60 %**	**83 %**	

Die prozentualen Ergebnisse für die einzelnen Aufgaben, die sich aus der Punkteverteilung ergeben, unterscheiden sich zwischen den beiden Kursen sehr deutlich:

Kurs 1

Der Versuch zum Kalkwassernachweis wurde in Kurs 1 von allen Lernenden erfolgreich mit dem richtigen Ergebnis durchgeführt. Aufgabe 2 wurde insgesamt zu 98 % richtig bearbeitet und in Aufgabe 3 wurde der Balken für die Klimabilanz von Elektroautos im Jahr 2050 von allen Lernenden richtig eingezeichnet. Die Beurteilung der Aussage in Aufgabe 4 ist in Kurs 1 durch das niedrigste Ergebnis gekennzeichnet. Zu 79 % wurde die Aussage wie antizipiert beurteilt. Die Sicherungsaufgabe von Form des Lückentextes wurde zu 94 % richtig ausgefüllt.

Für Kurs 1 lässt sich in Betrachtung der einzelnen Ergebnisse der Lernenden erkennen, dass zwei Lernende aus unterschiedlichen Gruppen alle Aufgaben vollständig und richtig gelöst haben. Drei Lernende haben ein Ergebnis zwischen 92 % und 96 % erreicht und das vergleichbar schlechteste Ergebnis liegt bei 83 %. Insgesamt lassen sich für Kurs 1 damit alle Lernenden im guten bis sehr guten Bereich einordnen.

Kurs 2

Auch in Kurs 2 wurde der Versuch von allen Lernenden richtig durchgeführt. Aufgabe 2 wurde zu 80 % richtig gelöst. Bei den Aufgaben 3 und 4 zeigt sich ein sehr großer Unterschied zu den Ergebnissen von Kurs 1. Nur zwei Lernende, die eine gemeinsame Gruppe (G5) gebildet haben, haben Aufgabe 3 richtig gelöst, was einen Gesamtanteil von 29 % der vergebenen Punkte in Kurs 2 ergibt. Alle anderen haben die Aufgabe zwar bearbeitet, aber nicht richtig gelöst. Auch Aufgabe 4 zeichnet sich in Kurs 2 durch eine sehr geringe erfolgreiche Bearbeitung aus. Insgesamt wurde die Aufgabe zu 43 % richtig gelöst. Nur ein Schüler (S4) erreichte die volle Punktzahl. Die Sicherungsaufgabe zeigt einen Anteil von 74 %.

Bei der Betrachtung der Einzelergebnisse von Kurs 2 zeigt sich, dass keiner der Lernenden die volle Punktzahl erreicht hat. Das beste Ergebnis liegt bei 88 %, das schlechteste bei 38 %. Alle anderen haben mehr als die Hälfte der Aufgaben richtig gelöst und liegen zwischen 58 % und 83 %.

Diskussion

Der Vergleich der angesetzten Bearbeitungszeit von 30 Minuten mit der tatsächlichen Bearbeitungszeit der einzelnen Gruppen zeigt im Gesamtdurchschnitt eine Überschreitung der vorgesehenen Zeit von ca. 1:32 Minute (s. Tabelle 12). Kurs 1 hat im Durchschnitt ca. 4:48 Minuten mehr Arbeitszeit benötigt. Im Vergleich zu Kurs 2, der im Durchschnitt unter 30 Minuten benötigte, hat Kurs 1 jedoch deutlich bessere Arbeitsergebnisse hervorgebracht.

Die Auswertung der schriftlichen Ergebnisse lassen, wie beschrieben, deutliche Unterschiede zwischen den beiden Kursen erkennen. An dieser Stelle werden zur Identifizierung von möglichen Erklärungsansätzen explanativ die Videosequenzen der Arbeitsphasen beider Kurse betrachtet.

Gleiche Ergebnisse zeigen sich in der Auswertung nur bei der Durchführung des Versuches (Aufgabe 1). Alle Gruppen haben den Versuch erfolgreich durchgeführt und eine Trübung des Kalkwassers beobachtet. Somit kann die Eignung des Versuches als bestätigt angesehen werden. Die Erarbeitung der zweiten Aufgabe, die Betrachtung des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes im Vergleich beider Fahrzeugtypen, hat sich als sehr gut durchführbar erwiesen. Insbesondere im ersten Kurs zeichnet sich die Aufgabe durch eine fast vollständige richtige Lösung aller Lernenden aus (98 %). Im zweiten Kurs lässt sich das durchschnittliche Ergebnis von 80 % um den Hinweis ergänzen, dass nur ein Schüler (S13) aus Gruppe 6 sehr wenige Punkte in dieser Aufgabe erzielt hat (3 von 11 Punkten). Gruppe 6 (Kurs 2) zeichnet sich insgesamt durch schlechte Ergebnisse in der Gesamtauswertung auf.

Die Betrachtung der Unterrichtssequenz aus der Erarbeitungsphase von Gruppe 6 (Kurs 2) zeigt, dass diese Gruppe überwiegend sehr unkonzentriert arbeitet und insgesamt

sehr wenig Interesse zeigt. Die Aufgaben werden teilweise nur oberflächlich betrachtet. Die vergleichsweise schlechten Aufgabenergebnissen dieser Gruppe werden in der Beurteilung über die Eignung der Aufgaben daher weniger stark gewichtet. Eine ähnliche Beobachtung zeigt sich für Gruppe 4 des zweiten Kurses. Bereits zu Beginn der Bearbeitungszeit wird eine geringe Motivation wahrgenommen, die im Laufe der Gruppenarbeit mehrfach geäußert wird (Gruppe 4, 0:47:43:9). Die Gruppe arbeitet zu dritt, wobei eine Schülerin (S3) noch sehr bemüht ist, die Aufgaben zu bearbeiten (Gruppe 4, 0:21:45:8). Es zeigen sich in dieser Gruppe sprachliche Schwierigkeiten für die Fachbegriffen „erneuerbare Energien", „Emissionen" sowie „fossile Brennstoffe" (Gruppe 4, 0:47:03:0). Es ist unter anderem zu beobachten, dass die Gruppe den Informationstext zur Stromversorgung nur überfliegt und die Informationen somit nicht richtig herausfiltert. Hier könnte eine mögliche Erklärung für die fehlerhafte Zeichnung aller Lernenden der Gruppe liegen, die aber nicht über die Beobachtung hinaus, belegt werden. Darüber hinaus stellt Gruppe 4 auffallend viele Fragen zu den Aufgaben an die Lehrkraft. Bei der Betrachtung der Videoaufzeichnungen zeigt sich, dass die Aufgaben in den seltensten Fällen vorher selbstständig zu Ende gelesen worden sind.
Die Betrachtung der Gruppenvideos während der Erarbeitungsphase der Materialien ermöglicht es über die schriftlichen Ergebnisse hinaus eine differenziertere Erklärung des Verhaltens der schwächeren Gruppen (Gruppe 4 und 6, Kurs 2). Es wird daher geschlussfolgert, dass die Ergebnisse dieser Gruppen weniger auf Schwierigkeiten mit der Aufgabenstellung, als auf ein allgemein geringes Interesse und Motivation zurückzuführen sind.

Fazit
Die Ermittlung der tatsächlichen Bearbeitungszeiten zeigt, bei der es sich um eine akzeptable Überschreitung der vorhergesehenen Zeit zu handeln scheint. Möglicherweise bietet es sich je nach Lerngruppe an, noch einen Pufferzeitraum von fünf Minuten anzubieten. Insbesondere die Versuchsdurchführung könnte jedoch durch zügigeres Arbeiten und vorheriges Organisieren zeitliches Einsparungspotential bieten. Hier könnten direktere Anweisungen durch die Lehrkraft unterstützen, zum Beispiel durch den Hinweis, unmittelbar nach der Materialausgabe eine Schutzbrille zu und den Tisch zum Experimentieren zu räumen.

Auf Grundlage der beschriebenen Aufgabenergebnisse für den ersten Erprobungsdurchgang lässt sich schlussfolgern, dass die Bearbeitung der Materialien insgesamt sehr positiv zu bewerten ist und damit grundsätzlich eine gute Durchführbarkeit gegeben ist. Insbesondere die erste Aufgabe, der Versuch zum Kohlenstoffdioxid-Nachweis mittels Kalkwasserprobe, ließ keinerlei Schwierigkeiten erkennen. Auch Aufgabe 2 zeichnet sich durch ein gutes bis sehr gutes Verständnis aus. Aufgabe 3 ist sehr unterschiedlich bearbeitet worden, sodass hier keine einheitliche Aussage für beide Kurse möglich ist. Kurs 1

zeigte ein sehr gutes Verständnis, dass sich in Kurs 2 nicht bestätigte. Diese Erkenntnis könnte jedoch an möglichen anderen Faktoren liegen (Motivation, Interesse, Konzentration), die nur als Vermutung ausgesprochen aber nicht weiter untersucht werden können. Aufgabe 4 lässt sich als schwierigste Aufgabe identifizieren da auch der erste Kurs 1 hier Verständnisschwierigkeiten erkennen lässt. Der Lückentext kann als verständlich bezeichnet werden, auch wenn nicht alle Lücken korrekt ausgefüllt wurden. Insgesamt lässt sich für alle Aufgaben eine grundsätzliche Durchführbarkeit als Ergebnis der ersten Erprobung herausstellen.

Re-Design

Die Ergebnisse der Erprobung zeigen, dass der Umfang des Materials im Verhältnis zur vorgesehenen Bearbeitungszeit insgesamt angemessen scheint. Die Anzahl der Aufgaben bleibt daher unverändert.

Während der Erprobung wurde von der Lehrkraft festgestellt, dass der Hinweis auf das Tragen einer Schutzbrille fehlt. Dieser wird ergänzt und sollte als Hinweis auch auf einem Stundenverlaufsplan vermerkt werden. Da eine grundsätzliche Durchführbarkeit erkannt wurde, wurden darüber hinaus nur einige sprachliche und gestalterische Anpassungen vorgenommen.

Erprobung (zweite Version)

Insgesamt haben im zweiten Erprobungsdurchgang 14 Schülerinnen aus zwei 9. Klassen die zweite Version der Materialien bearbeitet. In der ersten Klasse (9.1) sieben Schülerinnen, in der zweiten Klasse (9.2) acht Schülerinnen, wovon zwei kein Einverständnis zur Videographie vorgelegt hatten (s. Kapitel 6.2.2). Ziel der zweiten Erprobung in Bezug auf die Ausarbeitung des Materials ist zum einen die Durchführung mit der zu Beginn des Projekts festgelegten Zielgruppe einer neunten Jahrgangsstufe eines Gymnasiums. Zum anderen sollen weitere erkenntnisgewinnende Ergebnisse zur Optimierung des Materials generiert und zur Unterstützung und Überprüfung der bereits gewonnenen Erkenntnisse der ersten Erprobung herangezogen werden. Insgesamt wird außerdem eine Ausweitung der Stichprobe angestrebt um Aussagen über den Umgang des Materials empirisch fundiert treffen zu können.

Ergebnisse

Für die durchschnittlichen Bearbeitungszeit ergibt sich für die erste Klasse 27:55 Minuten und für die zweite Klasse 29:10 Minuten (Tabelle 14). Daraus errechnet sich eine gemeinsame durchschnittliche Bearbeitungszeit von 28:33 Minuten.

Tabelle 14: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Kohlenstoffdioxid) von Klasse 9.1 und 9.2 in der zweiten Erprobung.

	Klasse	Gruppe	Schüler:in	Zeit (in min)
2.Erprobung (09.02.2022)	9.1	G1	S1, S2	31:38 min
	9.1	G2	S3, S4, S5	24:51 min
	9.1	G3	S6, S7	27:15 min
	Durchschnitt 9.1			**27:55 min**
	9.2	G1	S1, S2	33:16 min
	9.2	G2	S3, S4	27:31 min
	9.2	G3	S5, S6	26:42 min
	Durchschnitt 9.2			**29:10 min**
	Gesamt			**28:33 min**

Die einzelnen Aufgaben wurden nach demselben Punktesystem wie der ersten Erprobung ausgewertet. Die Aufgabenergebnisse der einzelnen Lernenden sowie die Gesamtergebnisse der Klassen sind in Tabelle 15 dargestellt.

Der Versuch wurde von allen Lernenden beider Klassen erfolgreich durchgeführt. Auch die zweite Aufgabe wurde fast vollständig richtig gelöst, beide Klassen liegen in der Summe bei 99 %. In Aufgabe drei unterschieden sich die Klassen: In der ersten Klasse lösten alle Gruppen die Aufgabe richtig und zeichneten den antizipierten Balken für die Klimabilanz 2050 wie erwartet ein. In der zweiten Klasse zeigt sich ein schlechteres Ergebnis: Aus zwei Gruppen (G1 und G2) lösten die Schülerinnen die Aufgabe zwar ebenfalls vollständig richtig, jedoch bearbeitete eine Gruppe (G3) die Aufgabe gar nicht und eine andere Gruppe (o. E.) erhielt nur die Hälfte der Punkte (1/2 Punkte). Dadurch liegt der gesamte Anteil der erreichten Punkte bei der zweiten Klasse bei 63 %. Die vierte Aufgabe zeigt ebenfalls einen Unterschied zwischen den beiden Klassen: Nur 33 % der möglichen Punkte wurden in der ersten Klasse erreicht und 69 % in der zweiten Klasse. Der Lückentext wurde von der ersten Klasse vollständig gelöst. In der zweiten Klasse ergibt sich ein Anteil von 71 %, da eine Gruppe (G1) die Aufgabe gar nicht bearbeitet hat. Die anderen Gruppen (G2, G3 und o. E.) haben die Aufgabe fast vollständig richtig bearbeitet.

Tabelle 15: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Kohlenstoffdioxid) von Klasse 9.1 und Klasse 9.2 nach Punkten und in Prozent in der zweiten Erprobung.

				A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	
2. Erprobung (09.02.2022)			**Punkte**	1	11	2	4	6	24
			Schüler:in						**gesamt (%)**
	9.1	G1	S1	1	11	2	0	6	83 %
			S2	1	11	2	0	6	83 %
		G2	S3	1	10	2	4	6	96 %
			S4	1	11	2	4	6	100 %
			S5	1	11	2	4	6	100 %

		G3	S6	1	11	2	0	6	83 %
			S7	1	11	2	0	6	83 %
		gesamt		**100 %**	**99 %**	**100 %**	**33 %**	**100 %**	
	9.2	G1	S1	1	11	2	4	0	75 %
			S2	1	11	2	2	0	67 %
		G2	S3	1	11	2	4	6	100 %
			S4	1	11	2	4	6	100 %
		G3	S5	1	11	0	1	6	79 %
			S6	1	11	0	2	6	83 %
		o.E.	o.E.	1	10	1	2	5	79 %
			o.E.	1	11	1	3	5	88 %
		gesamt		**100 %**	**99 %**	**63 %**	**69 %**	**71 %**	
	zusammen			**100 %**	**99 %**	**80 %**	**57 %**	**84 %**	

In Klasse 9.1 bearbeiteten zwei Lernende alle Aufgaben vollständig richtig und eine Lernende mit 96 % nahezu und sind somit im sehr guten Bereich einzuordnen. Die anderen Lernenden lassen sich ebenfalls im guten Bereich einordnen (83 %). In Klasse 9.2 bearbeiteten ebenfalls zwei Lernende alle Aufgaben richtig. Das zweitbeste Ergebnis liegt bei 88 % (o. E.). Ebenfalls ein gutes Ergebnis hat S6 (G3) mit 83 %. Alle anderen lassen sich mit 67 – 70 % als noch gut bis befriedigend einordnen.

Diskussion

Die Durchführung des Versuchs zeigte erneut keine Schwierigkeiten. Die Auswahl hat sich somit im zweiten Erprobungdurchgang bestätigt und weist dadurch gleichzeitig die Eignung für die vorgesehene Zielgruppe auf. Auch die zweite Aufgabe wurde nahezu vollständig von beiden Klassen richtig gelöst (99 %). Hier zeigt sich sogar eine Steigerung der Aufgabenergebnisse gegenüber der ersten Erprobung (1. Erprobung: 88 %, s. Tabelle 13). In der dritten Aufgabe können bei Klasse 9.1 keine Schwierigkeiten identifiziert werden. Das schlechtere Aufgabenergebnis in Klasse 9.2 muss differenziert betrachtet werden. Zwei Gruppen (G1, G2) haben die Aufgabe ebenfalls vollständig richtig gelöst. Eine Gruppe hat die Aufgabe nur zur Hälfte richtig bearbeitet, es können jedoch keine Aussagen für Erklärungsansätze generiert werden, da für diese Gruppe keine Videoaufzeichnung vorliegt. Bei der dritten Gruppe ist bei der Betrachtung des Gruppenvideos zu erkennen, dass die beiden Schülerinnen über die Aufgabe diskutieren und dabei auch mündlich die richtige Lösung nennen (Gruppe 3, 0:41:07:1). Sie entscheiden sich jedoch, die Aufgabe zunächst zu überspringen. Aus Zeitgründen nehmen sie die Aufgabe später nicht wieder auf. Aus diesem Grund können an dieser Stelle keine Aussagen zu möglichen Schwierigkeiten der Aufgabe gemacht werden.

In der ersten Klasse haben zwei der drei Gruppen keine Punkte für Aufgabe 4 erhalten (G1, G3). Beide Gruppen beschränken sich in der Aufgabenstellung auf die Beschreibung der Strombereitstellung aktuell und für 2050 und entnehmen die entsprechenden Informationen dem Text auf Seite 5. Es fehlt der geforderte Bezug zur Aussage. Diese wird nicht beurteilt und auch nicht durch eine Erläuterung für die beiden Jahre differenziert. Die Aufgabe wird daher mit 0 Punkten bewertet. In den Videosequenzen sind keine Erklärungsansätze für Verständnisschwierigkeiten zu finden. Die Lernenden in Gruppe 1 (9.2) kommunizieren kaum während der Aufgabe miteinander und Gruppe 3 zeichnet sich durch eine sehr schlechte Akustik aus. Es kann lediglich vermutet werden, dass hier nur die fett markierten Stichworte *Strombereitstellung*, *aktuell* und *2050* wahrgenommen wurden und als Arbeitsauftrag verstanden wurde, diese für die beiden Jahre zu beschreiben. In der Gruppenarbeit orientieren sich die Lernenden an gemeinsamen Lösungen, wodurch erklärt werden kann, dass alle jeweils die gleiche Lösung haben.
Die Bearbeitung des Lückentextes zeigt bis auf die Ergebnisse von zwei Lernenden (G1, 9.2) keine Verständnisschwierigkeiten auf. Anhand des Gruppenvideos von Gruppe 1 aus Klasse 9.2 lässt sich jedoch als Erklärung ermitteln, dass die Schülerinnen aus Zeitgründen keine Bearbeitung mehr durchführen konnten. Sie zeichnen sich insgesamt durch eine eher langsamere Arbeitsweise aus.

Fazit
Die durchschnittlich ermittelte Bearbeitungszeit liegt bei beiden Klassen unter 30 Minuten. Die vorherige Überlegung einen Pufferzeitraum von fünf Minuten einzuplanen wird an dieser Stelle daher verworfen. Nur eine Gruppe ist aus Zeitgründen nicht fertig geworden, hat sich jedoch insgesamt sehr zeitintensiv und ausführlich mit dem Material beschäftigt. Da einzelne Abweichungen in Lerngruppen jedoch immer auftreten und in der in der Gesamtbetrachtung die Mehrheit ausreichend Zeit zur Verfügung hatte kann die Frage demnach positiv beantwortet werden. Die Bearbeitungszeiten ähneln sich in beiden Erprobungen und deuten auf eine passende Zeitplanung hin. Aus diesem Grund wird im weiteren Verlauf die Bearbeitungszeit nicht erneut ermittelt, sondern der Umfang des Materials beibehalten.

Insgesamt ist die Bearbeitung der Materialien auf Grundlage der vorgestellten Aufgabenergebnisse positiv zu bewerten und zeichnet sich durch gute bis sehr gute Gesamtergebnisse aus. Es lässt sich an einigen Stellen eine Steigerung zum ersten Erprobungsdurchgang festmachen (A2, A3 und A5) beziehungsweise bereits gewonnene Erkenntnisse noch einmal unterstreichen.
Es lassen sich jedoch auch erneut vereinzelt Hinweise auf Schwierigkeiten für das Verständnis von Aufgabe 4 finden. Hier wird unter anderem die Vermutung einer Verständnisschwierigkeit festgehalten, die sich darauf bezieht, dass die Aufgabe nur flüchtig gelesen wurde und daraus eine Fehlinterpretation der Aufgabenstellung erfolgte.

Re-Design

Auf Basis der Erkenntnisse des zweiten Erprobungsdurchgangs erfolgt erneut ein *Re-Design*. Des Weiteren werden auch Optimierungen durchgenommen, die sich nicht unmittelbar auf identifizierte Verständnisschwierigkeiten zurückführen lassen. Diese dienen der allgemeinen Verbesserung der sprachlichen und optischen Gestaltung. Unter anderem wurde die Anleitung zur Versuchsdurchführung dahingehend verbessert, dass die einzelnen Versuchsschritte mit einer Bildsequenz und Fettmarkierung wichtiger Wörter in der Versuchsbeschreibung (s. Abbildung 33) versehen wurden, um die Lernenden noch konkreter anzuleiten. Diese Anpassung ergab sich analog aus den Erkenntnissen der Materialien zu den Stickoxiden (s. Kapitel 6.4.3.3). Es wurde konsequent das Ziel verfolgt, die Materialien einheitlich zu gestalten, so dass eine Umsetzung für beide Aspekte erfolgte. Die Beobachtungsaufgabe des Versuchs wurde durch Strukturierungshilfen verbessert. Der Lückentext für die Eintragung der Beobachtung wurde ersetzt. Da in der Planung keine Besprechung des Versuchs vorgesehen ist bzw. durchgeführt wird, soll den Lernenden die abschließende Erklärung des Versuchs vorgegeben werden.

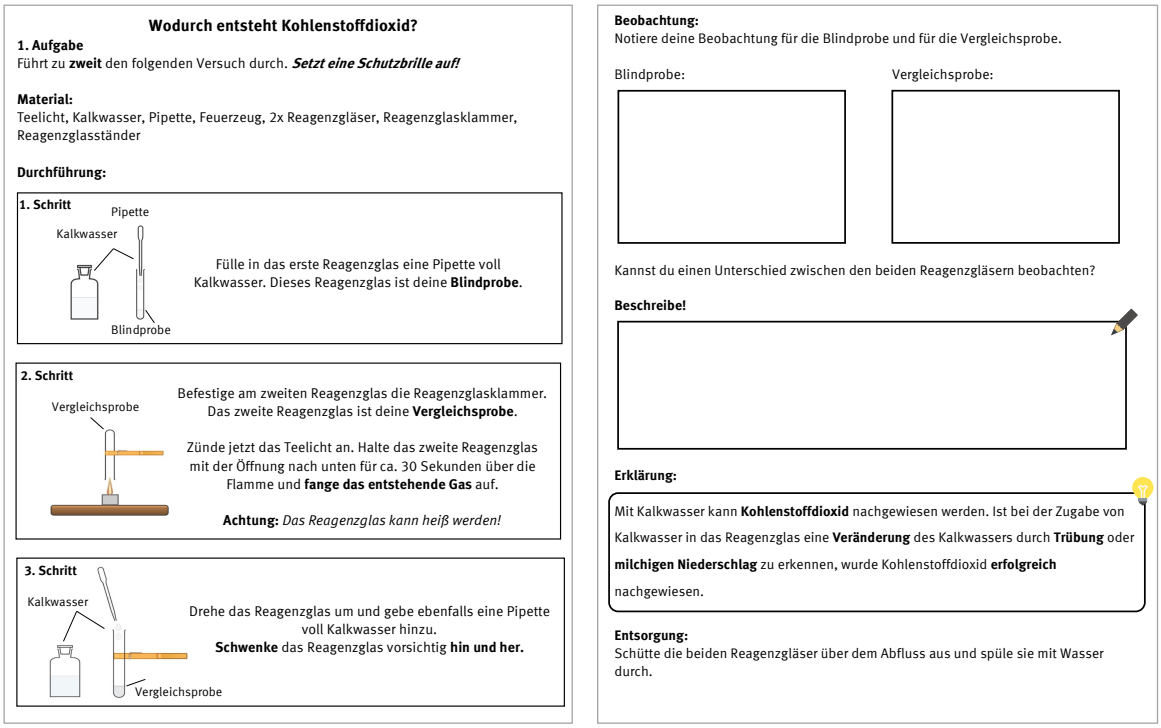


Abbildung 33: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 1 und 2).

Der Informationstext zur Strombereitstellung wurde um Abbildungen ergänzt (s. Abbildung 34), um das Verständnis der Informationen zu unterstützen (*Multimediaprinzip*).

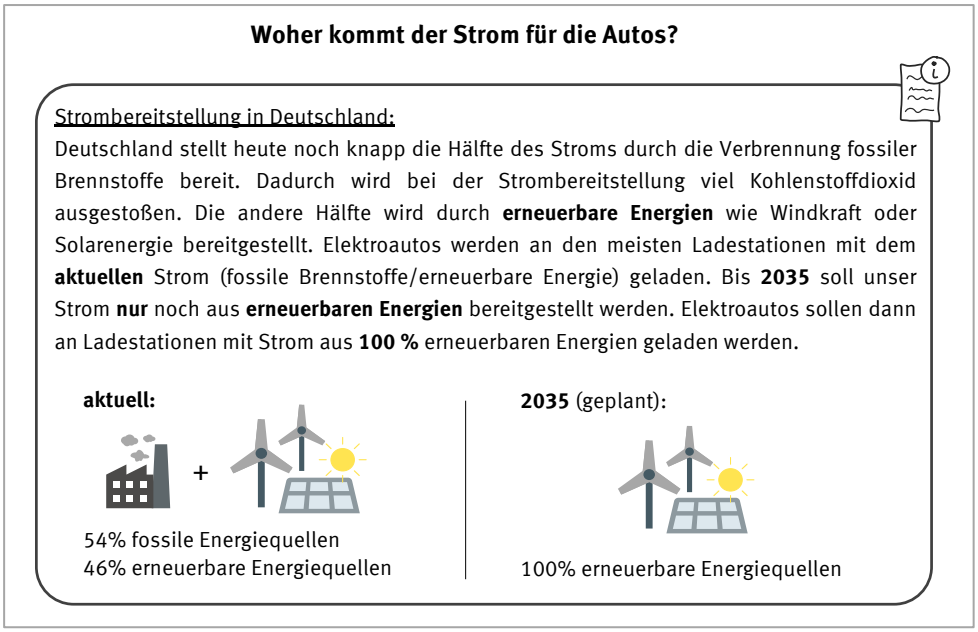


Abbildung 34: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 5). Informationstext: Woher kommt der Strom für die Autos?

Erprobung (dritte Version)

Im dritten Erprobungsdurchgang bearbeiteten alle Lernenden (n=27) der Klasse 9.4 das Material zum Aspekt Kohlenstoffdioxid. Davon wurde das Material einer Schülerin nicht ausgewertet, bei der sich im Laufe der Erprobung herausstellte, dass es sich um eine Austauschschülerin mit geringen Sprachkenntnissen handelte (S8, G4). Von sieben Schülerinnen fehlte das Einverständnis zur Videographie. Ziel der Erprobung war es, neben der Überprüfung der optimierten Elemente auch einmal die Bearbeitung nur eines Aspektes während einer Unterrichtseinheit zu fokussieren.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Klasse werden in Tabelle 16 zusammenfassend dargestellt. Auf eine einzelne Darstellung der Ergebnisse wird an dieser verzichtet, die Begründung wird in der folgenden Diskussion dargelegt.

Tabelle 16: Zusammenfassung Aufgabenergebnisse (Kohlenstoffdioxid) von Klasse 9.4 in Prozent in der dritten Erprobung.

3.Erprobung (23.08.2022)		**A1**	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**
	9.4	**100 %**	**85 %**	**48 %**	**30 %**	**55 %**

Das Experiment wurde vollständig von allen Lernenden bearbeitet. In der zweiten Aufgabe erreichte die Klasse einen Prozentanteil von 85 %. In den Aufgaben 3 und 4 wurden weniger als die Hälfte der Gesamtanzahl an Punkten erreicht (48 % und 30 %), wobei die

vierte Aufgabe am schlechtesten bewertet wurde. Der Lückentext wurde insgesamt zu 55 % richtig ausgefüllt.

Diskussion

Beim Vergleich der Ergebnisse mit der zweiten Erprobung, fällt auf, dass die Lernenden deutlich schlechtere Ergebnisse erzielt haben. Dazu wird zunächst eine allgemeine Beschreibung vorangestellt und dann kurz auf die einzelnen Aufgaben und erkannten Schwierigkeiten eingegangen. Es ist an dieser Stelle zu beachten, dass es sich bei der Stichprobe hier um eine deutlich größere Anzahl von Lernenden handelt als bei den vorherigen Durchgängen, sodass ein direkter Vergleich schwierig ist.

Insgesamt ist die Arbeitsphase bei mehreren Gruppen durch unkonzentriertes Verhalten gekennzeichnet, insbesondere bei G4, G5, G7, G8 und G9. Im Gesamteindruck der Erprobung zeichnete sich die Lerngruppe zum Teil durch ein hohes Maß an Unruhe aus. Hier könnte die Vermutung aufgestellt werden, dass der späte Zeitpunkt der Durchführung innerhalb des regulären Schultages ein möglicher Faktor dafür gewesen sein könnte. Die Erprobung fand in der achten und neunten Unterrichtsstunde statt.

Bei der Hälfte der videographierten Gruppen zeigte sich im Vergleich zu den anderen Erprobungsdurchgängen deutliche Zeitprobleme. In den Gruppenvideos ist zu erkennen, dass die Lehrkraft nach 30 Minuten den Hinweis gibt, zur Bewertungsaufgabe zu kommen, woraufhin bei fünf von zehn Gruppen die Bearbeitung abgebrochen wird (G3, G4, G5, G7, und G8). G10 wechselt ohne Aufforderung frühzeitig zur Bewertungsaufgabe und überspringt zwei Aufgaben ganz, zwischendurch sind jedoch Diskussionen über die richtige Lösung der Aufgaben zu vernehmen (0:40:28:0). Somit haben nur vier Gruppen (G1, G2, G6 und G9) alle Aufgaben innerhalb der Zeit bearbeitet. Dies erklärt zum einen die niedrigen Punktverteilungen und zum anderen, dass bei diesen kaum auf Verständnisprobleme geschlossen werden kann, da keine Bearbeitung stattgefunden hat. Bei sieben Lernenden kann aufgrund fehlender Zustimmung keine Aussage darüber getroffen werden, ob auch hier die Bearbeitung abgebrochen wurde oder Verständnisprobleme vorlagen.

Die Versuchsdurchführung zeigte erwartungsgemäß keine Schwierigkeiten und auch die zweite Aufgabe wurde gut bearbeitet. Aufgabe 3 wurde von acht Lernenden richtig bearbeitet, von neun Lernenden gar nicht. Dazwischen ist zu erkennen, dass die Aufgaben teilweise richtig sind und die Balken für die Fahrzeugherstellung und Wartung und Entsorgung eingezeichnet sind, aber häufig noch eine Halbierung des Balkens für die Stromversorgung hinzugefügt wird und hier die Informationen aus dem Text falsch verstanden wurden. Bei Aufgabe 4 haben nur drei Lernende die Aufgabe richtig gelöst (S1, S2 und S5). Viele konnten die Aufgabe gar nicht bearbeiten, aber auch hier lässt sich anhand der ausgewerteten falschen Lösungen vermuten, dass die Aufgabenstellung häufig missverstanden wird und in der Aufgabe nur eine Auflistung der Strombereitstellung wiederholt

wird. Der Lückentext wurde von mehr als einem Drittel der Klasse nicht bearbeitet, zeigt aber, wenn er bearbeitet wurde, insgesamt gute Ergebnisse.

Fazit

Die in der Diskussion dargelegten allgemeinen Schwierigkeiten aufgrund der Unruhe während der Erprobung sowie die teilweise damit verbundenen Zeitprobleme erschweren hier eine aussagekräftige Schlussfolgerung. Positiv hervorzuheben ist die erneute Bestätigung des Versuches sowie das Verständnis von Aufgabe 2. Die Problematik, Verständnisschwierigkeiten zu finden, die als Grundlage für ein *Re-Design* dienen könnten, wurde diskutiert. Daher wurde auf ein Re-Design verzichtet und die dritte Version des Materials erneut in der Haupterprobung durchgeführt. Die Ergebnisse aus dem dritten Durchgang werden insgesamt zu den gewonnenen Erkenntnissen hinzugefügt und zusammenfassend im *finalen Re-Design* umgesetzt, auf das an dieser Stelle verwiesen wird.

Haupterprobung (vierte Version)

In der Haupterprobung wurden insgesamt sieben Lernenden dem Aspekt Kohlenstoffdioxid in gemeinsamer Bearbeitung mit dem Aspekt Kosten zugeteilt. Davon bildeten insgesamt sechs Lernende die Gruppe 1 (s. Abbildung 16), die vollständig videographiert wurde. Von einer Schülerin (S3) wurde keine Materialmappe abgegeben. Der siebte Schüler (S20) bearbeitete dieselben Aspekte wie Gruppe 1, saß jedoch an der Tischgruppe außerhalb des Aufnahmebereichs und bearbeitete das Material alleine. Es handelte um einen Schüler mit DaZ-Hintergrund. Durch die Vorabinformation des Lehrers wurden die Materialien zu Kohlendioxid und Kosten ins Englische übersetzt, so dass der Schüler die Materialien auf Englisch bearbeiteten konnte.

Ergebnisse

Tabelle 17: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen von Gruppe 1 (Kohlenstoffdioxid) der Haupterprobung nach Punkten und in Prozent.

				A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	
Haupterprobung (09.11.2022)			**Punkte**	1	11	2	4	6	24
			Schüler:in						**gesamt (%)**
	G1	1.1	S1	1	11	2	0	4	75 %
			S2	1	11	2	0	4	75 %
		1.2	S3	-	-	-	-	-	-
			S4	1	10	0	0	4	63 %
		1.3	S6	1	4	2	0	3	42 %
			S5	1	0	2	0	0	13 %
	o. E.		S20	1	11	1	2	4	29 %
	Gesamt			**100 %**	**71 %**	**75 %**	**8 %**	**53 %**	

Das Experiment wurde von allen Lernenden vollständig durchgeführt (s. Tabelle 17). Aufgabe 2 wurde insgesamt zu 71 % und Aufgabe 3 zu 75 % vollständig richtig gelöst. Aufgabe 4 schneidet sehr schlecht ab. Nur ein Schüler (S20) hat für diese Aufgabe Punkte erhalten (2 von 4 Punkten). Alle anderen wurden mit 0 Punkten bewertet. Für die fünfte Aufgabe (Lückentext) wurden ein Anteil von 53 % aller Punkte erzielt.

Diskussion

Die Durchführung des Experiments erfolgte auch in der Haupterprobung ohne Probleme. Für die Diskussion der Aufgabenergebnisse kann an dieser Stelle durch das Gruppenvideo insgesamt ein Unterschied in der Zusammenarbeit der Gruppen beobachtet werden. Gruppe 1.1 und Gruppe 1.2 haben sehr gut zusammen in der Partnerarbeit gearbeitet, sodass zumindest für Grupp 1.1 die gleichen Lösungen vorliegen. Für Gruppe 1.2 kann keine Aussage über einen Vergleich der schriftlichen Ergebnisse getroffen werden, jedoch lässt die Betrachtung des Gruppenvideos vermuten, dass die Ergebnisse von S4 denen von S3 ähneln, da auch hier eine enge Zusammenarbeit stattgefunden hat.

Eine gemeinsame Arbeit an den Aufgaben findet in der Gruppe 1.3 zwischen S5 und S6 wenig bis gar nicht statt. Hier wird eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Aufgabenergebnisse innerhalb der Gruppe vermutet. Es ist zu beobachten, dass S5 zeitweise sehr passiv an der Arbeitsphase teilnimmt und kaum Ergebnisse schriftlich festhält. Das schlechte Gesamtergebnis von nur 12 % der maximal erreichbaren Punkte ist weniger auf fehlerhafte als vielmehr auf fehlende Ergebnisse zurückzuführen. Zu den Aufgaben 2,4 und 5 wurde keine Lösungen aufgeschrieben. Die Videoaufzeichnung zeigt an einigen Stellen, dass der Schüler sich das Material zwar ansieht, sich aber nicht an der Gruppendiskussion beteiligt und sich auch keine Notizen zu den diskutierten Gruppenergebnissen macht. Auch sind mehrere Situationen zu erkennen in denen S5 sich aufgabenfremd mit dem iPad beschäftigt, dass erst für einen späteren Arbeitsauftrag benötigt wird (Gruppe 1 0:41:41:1). Durch das unbeteiligte Verhalten können keine Erkenntnisse über Verständnisschwierigkeiten von S5 generiert werden. Es ist unter anderem eine Situation erkennbar in der S6 versucht S5 zu erklären was in der jeweiligen Aufgabe erwartet wird, worauf keine Reaktion erfolgt (Gruppe 1 0:42:22:9). S6 arbeitet sehr zügig und scheint sich insgesamt schon mit dem Thema Elektromobilität auseinandergesetzt zu haben, was sich in vielen kritischen Kommentaren zu den Aufgaben zeigt. Allerdings wurde bei Aufgabe 2 die Aufgabenstellung nicht richtig gelesen wodurch die Aufgabe nicht vollständig ist. Insgesamt erzielt S6 ein vergleichsweise schlechtes Gesamtergebnis, was durch die Betrachtung der Videoaufzeichnung überrascht.

Die Aufgabenergebnisse für Aufgabe 4 zeichnen sich durch ein Missverständnis der Aufgabenstellung aus. Alle Lernenden von Gruppe 1 (mit Ausnahme von S5) haben die Aufgabe zwar bearbeitet, jedoch entsprechen die Ergebnisse nicht der antizipierten Lösung. Es zeigt sich erneut, dass die Aufgabe falsch verstanden wird, indem nur die Zusammensetzung des Stroms für das aktuelle Jahr und das Jahr 2035 eingetragen wird. Somit wird

hier nur die Information des Textes auf Seite 5 wiedergegeben und die bereits in vorherigen Erprobungen beobachtete Verständnisschwierigkeit der Aufgabe wiederholt. Aufgabe 3 wurde von der Mehrheit richtig gelöst wird.
Der Lückentext wurde von S1, S2 und S4 zwar bearbeitet, aber zwei Lücken wurden jeweils nicht mit dem gesuchten Begriff ausgefüllt. Sowohl von S3 als auch von S4 (Gruppe 1 0:50:13:5; 0:50:36:2) werden während der Bearbeitung Verständnisprobleme geäußert. S6 hat den Lückentext nur zur Hälfte ausgefüllt und äußert während der Bearbeitung ebenfalls Verständnisschwierigkeiten (Gruppe 1 0:43:13:6) woraufhin die Aufgabe abgebrochen und die Bearbeitung des nächsten Aspekts begonnen wird.
Für S20 können keine ergänzenden Aussagen getroffen werden, jedoch wurde das Experiment erfolgreich durchgeführt und auch Aufgabe 2 vollständig beantwortet. Bei anderen Aufgaben wurden mindestens die halbe Punktzahl erreicht. Aus den subjektiven Beobachtungen der durchführenden Lehrkraft der Erprobung kann positiv hervorgehoben werden, dass der Schüler motiviert und bemüht mitgearbeitet hat und trotz der Sprachbarriere einen Teil der Aufgaben sehr gut verstanden und einen weiteren Teil zur Hälfte gut bearbeitet hat.

Fazit
Wie die Diskussion der Ergebnisse darlegt, zeigen sich in der Haupterprobung große Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Lernenden, für die sich zum Teil aus den Beobachtungen der Videoaufnahme Erklärungsansätze ableiten lassen. Zum einen fehlen die Ergebnisse von S4. Auch das beschriebene Verhalten von S6 und die schlechte Gruppenzusammenarbeit der Gruppe 1.3 unterstützen ein schlechtes Gesamtergebnis. Auch bei S20 muss betont werden, dass es sich aufgrund möglicher Sprachbarrieren um ein weniger aussagekräftiges Ergebnis handelt als bei den anderen.
Die größten Schwierigkeiten traten bei der vierten Aufgabe auf, was die bisherigen Erkenntnisse aus den vorangegangenen Versuchen bestätigt. Auch der Lückentext weist Verständnisschwierigkeiten auf, die insofern problematisch sind, als dass die Sicherungsaufgabe der Vorbereitung der Bewertungsaufgabe dient. Insgesamt lässt sich als Fazit der Haupterprobung festhalten, dass die Aufgaben mit Ausnahme des Experiments eher im befriedigenden Bereich liegen, differenziert betrachtet aber keine Schwierigkeiten für die Aufgaben 2 und 3 beschrieben werden können. Möglicherweise wird der Informationstext zur Stromversorgung nicht deutlich genug verstanden.

Re-Design (final)
Basierend auf den Erkenntnissen der Haupterprobung und unter Berücksichtigung aller Erkenntnisse aus den durchgeführten Erprobungen wird das Material zu Kohlendioxid einem abschließenden Re-Design unterzogen. Die überarbeiteten Materialien werden in dieser Version Lehrkräften zur Verfügung gestellt werden (s. Anhang C.1).

Der Informationstext zur Strombereitstellung wurde noch einmal sprachlich überarbeitet. Aufgabe 4 wird grundlegend überarbeitet. Die Aussage wird umformuliert und um das Verb *fahren* ergänzt: *„Null-Emission" bei Elektroautos: Jetzt CO2-frei fahren*!". Auch die Abbildung (s. Abbildung 35) wird verändert:

4. Aufgabe: Beurteile folgende Aussage und notiere deine Antwort:

„Null-Emission" bei Elektroautos: Jetzt CO_2-frei fahren!"

Abbildung 35: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Aufgabe 4).

Ein Pfeil soll verdeutlichen, dass es sich um ein fahrendes Elektroauto handelt. Ziel der Aufgabe ist es also zu erkennen, dass unter der Annahme, dass es sich um ein fahrendes Elektroauto handelt, diese Aussage richtig ist, jedoch nicht einer ganzheitlichen Betrachtung der Klimabilanz entsprechen würde. Hierzu sollte ergänzend aufgeführt werden, dass Elektroautos durch die Ursachen Fahrzeugherstellung, Wartung und Entsorgung sowie Strombereitstellung ebenfalls Kohlenstoffdioxid ausstoßen. Es wird nicht vorausgesetzt, dass die Lernenden bereits den Transfer leisten, dass Null-Emission als Begriff hier missverständlich ist. Dieser Transfer könnte erst erfolgen, wenn die Aspekte *Stickoxide* und *Feinstaub* bereits behandelt wurden. Damit hat sich die Aufgabenstellung verändert. Der Lückentext wird überarbeitet und mit einem *Wort-Pool* der gesuchten Wörter ergänzt. Dadurch wird die Schwierigkeit herabgesetzt (Leisen, 2003). Es soll sichergestellt werden, dass alle Lernenden den Lückentext selbstständig bearbeiten und die richtigen Begriffe verwenden. Damit sollen sie die Möglichkeit haben, sich selbst zu überprüfen, um eine vollständige Grundlage für die Bewertung des Aspekts Kohlenstoffdioxid mit Hilfe der Bewertungsscheibe zu haben.

Es lässt sich abschließend resümieren, dass in einem iterativen Vorgehen unter wiederholter Einbindung gewonnener Erkenntnisse und der Durchführung mit mehreren unterschiedlichen Lerngruppen wirksames Lernmaterial zum Aspekt Kohlenstoffdioxid entwickelt und optimiert wurde.

6.4.3.2 Feinstaub

Entwicklung

Das Material zum Aspekt Feinstaub sieht analog zum Kohlenstoffdioxid-Material eine Bearbeitungszeit von 30 Minuten vor und umfasst insgesamt fünf Seiten (s. Anhang C.2). Die erste Seite beginnt mit der Überschrift: „*Die Feinstaub-Problematik: Was ändert sich mit Elektroautos?*“. Es folgt zur Einführung ein kurzer Informationstext.

Auswirkungen von Feinstaub auf den Menschen

Die erste Aufgabe beschäftigt sich mit den Auswirkungen von Feinstaub auf den Menschen. Die Lernenden werden aufgefordert mit ihrem Smartphone oder Tablet einen Link zu öffnen (Aufgabe 1a). Dieser ist ebenfalls als QR-Code auf dem Material zugänglich. Der Link führt zu einer gestalteten Seite der App *thinglink* mit der Überschrift „*Feinstaub und Gesundheitsrisiken für den Menschen*“, die als Ausschnitt in Abbildung 36 dargestellt ist.

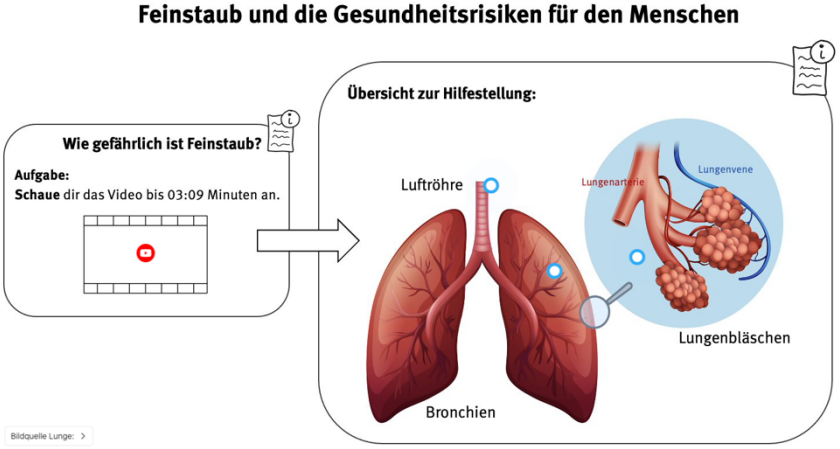


Abbildung 36 :Ausschnitt Lernmaterial Feinstaub. thinglink: "Feinstaub und die Gesundheitsrisiken für den Menschen“ Bildquelle: vecteezy.com

Die Lernenden erhalten den Arbeitsauftrag (Aufgabe 1b), das links eingebettete Video bis 03:09 Minuten anzusehen. Das Video ist ein frei zugängliches Video von Quarks mit dem Titel „*Schlechte Luft: Warum Feinstaub so gefährlich ist*“[3]. Um den Inhalt auf die wesentlichen Aspekte zu beschränken, die die Lernenden für die folgende Aufgabe benötigen, wurden 3:09 Minuten von insgesamt 5:59 Minuten ausgewählt. Neben dem Hinweis, nur diesen Ausschnitt des Videos abzuspielen, wurde der Link auch in dieser verkürzte Abspielzeit eingebunden. So kann die Einhaltung der gewählten Abspielzeit bestmöglich kontrolliert werden.

Der Inhalt des Videos informiert darüber, woraus Feinstaub besteht und was Feinstaub verursacht. Feinstaub besteht aus verschiedenen Größen und Massen. Es wird betont, dass vor allem die Größe von Feinstaub gefährlich ist, die Grenzwerte sich aber auf die Masse beziehen. Je kleiner der Feinstaub, desto gefährlicher bzw. tiefer dringt er in den

[3] Quarks: „Schlechte Luft: Warum Feinstaub so gefährlich ist“: https://www.youtube.com/watch?v=4eMjOnj4Zc

menschlichen Körper ein. Es werden die unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Partikelgrößen (10 µm, 2,5 µm und 0,1 µm) auf den Menschen beschrieben.
Zur Visualisierung der Informationen dient ein interaktives Bild auf der rechten Hälfte der *thinglink*-Seite. Mit Hilfe der interaktiven Punkte, die die jeweilige Partikelgröße lokalisieren, können die Informationen aus dem Video visuell unterstützt werden.
Die *thinglink*-Seite kann nach dem SAMR-Modell (s. Kapitel 6.4.3.2) zwischen Ersatz und Erweiterung eingeschätzt werden. Der QR-Code dient der Auslagerung der Informationen. Durch die Einbettung des Videos und Positionierung neben der interaktiven Abbildung *(Kontiguitätsprinzip*), kann der rein audiovisuelle Kanal entlastet werden. Die Informationen aus dem Video können noch einmal nachvollzogen werden, indem die Lernenden auf die interaktiven Punkte klicken und noch einmal wiederholen können, welche Partikelgröße wie tief eindringt. Die Punkte enthalten die Informationen in Textform und zeigen durch ihre Positionierung den Ort der zugehörigen Information.
In Aufgabe 1c sollen die erhaltenen Informationen in eine Tabelle eingetragen werden (*halboffene Aufgabe*). Für jede Partikelgröße erfolgt eine Zuordnung bis wo der Feinstaub in den menschlichen Körper gelangt und welche gesundheitlichen Folgen eintreten könnten. Abschließend werden in einem kurzen *Lückentext* noch einmal die wichtigsten Informationen der Aufgabe hervorgehoben: Gefährlich für den Menschen ist vor allem die geringe Größe der Feinstaubpartikel. Je kleiner die Partikel sind, desto schädlicher ist das Einatmen.

Grenzwerte - Wo sind sie besonders hoch?
Die zweite Seite des Materials beginnt mit der Überschrift: „*Grenzwerte - Wo sind sie besonders hoch?“.* Ein Informationstext beschreibt die Festlegung von Grenzwerten zur Verringerung der Gefährdung für den Menschen und weist darauf hin, dass sich die Werte auf die Masse pro Kubikmeter beziehen. Dargestellt sind die für Deutschland geltenden EU-Grenzwerte und im Vergleich dazu die von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) geforderten Werte (Europäische Union, 2008).

In der zweiten Aufgabe des Materials sollen die Lernenden ebenfalls einen Link (oder QR-Code) mit ihrem Smartphone oder Tablet öffnen. Dieser führt auf die Internetseite des Umweltbundesamtes, auf der die Luftdaten verschiedener Messstationen abgerufen werden können[4]. Auf einer interaktiven Seite können verschiedene Luftschadstoffe ausgewählt werden, darunter auch Feinstaub (PM_{10}). Es können Datum und Uhrzeit, die Art der Auswertung (z. B. Tagesmittelwert) sowie eine bestimmte Messstation aus einem beliebigen Bundesland ausgewählt werden. Neben dem Tagesmittelwert wird auch die Lage der Messstation, z. B. *städtischer Verkehr* angegeben. Für die Aufgabe wurden die folgenden drei Messstationen ausgewählt: Warstein mit der Lage: *städtische Industrie*,

[4] Umweltbundesamt: https://www.umweltbundesamt.de

Simmerath (Eifel) mit der Lage: *ländlich* und Gelsenkirchen Kurz- Schumacher-Straße mit der Lage: *städtischer Verkehr*. Zum Zeitpunkt der Auswahl (02.06.2021) haben die Stationen folgende Tageswerte für Feinstaub (PM_{10}) gemessen: Warstein: 39 µg/m³, Simmerath: 10 µg/m³ und Gelsenkirchen 34 µg/m³.
In einer vorstrukturierten Tabelle sollen die jeweiligen Tageswerte der drei Stationen sowie deren Lage eingetragen werden (Aufgabe 2b, c). Der Link öffnet automatisch die Datumseinstellung vom 02.06.2021, so dass immer die gleichen Werte abrufbar sind. Wenn sich das Datum ändert, ändern sich auch die Werte, aber die Relationen zwischen den Messstationen können als konstant angesehen werden. Sie wurde an verschiedenen Daten geprüft. Ziel ist es, zu erkennen, dass besonders viel Feinstaub in der Nähe von Industrie und Verkehr entsteht und weniger in ländlichen Gebieten.
Zur Sicherung sollen in einer zusammenfassenden *Lückentextaufgabe* die drei Messstationen zugeordnet werden.
Die Nutzung der Internetseite des Umweltbundesamtes kann als Erweiterung nach dem SAMR-Modell bezeichnet werden. Der interaktive Ansatz ermöglicht es den Lernenden, die gesuchten Daten selbstständig aus der Originalquelle zu ermitteln. Über die Kartenfunktion können sie unter anderem erkennen, wo sich die gesuchten Orte befinden und wie weit sie jeweils voneinander entfernt sind. Die farbliche Zuordnung der Punkte zeigt bereits an, ob es sich um einen eher hohen oder eher niedrigen Wert handelt (z. B. rot für sehr hohe Werte).
Die eigenständige Suche kann hier durch die interaktive Karte als verbesserte Funktion gegenüber einer tabellarischen Auflistung in Textform angesehen werden.

Wo ist Feinstaub besonders gefährlich?
Aufgabe 3 erfordert einen Transfer der bisher erarbeiteten Informationen. Die Lernenden sollen durch Ankreuzen entscheiden, von welchem Faktor, Industrie oder Verkehr, ein höheres Gesundheitsrisiko für den Menschen ausgeht.

Abbildung 37: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Feinstaub (Seite 3). Abbildung der größten Verursacher von Feinstaub: Industrie und Verkehr.

Anschließend sollen sie ihre Vermutung begründen. Bei der Bearbeitung der zweiten Aufgabe haben die Lernenden erfahren, dass sowohl die Industrie als auch der Verkehr hohe Feinstaub-Emissionen verursachen. In Aufgabe 3 sollen sie zu dem Schluss

kommen, dass der Verkehr ein höheres Gesundheitsrisiko für Menschen darstellt, da die Emissionen direkt in den Städten (=Wohnorte) freigesetzt werden. Im Vergleich dazu finden Emissionen aus der Industrie an Orten statt, an denen sich Menschen nicht oder nur selten aufhalten. Dort, wo Feinstaub maßgeblich für die gesundheitsschädliche Luftverschmutzung verantwortlich ist, kann durch Elektrofahrzeuge eine Verbesserung erreicht werden (BMU, 2018). Diese Erkenntnis soll durch die erstellte Abbildung 37 veranschaulicht werden, in der der Verkehr durch die Darstellung von Häusern ergänzt wird.
Es folgen zwei Informationstexte, die sich mit den Unterschieden der Feinstaub-Emissionen von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und Fahrzeugen mit Elektromotor befassen:

Feinstaub-Faktoren im Vergleich: Verbrennungsmotor und Elektromotor
Im ersten Informationstext (Seite 3) zum Vergleich der Fahrzeugtypen Verbrennungsmotor und Elektromotor wird auf die Unterschiede der Feinstaub-Emissionen bei den beiden großen Verursachern Industrie und Verkehr hingewiesen: Elektroautos haben keinen Auspuff und damit im Gegensatz zu Verbrennungsmotoren keine direkten Emissionen im Verkehr. Über den gesamten Lebenszyklus betrachtet ist jedoch die Fahrzeugherstellung die größte Feinstaubquelle und für beide Fahrzeugtypen entscheidend. Durch die zusätzliche Herstellung der Batterie fallen bei der Herstellung eines Elektroautos dadurch sogar etwas mehr Feinstaub-Emissionen an (BMU, 2018).

Weiterer Faktor: Feinstaub durch Abrieb – wovon hängt die Menge ab?
Der zweite Informationstext (Seite 4) beschreibt den dritten Faktor, durch den Fahrzeuge Feinstaub emittieren: Abrieb durch Reifen, Bremsen und Aufwirbeln von Feinstaub auf der Straße. Reifenabrieb ist eine der größten Quellen für Mikroplastik, das direkt in die Umwelt gelangt und dort unter anderem Gewässer belasten kann (OECD, 2020). Die Menge an Feinstaub, die durch Abrieb entsteht, hängt von verschiedenen Eigenschaften eines Autos ab, vor allem von der Größe und (bei Elektroautos) von der Größe der Batterie. Diese beeinflussen das Gewicht des Autos. Je schwerer ein Auto ist, desto mehr Abrieb entsteht an den Reifen oder beim Bremsen.

Anhand von Abbildung 38 sollen die Lernenden in Aufgabe 4 (*offene Aufgabe*) herausarbeiten, dass sowohl die Größe des Autos als auch die Größe der Batterie entscheidend sind (OECD, 2020).

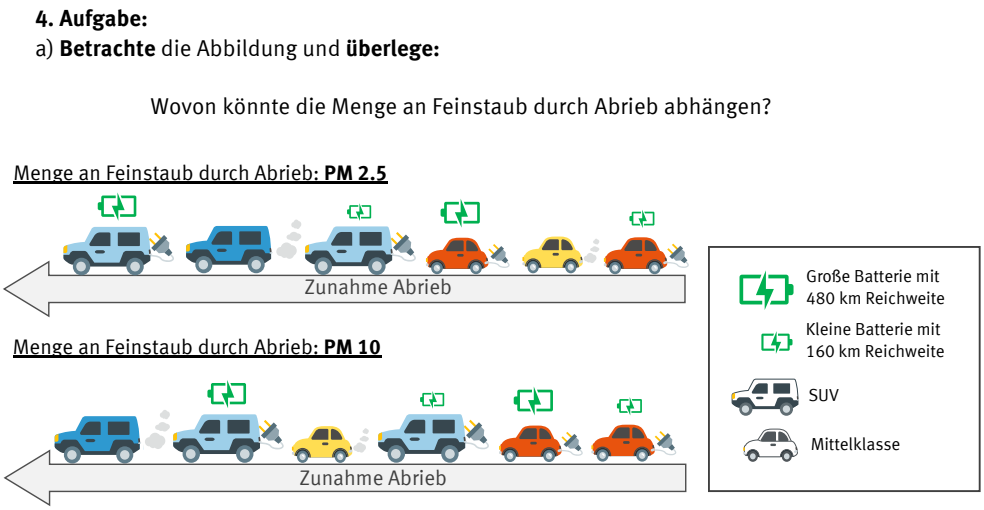


Abbildung 38: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Feinstaub (Aufgabe 4, Seite 4). Abbildung zur Erarbeitung wovon die Menge an Feinstaub durch Abrieb abhängt.

Weitere Eigenschaften beeinflussen ebenfalls die Abriebmenge, können aber nicht aus der Abbildung abgeleitet, sondern nur mit Vorwissen oder einer weitergehenden Interpretation der Abbildung benannt werden. Dazu gehören Fahrstil, Reifenmaterial, Straßenzustand und die Temperatur.

Auf der letzten Seite werden die wesentlichen Informationen zum Vergleich der Fahrzeugtypen gesichert. Aufgabe 5 konzentriert sich auf den direkten Vergleich der drei beschriebenen Feinstaubquellen *direkte Emission*, *Fahrzeugherstellung* und *Abrieb* zwischen den beiden Fahrzeugtypen. Die Lernenden sollen durch das Eintragen der Zeichen für größer, kleiner, gleich (<, >, =) markieren, dass bei der direkten Emission über den Auspuff der Verbrennungsmotor deutlich überwiegt, da der Elektromotor keinen Auspuff hat (*Zuordnung, geschlossene Aufgabe*). Bei der Fahrzeugherstellung überwiegen die Feinstaub-Emissionen durch die zusätzliche Batterieherstellung beim Elektroauto. Und beide Fahrzeuge verursachen in etwa gleich viel Feinstaub durch Abrieb bzw. in Abhängigkeit von Größe und Gewicht. Im allgemeinen Vergleich kann hier nur das Gleichheitszeichen gesetzt werden. Den Abschluss des Feinstaubmaterials bildet wieder eine Zusammenfassung der Informationen durch die Bearbeitung eines Lückentextes (Aufgabe 6). Der Lückentext ist offen, die gesuchten Wörter sind nicht vorgegeben.

Erprobung Feinstaub

Das Material zum Aspekt Feinstaub wurde insgesamt dreimal mit fünf verschiedenen Lerngruppen (n=26) erprobt (s. Übersicht Kapitel 6.2.2). Auf diese Weise wurde das Material ebenfalls iterativ weiterentwickelt.

Erprobung (erste Version)

Im ersten Erprobungsdurchgang wurde auch das Material zu Feinstaub in den beiden teilnehmenden Kursen durchgeführt. Insgesamt bearbeiteten jeweils acht Lernende das Material, vier in jedem Kurs (s. Abbildung 10 und 11).

Ergebnisse

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit der einzelnen Gruppen und Kurse sowie der Gesamtdurchschnitt des Erprobungsdurchgangs für die erste Version des Materials ist in Tabelle 18 dargestellt.

Tabelle 18: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Feinstaub) von Kurs 1 und Kurs 2 in der ersten Erprobung.

	Kurs	**Gruppe**	**Schüler:in**	**Zeit (min)**
1.Erprobung (13.12.2021)	1	G1	S1, S2	42:44 min
	1	G2	S3, S4	33:50 min
	Durchschnitt Kurs 1			**38:17 min**
	2	G1	S1, S2	24:46 min
	2	G3	S6, S7	23:27 min
	Durchschnitt Kurs 2			**24:07min**
	Durchschnitt (gesamt)			**31:12min**

Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen beiden Kursen. Kurs 1 hat im Durchschnitt 38:17 Minuten benötigt, wobei die erste Gruppe mit 42:44 Minuten deutlich länger als die zweite Gruppe mit 33:50 Minuten benötigte. Kurs 2 hat im Durchschnitt nur 24:07 Minuten gebraucht. Gruppe 1 mit 24:46 Minuten benötigt und Gruppe 3 nur 23:07 Minuten. Insgesamt ließ sich aus den Bearbeitungszeiten ein Durchschnitt von 31:12 Minuten ermitteln.

Auch für die fünf Aufgaben des Feinstaub-Materials wurde ein Punktesystem entwickelt, nachdem die schriftlichen Aufgabenergebnisse ausgewertet wurden. Die Ergebnisse der verteilten Punkte pro Aufgabe und Schüler:in sowie die prozentualen Anteile der Gesamtergebnisse sind in Tabelle 19 dargestellt:

Tabelle 19: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Feinstaub) von Kurs 1 und Kurs 2 nach Punkten und in Prozent in der ersten Erprobung.

				A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	
1. Erprobung (13.12.2021)		**Punkte**		12	9	2	2	3	8	36
		Schüler:in								gesamt (%)
	Kurs 1	G1	S1	12	9	2	2	3	7	97 %
			S2	12	9	2	2	3	7	97 %
		G2	S3	12	9	1	2	3	8	97 %

			S4	12	9	1	2	3	8	97 %
		gesamt		**100 %**	**100 %**	**75 %**	**100 %**	**100 %**	**94 %**	
	Kurs 2	G1	S1	12	9	0	1	3	8	92 %
			S2	12	9	0	1	3	8	92 %
		G3	S6	12	9	0	1	3	8	92 %
			S7	12	9	0	1	3	8	92 %
		gesamt		**100 %**	**100 %**	**0 %**	**50 %**	**100 %**	**100 %**	
	zusammen			**100 %**	**100 %**	**38 %**	**75 %**	**100 %**	**97 %**	

Die Aufgaben 1 und 2 wurden in beiden Kursen von allen Lernenden richtig gelöst (100 %). Die dritte Aufgabe zeigt einen großen Unterschied zwischen den Kursen: In Kurs 1 wurden 75 % der Gesamtpunkte erreicht, davon hat Gruppe 1 (Kurs 1) die Aufgabe vollständig richtig gelöst und Gruppe 2 (Kurs 1) die Hälfte. Im Vergleich dazu erhielt die Aufgabe im zweiten Kurs 0 % der Punkte. Daher ergibt sich insgesamt für den ersten Erprobungsdurchgang ein Anteil von 38 % der Punkte.
Auch für die Aufgabe 4 zeigen sich unterschiedliche Ergebnisse: In Kurs 1 wurde die Aufgabe richtig bearbeitet (100 %), in Kurs zwei wurden nur die Hälfte der Punkte erreicht (50 %). Aufgabe 5 wurde vollständig richtig gelöst. Die Sicherungsaufgabe wurden zu nahezu vollständig richtig gelöst (97 %). Nur zwei Lernenden konnten eine Lücke nicht ausfüllen (S1, S2). Insgesamt haben alle Lernenden die Aufgaben für den Aspekt Feinstaub sehr gut gelöst und liegen zwischen 92 % und 97 %.

Diskussion
Für das Material zum Aspekt Feinstaub wurde analog ebenfalls eine Bearbeitungszeit von 30 Minuten angesetzt. In der Summe beider Kurse überschreitet die durchschnittliche Bearbeitungszeit die geplanten 30 Minuten um 1:12 Minuten, es wurden alle Aufgaben bearbeitet. Es fällt jedoch eine große Differenz zwischen den beiden Kursen auf. Der erste Kurs benötigte deutlich mehr Zeit, insbesondere Gruppe 1 (42:44 Minuten). Im Gegensatz dazu benötigte der zweite Kurs deutlich weniger Zeit und lag im Durchschnitt 5:43 Minuten unter der vorgesehenen Bearbeitungszeit. Die Beobachtungen im Video lassen lediglich erkennen, dass sich Gruppe 1 sehr viel Zeit lässt und bereits bei der ersten Aufgabe deutlich länger als erwartet benötigt. Auch trotz des Hinweises der Lehrkraft, aus Zeitgründen zur Bewertungsaufgabe zu wechseln, bearbeiten sie den inhaltlichen Teil weiter und haben dadurch weniger Zeit für die Bewertung. Erklärungsansätze warum die Bearbeitung so lange dauert können nicht gefunden werden. Gruppe 2 des ersten Kurses zeichnet sich durch mehrere private Gespräche untereinander sowie eine teilweise unkonzentrierte Arbeitsweise aus. Im Gegensatz dazu arbeiten die Gruppen im zweiten Kurs zügiger. Betrachtet man jedoch die Punkteverteilung der Aufgaben schneidet Kurs 1 dafür insgesamt etwas besser ab.

Insgesamt zeigen die Lernenden bei den Aufgaben 1 und 2 keine Verständnisschwierigkeiten, die Aufgaben werden alle richtig gelöst (100 %). Das Video wird nicht länger als die gewählte Zeit von 3:09 angeschaut, so dass die erste Aufgabe insgesamt sehr schnell bearbeitet wird und die Informationen vollständig herausgeschrieben werden. Bei Aufgabe 2 ist sowohl in den beiden Gruppen des ersten Kurses (G1, G2) als auch in Gruppe 3 des zweiten Kurses zu beobachten, dass die Lehrkraft zunächst den Aufbau der Internetseite des Umweltbundesamtes erkläret und Hinweise zur Nutzung gibt (z. B. K1 G2 0:38:04; K2 G3 0:33:23). Nach der Erklärung scheint es keine weiteren Probleme zu geben.

In der dritten Aufgabe unterscheiden sich die beiden Kurse, bei beiden zeichnet sich Aufgabe 3 jedoch durch das schlechteste Aufgabenergebnis des Materials aus. Gruppe 1 aus Kurs 1 zeigt in den schriftlichen Ergebnissen keine Probleme in der Aufgabe, insgesamt ist hier aber die Videoaufnahme dadurch beeinflusst, dass die Gruppe das iPad direkt vor die Kamera gestellt hat sodass hier die Beobachtung nur eingeschränkt möglich ist und die Gespräche der beiden Lernenden auch sehr leise sind, sodass die Akustik des Videos ebenfalls die Beobachtung eingeschränkt. Gruppe 2 aus Kurs 1 diskutiert die richtige Erkenntnis aus den beiden Abbildungen (G2 Kurs 1, 0:41:50:2) und kreuzt den Stadtverkehr an. Schriftlich notieren sie jedoch eine falsche Begründung (G2 Kurs 1, 0:42:26.1). Es handelt sich um eine Vermischung von Informationen: Sie beziehen sich auf die vorangegangene Aufgabe, in der sie Werte für die städtische und die industrielle Situation notiert haben. Sie schließen daraus, dass der niedrigere Wert (34 µg/m^{3}für städtisch und 39 µg/m^3 für industriell) gefährlicher sein muss, da er kleiner ist. Damit verwechseln sie die Information, dass Feinstaub umso gefährlicher für den Menschen ist, je kleiner er ist. Diese Information wurde in der ersten Aufgabe erarbeitet. Der Tagesmittelwert bezieht sich jedoch auf die Masse und nicht auf die Größe, so dass die Werte keine Aussage über die Größe machen. Diese wird an den Messstationen leider nicht erfasst, was auch im Video thematisiert wird.
In Kurs 2 kreuzen beide Gruppen die antizipierte Lösung nicht an. In der schriftlichen Begründung von Gruppe 1, die bei beiden Lernenden ähnlich ist, wird beschrieben, dass sich Feinstaub in der Luft ansammelt und eingeatmet wird. Es ist aus der Videoaufnahme nicht ersichtlich, ob die Abbildung falsch interpretiert wurde oder ob die Schlussfolgerung aus den Werten von Aufgabe 3 gezogen wurde. Aufgrund der schlechten Akustik kann der Gedankengang der Lernenden nicht nachvollzogen werden. Auch die zweite Gruppe (G3) hat eine falsche Begründung aufgeschrieben: Es wird beschrieben, dass in der Industrie mehr Kohlenstoffdioxid ausgestoßen wird. Das Gruppenvideo (Gruppe 3, Kurs 2) zeigt keine vorherige Diskussion wie die Lernenden zu dieser Information gekommen sind. Die Aufgabe schien den Lernenden keine Schwierigkeiten zu bereiten und wurde sehr schnell bearbeitet, möglicherweise wurden hier nur die Begriffe Feinstaub

und Kohlendioxid vertauscht, was aber nicht belegt werden kann. Es kann auch vermutet werden, dass es zu einer Fehlinterpretation der Abbildungen gekommen ist.
Aufgabe 4 wird von Kurs 1 wie antizipiert bearbeitet, aber aus den Beobachtungen der beiden Gruppenvideos geht hervor, dass beide Gruppen Fragen zur Aufgabenstellung geäußert und die betreuenden Lehrkräfte um Hinweise gebeten haben (G1 0:46:41; G2 0:56:02). Im zweiten Kurs bearbeiten beide Gruppen die Aufgabe ohne Rückfragen, erreichen aber nur die Hälfte der möglichen Punkte. Gruppe 1 (Kurs 2) benennt Größe und Gewicht des Fahrzeugs und ob es sich um einen Elektro- oder Verbrennungsmotor handelt. Sie nennen die Batteriegröße bzw. die Reichweite nicht als Merkmal. Zusätzlich beschreiben sie ein Merkmal, das sich nicht aus der Abbildung ableiten lässt, sondern weiter interpretiert werden könnte: Je nach Nutzungshäufigkeit des Autos ist natürlich mit mehr Abrieb zu rechnen. Dieser Grund kann jedoch nicht im Vergleich der Fahrzeuge genannt werden, sondern ist sehr allgemein formuliert. Gruppe 3 (Kurs 2) formuliert die Antwort recht schnell, wie im Video zu sehen ist, und schaut sich erst später die Abbildung an. Sie beschreiben das Bremsverhalten und beziehen dann noch die Größe des Autos mit ein. Auf die beiden Fahrzeugtypen und die Batteriegröße gehen sie nicht ein.
Aufgabe 5 zeigt keine Probleme, insgesamt wird die Aufgabe von beiden Kursen sehr gut gelöst. Auch der Lückentext zeigt insgesamt ein sehr gutes Verständnis. Bei Gruppe 3 aus Kurs 2 wird jedoch in der Diskussion der Aufgabe deutlich, dass anscheinend Abgase mit Kohlendioxid oder Feinstaub gleichgesetzt wird. S6 schreibt *Abgase* in die Lücke und S7 CO_2, im Gespräch wird deutlich, dass beide die Begriffe synonym verstehen (Gruppe 3 Kurs 2 0:44:42). Da die Lücke von ihrer Aussage damit trotzdem richtig ist, wird die volle Punktzahl vergeben.

Fazit
Die durchschnittliche Überschreitung von 1:17 Minuten für alle Gruppen des ersten Erprobungsdurchgangs lässt auf eine angemessene Planung der Bearbeitungszeit schließen. Durch die unterschiedlichen Ergebnisse in Bezug auf die Über- und Unterschreitung in der tatsächlichen Bearbeitungszeit werden die 30 Minuten als gute Mitte zwischen den jeweiligen Ergebnissen eingeordnet. Der Umfang der Aufgaben eignet damit sich für eine grundsätzliche Durchführbarkeit des Materials.

Die Aufgaben 1 und 2 wurden ohne Probleme bearbeitet und weisen auf eine sehr gute Umsetzbarkeit hin. Auch bei der Beobachtung der Videoaufzeichnung konnten keine Verständnisschwierigkeiten seitens der Lernenden festgestellt werden, allerdings ist festzustellen, dass die Internetseite des Umweltbundesamtes erklärungsbedürftig und für die Lernenden nicht intuitiv ist. Aufgabe 3 zeigte die größten Verständnisschwierigkeiten und wurde zudem sehr unterschiedlich bearbeitet. Hier scheint die Aufgabenstellung nicht von allen Lernenden verstanden worden zu sein. Ebenfalls zeichnet sich Aufgabe 4 durch unterschiedliche Aufgabenergebnisse zwischen den Kursen aus. Auch hier zeigen

sich Probleme, die Aufgabenstellung richtig zu verstehen und die Abbildung richtig zu interpretieren. Die Sicherungsaufgaben wurden sehr gut gelöst. Im Gesamtergebnis zeigt sich, dass für den überwiegenden Teil der Aufgaben eine sehr gute Durchführbarkeit zu erkennen ist

Re-Design

Auf Grundlage der schriftlichen Ergebnisse und gewonnenen Erkenntnisse aus der ersten Erprobung wird das Material zu Feinstaub überarbeitet und einem ersten *Re-Design* unterzogen. Der Umfang des Materials wurde durch die Ermittlung der Bearbeitungszeit bestätigt und bleibt unverändert, die Anzahl der Aufgaben bleibt wie konzipiert vorhanden. Die Aufgabenstellung der dritten Aufgabe wird umformuliert, um zu verdeutlichen, was die Lernenden betrachten sollen. Durch die Anpassung „*Wo stellt Feinstaub ein höheres Gesundheitsrisiko für den Menschen dar?*" soll der Fokus auf den Ort der Emission verstärkt werden. Das Wort Faktor wird komplett aus der Aufgabe entfernt und durch Ort ersetzt. Dies war bisher missverständlich formuliert. Verkehr wird durch Stadtverkehr ergänzt, um auch hier stärker zu verdeutlichen, dass es darum geht wo mehr Menschen zu erwarten sind. Auch für die vierte Aufgabe wird eine Umformulierung der Aufgabenstellung vorgenommen: „*Betrachte die Abbildung und überlege, von welchen Merkmalen die Menge an Feinstaub durch Abrieb abhängen könnte.".* Dadurch soll verdeutlich werden, dass es um konkrete Merkmale geht die benannt werden müssen. Der Lückentext wurde noch einmal überarbeitet und eine Anpassung der vorgesehen Lücken vorgenommen.

Erprobung (zweite Version)

Im zweiten Erprobungsdurchgang haben insgesamt 14 Lernenden den Aspekt Feinstaub erprobt. In Klasse 9.1 und Klasse 9.2 haben jeweils sieben Lernende das Material zu Feinstaub bearbeitet, wovon in Klasse 9.2 zwei Lernende keine Einverständniserklärung zur Videoaufnahme hatten (s. Abbildung 12 und 13).

Ergebnisse

Tabelle 20: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Feinstaub) von Klasse 9.1 und 9.2 in der zweiten Erprobung.

	Klasse	**Gruppe**	**Schüler:in**	**Zeit (in min)**
2.Erprobung (09.02.2022)	9.1	G4	S8, S9	34:56 min
	9.1	G5	S10, S11	28:53 min
	9.1	G6	S12, S13, S14	32:55 min
	Durchschnitt			**32:15 min**
	9.2	G4	S7, S8	27:32 min
	9.2	G5	S9, S10, S11	30:48 min
	Durchschnitt			**29:10 min**
	Durchschnitt (gesamt)			**30:43 min**

Die durchschnittliche Bearbeitungszeit des Materials für den gesamten Erprobungsdurchgang beträgt 30:43 Minuten (s. Tabelle 20). Die erste Klasse (9.1) benötigte im Durchschnitt 32:15 Minuten, wobei die schnellste Gruppe bei 28:53 Minuten liegt (Gruppe 5) und die langsamste bei 34:56 Minuten (Gruppe 4). Die zweite Klasse (9.2) benötigte 29:10 Minuten, Gruppe 4 (9.2) benötigte 27:32 Minuten und Gruppe 5 (9.2) 30:48 Minuten.

Das Punktesystem wurde für Aufgabe 6 angepasst, nach der Überarbeitung beträgt die maximale Punktzahl 7 und die Gesamtpunktzahl 35 (s. Tabelle 21).

Tabelle 21: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Feinstaub) von 9.1 und 9.2 nach Punkten und in Prozent in der zweiten Erprobung.

				A1	**A2**	**A3**	**A4**	**A5**	**A6**	
			Punkte	12	9	2	2	3	7	35
		Schülerin								gesamt (%)
2. Erprobung (09.02.2022)	**9.1**	G4	S8	12	9	0	1	3	6	89 %
			S9	12	9	0	2	3	6	91 %
		G5	S10	12	9	0	0	3	0	69 %
			S11	12	9	0	2	3	0	74 %
		G6	S12	12	9	2	2	3	0	80 %
			S13	12	9	2	2	3	0	80 %
			S14	12	9	2	1	3	0	77 %
	gesamt			**100 %**	**100 %**	**43 %**	**71 %**	**100 %**	**24 %**	
	9.2	G4	S7	11	9	0	2	3	4	83 %
			S8	12	8	0	2	3	5	86 %
		G5	S9	12	9	0	2	3	1	77 %
			S10	12	9	0	1	3	0	71 %
			S11	12	9	0	2	3	0	71 %
		o.E.	o.E.	11	8	1	0	3	7	86 %
			o.E.	11	8	2	0	3	7	89 %
	gesamt			**96 %**	**95 %**	**21 %**	**64 %**	**100 %**	**49 %**	
	zusammen			**98 %**	**98 %**	**32 %**	**68 %**	**100 %**	**37 %**	

Die ersten beiden Aufgaben wurden mit jeweils 98 % der erreichten Punkte sehr gut gelöst. In Klasse 9.1 wurden 43 % der Punkte von Aufgabe 3 erreicht, in Klasse 9.2 mit 21 % nur halb so viele. Bei Aufgabe 4 erreicht Klasse 9.1 einen Anteil von 71 % Klasse 9.2 einen Anteil von 64 % der maximalen Gesamtpunktzahl. Aufgabe 5 lösten alle Lernenden vollständig richtig. Der Anteil der erreichten Punkte für die Sicherungsaufgabe, den Lückentext, liegt in Klasse 9.1 nur bei 25 % und in Klasse 9.2 nur bei knapp der Hälfte mit 49 %.

Diskussion

In der Gesamtbetrachtung beider Klassen wurde die vorgegebene Bearbeitungszeit mit durchschnittlich 30:53 Minuten gut eingehalten. Wie bei der ersten Erprobung gibt es sowohl Gruppen, die etwas länger gebraucht haben, z. B. Gruppe 1 aus 9.1 (34:56 Min.), als auch Gruppen, die schneller waren (G4 9.2 27:32 Min.). Einige Gruppen haben eine Aufgabe übersprungen. Allerdings haben sowohl Gruppen mit weniger als auch mit mehr tatsächlich ermittelter Arbeitszeit die Aufgabe übersprungen. Daher kann hier kein Zusammenhang beschrieben werden. Insgesamt kann die tatsächlich ermittelte Bearbeitungszeit jedoch als angemessen bewertet werden, insbesondere wenn die Ergebnisse der ersten Erprobung hinzugezogen werden.

Die ersten beiden Aufgaben zeigten erneut keine Schwierigkeiten in der Bearbeitung und wurden nahezu vollständig in beiden Kursen richtig gelöst. Für die Bearbeitung der zweiten Aufgabe wird die Seite des Umweltbundesamtes jedoch wie in der ersten Erprobung zusätzlich von der Lehrkraft erklärt. Die Lernenden zeigen Schwierigkeiten, sich selbstständig auf der Seite zu orientieren (z. B. G4 9.2 0:33:20.0). Anschließend wird die Aufgabe ohne Probleme bearbeitet.

Sowohl in Klasse 9.1 als auch 9.2 zeigen die Aufgabenergebnisse bei der dritten Aufgabe Verständnisprobleme. Insgesamt haben alle Lernenden die Aufgabe bearbeitet, aber nur vier von 14 haben das richtige Kreuz gesetzt und eine richtige Begründung für die vorgegebene Lösung formuliert. Aus den schriftlichen Ergebnissen geht hervor, dass die Aufgabe missverstanden wurde. Die Lernenden mit 0 Punkten argumentieren, dass die Emissionen der Industrie gefährlicher für die Gesundheit des Menschen sein müssten, da sie höher seien. Diese Information entnehmen sie der vorherigen Aufgabe und beziehen sich auf die Werte in der Tabelle (34 µg/m^3 für städtisch und 39 µg/m^3 für industriell). Den Lernenden scheint nicht klar zu sein, dass es in der Aufgabenstellung weniger um die genaue Emissionsmenge geht (die im Vergleich auch als etwa gleich hoch beschrieben werden kann), sondern um den Ort der Emission, wenn es um die Frage der gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen geht. Dennoch erscheint die Schlussfolgerung aus Sicht der Lernenden nicht unlogisch, sondern vor allem im Hinblick auf das Ziel der Aufgabenstellung missverständlich. Aufgabe 5 wurde von allen Lernenden richtig gelöst und weist keine Probleme auf.

Die Ergebnisse der Sicherungsaufgaben sind in den beiden Klassen sehr unterschiedlich, zeigen aber beide vergleichsweise schlechte Ergebnisse. Die Auswertung anhand der Artefakte deutet darauf hin, dass die meisten Schülerinnen die Aufgabe gar nicht mehr bearbeitet haben, da hier die Lückentexte noch nicht ausgefüllt sind. Die Betrachtung der Videos bestätigt diese Vermutung. Es kann beobachtet werden, dass viele Gruppen die Aufgabe überspringen, nachdem die Lehrkraft darauf hinweist, dass den Schülerinnen nur noch wenige Minuten für die Arbeitsphase zur Verfügung stehen und noch die Bewertungsaufgabe aussteht. In beiden Klassen wird ein ähnlicher Hinweis der Lehrkraft

geäußert. Aus diesem Grund ist es nicht möglich, auf der Grundlage der schriftlichen Aufgabenergebnisse eine aussagekräftige Bewertung über die Eignung des Lückentexts abzugeben.

Fazit

Der zweite Erprobungsdurchgang mit einer durchschnittlichen Überschreitung von 0:53 Minuten bestätigt die Erkenntnisse aus der ersten Erprobung, dass die Bearbeitungszeit für den Umfang des Materials als angemessen beurteilt werden kann. Auch hier sind Unterschiede in den Gruppen erkennbar, die aber, wie bereits beschrieben, immer zu erwarten sind. Als Gesamtfazit bestätigen die Erkenntnisse der beiden Erprobungen und vier verschiedenen Kursen bzw. Klassen den Umfang von sechs Aufgaben zur inhaltlichen Erarbeitung des Aspekts Feinstaub in einem Zeitrahmen von 30 Minuten. Im weiteren Verlauf wird die Bearbeitungszeit daher nicht erneut explizit herausgestellt.

Die ersten beiden Aufgaben zeigen erneut eine gute Verständlichkeit, insbesondere durch die schriftlichen Ergebnisse. Bei der Nutzung der Internetseite des Umweltbundesamtes zeigen sich jedoch wieder bei den meisten Lernenden Schwierigkeiten bei der selbstständigen Bearbeitung. Durch die Unterstützung der Lehrkraft finden sich die Lernenden zwar schnell in der Anwendung zurecht, der Anspruch, dass das Material von den Lernenden selbstständig und ohne Hilfe der Lehrkraft bearbeitet werden kann, wird hier jedoch nicht erfüllt. Erklärende Hinweise oder Tipps zur Bestimmung der Luftwerte oder die Suche nach einer alternativen Aufgabenstellung könnten hier Abhilfe schaffen.
Aufgabe 3 wurde von der Mehrheit der Lernenden (9 von 14) missverstanden sodass die Umformulierung der neugestalteten Aufgabenstellung (*Re-Design*) nicht ausreichend war um das Ziel der Aufgabe klarzumachen.
Aufgabe 4 wurde insgesamt mit einem Anteil von 75 % richtig gelöst, mehr als die Hälfte hat die Aufgabe gut verstanden. Auch hier wird kritisch angemerkt, dass die Umformulierung der Aufgabenstellung durch das *Re-Design* noch nicht ausreichend war.
Die Aufgabe zum Vergleich der beiden Fahrzeuge zeigt, dass die Lernenden die entsprechenden Informationen aus den Informationstexten richtig entnommen haben und diese gut herausarbeiten konnten. Bezüglich des Lückentextes kann nur ein bedingt aussagekräftiges Fazit gezogen werden, da noch nicht alle Lernenden die Aufgabe bearbeitet haben. Da aber nur zwei Lernenden insgesamt die Lücken richtig ausgefüllt haben sollte eine allgemeine Optimierung der Aufgabe anvisiert werden.

Re-Design

Die Erkenntnisse aus der Erprobung werden in einem erneuten *Re-Design* der Materialien eingebunden um die beschriebenen Verständnisschwierigkeiten zu verbessern. Um den Erklärungsbedarf in der zweiten Aufgabe zur Ermittlung der Tagesmittelwerte zu mindern, wird die Internetseite des Umweltbundesamtes durch eine *thinglink*-Seite ersetzt, die eine interaktive Landkarte beinhaltet (s. Abbildung 39). In dieser wurden die Luftdaten übernommen, sodass die Lernenden ebenfalls den Arbeitsauftrag erhalten Tagesmittelwerte für die drei ausgewählten Stationen Warstein, Simmerath und Gelsenkirchen herauszusuchen.

Abbildung 39: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Feinstaub. thinglink: Aufgabe 2.

Die Aufgabenstellung der dritten Aufgabe wird noch einmal umformuliert und um den Zusatz ergänzt, dass es sich um ein Gesundheitsrisiko für viele Menschen handelt, um zu verdeutlichen, dass es relevant ist, wo sich viele Menschen aufhalten. Die Aufgabenstellung der vierten Aufgabe wird ebenfalls umformuliert. Wie bereits beim Material zu Kohlenstoffdioxid betont, soll die Sicherungsaufgabe die Grundlage für die Anwendung der Bewertungsscheibe darstellen, so dass eine erfolgreiche Bearbeitung wichtig ist. Dazu wurde der Lückentext nochmals optimiert, indem wichtige Wörter fett markiert wurden und auch der Schwierigkeitsgrad verringert wird, indem am Ende ein Lösungswort generiert werden muss, das Hinweise auf die richtigen Wörter gibt. Dies soll den Lernenden die Möglichkeit geben, sich bei der eigenständigen Bearbeitung selbst zu überprüfen. Darüber hinaus wurden allgemeine sprachliche Verbesserungen vorgenommen.

Haupterprobung

Im Rahmen der Haupterprobung aller Materialien bearbeiteten insgesamt vier Schülerinnen das Material zu Feinstaub in Kombination mit dem Aspekt der Reichweite (Gruppe 4).

Ergebnisse

Die Aufgaben 1 bis 5 wurden von allen Lernenden mit einem Anteil von 100 % richtig gelöst. Aufgabe 6 erreicht einen Anteil der Gesamtpunktzahl von 86 %.

Diskussion

Insgesamt zeigt das Gruppenvideo eine enge und konzentrierte Zusammenarbeit aller Lernenden in Gruppe 4, so dass hier kaum in Partnerarbeit gearbeitet wurde, was die ähnlichen Ergebnisse in den Aufgaben erklärt. Die Lernenden bearbeiten die Aufgaben sehr zügig und zeigen wenig Schwierigkeiten, was durch die sehr guten Aufgabenergebnisse bestätigt wird. Bis auf den Lückentext werden alle Aufgaben vollständig gelöst. Der Einsatz der *thinglink*-Seite zeigt keine Probleme, die Lernenden erkennen direkt, wie in der Aufgabe vorzugehen ist (Gruppe 4, 0:25:51.6). Bei Aufgabe 3 entsteht eine interessante Diskussion über den Unterschied zwischen Stadtverkehr und Industrie. Die Argumentation weicht zwar von der antizipierten Musterlösung ab und geht weniger auf den Vergleich zwischen Verbrennungsmotor und Elektroauto ein, zeigt aber eine sehr gute Reflexion und Analyse des Problems (Gruppe 4, 0:29:05.1). Die Lernenden argumentieren, dass insgesamt verschiedene Optionen für den Stadtverkehr denkbar wären, um die Feinstaubsituation zu entlasten. Sie nennen unter anderem den Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel oder das Fahrrad. Die Argumente finden sich auch in den schriftlichen Ergebnissen wieder und werden mit der vollen Punktzahl bewertet. In der Diskussion der Lernenden wird deutlich, dass bis zur Aufgabenstellung noch keine Auseinandersetzung mit dem Thema Elektroauto und Verbrennungsmotor stattgefunden hat und es daher in der Argumentation der Lernenden auch logisch erscheint, dass sie ganz allgemeine Optionen diskutieren und weniger den Vergleich zweier Fahrzeugtypen in den Vordergrund stellen. Die Informationen zum Vergleich zwischen Verbrennungsmotor und Elektroauto folgen erst im Informationstext unter der Aufgabe. Bei Aufgabe 4 zeigen die Ergebnisse keine Schwierigkeiten, da alle Lernenden die antizipierten Merkmale benennen. Die Beobachtung des Videos zeigt jedoch Verständnisschwierigkeiten zu Beginn der Aufgabe. Die Lernenden sind verunsichert und vermuten zunächst, dass sie die Abbildung in Bezug auf $PM_{2,5}$ und PM_{10} beschreiben sollen und versuchen die Unterschiede zu erklären (Gruppe 4, 0:35:02.3). Auch erkennen sie zunächst nicht, dass es um die Reihenfolge geht, sondern verstehen die Abbildung als eine zusammenhängende Darstellung, in der sich die Fahrzeuge gegenseitig beeinflussen und sich dadurch der Abrieb verändert. Sie bitten die Lehrkraft um Hilfe und erkennen während des Gesprächs mit der Lehrkraft selbstständig die eigentliche Aufgabenstellung (Gruppe 4, 0:38:47.1). Bei dem Lückentext findet die Gruppe ein Wort nicht und beschließt die Lücke offen zu lassen, das Lösungswort wurde dennoch gefunden.

Fazit

Die Haupterprobung bestätigt die bereits gewonnenen Erkenntnisse über die Eignung der Aufgaben und zeigt, dass das durchgeführte *Re-Design* zu einer Verbesserung des Materials geführt hat. Diese Erkenntnis stützt sich auf die schriftlichen Ergebnisse der Aufgaben und wird durch die Beobachtungen des Gruppenvideos bestätigt. Insgesamt

bearbeiten die Lernenden das Material sehr gut und zeigen bis auf die Nachfrage bei Aufgabe 4 keine Verständnisschwierigkeiten.

Re-Design (final)
Im Anschluss an die Haupterprobung erfolgt ein *finales Re-Design* des Materials zum Aspekt Feinstaub. Dazu werden insgesamt noch einmal alle Erkenntnisse aus den drei Erprobungen mit den fünf verschiedenen Lerngruppen reflektiert. Auch allgemeine sprachliche Verbesserungen werden umgesetzt.
Da in allen Durchgängen immer wieder Verständnisschwierigkeiten bei Aufgabe 4 auftraten, wurde die Aufgabe nochmals überarbeitet. Die Abbildung wird vereinfacht und auf die Darstellung des Abriebs von $PM_{2,5}$ reduziert. Hier hatte sich gerade in der Haupterprobungen gezeigt, dass es zu Missverständnissen bezüglich der Aufgabenstellung kommen kann. Auf Seite 3 wurde der Informationstext der dritten Aufgabe vorangestellt, durch die Argumente der Lernenden wurde deutlich, dass die Aufgabe sonst nur bedingt die antizipierte Lösung erwarten lässt, dass Elektroautos die Luftbelastung in der Stadt Verkehr reduzieren könnten.

Das Material zu Feinstaub wurde somit ebenfalls in einem iterativen Prozess entwickelt und mehrfach weiteroptimiert (s. Anhang C.2). Dazu wurden Erkenntnisse aus der praktischen Durchführung umgesetzt und wirksames Material erarbeitet.

6.4.3.3 Stickoxide

Eine erste vorläufige Version des Materials zum Aspekt *Stickoxid*e wurde im Rahmen der Bachelorarbeit von Anna Klose am Institut für Didaktik der Chemie (Universität Münster) erstellt (Klose, 2021). Die Materialentwicklung wurde von gemeinsamen Gesprächen und Diskussionen begleitet und orientierte sich eng an der Vorlage der bereits entwickelten Materialien zu den Aspekten *Kohlenstoffdioxid* und *Feinstaub*. Nach Abschluss der Bachelorarbeit wurde von der Autorin vor der ersten Erprobung eine Überarbeitung und Anpassung des Layouts sowie Änderungen und Ergänzungen an einzelnen Elementen vorgenommen. Eine erste Übersicht zum Material *Stickoxide* wurde in Banse & Marohn (2022) vorgestellt.
Das Material umfasst für eine Bearbeitungszeit von 30 Minuten insgesamt sechs Seiten. Damit orientiert sich der Umfang an den Materialien zu Kohlenstoffdioxid und Feinstaub. Auch der Beginn der ersten Seite ist daher gleich gestaltet und beginnt mit der Überschrift; „*Stickoxid-Emission: Was ändert sich mit Elektroautos?*“, sowie einem kurzen einführenden Informationstext in bekannter Darstellungsform zu Stickstoffoxiden (Klose, 2021).

Wodurch entstehen Stickoxide?

Unter der Überschrift „*Wodurch entstehen Stickoxiden*?“ führen die Lernenden zu zweit den Versuch *Stickoxide im Marmeladenglas* durch (Arbeitsgruppe Chemiedidaktik Universität Osnabrück, 2021; Menzel, 2023). Dabei lernen sie Stickoxide als weiteres Verbrennungsprodukt neben Kohlendioxid kennen.

Ein Nitrat-Nitrit-Teststäbchen wird im Winkel von 90° auf die Unterseite eines Marmeladenglasdeckels geklebt. Das Teststäbchen wird zur Hälfte in ein mit destilliertem Wasser gefülltes Becherglas getaucht und mit einem Tuch abgetupft. Ein Teelicht wird angezündet und das Marmeladenglas vorsichtig für ca. 30 Sekunden über die Flamme gehalten. Dabei ist darauf zu achten, dass das Marmeladenglas nicht ganz über das Teelicht gehalten wird, da sonst die Flamme erlischt. Das Teelicht wird ausgepustet und das Marmeladenglas fest auf den Deckel geschraubt.

Abbildung 40: Durchführung und Beobachtung Stickoxide im Marmeladenglas. Abbildung entnommen aus Banse & Marohn (2022).

Bei der Verbrennung von Kerzenwachs in der Luft entsteht aufgrund der hohen Temperaturen mit dem Luftstickstoff zunächst Stickstoffmonoxid, das mit dem Luftsauerstoff weiter zu Stickstoffdioxid reagiert. Kommt Stickstoffdioxid mit dem auf dem Teststäbchen befindlichen Saltzmann-Reagenz, als Nachweisreagenz für Nitrit-Ionen, in Kontakt, so reagiert es mit Wasser (durch vorheriges Befeuchten des Teststäbchens) zu salpetriger Säure und Salpetersäure. Diese Säuren dissoziieren und bilden jeweils ein Hydronium-Ion, ein Nitrit-Ion und ein Nitrat-Ion. Unter Einwirkung der Nitrit-Ionen färbt sich das farblose Saltzmann-Reagenz rötlich, es bildet sich ein Azofarbstoff (Arbeitsgruppe Chemiedidaktik Universität Osnabrück, 2021; Menzel, 2023). Nitrat-Ionen müssen auf dem zweiten Feld des Teststreifens (s. Abbildung 40) erst zu Nitrit-Ionen reduziert werden bevor sich der Azofarbstoff bildet (Menzel, 2023).

Durch Vergleich der Färbung mit der entsprechenden Farbskala auf der Verpackung der Teststreifen ist eine halbquantitative Messung der Stickoxidkonzentration möglich. So können die Lernenden an der violetten Färbung des Teststäbchens erkennen, dass beim Abbrennen einer Kerze Stickoxide entstehen. Die Teststäbchen können im Hausmüll entsorgt werden.

Analog zum Nachweis von Kohlenstoffdioxid erfüllt auch der Versuch *Stickoxide im Marmeladenglas* die Auswahlkriterien nach Barke et al. (2018): Die Lernenden können eigenständig und ohne Sicherheitsrisiko den Versuch durchführen. Das Ergebnis ist gut beobachtbar und hat wenig bis gar keine Störanfälligkeit in Bezug auf die erfolgreiche Durchführung. Die benötigten Materialien sind zum Teil als Alltagsgegenstände (z. B. Marmeladenglas) zu kategorisieren. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass die Teststäbchen in einer normalen Schulsammlung vorhanden sind (Klose, 2021). Dieser Kritikpunkt kann mit dem relativ geringen Anschaffungspreis der Teststäbchen begründet werden (100 Stück liegen je nach Hersteller[5] zwischen 20 und 35 Euro).
Die Beobachtung des Versuchs und gleichzeitig die Erklärung tragen die Lernenden in einen Lückensatz ein (Seite 2).
Ein Informationstext führt in den Zusammenhang ein, dass Verbrennungsreaktionen im Alltag in sehr großem Umfang stattfinden, z. B. durch industrielle Prozesse oder Autos mit Verbrennungsmotoren. Der Verkehr wird als eine der Hauptquellen von Stickoxiden beschrieben (Umweltbundesamt, 2021).

Welche Auswirkungen haben Stickoxide?
Unter der Überschrift „*Welche Auswirkungen haben Stickoxide?*“ (Seite 3) informieren vier kurze Texte über die verschiedenen Auswirkungen auf die Menschen und die Umwelt (BMU, 2018; Cornelius et al., 2017; Heinrich, 2018; Twenhöven, 2019). Die Lernenden werden aufgefordert, die Texte zu lesen und erhalten auf der nächsten Seite zur Verarbeitung der Informationen als Aufgabe eine *Concept-Map*, bzw. *Begriffsnetz* nach Leisen (2004), die sie mit den neuen Informationen füllen sollen (Methoden-Werkzeug, s. Kapitel 6.4.2.2). Zur Unterstützung sind die gesuchten Wörter vorgegeben (Klose, 2021).

Der Vergleich: Verbrennungsmotor oder Elektromotor?
Wie bei den anderen Aspekten wird nach einer allgemeinen inhaltlichen Aufbereitung der Fokus auf den Vergleich zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor gelegt. Ein Informationstext beschreibt die wesentlichen Punkte, in denen sich die Stickoxid-Emissionen der beiden Fahrzeugtypen unterscheiden. Da Elektroautos keinen Auspuff haben, gibt es im Fahrbetrieb wie bei Kohlenstoffdioxid und Feinstaub keine direkten Emissionen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass durch die neuen Abgasnormen auch bei konventionellen Verbrennungsmotoren die direkten Emissionen aus dem Auspuff für Zulassungen ab 2020 deutlich reduzierter sind (BMU, 2018). Die Stickoxid-Emissionen sind für die Emissionsquelle der Fahrzeugherstellung über den gesamten Lebenszyklus betrachtet und unabhängig vom Ort wo die Emissionen entstehen beim Elektroauto sogar leicht höher als beim Verbrennungsmotor (BMU, 2018).

[5] z. B. von Hebro-Chemie - https://www.hebro-chemie.de/shop/produkt/nitrit-nitrat-teststaebchen/

Insgesamt betrachtet stoßen Elektroautos über den Gesamtlebenszyklus in Milligramm pro Kilometer etwas weniger Stickoxide aus (BMU, 2018).
Für die Beurteilung der gesundheitlichen Auswirkungen von Stickoxiden ist jedoch entscheidend, wo die Stickoxide entstehen und damit insbesondere die direkte Emissionsquelle. Autos mit Verbrennungsmotoren stoßen in den Städten Stickoxide aus dem Auspuff, während Elektroautos dort emissionsfrei fahren. Hier kann für die Menschen in den Städten ein Vorteil durch die Verbesserung der Luftqualität antizipiert werden. Dort, wo Elektroautos durch die zusätzliche Herstellung der Batterie schlechter abschneiden - bei der Fahrzeugherstellung - entstehen die Stickoxid-Emissionen außerhalb, in eher dünn oder gar nicht besiedelten Industriegebieten (BMU, 2018). Hier ist vor allem die Umwelt von der Stickoxid-Belastung betroffen.

Auf der letzten Seite des Materials (Seite 6) erhalten die Lernenden wieder eine Sicherungsaufgabe in Form eines Lückentextes (*halboffene Aufgabe*). Am Ende des Lückentextes soll ein Lösungswort gefunden werden. Dazu werden den gesuchten Wörtern Zahlen für einzelne Buchstaben zugeordnet, die in der richtigen Reihenfolge den Begriff Nachhaltigkeit ergeben. Dadurch soll der Schwierigkeitsgrad verringert werden, da das Erstellen des Lösungswortes das Finden der Begriffe erleichtern kann bzw. eine Form der Kontrolle bietet (Leisen, 2004).

Erprobung Stickoxide
Die Erprobungen zum Aspekt *Stickoxide* erfolgten parallel zu den Aspekten *Kohlenstoffdioxid* und *Feinstaub*, wobei für Stickoxide ebenfalls eine dritte Erprobung vor der Haupterprobungen erfolgte und damit genau so oft durchgeführt wurde wie Kohlenstoffdioxid. Damit wurde das Material zu Stickoxiden von sechs verschiedenen Lerngruppen mit insgesamt 63 Lernenden erprobt. Es wird auf die Übersicht der Erprobungen in Kapitel 6.2.2 verwiesen.

Erprobung (erste Version)
Insgesamt haben im ersten Erprobungsdurchgang in Kurs 1 drei Lernende das Material zu Stickoxiden bearbeitet und in Kurs 2 insgesamt sechs Lernende, wovon jedoch vier ohne Einverständniserklärung teilgenommen haben. Somit wurde die erste Version des Materials von neun Lernenden erprobt, jedoch nur fünf Lernenden videographiert.

Ergebnisse
In Tabelle 22 wir die Bearbeitungszeit für die jeweiligen Gruppe aus beiden Kursen sowie die gemeinsame Durchschnittszeit dargestellt.

Tabelle 22: Tabellarische Darstellung der Bearbeitungszeit (Stickoxide) von Kurs 1 und Kurs 2 in der ersten Erprobung.

1.Erprobung (13.12.2021)	**Kurs**	**Gruppe**	**Schüler:in**	**Zeit (min)**
	1	G5	S7, S8, S9	33:37 min
	2	G2	S9, S8	24:56 min
	Durchschnitt (gesamt)			**29:17 min**

Gruppe 5 aus Kurs 1 benötige 33:27 Minuten und Gruppe 2 aus Kurs 2 benötigte 24:56 Minuten. Insgesamt lässt sich eine durchschnittliche Bearbeitungszeit von 29:17 Minuten ermitteln.

Tabelle 23: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Stickoxide) von Kurs 1 und Kurs 2 nach Punkten und in Prozent in der ersten Erprobung.

1. Erprobung (13.12.2021)				**A1**	**A2**	**A3**	
			Punkte	2	10	9	21
			Schüler:in				**gesamt (%)**
	Kurs 1	G5	S7	2	10	9	100 %
			S8	2	10	9	100 %
			S9	2	10	9	100 %
	gesamt			**100 %**	**100 %**	**100 %**	
	Kurs 2	G2	S8	2	10	7	91 %
			S9	2	10	8	100 %
		o.E.	S14	2	10	9	100 %
			S15	2	10	9	100 %
			S16	2	10	9	100 %
			S17	2	10	8	95 %
	gesamt			**100 %**	**100 %**	**93 %**	
	zusammen			**100 %**	**100 %**	**95 %**	

Die Aufgabenergebnisse beider Kurse zeigen sehr gute Resultate bei allen Lernenden (s. Tabelle 23). Der Versuch wurde von allen erfolgreich durchgeführt. Auch die *Concept-Map* wurde von allen Lernenden mit den richtigen Begriffen gefüllt (100 %). Der Lückentext wurde von Gruppe 5 (Kurs 1) vollständig ausgefüllt und im zweiten Kurs wurden nur wenige Lücken freigelassen (S8, S9 und S17). Das Lösungswort haben alle richtig ermittelt. In der Gesamtbetrachtung liegen alle Lernenden im sehr guten Bereich (91 bis 100 %).

Diskussion

Im ersten Kurs benötige die Gruppe (G5) insgesamt 3:37 Minuten länger als geplant. Das Arbeitsverhalten dieser Gruppe kann aufgrund der Beobachtungen des Gruppenvideos als sehr unkonzentriert beschrieben werden. Es ist unter anderem zu erkennen, dass die Lehrkraft die Gruppe mehrmals zur Weiterarbeit auffordern musste. Die Gruppe im

zweiten Kurs (G2) hat im Vergleich dazu deutlich weniger Zeit für die Bearbeitung benötigt und liegt mit nur 24:07 Minuten unter der geplanten Zeit. Beide Gruppen haben alle Aufgaben in der vorgegebenen Zeit bearbeitet. Der Durchschnitt der tatsächlichen Bearbeitungszeit liegt mit 29:17 Minuten unter 30 Minuten.
Die schriftlichen Aufgabenergebnisse zeigen wenig bis keine Verständnisschwierigkeiten bei der Bearbeitung des Materials und zeichnen sich durch sehr gute Ergebnisse aller Lernenden aus.
Die Beobachtungen des Versuchs wurden korrekt notiert. Anhand der Videoaufzeichnung ist jedoch erkennbar, dass beide Gruppen während der Durchführung nicht immer aufmerksam und der Reihenfolge entsprechend die Versuchsschritte beachtet haben (G5 Kurs 1, 0:31:24.4; G2 Kurs 2, 0:20:35.0). Ebenso fehlte der Hinweis zum Tragen von Schutzbrillen, die von den Gruppen erst verspätet organisiert wurden. Hier zeigt sich eine Parallele zur Bearbeitung der Materialien zum Aspekt Kohlenstoffdioxid, wo dies ebenfalls zu einer Verzögerung führte. Die Lernenden merkten während der Durchführung an, dass keine genaue Mengenangabe für das destillierte Wasser gemacht wurde. Die Verfärbung des Teststäbchens bleibt bei Gruppe 2 (Kurs 2) aus und es konnte zunächst kein Fehler in der Durchführung festgestellt werden. Die Beobachtung konnte jedoch bei der anderen Gruppe (ohne Einverständniserklärung) mitverfolgt werden und wurde durch Rückfragen an die Lehrkraft nochmals abgesichert. Während des Aufräumens erkannten die beiden Lernenden den Fehler in der Durchführung. Das Teststäbchen wurde mit der Seite, an der die Reaktion beobachtet werden kann, auf den Deckel des Marmeladenglases geklebt und konnte daher keine Verfärbung anzeigen.
Die gute Bearbeitung der Concept-Map wird in den Videos noch einmal bestätigt und zeigt keine Verständnisschwierigkeiten. Die Aufgabe nimmt nur wenig Zeit in Anspruch und scheint durch die Vorgabe von Begriffen besonders geeignet, die Zusammenhänge aus den Texten der vorhergehenden Seite strukturiert herauszuarbeiten.
Die gleiche Beobachtung zeigt sich für die Bearbeitung des Lückentextes. Bei Gruppe 2 werden zwar einige Lücken offengelassen, die Lernenden haben aber schon früh das Lösungswort erkannt und entscheiden sich dann, die Aufgabe zu beenden.

Fazit
Anhand der tatsächlich ermittelten Bearbeitungszeit kann der Umfang des Materials als angemessen beurteilt werden. Im Durchschnitt liegen die Lernenden im ersten Erprobungsdurchgang sogar unter der angesetzten Zeit von 30 Minuten. Im Vergleich zu den anderen Aspekten beinhaltet das Material zu Stickoxiden jedoch insgesamt auch weniger Aufgaben.

Im Rahmen der ersten Erprobung wird deutlich, dass sich der Versuch *Stickoxide im Marmeladenglas* sehr gut eignet, um Stickoxide als Verbrennungsprodukt zu identifizieren und der Erfolg des Versuchs lässt sich anhand einer gut erkennbaren Beobachtung

feststellen. Die Betrachtung der Videoaufzeichnung zeigt, dass die Versuchsschritte zum Teil konzentrierter abgelesen werden müssen. Die beobachteten Ausführungsfehler können als Folge von Unaufmerksamkeit kategorisiert werden und zeugen weniger von inhaltlichen Verständnisschwierigkeiten. Entsprechende Hinweise waren auf dem Material vorhanden (Öffnung des Marmeladenglases nach unten, Teststäbchen wie in der Abbildung dargestellt anbringen). Wie bereits geschrieben, zeichnet sich das Material zu den Stickoxiden durch eine sehr gute Bearbeitung durch alle Lernenden aus, so dass von einer besonders guten grundsätzlichen Durchführbarkeit in der Praxis ausgegangen werden kann. Im Vergleich zu den anderen bereits ausführlich beschriebenen Materialien kann ebenfalls als Fazit beschrieben werden, dass das Material zu Stickoxiden am besten bearbeitet wurde und nur geringe Auffälligkeiten in der Erprobung festgestellt werden konnten. Dabei muss jedoch kritisch reflektiert werden, dass es sich mit nur fünf Lernenden um die kleinste Gruppe handelte, die mit Einverständnis zur Videographie an der Erprobung teilnahm und Aussagen über das Material nur in geringerem Maße möglich sind.

Re-Design

Die sehr guten Ergebnisse der Aufgaben wurden durch die Betrachtung der Videoaufnahmen bestätigt, so dass nur Kleinigkeiten im Material geändert werden. Zur Einordnung der Beobachtung wurde in beiden Kursen nur die Verpackung der Teststreifen mit der Farbskala zur Verfügung gestellt. Diese Entscheidung wurde deshalb so getroffen, da der Ausdruck der Farbskala immer von der Originalskala in den Farbtönen abweicht. Da es aber vor allem darum geht, zu erkennen, dass die rosa bzw. violette Färbung Stickoxide erzeugt, wird als Zusatzmaterial eine Farbskala als Ausdruck und in laminierter Form vorbereitet (s. Abbildung 41).

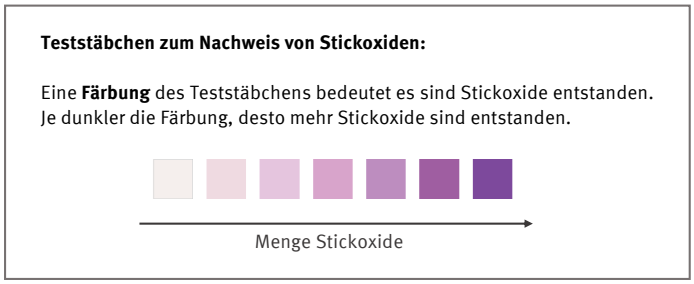


Abbildung 41: Zusatzmaterial: Teststäbchen zum Nachweis von Stickoxiden.

Dadurch wird die Auswertung der Beobachtung für die Lernenden eigenständig möglich und die Teststreifen können an jede Gruppe verteilt werden. Darüber hinaus wurden sprachliche und optische Fehler korrigiert.

Erprobung (zweite und dritte Version)

Im folgenden Abschnitt werden die zweite und dritte Erprobung zusammenfassend beschrieben: Im zweiten Erprobungsdurchgang haben insgesamt 19 Lernenden das Material zu Stickoxiden bearbeiten und damit deutlich mehr als im ersten Durchgang. In

Klasse 9.1 haben sieben Lernenden mit und zwei ohne Einverständnis zur Videographie teilgenommen. In der Klasse 9.2 haben ebenfalls sieben Lernenden mit Einverständniserklärung teilgenommen und drei Schülerinnen ohne. Da von der zweiten zur dritten Erprobung nur wenige Änderungen umgesetzt wurden wird das *Re-Design* im Anschluss zusammenfassend beschrieben. Im dritten Erprobungsdurchgang wurde nur das Material zu Stickoxiden behandelt, sodass insgesamt 29 Schülerinnen der Klasse 9.3 das Material erprobt haben. Davon hatten sieben keine Erlaubnis zur Videoaufnahme.

Ergebnisse

Für die Klassen 9.1 und 9.2 wurden die jeweiligen tatsächlichen Bearbeitungszeiten ermittelt und in Tabelle 24 dargestellt. Die Gruppen beider Klassen zeichnen sich durch sehr ähnliche Bearbeitungszeiten aus. Die Durchschnittszeit für Klasse 9.1 beträgt 24:46 Minuten und für Klasse 9.2 etwas kürzer mit 23:26 Minuten. Insgesamt lässt sich eine durchschnittliche Bearbeitungszeit für den zweiten Erprobungsdurchgang mit 24:06 Minuten ermitteln.

Tabelle 24: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Stickoxide) der Klassen 9.1 und 9.2 in der zweiten Erprobung.

	Klasse	**Gruppe**	**Schüler:in**	**Zeit (in min)**
2.Erprobung (09.02.2022)	9.1	G7	S15, S16	25:50 min
	9.1	G8	S17, S18, S19	24:11 min
	9.1	G9	S20, S21	24:17 min
	Durchschnitt 9.1			**24:46 min**
	9.2	G6	S12, S13	24:58 min
	9.2	G7	S14, S15, S16	24:39 min
	9.2	G8	S17, S18	21:30 min
	Durchschnitt 9.2			**23:26 min**
	Gesamt			**24:06 min**

Für die dritte Erprobung wurde wie bisher vorgegangen keine Bearbeitungszeit mehr erhoben.

Die Aufgabenergebnisse werden aufgrund sehr guter Ergebnisse aller drei Klassen nur zusammenfassend dargestellt (s. Tabelle 25), da sich keine individuellen Unterschiede erkennen lassen, die einer Erklärung bedürfen.

Tabelle 25: Zusammenfassung Aufgabenergebnisse (Stickoxide) der Klassen 9.1, 9.2 und 9.3 Prozent in der zweiten und dritten Erprobung.

		A1	**A2**	**A3**
2. Erprobung (09.02.2022)	**9.1**	100 %	100 %	99%
	9.2	100 %	100 %	100 %
	gesamt	**100 %**	**100 %**	**99 %**

3. Erprobung (21.03.2022)	**9.3**	100 %	99 %	92 %

In allen Klassen wurde der Versuch erfolgreich durchgeführt. Ebenfalls zeigt die Aufgabe der Concept-Map keine erkennbaren Schwierigkeiten. Der Lückentext zeichnet sich auch durch eine sehr gute Bearbeitung aus, nur bei einer Gruppe (G1) in Klasse 9.3 fehlt die Bearbeitung.

Diskussion

Zur Bestätigung der Erkenntnisse durch die schriftlichen Aufgabenergebnisse wurden auch für diese Erprobungen eine Durchsicht der Videos durchgeführt, um mögliche Verständnisschwierigkeiten oder Nachfragen im Prozess der Bearbeitung zu identifizieren.
Es lässt sich an wenigen Stellen beobachten, dass erneut Schritte während der Versuchsdurchführung vertauscht werden oder nicht aufmerksam gelesen wird (u.a. G8, 9.1 0:23:18.0, Unterseite Glas statt Unterseite Deckel zum Anbringen des Teststäbchens oder G6, 9.2 0:24:55.0 Erhitzen der Unterseite des Marmeladenglases). Häufig wird das Marmeladenglas erst ganz über die Kerze gehalten, sodass diese erlischt (z. B. G7, 9.2 0:27:34.0). Für die Bearbeitung der Concept-Map zeigen sich auch in den Videoaufnahmen keine Auffälligkeiten. Die Lernenden arbeiten die Aufgabe zügig durch. Während der Aufgabe des Lückentextes wird über einige Lücken länger diskutiert und überlegt (G6 9.2 0:44:32.0; G7 9.2 0:41:04.0; G4 9.3 0:21:56:5). Jedoch zeigt sich hier, besonders bei Klasse 9.2, eine gute Gruppenarbeit untereinander, sodass sich die Lernenden gegenseitig unterstützen und insgesamt zu einem sehr guten Ergebnis gelangen.

Fazit

Die Antwort auf diese Frage bezieht sich nur auf den zweiten Erprobungsdurchgang mit. In den Klassen 9.1 und 9.2 (s. Tabelle 24) benötigen die Lernenden im Durchschnitt ca. 5 Minuten weniger als vorgesehen und bestätigen damit den Eindruck, dass die Materialien zu den Stickoxiden schneller zu bearbeiten sind als die beiden anderen Aspekte. Die Zeitvorgabe könnte daher auch nur 25 Minuten betragen. Aus Gründen der Einheitlichkeit wird jedoch die Zeit von 30 Minuten für die Planung der gesamten Unterrichtseinheit beibehalten. Wenn die Materialien einzeln behandelt werden, kann davon abgewichen werden. Der Umfang des Materials wird beibehalten.

Sowohl die schriftlichen Ergebnisse als auch die Beobachtungen der Videos zeigen so gut wie keine Schwierigkeiten bei den Aufgaben und zeichnen sich daher durch ein sehr gutes Verständnis aus. Es werden kaum Nachfragen gestellt und die Lernenden arbeiten

sehr gut eigenständig am Material oder unterstützen sich in der Gruppe. Da diese Beobachtungen sowohl im zweiten als auch dritten Erprobungsdurchgang gemacht wurden, wird die zusammenfassende Darstellung als sinnvoll erachtet. Die wenigen Beobachtungen in denen sich kleinere Fehler in der Durchführung finden lassen, beziehen sich auf den Versuch und die Vermischung einzelner Schritte. Der Lückentext wird auch insgesamt sehr gut bearbeitet sodass sich bei fehlenden Begriffen durch die gegenseitige Unterstützung offene Fragen beseitigen ließen.

Re-Design

Insgesamt wurden aus den Erkenntnissen der zweiten und dritten Erprobung folgende Änderungen in einem *Re-Design* für die Haupterprobung umgesetzt: Die Versuchsdurchführung wird durch eine Bildsequenz (Leisen 2003) der einzelnen Versuchsschritte dargestellt. Dadurch sollen die Lernenden in ihrem Vorgehen strukturiert unterstützt werden. Für den Aspekt Kohlenstoffdioxid wurde die gleiche Anpassung vorgenommen, so dass beide Materialien einheitlich gestaltet sind (s. Kapitel 6.4.3.1). Um die Begriffe für den Lückentext deutlicher hervorzuheben, wurde der Text auf Seite 5 (*Der Vergleich: Verbrennungsmotor oder Elektromotor*) nochmals überarbeitet und einzelne Begriffe durch Fettdruck hervorgehoben. Auch der Lückentext selbst wurde durch Fettdruck verändert und einzelne Sätze vereinfacht. Insgesamt zeichnet sich das Material jedoch bereits durch eine sehr gute Umsetzbarkeit aus, so dass die Änderungen auf eine bestmögliche Optimierung abzielen.

Haupterprobung (vierte Version)

Im Rahmen der Haupterprobung bearbeiteten zwei Gruppen (3.1 und 3.2) mit je zwei Lernenden das Material zu Stickoxiden in Kombination mit dem Aspekt Lärm und wurden dabei videographiert (s. Abbildung 16). Zwei weitere Schüler ohne Einverständniserklärung bearbeiteten das Material in englischer Sprache. Hier wurde im Vorfeld von der Lehrkraft darauf hingewiesen, dass die Lernenden über keine Deutschkenntnisse verfügen, daher wurde das Material zu Stickoxiden ebenfalls ins Englische übersetzt.

Ergebnisse

Der Versuch wurde von allen Lernenden richtig durchgeführt, jedoch nicht die richtigen Begriffe zur Beobachtung und Auswertung notiert (75 %). Die Aufgabe zur Concept-Map wurde mit einem Punkteanteil von 90 % gelöst, der Lückentext jedoch nur mit einem Anteil von 61 % der Gesamtpunkte. Die Ergebnisse der Gruppe 3 werden getrennt von den Ergebnissen der beiden Lernenden ohne Deutschkenntnisse dargestellt. Diese fallen insgesamt schlechter aus, dennoch kann ein erfolgreicher Versuch der Bearbeitung festgestellt werden (s. Tabelle 26).

Tabelle 26: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Stickoxide) von Gruppe 3 der Haupterprobung nach Punkten und in Prozent.

				A1	**A2**	**A3**	
			Punkte	2	10	9	21
			Schüler:in				**gesamt (%)**
Haupterprobung (09.11.2022)	G3	3.1	S11	2	10	8	95 %
			S12	2	10	4	76 %
		3.2	S13	1	10	6	81 %
			S14	1	6	4	52 %
				75 %	**90 %**	**61 %**	
	o.E.	5.2	S21	1	6	1	38 %
			S22	1	6	1	38 %
				50 %	**60 %**	**11 %**	
	Gesamt			**67 %**	**80 %**	**44 %**	

Diskussion

Sowohl Gruppe 3.1 als auch Gruppe 3.2 arbeiten teilweise sehr unkonzentriert an den Aufgaben und lenken sich gegenseitig ab. Im Vergleich aller Gruppen der Haupterprobung kann Gruppe 3 als die leistungsschwächste Gruppe bezeichnet werden. Es lassen sich viele Situationen erkennen, in denen die Lernenden durch private Gespräche abgelenkt sind oder sich mit den bereits auf dem Tisch liegenden iPad beschäftigen. Die Arbeitsphase kann als sehr unruhig bezeichnet werden. Daraus lassen sich Erklärungsansätze finden, warum die Ergebnisse der Aufgaben schlechter ausgefallen sind und nicht zu den bisherigen Erfahrungen mit dem Material zu Stickoxiden passen. Teilweise ist erkennbar, dass die Gruppe gemeinsam arbeitet, aber S12 und S13 die Aufgaben überwiegend bearbeiten und die Lösungen jeweils weitergegeben haben. Auch die Betrachtung der schriftlichen Ergebnisse zeigen weniger Verständnisprobleme als vor allem mangelnde Konzentration und Aufmerksamkeit. Gruppe 3.2 notiert als Ergebnis des Versuchs es würden „Farben“ entstehen, die Informationen des Teststreifens wurden nicht berücksichtig. Der Lückentext konnte nur teilweise bearbeitet werden, da die Grundlage des vorhergehenden Textes (Seite 5) benötigt wird und dieser nicht von allen Lernenden vorher gelesen wurde. Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass die Ergebnisse der Aufgaben wenig Aufschluss über die tatsächlichen Schwierigkeiten mit dem Material geben.

Die Ergebnisse der beiden Lernenden, die das Materialien auf Englisch bearbeitet haben, werden getrennt betrachtet, hier sind vor allem sprachliche Barrieren der Grund für die fehlende Bearbeitung. Die Lehrkraft konnte jedoch während der Erprobung erkennen, dass die Gruppe sehr bemüht war und großes Interesse zeigte, was sich auch durch Nachfragen bemerkbar machte. Daher werden die Ergebnisse der Vollständigkeit halber auch hier dargestellt. Die Übersetzung ins Englische half zwar die Sprachbarriere zu verringern, stellte aber dennoch eine große Herausforderung dar. Während der gesamten Bearbeitung nutzten die Lernenden zur Unterstützung eine Übersetzungs-App auf ihrem

Smartphone. Insgesamt wurde jedoch durch positives Feedback zurückgemeldet, dass die inhaltliche Teilnahme an der Erprobung für die beiden Lernenden ohne Deutschkenntnisse mit Einschränkungen möglich war.

Re-Design
Aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten lassen sich aus der Haupterprobung nur bedingt neue gewinnbringende Erkenntnisse für die Umsetzung des *finalen Re-Design* ableiten, sodass die Änderungen auf den gesamten Erfahrungen aller Erprobungen sowie auf einer allgemeinen sprachlichen Überarbeitung basieren. In der finalen Version erhält die Versuchsdurchführung kleinere Ergänzungen. Der Informationstext auf Seite 5 wird zur Vereinfachung sprachlich und inhaltlich überarbeitet, woraus sich auch für den Lückentext eine entsprechende Anpassung ergibt. Insgesamt haben die Erfahrungen aus den bisherigen Erprobungen jedoch gezeigt, dass für den Aspekt der Stickoxide gelungene Materialien entstanden ist (s. Anhang C.3), so dass keine grundlegenden Änderungen erforderlich sind.

Damit sind die Entwicklung und Optimierung des Materials für Stickoxiden abgeschlossen. Sie zeichnet sich durch eine mehrfach erprobte Vorgehensweise aus.
Im weiteren Verlauf der Materialentwicklung orientieren sich die Materialien zu *Rohstoffen* sowie den kleineren Aspekten *Lärm*, *Kosten*, *Arbeitsmarkt* und *Reichweite* an den erprobten Materialien und den bisher gewonnenen Erkenntnissen. Die entwickelten Gestaltungselemente werden wiederholt eingesetzt und das Layout übernommen. Für diese Materialien wurden keine einzelnen Erprobungen vorgenommen, sondern das Material im Rahmen der Haupterprobung durchgeführt.

6.4.3.4 Rohstoffe

Das Material zu *Rohstoffen* ist der vierte große Aspekt, der für die Lernmaterialien entwickelt wurde, und umfasst insgesamt fünf Seiten mit einem Zeitrahmen von 30 Minuten. Nach der allgemeinen Überschrift des Materials „*Rohstoffverbrauch: Was verändert sich mit Elektroautos*?“ folgt ein einführenden Informationstext. Es wird beschrieben, dass der Akkumulator (kurz: Akku) die wichtigste Komponente des Elektroautos ist. Es wird auf den Unterschied zwischen den Begriffen Batterie und Akkumulator hingewiesen, die oft synonym verwendet werden. Im Material wird durchgängig der korrekte Begriff Akku verwendet.

Welche Rohstoffe benötigt der Akku des Elektroautos?
Für die Herstellung des Akkus werden viele verschiedene Rohstoffe benötigt. Zu den am häufigsten verwendeten Rohstoffen zählen Lithium, Nickel, Mangan, Kobalt, Kupfer und Graphit (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021). Für die Bearbeitung

des Themas wurden die beiden bekanntesten bzw. am meisten diskutierten Rohstoffe Lithium und Kobalt ausgewählt. Anhand dieser beiden Stoffe können wesentliche Punkte der bestehenden Problematik thematisiert werden, da sie für den Rohstoffaspekt in der Diskussion um die Elektromobilität am präsentesten sind. Eine vollständige Behandlung aller Rohstoffe würde den Umfang des Materials deutlich übersteigen und eine zu große Informationsfülle darstellen. Die Entscheidung, sich auf die beiden Rohstoffe Lithium und Kobalt zu konzentrieren, wird daher an dieser Stelle als sinnvoll erachtet.

Auf der zweiten Seite erhalten die Lernenden den Arbeitsauftrag (Aufgabe 1), sich über die Herkunft der ausgewählten Rohstoffe zu informieren. Dazu sollen sie mit einem Tablet oder Smartphone einen Link öffnen, der zu einer *thinglink*-Seite führt. Abbildung 42 zeigt einen Screenshot der erstellten Seite mit der Überschrift: „Der Weg zum Elektroauto- Herkunft Rohstoffe und Produktionskette“.

Abbildung 42: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Rohstoffe. Thinglink: Herkunft Rohstoffe und Produktionskette

Die Seite zeigt eine Abbildung der Weltkarte, auf der verschiedene Orte der Rohstoffgewinnung markiert sind: Chile und Argentinien für die Gewinnung von Lithium aus Salzseen (Solen), die Demokratische Republik Kongo für die Gewinnung von Kobalt aus Minen und Kleinbergbau, Australien für die Gewinnung von Lithium aus Minen, China als Land, in dem die Rohstoffe weiterverarbeitet werden und Deutschland, wo die fertigen Akkumulatoren eingebaut werden. (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021)
Die dargestellte Verteilung soll zum einen über die verschiedenen Länder informieren, in denen Rohstoffe abgebaut werden, zum anderen über die Art des Abbaus (z. B. Bergbau), aber auch über die Produktionsbedingungen vor Ort. Darüber hinaus soll die Darstellung der Standorte weiterhin verdeutlichen, dass die einzelnen Abbauländer der Rohstoffe sehr weit auseinander liegen und zusätzlich die Transportwege bis zur Endproduktion des Elektroautos berücksichtigt werden müssen (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021). Damit soll die zusätzliche Belastung durch Emissionen deutlich gemacht werden.

Die Informationen werden einerseits über die interaktiven Punkte durch kurze Texte bereitgestellt, andererseits wurde für Lithium und Kobalt jeweils ein passendes Video ausgewählt und hinterlegt. Beide Videos sind frei zugänglich.[6] Die Lernenden erhalten auch wieder eine verkürzte Zeitangabe (s. Aspekt *Feinstaub*), um sich auf die wesentlichen Informationen konzentrieren zu können.
Die Lernen erhalten eine *halboffene* Aufgabe in Form von *Steckbriefen* zu den Metallen Lithium und Kobalt (s. Abbildung 43).

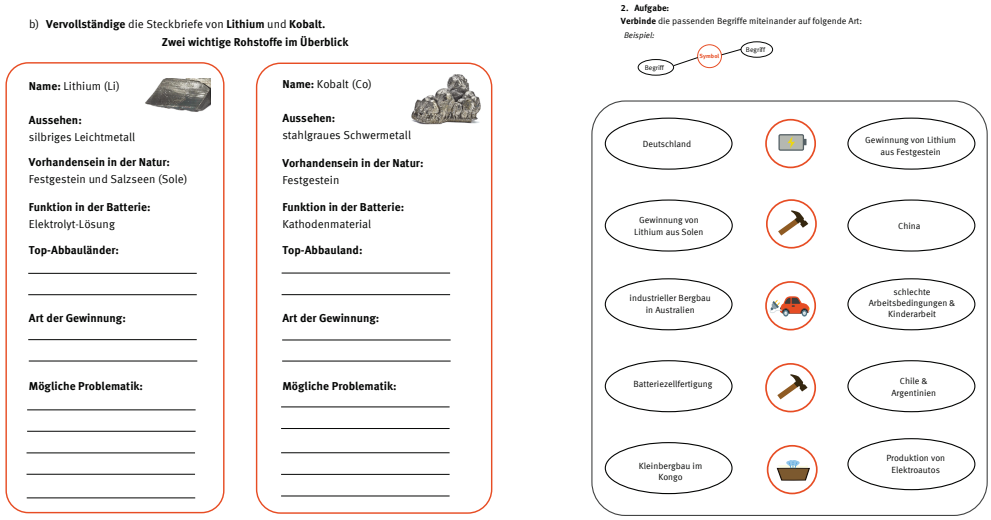


Abbildung 43: Ausschnitte Lernmaterial Feinstaub. Aufgaben zur Erarbeitung (Seite 2 und 3).

Sie sollen die Informationen den wichtigsten Abbauländern, der Art des Abbaus und möglichen Problemen zuordnen. In einer zweiten Sicherungsaufgabe sollen die Informationen zur gesamten Produktionskette festgehalten werden: Die Lernenden erhalten anschließend eine *Zuordnungsaufgabe* (Aufgabe 2) nach Leisen (2003), in der sie jeweils zwei passende Begriffe und ein Symbol zuordnen sollen (s. Abbildung 43). Alle Informationen für die beiden Aufgaben erhalten sie über die Erarbeitung des *thinglinks*.

Recycling und Forschungsausblick

In der Diskussion um die Elektromobilität ist der Rohstoffaspekt der vielfältigste Aspekt. Unter anderem beschäftigt sich die Forschung mit möglichen Recyclingprozessen der Lithium-Ionen-Akkus. Bisherige Trennverfahren sind sehr kompliziert und wirtschaftlich nicht rentabel. Unter anderem bereiten die hohe Brennbarkeit und Giftigkeit der Akkus Schwierigkeiten. Aus diesem Grund sucht die Forschung nach alternativen Batteriezelltypen. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, 2021; Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021; Melin, 2019)
Auch die Frage nach dem Standort der Batteriezellproduktion wird intensiv diskutiert, insbesondere um die Abhängigkeit vom asiatischen Markt zu verringern. Zunehmend

[6] ZDF Planet: „Der wahre Preise der E-Autos“: https://youtu.be/b0kN81HW8t8?si=BifhRjbGRXsjJ7en
Quarks: „Lebenszyklus Lithium“: https://www.ardmediathek.de/video/quarks/lebenszyklus-lithium/wdr/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWl0cmFnLWJkNmNhNjg1LTRhNDctNGRkMC1iMTM1LTcyZTA4NDZhODFlZg

wird gefordert, dass die Batteriezellfertigung nicht mehr in Asien, sondern im europäischen Raum stattfinden soll (BMKW, 2022). Vor diesem Hintergrund werden auch in Deutschland neue Fabriken geplant und gebaut, zum Beispiel in Brandenburg (BMWK, 2023).
Aufgabe 3 besteht aus einem *Worträtsel* als Methoden-Werkzeug nach Leisen (2004). In einem Buchstabengitter sind insgesamt elf Wörter enthalten, die zu den bisherigen Informationen zu Rohstoffen gehören. Diese sollen erkannt und markiert werden. Dadurch sollen die Lernenden anhand eines „spielerischen" Werkzeuges, das erarbeitete Wissen festigen (Leisen, 2004, S. 44) .
In einem weiteren kurzen Informationstext wird noch einen weiteren wichtigen Aspekt hingewiesen. Neben den sozialen Risiken in den Abbauländern und den ökologischen Schäden stellt der Rohstoffabbau oft die einzige Einkommensquelle für die lokale Bevölkerung dar. Dieser ökonomische Aspekt sollte in der Rohstoffdiskussion berücksichtigt werden. Staatseinnahmen können zudem eine Chance für diese Länder darstellen, aber nicht alle Länder können aus ihrem Rohstoffreichtum eine positive Entwicklung ziehen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2021)
Analog zu den anderen Aspekten erfolgt abschließend die Bearbeitung eines Lückentextes. Dabei können die Wörter aus dem Buchstabengitter als Hilfe verwendet werden.

Erprobung

In der Haupterprobung hat Gruppe 2 mit insgesamt vier Lernenden (Gruppe 2.1 mit S7, S8 und Gruppe 2.2 mit S9, S10) das Material zu *Rohstoffen* in Kombination mit dem Material zu *Arbeitsplätzen* bearbeitet und zusätzlich in Einzelarbeit noch eine Schülerin ohne Einverständniserklärung (S19) (s. Abbildung 16).

Ergebnisse

Tabelle 27: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Rohstoffe) von Gruppe 2 der Haupterprobung nach Punkten und in Prozent.

				A1	**A2**	**A3**	**A4**	
Haupterprobung (09.11.2022)			**Punkte**	6	5	11	11	33
			Schüler:in					**gesamt (%)**
	G2	2.1	S7	5	5	11	11	97 %
			S8	6	5	11	11	100 %
		2.2	S9	6	5	11	11	100 %
			S10	6	5	11	11	100 %
		o.E	S19	5,5	5	10	9	89 %
	Gesamt			**95 %**	**100 %**	**98 %**	**96 %**	

Die Aufgabenergebnisse in Tabelle 27 zeigen eine sehr gute Bearbeitung aller Aufgaben durch alle Lernenden. Der Anteil der Gesamtpunkte liegt zwischen 95 und 100 %. Die

Schülerin, die in Einzelarbeit gearbeitet hat, hat mit 89 % das im Vergleich niedrigste Ergebnis erzielt, aber ebenfalls ein gutes Ergebnis.

Diskussion

Die schriftlichen Ergebnisse zeigen durchweg einen sehr guten Umgang mit dem Material. Es fallen nur Kleinigkeiten auf, die aber aufgrund der Ergebnisse nicht auf Verständnisschwierigkeiten schließen lassen, sondern auf fehlende Angaben bei Aufgabe 1 oder auf Lücken bei der Sicherungsaufgabe. Die Betrachtung des Gruppenvideos zeigt jedoch deutliche Unterschiede zwischen den beiden Einzelgruppen, die kurz beschrieben werden. Insgesamt besteht Gruppe 2 aus einer sehr leistungsstarken Gruppe (2.1) mit S7 und S8 und einer eher leistungsschwachen Gruppe (2.2) mit S9 und S10. Während der Arbeitsphase arbeiten S7 und S8 nur wenig zusammen, finden sich aber sehr schnell ein und erledigen die Aufgaben deutlich schneller. Teilweise wird eine Unterforderung von S7 geäußert. Eine Absprache zum gegenseitigen Vergleich der Ergebnisse ist nur an wenigen Stellen erkennbar.

S9 und S10 hingegen arbeiten sehr eng zusammen und scheinen auch sehr bemüht zu sein, das Thema gut zu verstehen (Gruppe 2.2 0:26:02.0). Sie diskutieren viel über die Aufgaben und erarbeiten die Inhalte gemeinsam (Gruppe 2.2, 0:27:48.0). An einzelnen Stellen sind Unsicherheiten in der Bearbeitung erkennbar und bei denen sich die Schüler gegenseitig unterstützen (Gruppe 2.2, 0:41:21.0). Besonders das Buchstabenpuzzle bereitet Schwierigkeiten, so dass die Gruppe sehr lange daran arbeitet, bis alle Wörter gefunden sind (Gruppe 2.2, 0:44:32.0). Auch auf Nachfrage unterstützen sich die beiden Gruppen nur wenig, erst gegen Ende der Arbeitsphase ist eine Hilfestellung durch die leistungsstärkere Gruppe zu beobachten (0:54:22.3). S9 und S10 schaffen den zweiten Aspekt nicht mehr und haben deutlich länger für die Bearbeitung gebraucht, insgesamt 45 Minuten, diese Zeit war für die gesamte Arbeitsphase von jeweils zwei Materialien eingeplant. Im Vergleich haben beide Gruppen aber sehr gute Ergebnisse erzielt.

Fazit

Die Aufgaben werden von allen Lernenden sehr gut bearbeitet womit eine gute Durchführbarkeit erkennbar ist. Durch die ergänzenden Beobachtungen der Videoaufnahme wird deutlich, dass die leistungsschwächere Gruppe sehr viel Zeit für die Aufgaben benötigt. Besonders das Buchstabenpuzzle stellt eine Herausforderung dar, die Lernenden scheinen diese Aufgabentyp nicht zu kennen und äußern auch grundsätzliche Fragen zur Aufgabe. Die Inhalte des Themas Rohstoffe scheinen darüber hinaus sehr gut verstanden worden zu sein.

Re-Design
Auf Grundlage der Beobachtungen in der Videoaufnahme wird die Aufgabe 3 durch eine Lernhilfe ergänzt. Um die Suche der Wörter zu erleichtern werden die elf gesuchten Wörter vorgegeben. Dadurch sollen leistungsschwächere Schüler unterstützt werden. Gleichzeitig ist damit auch für die Sicherungsaufgabe eine Unterstützung entstanden die zum Beispiel auch für den Aspekt Kohlenstoffdioxid verändert wurde. Je nach Lerngruppe kann diese Hilfe durch die Lehrkraft verwendet oder angeboten werden. Der Umfang des Materials erweitert sich durch die Einfügung des Wortpools auf eine sechste Seite. Die Informationstexte sind darüber hinaus noch einmal sprachlich überarbeitet und vereinfach worden.

Die Entwicklung der Materialien zum Aspekt Rohstoffe wurde aufgrund der Erkenntnisse aus der Haupterprobung in einem Re-Design überarbeitet (s. Anhang C.4). Hierbei ist zu berücksichtigen und kritisch anzumerken, dass die Erkenntnisse im Vergleich zu den Materialien Kohlendioxid, Stickoxide und Feinstaub nur von einer sehr kleinen Gruppe (n=5) gewonnen werden konnten. Die im gesamten Entwicklungsprozess des Materialdesigns gewonnenen Erkenntnisse konnten jedoch in die Entwicklung und Optimierung des Rohstoffaspekts einfließen, so dass auch hier auf einen breiten Erfahrungsschatz aus der vorangegangenen Erprobungsphase zurückgegriffen werden konnte.

6.4.3.5 Lärm

Entwicklung
Der Aspekt Lärm ist der erste von vier kleineren Aspekten, die sich insbesondere durch ihren geringeren Umfang auszeichnen. Es ist eine Bearbeitungszeit von 15 Minuten vorgesehen. Das Material besteht aus zwei Seiten.
Auf der ersten Seite erhalten die Lernenden Informationen über den Verkehr als Lärmquelle, wobei der Schwerpunkt auf dem Vergleich zwischen Elektro- und Verbrennungsmotoren liegt. Die Informationen sind auf vier Textfelder verteilt. Jedes Textfeld hat einen thematischen Schwerpunkt: Lärmfaktoren, Langsames Fahren und Anfahren, Lärmvorschriften für Elektroautos sowie Nutzfahrzeuge und Zweiräder. Es wird unter anderem beschrieben, dass der Straßenverkehr einen hohen Lärmpegel verursacht und eine dauerhafte Lärmbelastung gesundheitliche Folgen haben kann (Beutel & Möhler, 2021). Insbesondere die Geräusche von Verbrennungsmotoren sind für die Lärmbelastung verantwortlich. Aber auch Elektroautos haben lärmverursachende Faktoren, denn auch die Rollgeräusche erzeugen Lärm, der bei beiden Fahrzeugen etwa gleich groß ist. Der Unterschied ist jedoch, dass diese Geräusche erst ab 25 km/h auftreten und unterhalb dieser Geschwindigkeit der Motor die Hauptquelle ist, wodurch die Elektroautos im Vorteil sind (European Environment Agency, 2016). Vor allem in Städten und Wohngebieten mit hohen Geschwindigkeitsbegrenzungen könnte der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch

Elektromotoren den Lärmpegel senken. Durch das geräuscharme Fahren birgt das Elektroauto aber auch die Gefahr, nicht gehört zu werden und damit Verkehrsteilnehmende zu gefährden. Diese Gefahr betrifft vor allem Kinder, ältere Menschen oder Menschen mit Behinderungen, die zum Beispiel im Hören oder Sehen eingeschränkt sind. Um dem entgegenzuwirken, wurde eine EU-Verordnung verabschiedet, die vorsieht, dass Elektroautos künstliche Warngeräusche über eine Strecke von 20 km aussenden müssen (Fagerlönn et al., 2018).
Die erhaltenen Informationen werden auf der zweiten Seite im Rahmen einer Richtig- oder Falsch-Aufgabe gesichert (*geschlossene* Aufgabe) (s. Abbildung 44).

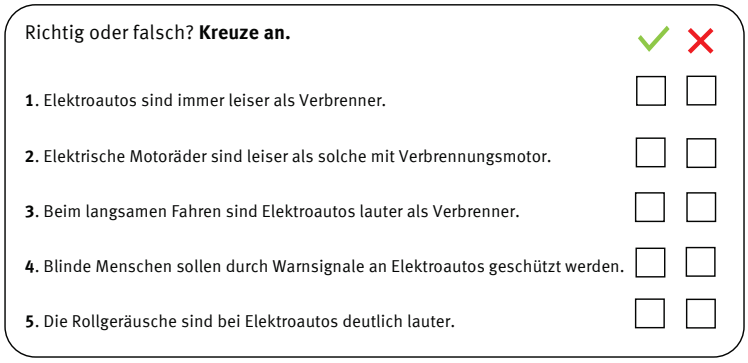


Abbildung 44: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Lärm (Seite 2).

In einem Fazit werden für Lernenden die wichtigsten Informationen noch einmal zusammengefasst.

Erprobung

Dieselbe Lerngruppe, die das Stickoxid-Material im Rahmen der Haupterprobung erprobt haben, haben gleichzeitig auch das Material zum Aspekt Lärm erprobt (s. Kapitel 6.4.3.4).

Ergebnisse

Tabelle 28: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Lärm) von Gruppe 3 der Haupterprobung nach Punkten.

Haupterprobung (09.11.2022)				**A1**
			Punkte	5
			Schüler:in	
	G3	3.1	S11	4
			S12	4
		3.2	S13	5
			S14	4
		o.E	21	4
			22	4
	Gesamt			**83%**

Bis auf einen Schüler (S13) wurden jeweils vier von fünf Aussagen richtig bewertet (s. Tabelle 28). Vier Lernende haben die erste Aussage falsch bewertet und ein Schüler die dritte Aussage (S14).

Diskussion

Wie bereits beschrieben, sind die Lernenden der Gruppe 3 während der Erarbeitung der Materialien insgesamt sehr unkonzentriert. Bei der Bearbeitung des zweiten Materials ist dieses Verhalten zunehmen zu beobachten. Insbesondere S11 und S14 haben nur sehr wenig Interesse an der Bearbeitung des zweiten Materials. Es ist zu erkennen, dass beide Schüler mit der Bearbeitung der Aufgabe beginnen, ohne die Informationen zu lesen und ihre Antworten hauptsächlich auf ihr Vorwissen basieren. S11 kommentiert unter anderem zu unmittelbar Beginn der Aufgabe, dass Elektroautos immer leiser seien (0:56:07.2). Die erste Aussage „Elektroautos sind immer leiser als Verbrenner" wird viermal falsch angekreuzt, zweimal von Gruppe 3.1 (S11 und S12). Die dritte Aussage wird von S14 falsch angekreuzt. Nur bei S13 (5 von 5 Punkten) ist noch eine konzentrierte Arbeitsphase erkennbar, die mit dem Lesen der Texte beginnt und erst dann zur Bearbeitung der Aufgaben übergeht. Insgesamt scheinen die Lernenden mit ihrem vorhandenen Wissen in der Lage zu sein, den Großteil der Aussagen richtig einzuschätzen.
Eine tatsächliche Bearbeitungszeit lässt sich für das Material nicht genau ermitteln. Alle vier Lernenden fangen unterschiedlich an und arbeiten unterschiedlich intensiv an den Materialen, die Bearbeitung wird jedoch immer wieder für mehrere Minuten durch Privatgespräche unterbrochen. Jedoch kann festgestellt werden, dass deutlich weniger als 15 Minute benötigt wird.

Fazit

Die schriftlichen Ergebnisse weisen auf ein grundsätzliches Verständnis der Aussagen hin. Die Beobachtungen der Videos zeigen, dass die Lernenden nur teilweise die Informationen zuerst aus den Texten beziehen und dann die Aufgabe lösen. Dadurch zeigt sich, dass zum Thema Lärm ein bestimmtes Vorwissen bereits vorhanden ist, dass größtenteils ausreicht um die Aussagen richtig zu bewerten. Nur der Schüler der nach den Beobachtungen auch die Texte gelesen hat konnte alle Aussagen richtig bewerten. Schwierigkeiten haben sich insgesamt nicht herausstellen lassen. Das *geschlossene* Aufgabenformat wurde bewusst gewählt, um eine möglichst zeitsparende Bearbeitung des Materials zu ermöglichen und hat sich bestätigt.

Re-Design

Das Material zu Lärm wird vor allem noch einmal sprachlich und der äußerlichen Gestaltung verbessert. Weitere Veränderungen lassen sich nicht ableiten (s. Anhang C.5).

6.4.3.6 Arbeitsmarkt

Entwicklung

In Anlehnung an die Materialien zum Aspekt Lärm umfasst auch der Umfang zum Aspekt Arbeitsplätze zwei Seiten und sieht eine maximale Bearbeitungszeit von 15 Minuten vor. Auch hier liegt der Schwerpunkt auf dem unmittelbaren Vergleich der beiden Fahrzeugtypen. Anhand verschiedener kurzer Texte, beginnend mit einem ersten einführenden Text und weiteren Texten zu einem ausgewählten Schwerpunkt, erhalten die Lernenden verschiedene Informationen zum Thema Arbeitsmarkt. Es wird beschrieben, dass die Umstellung auf Elektroautos zu Veränderungen in der Produktion und damit zu einem Wandel in der Automobilindustrie führt. Insbesondere werden Veränderungen in der Art der Beschäftigung erwartet (Herrmann et al., 2020). Weniger Bedarf wird bei der Herstellung von Komponenten erwartet, die nur für die Produktion von Verbrennungsmotoren benötigt werden. Elektroautos bestehen aus weniger Komponenten. Dafür wird der Bedarf in anderen Tätigkeitsfeldern steigen, zum Beispiel in der Batteriezellenfertigung oder beim Aufbau der notwendigen Infrastruktur. Dadurch können Umschulungen und Weiterbildungen notwendig werden, um Arbeitsplätze zu erhalten (Herrmann et al., 2020).

Darüber hinaus kann sich die regionale Verteilung der Arbeitsplätze verändern, wenn neue Standorte für die Produktion von Elektrofahrzeugen entstehen. Insbesondere in Ostdeutschland sind Produktionsstätten entstanden oder geplant (BMWK, 2023). Durch die internationale Vernetzung der Automobilindustrie ist auch eine Verlagerung von Arbeitsplätzen ins Ausland möglich. Allgemein wird darüber hinaus beschrieben, dass auch unabhängig von der Produktion von Elektrofahrzeugen ein Wandel stattfinden kann: Immer mehr Prozesse werden digitalisiert und automatisiert (Herrmann et al., 2020), so dass insgesamt weniger Arbeitskräfte benötigt werden.

Zur Informationsverarbeitung und gleichzeitigen Sicherung erhalten die Lernenden einen Lückentext mit vorgegebenen Begriffen. Ziel ist es auch hier, die Erarbeitung des Aspektes möglichst kurz zu halten und durch die Sicherungsaufgabe den Fokus auf die wesentlichen Informationen zu lenken (s. Abbildung 45).

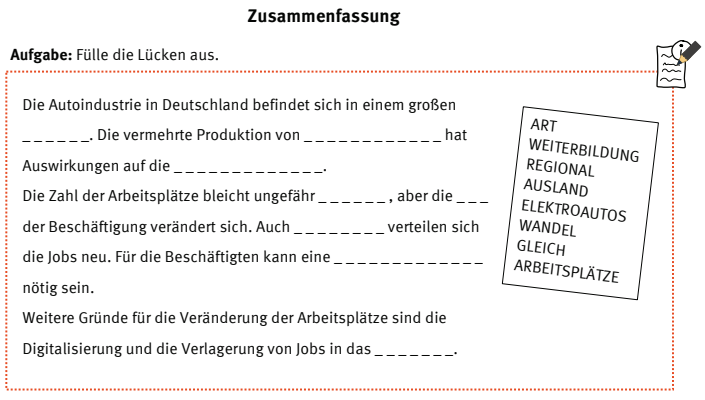


Abbildung 45: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Arbeitsplätze. Sicherungsaufgabe (Seite 2).

Erprobung
Das Material zu *Arbeitsplätzen* wurde im Rahmen der Haupterprobung in Kombination mit dem Aspekt *Rohstoffe* durchgeführt. Die Erprobung erfolgte daher durch dieselbe Lerngruppe (Gruppe 2; S20). Wie bereits beschrieben, konnte eine Gruppe (Gruppe 2.2) aus Zeitgründen nur das Material zu *Rohstoffen* bearbeiten sodass keine Ergebnisse für das Material Arbeitsplätze vorliegen. Aus diesem Grund wurde das Material nur von drei Lernenden erprobt.

Ergebnisse
Die Aufgabe im Material wurde von allen richtig bearbeitet (100 %). Auf eine tabellarische Darstellung wird daher verzichtet.

Diskussion
Die Ergebnisse der Aufgaben zeigen eine vollständige Bearbeitung der Aufgabe bei allen Lernenden. Die Videobeobachtungen deuten darauf hin, dass die Aufgabe für die sehr leistungsstarke Gruppe (2.1) zu leicht war, was sich durch Äußerungen von S10 während der Arbeitsphase erkennen lässt (0:39:46.0). Insgesamt dauert die Bearbeitung weniger als fünf Minuten und ist damit deutlich schneller als geplant. Hier muss jedoch kritisch reflektiert werden, dass es sich bei der Gruppe insgesamt um zwei leistungsstarke Schüler handelt, die auch das Material zu den *Rohstoffen* in sehr kurzer Zeit bearbeitet haben.

Fazit
Die Aufgabe wurde ohne Probleme bearbeitet und auch die ergänzende Videobetrachtung ließ keine Schwierigkeiten erkennen. Es wurde jedoch auch darauf hingewiesen, dass zwei sehr leistungsstarke Schüler das Material bearbeitet haben und die Durchführung somit sehr eindimensional ist. Die Ergebnisse der Gruppe 2.2 sind daher nur bedingt aussagekräftig und decken nur die Seite der leistungsstarken Schüler ab. Die dritte Schülerin wurde nicht gefilmt, bearbeitete die Aufgabe aber ebenfalls korrekt. Die Eignung kann als sehr gut bewertet werden, es wäre jedoch interessant, die Erkenntnisse mit einer leistungsschwächeren Gruppe zu ergänzen.

Re-Design
Aufgrund der Erkenntnisse wird nur eine sprachliche Überarbeitung der einzelnen Texte vorgenommen (s. Anhang C.6).

6.4.3.7 Kosten

Entwicklung
Als dritter Aspekt wurde Material zum Kostenvergleich zwischen einem Elektroauto und einem Auto mit Verbrennungsmotor erstellt. Insgesamt besteht das Material aus drei

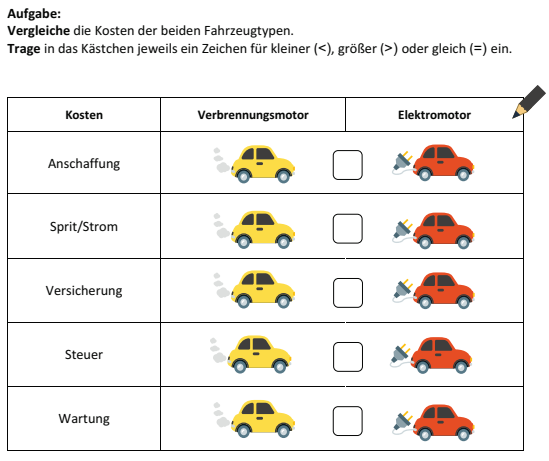
Seiten und orientiert sich am bisherigen Zeitumfang von maximal 15 Minuten. Das Thema Kosten muss immer unter der Einschränkung betrachtet werden, dass ein genauer Vergleich nur zwischen zwei vergleichbaren Modellen möglich ist und daher individuelle Unterschiede vorhanden sind. Aus diesem Grund wird neben allgemeinen Informationen auch ein konkreter Vergleich zwischen zwei vergleichbaren Fahrzeugen (VW Golf und VW iD.3) präsentiert (Kostenrechner von EFahrer, 2022). Darüber hinaus sind auch durch die variierenden Strom- und Benzinpreise eine Einschränkung für eine allgemeine Darstellung des Aspekts.

In einem einleitenden Text werden die verschiedenen Kostenfaktoren eines Fahrzeugs aufgelistet: Anschaffung, Strom- bzw. Benzin- und Dieselpreis, Kfz-Steuer, Versicherung und Wartung. Für jeden Faktor wird ein Vergleich zwischen den beiden Fahrzeugtypen gezogen:

Der Kauf eines Elektroautos wird in Deutschland bislang noch durch einen Umweltbonus gefördert (Die Bundesregierung, 2022b). Insgesamt wird jedoch erwartet, dass die Kosten für den Bau eines Elektroautos in Zukunft durch die steigende Produktion sinken werden. Ohne die Prämie sind die Anschaffungskosten für ein Elektroauto noch deutlich höher als für ein Auto mit Verbrennungsmotor.

Elektroautos sind in Deutschland bei einer Neuzulassung bis 2025 aktuell für zehn Jahre von der Kfz-Steuer befreit. Nach Ablauf der Zeit wird die Hälfte des Steuersatzes erhoben (Bundesfinanzministerium, 2020). Bei der Wartung schneiden Elektroautos derzeit besser ab, da sie weniger verschleißanfällige Teile enthalten (ADAC, 2022). Die Höhe einer Versicherung ist immer individuell, derzeit zeigt sich jedoch, dass Versicherungen für Elektroautos oft noch etwas günstiger sind. Dies kann sich in Zukunft aber mit zunehmender Erfahrung in Zukunft ändern (EFahrer, 2022).

Zur Sicherung der erhaltenen Informationen bearbeiten die Lernenden eine *Zuordnungsaufgabe* (s. Abbildung 46). Durch das Eintragen der Zeichen kleiner, größer oder gleich sollen die verschiedenen Kostenfaktoren zwischen den beiden Fahrzeugtypen verglichen werden. Am Ende werden die Informationen nochmal übersichtlich zusammengefasst (Seite 3)



Aufgabe:
Vergleiche die Kosten der beiden Fahrzeugtypen.
Trage in das Kästchen jeweils ein Zeichen für kleiner (<), größer (>) oder gleich (=) ein.

Kosten	Verbrennungsmotor		Elektromotor
Anschaffung		☐	
Sprit/Strom		☐	
Versicherung		☐	
Steuer		☐	
Wartung		☐	

Abbildung 46: Ausschnitt Sicherungsaufgabe Material Kosten (Seite 3).

Erprobung

In der Haupterprobung wurde das Material zum *Kostenvergleich* von derselben Lerngruppe durchgeführt, die auch den Aspekt *Kohlenstoffdioxid* erprobt haben (s. Kapitel 6.4.3.1).

Ergebnisse

Die Sicherungsaufgabe zum Kostenvergleich wurde vollständig und richtig bearbeitet, mit Ausnahme von S5 wo vier von fünf Zuordnungen richtig waren (s. Tabelle 29).

Tabelle 29: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Kostenvergleich) von Gruppe 1 der Haupterprobung nach Punkten.

Haupterprobung (09.11.2022)				**A**
			Punkte	5
			Schüler:in	
	G1	1.1	S1	5
			S2	5
		1.2	S3	-
			S4	5
		1.3	S5	4
			S6	5
	o. E.		S20	5
	Gesamt			**97 %**

Diskussion

Die schriftlichen Ergebnisse deuten auf eine gute Durchführbarkeit der Aufgabe hin. Die längste im Video erkennbare Bearbeitungszeit beträgt 7,11 Minuten. Damit ist auch für den Aspekt Kosten eine deutliche Unterschreitung der geplanten Bearbeitungszeit erkennbar. Das Gruppenvideo lässt ebenfalls keine Probleme beim Verständnis der Aufgabe erkennen. Interessant ist jedoch, dass S6 sehr kritisch hinterfragt, inwieweit die angegebenen Werte für Benzin aufgrund der durch den Krieg ausgelösten Energiekrise gültig sind. Hier zeigt sich, dass aktuelle Benzinwerte recherchiert werden und richtig erkannt wird, dass dieser Wert sehr variabel ist (0:50:32.3). Gleiches gilt für die Aussage zum Ablaufdatum der Umweltprämie. Insgesamt fällt S6 durch viele Äußerungen auf, die auf ein vorhandenes Vorwissen schließen lassen (0:52:02.8).

Fazit

Sowohl die schriftlichen Ergebnisse als auch ergänzend die Beobachtungen des Gruppenvideos zeigen eine sehr gute Umsetzbarkeit des Materials bzw. der zugehörigen Aufgabe. Bei der Betrachtung des Videos wird deutlich, dass die Lernenden das Material diskutieren und die Informationen reflektieren. Sie erkennen, dass insbesondere die angegebenen Werte kritisch zu betrachten sind, da die Kosten für Benzin und Strom Schwankungen unterliegen und der Wegfall der Förderung durch die Bundesregierung ebenfalls in Zukunft eine Rolle spielen könnte.

Re-Design
Das Material wurde insgesamt sprachlich und gestalterisch angepasst. Es wurden kleine Änderungen zu Gunsten der Übersichtlichkeit vorgenommen (s. Anhang C.7).

6.4.3.8 Reichweite

Entwicklung
Im Rahmen der Materialentwicklung wurde abschließend der Aspekt der Reichweite erarbeitet. Dieser nimmt innerhalb der Themenauswahl eine Sonderstellung ein, da er keine direkten Anknüpfungspunkte zu den drei Dimensionen aufweist. Ein indirekter Anknüpfungspunkt wird hier jedoch in der sozialen Dimension gesehen. Hierbei handelt es sich um einen sehr individuellen und persönlichen Aspekt, der jedoch in der Diskussion um Elektromobilität präsent ist. Die soziale Dimension bezieht sich auf die individuelle Eignung eines Elektroautos, bei der unter anderem die Flexibilität und das Vorhandensein der Infrastruktur ausschlaggebend für die Entscheidung für ein Elektroauto ist und damit letztlich auch eine Frage der Chancengleichheit berührt. Je nach individueller Situation kann die Reichweite als Einschränkung im Alltag empfunden werden, insbesondere wenn eine Abhängigkeit von öffentlichen Ladestationen besteht. Beispielsweise stellt die Reichweite für Personen, die in einer Mietwohnung in der Innenstadt leben, in der es bisher kaum öffentliche Ladestationen gibt, eine größere Hürde dar als für Personen, die eine Ladestation am eigenen Haus installieren lassen können. Eine funktionierende Infrastruktur und nachhaltiger Städtebau für alle Menschen wird durch die Ziele 9 und 11 der Nachhaltigkeitsentwicklungsziele fokussiert (United Nations, 2015).

Einleitend wird die Definition von Reichweite beschrieben: Sie wird definiert als die Strecke in Kilometern, die mit einer voll aufgeladenen Batterie ohne Zwischenladung zurückgelegt werden kann. Zur Zeit der Recherche lag die kleinste Reichweite bei ca. 120 km und die größte Reichweite bei ca. 780 km. Im Jahr 2020 lag die durchschnittliche Reichweite bei ca. 350 km. Die Reichweite eines vollgeladenen Elektroautos kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Insgesamt sieben Reichweitenfaktoren mit ihren jeweils besten Bedingungen werden in der ersten Aufgabe mit Hilfe einer Simulation (Kremer & Marohn, 2022) erarbeitet. Diese Simulation wurde im Rahmen des Projekts „*smart for science*“ von Fabienne Kremer (Institut für Didaktik der Chemie, Universität Münster in Kooperation mit Stefan Denecke (Kremer & Marohn, 2022)) entwickelt und die Nutzung für die Anwendung in den Materialien zum Aspekt Reichweite genehmigt. Die Simulation ermöglicht durch verschiedene Einstellungen der Faktoren eine möglichst große Reichweite zu erzielen. Dadurch kann die jeweils beste Bedingung eines Faktors von den Lernenden identifiziert werden (Kremer & Marohn, 2022). In einer Zuordnungsaufgabe (*geschlossene Aufgabe*) werden die Reichweite-Faktoren den ermittelten besten Bedingungen zugeordnet. Auf der zweiten Seite werden Informationen zur Ladedauer

durch verschiedene Ladeoptionen beschrieben und tabellarisch dargestellt. Auf der dritten Seite folgt die Sicherungsaufgabe als *Lückentext* ohne vorgegebene Wörter.

Erprobung
Der Aspekt Reichweite wurde in der Haupterprobung in Kombination mit dem Aspekt *Feinstaub* von Gruppe 4 durchgeführt (s. Kapitel 6.4.3.2).

Ergebnisse
Beide Aufgaben wurden vollständig und korrekt bearbeitet (100 %). Auf eine tabellarische Darstellung wird daher verzichtet.

Diskussion
Die schriftlichen Ergebnisse zeigen eine sehr gute Durchführbarkeit der beiden Aufgaben. Ergänzend ist bei der Betrachtung des Gruppenvideos zu erkennen, dass sich die Lernenden gegenseitig die Aufgabe erklären und schnell erkennen, wie die Simulation zu bedienen ist. Wie schon beim Aspekt Feinstaub arbeitet die Gruppe eng zusammen und es kann eine Gesamtbearbeitungszeit von 8:03 Minuten ermittelt werden, in der die Bearbeitung zusätzlich durch eine gemeinsame Diskussion über die Inhalte unterstützt wird. Insbesondere die Information zur Ladedauer ist für die Schülerin S15 neu und wird durch eine erstaunte Äußerung deutlich (0:51:15.7). Das Material zur Reichweite ist im Vergleich zu den anderen kleineren Materialien als das umfangreichste anzusehen. Es zeigt sich, dass zwei Aufgaben geeignet sind, da beide Aufgaben sehr vorstrukturiert sind und von den Lernenden schnell erfasst werden. Aufgabe 1 lässt daher noch Möglichkeiten offen, den Schwierigkeitsgrad zu erhöhen, indem man die vorgegebenen besten Bedingungen weglässt und aus der geschlossenen Zuordnungsaufgabe eine offenere gestaltet.

Fazit
Beide Aufgaben werden korrekt bearbeitet und zeigen keine Verständnisschwierigkeiten. Die Diskussion in der Gruppe zeigt, dass das Thema Reichweite für die Lernenden interessant ist und neue Informationen. Bei allen „kleinen" Aspekten zeigte sich, dass die Bearbeitungszeit zu hoch eingeschätzt wurde. Insbesondere der Aspekt Reichweite wurde als umfangreichstes Material eingeschätzt und blieb auch unter der vorgesehenen Zeit von 15 Minuten. Für die Unterrichtsplanung kann hier auf Basis der Erkenntnisse der bisherigen Erprobung eine deutlich verkürzte Bearbeitungszeit angesetzt werden.

Re-Design
Wie bei allen Materialien erfolgt abschließend eine sprachliche und gestalterische Überarbeitung. Außerdem wird das Material zur Vereinheitlichung auf zwei Seiten gekürzt. Informationen, die sich als weniger relevant herausgestellt haben, werden entfernt (s. Anhang C.8).

6.4.4 Fazit Mesozyklus 2

Der zweiten Mesozyklus zielte auf folgende Fragestellung ab:

FF 2: In welcher Weise kann das entwickelte Konzept „nachhaltig:bewerten" im naturwissenschaftlichen Unterricht umgesetzt werden?

Zunächst erfolgte eine kriterienbasierte Auswahl eines geeigneten Beispielkontextes (FF 2.1). Die Formulierung von Kriterien zur Auswahl eines geeigneten Kontextes erfolgte auf der Grundlage fachdidaktischer Literatur (FF 2.1.1). Unter der Voraussetzung, die Kriterien auf eine Unterrichtseinheit im Fach Chemie anzuwenden, erfolgte die Auswahl des Themas *Elektromobilität* (FF 2.1.2).
Anschließend wurden literaturbasiert Gestaltungsprinzipien (FF 2.2.1) und Elemente (2.2.2) zur Entwicklung der Lernmaterialien herausgestellt (FF 2.2).

Die Entwicklung und Gestaltung der Unterrichtsmaterialien erfolgte zu acht ausgewählten Aspekten von Elektromobilität (FF 2.3). Insgesamt wurden 32 Seiten Material entwickelt (s. Anhang C). Die Materialentwicklung erfolgte gemäß DBR in einem iterativen Prozess, der durch eine progressive Optimierung des Materials gekennzeichnet ist. Die Optimierung erfolgte schrittweise und unter Einbeziehung der Ergebnisse und daraus abgeleiteter Erkenntnisse aus den durchgeführten Erprobungen (s. Tabelle 6.2.2) (FF.2.4). Die Ergebnisse wurden in Kapitel 6.4.3 diskutiert und dargelegt. Die Eignung der Unterrichtsmaterialien konnte im Rahmen der Erprobungen herausgestellt werden und ihre Durchführbarkeit bestätigt werden.

6.5 Mesozyklus 3: Umsetzung und Evaluation des Konzepts

Im zweiten Mesozyklus dieser Arbeit (s. Kapitel 6.4) erfolgte durch die Ausarbeitung von Lernmaterialien für eine exemplarische Unterrichtseinheit zu *Elektromobilität* die praktische Umsetzung des theoriebasiert entwickelten Unterrichtskonzepts „nachhaltig ⋮ bewerten“ (s. Kapitel 6.3). Im dritten Mesozyklus wird nun untersucht, inwieweit die Ziele des Unterrichtskonzepts im Rahmen der Durchführung einer Unterrichtseinheit erreicht und anhand von Lernergebnissen und Lernprozessen beschrieben und identifiziert werden können. Die zugrundeliegende Fragestellung des dritten Mesozyklus lautet:

FF 3: Inwiefern kann nach der Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit eine erfolgreiche Umsetzung des Unterrichtskonzepts beschrieben und identifiziert werden?

Durch die Visualisierung der Komplexität und Multiperspektivität von Fragen nachhaltiger Entwicklung anhand der Bewertungsscheibe soll die Durchführung des Unterrichtkonzepts das *Nachhaltigkeitsverständnis* der Lernenden fördern (s. Kapitel 6.3). Die Anwendung der Bewertungsscheibe soll in einer exemplarischen Unterrichtseinheit zum Kontext Elektromobilität, eine *kriteriengeleitete Bewertung* beziehungsweise *Reflexion* ermöglichen und unterstützen (s. Kapitel 6.3). Die Untersuchung möglicher Lernerfolge und Effekte im Rahmen der Erprobungen, soll Aufschluss darüber geben, inwieweit sich eine Erreichung der Ziele des Unterrichtskonzepts bzw. des Einsatzes der Bewertungsscheibe durch die Beschreibung der Lernergebnisse erkennen lässt.

Mithilfe der Bewertungsscheibe sollen die Lernenden in der Unterrichtseinheit ausgewählte Informationen zur Elektromobilität aus den entwickelten Lernmaterialien (s. Kapitel 6.4) einordnen und bewerten. Sie sollen erkennen, dass verschiedene Aspekte von Elektromobilität zu einer unterschiedlichen Bewertung führen, was durch die Erstellung unterschiedlicher Bewertungsscheiben verdeutlicht werden kann. Zum Abschluss der Unterrichtseinheit soll die Leitfrage, wie nachhaltig Elektroautos im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotor sind, mit Hilfe der Bewertungsscheibe kriteriengeleitet reflektiert werden.
Es soll daher zum einen untersucht werden, auf welche Weise die Lernenden die Bewertungsscheibe nutzen. Dazu wird die entsprechende Phase innerhalb der Erprobungen betrachtet, in der die Ergebnisse der Bewertung durch die Lernenden im Plenum vorgestellt und diskutiert werden (s. 6.5.1). Die Auswertung erfolgt anhand der Analyse der Transkripte aus den Videoaufnahmen der entsprechenden Unterrichtssequenz sowie den Visualisierungen der Bewertungsscheiben im Plenum. Folgende Forschungsfrage fokussiert auf die Anwendung der Bewertungsscheibe und wird in Kapitel 6.5.1 untersucht:

FF 3.1: In welcher Weisen nutzen die Lernenden das methodische Instrument der Bewertungsscheibe?

Außerdem sollen Veränderungen des Verständnisses von Nachhaltigkeit der Lernenden erfasst werden, um mögliche Effekte der Unterrichtskonzeption in Bezug auf das Nachhaltigkeitsverständnis der Lernenden zu identifizieren (s. Kapitel 6.5.3). Des Weiteren soll untersucht werden, wie die Lernenden die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Unterrichtseinheit bewerten (s. Kapitel 6.5.4). Dabei soll analysiert werden, inwieweit sich die Berücksichtigung der Bewertungskriterien in den Antworten widerspiegelt.
Zur Beantwortung dieser Fragen wurde eine Prä- und Post-Testung durchgeführt, deren Ergebnisse anhand folgender Forschungsfragen diskutiert werden sollen:

FF 3.2: Welches Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen die Lernenden vor und nach der Intervention?

FF 3.3: Welche Vorteile- und Nachteile von Elektroautos sehen Lernende vor der Intervention?

FF 3.4: In welcher Weise bewerten Lernende die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention?

Das eingesetzte Erhebungsinstrument wird in Kapitel 6.5.2 vorgestellt. Die Zusammensetzung der Teilnehmenden aus den Erprobungen der erhobenen Stichprobe wurde bereits in Kapitel 6.2.2 (Tabelle 7) übersichtlich dargestellt.

6.5.1 Anwendung der Bewertungsscheibe

FF 3.1: In welcher Weisen nutzen die Lernenden das methodische Instrument der Bewertungsscheibe?

Die Erarbeitung der Informationen zum Kontext Elektromobilität, sei es anhand einzelner Aspekte oder anhand des gesamten Materials, stellt eine eigene Arbeitsphase innerhalb der Erprobung dar und nahm den zeitlich größten Anteil bei der Durchführung der Unterrichtseinheit ein. Die iterative Entwicklung und Optimierung der Materialien zu den ausgewählten Aspekten von Elektromobilität wurden in Kapitel 6.4 im Rahmen des zweiten Mesozyklus beschrieben. Die Ergebnisse dieser Arbeitsphase aus den jeweiligen Erprobungen wurden in Kapitel 6.4.3 dargestellt und diskutiert.

Auf die Erarbeitung der Informationen folgte jeweils die Bewertungsphase, die in den Erprobungen zum Teil unterschiedlich gestaltet war. Inhaltlich gliedert sich diese Phase in eine vorbereitende Phase, in der die Lernenden die Einordnung der Informationen in die Bewertungsscheibe vornehmen, und eine Plenumsphase in der die Bewertung diskutiert werden. Der genaue Ablauf ist den Stundenverlaufsplänen der jeweiligen Erprobungen im Anhang A.3 zu entnehmen.
In einem ersten Schritt sollten die Lernenden zunächst in Partner- und Gruppenarbeit ihre Überlegungen zur Einordnung der Informationen durch Markierung der Bewertungsscheibe sammeln und Argumente festhalten. Anschließend wurden die Ergebnisse der Bewertungsscheiben im Plenum zusammengeführt und zur Diskussion gestellt. In Kapitel 6.5.1.4 erfolgt eine Analyse dieser Plenumsphase, um Erkenntnisse über die Anwendung der Bewertungsscheibe zu gewinnen. Auf diesen Ergebnissen liegt der Schwerpunkt des Forschungsinteresses.

Um die Ergebnisse, die im dritten Mesozyklus vorgestellt und diskutiert werden, in die Unterrichtseinheit einzurahmen, wird zunächst in den Kapiteln 6.5.1.1 und 6.5.1.2 beschrieben, wie die Einführung der Bewertungsscheibe und ihre Anwendung in den jeweiligen Erprobungen gestaltet wurde. Die Ergebnisse der Plenumsphase werden in den Kapiteln 6.5.1.4 und 6.5.1.5 dargestellt und diskutiert.
Um die Fragestellung von FF 3.1 zu strukturieren, werden folgende Sub-Forschungsfragen formuliert:

FF 3.1.1: Inwieweit ordnen die Lernenden die erarbeiteten Informationen zu ausgewählten Aspekten von Elektromobilität in die Bewertungsscheibe ein?

FF 3.1.2: Inwieweit ordnen die Lernenden weitere Informationen zu Elektromobilität in die Bewertungsscheibe ein?

FF 3.1.3: Inwieweit unterstützt das Ergebnis der Bewertungsscheibe eine kriteriengeleitete Reflexion zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität?

6.5.1.1 Einführung Bewertungsscheibe

Die Einführung der Bewertungsscheibe erfolgte zum Teil analog, es lassen sich jedoch auch Unterschiede in den Erprobungen herausstellen, die im folgenden Kapitel kurz erläutert werden. Der detaillierte Ablauf der einzelnen Durchgänge und die Verordnung der Einführungsphase in die Unterrichtseinheit sind den Stundenverlaufsplänen im Anhang A.3 zu entnehmen.

Im ersten Erprobungsdurchgang schloss sich die Einführung unmittelbar an die Durchführung des Prä-Tests an, in allen weiteren Erprobungen wurde der Prä-Test mit zeitlichem Abstand vor der Intervention durchgeführt (s. Kapitel 6.2). Zu Beginn der Einführung wurden mündlich Beispielaussagen einzelner Lernender gesammelt, was sie unter Nachhaltigkeit verstehen und daran anknüpfend die drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* vorgestellt. Dazu wurden die entwickelten Symbole (s. Abbildung 17) und Bezeichnungen der Nachhaltigkeitsdimensionen von der Lehrkraft an die Tafel angebracht. Parallel dazu wurden die Bewertungsebenen durch die drei Fragen: *Wo? Wie lange? Wer?* ebenfalls mit den entsprechenden Symbolen (s. Abbildung 19) visualisiert.
Zwei Beispielaussagen zeigen erste Hinweise daraufhin auf, dass die Lernenden in ihrem Verständnis von Nachhaltigkeit besonders die Dimension der *Umwelt* assoziieren:

> […] „das wird heute oft benutzt so, aber irgendwie, ich war mir gar nicht so sicher, weil das steht meistens so auf so umweltfreundlichen Produkten und so wo irgendmal/ wenig Ressourcen verschwendet werden und das ein möglichst geringen CO_2-Abdruck hat oder so? Aber ich weiß auch nicht ob das jetzt richtig ist.“ (S6, Kurs 1)

> „Äh, wenn man nachhaltig lebt, lebt man quasi umweltfreundlicher, man verzichtet auf vieles. Damit es dann besser für die Umwelt ist.“ (S6, Kurs 2)

Dieser Fokus auf die Umwelt entspricht den Erwartungen vor der Erprobung. Eine empirische Überprüfung dieser Vermutung erfolgt in Kapitel 6.5.3 anhand der Forschungsfrage FF 3.2 und der Auswertung des Prä- und Post-Tests.
Die Bewertungsscheibe wurde in der Größe A0 an die Tafel angebracht und in Gegenüberstellung zu den bereits visualisierten Nachhaltigkeitsdimensionen und den drei Bewertungsebenen in ihrer Anwendung erklärt. Alle Lernenden erhielten die entwickelten Definitionskarten zu den Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen (s. Anhang B), die die Erklärungen der Lehrkraft noch einmal verschriftlichen und zur Unterstützung in der Bewertungsphase bereitgestellt wurden. Zum Einstieg in die Arbeitsphase, in der die Inhalte zu den drei Aspekten *Kohlenstoffdioxid*, *Stickoxide* und *Feinstaub* erarbeitet und anschließend bewertet werden sollten, wurde die Leitfrage der Unterrichtseinheit von der Lehrkraft benannt: „*Wie nachhaltig sind Autos mit Elektromotor im Vergleich zu Verbrennungsmotoren*?“. Die Einführung betrug in der ersten Erprobung ca. 12 Minuten.

In den weiteren Erprobungsdurchgängen zwei bis vier (s. Tabelle 7) wurde die Einführung digital gestaltet, um die Anwendung der Bewertungsscheibe durch Visualisierungen anschaulicher darzustellen. Sie erfolgte zu Beginn der Doppelstunde. Dazu wurde eine Power-Point-Präsentation erstellt, die durch die Beschreibung einer beispielhaften

Maßnahme im Kontext Nachhaltigkeit, dem Ausbau von Windkraftanlagen, ergänzt wurde. Dadurch sollte die Anwendung der Bewertungsscheibe für die Lernenden verständlicher gemacht werden. Zusätzlich wurde eine Folie mit der Leitfrage eingeblendet, um auch diese deutlicher hervorzuheben. Die Dauer der Einführung der Bewertungsscheibe betrug damit insgesamt ca. 15 Minuten. Im Anschluss wurden ebenfalls die Definitionskarten zu den drei Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen ausgeteilt und der Arbeitsauftrag zur Erarbeitung und anschließenden Bewertung der jeweiligen Aspekte gegeben.

Haupterprobung

In der Haupterprobung wurden die Erarbeitungs- und die Bewertungsphase stärker voneinander getrennt (s. Stundenverlaufsplan, Anhang A.3). Die Einführung der Bewertungsscheibe erfolgte erst nach Abschluss der inhaltlichen Erarbeitung und Sicherung der Informationen zur Elektromobilität.

Als Einstieg wurden die Lernenden gebeten, ihre Assoziationen zum Thema Elektroauto zu formulieren. Dazu wurde die App Menti-Meter[7] eingesetzt. Über bereitgestellte iPads konnten die Lernenden ihre Antworten über einen QR-Code eingeben. Die Ergebnisse wurden in einer von Menti-Meter generierten Wortwolke zusammengefasst.

Abbildung 47 zeigt einen Screenshot der visualisierten Wortwolke aus der Haupterprobung:

Abbildung 47: Ergebnisse der Wortwolke durch Menti-Meter.

Dies gab den Lernenden die Möglichkeit, ihre Gedanken zum Thema zu äußern und die Lehrkraft erhielt einen groben Eindruck über das mögliche Vorwissen der Lernenden zum Thema Elektromobilität.

[7] Link zum Online-Tool: https://www.mentimeter.com/de-DE

Eine häufige Assoziation, erkennbar durch die Vergrößerung der Schrift in der Mitte, ist unter anderem das Wort u*mweltfreundlicher*, es finden sich auch entsprechende Synonyme: *umweltschonend*, *Umwelt*. Auch *Nachhaltigkei*t oder *nachhaltig* fallen als Begriffe. Die Lernenden nennen verschiedene Assoziationen, die sich zum Teil in den acht für die Unterrichtseinheit ausgewählten Aspekten von Elektromobilität wiederfinden lassen: *Abbau der Rohstoffe*, *leise*, *andere* G*eräusche*, *leiseres Fahren*, *Lithium-Ionen-Akku*, *aufladen*, *Ladestationen*, *Strom*, *höherer Stromverbrauch*, *wenig Spritkosten*, *kein Benzin*.
Das Ergebnis der Wortwolke zeigt, dass den Lernenden bereits vielfältige Begriffe bekannt sind und damit ein gewisses Vorwissen vorhanden ist. Zum Teil lassen die Assoziationen Rückschlüsse auf mögliche Bewertungen zu, zum Beispiel anhand der Wörter *umweltfreundlicher* oder *nachhaltig*. Viele Formulierungen sind darüber hinaus eher neutral formuliert (*Ladestationen*), jedoch auch einige, die auf mögliche kritische Überlegungen hindeuten könnten (*lange Aufladezeit*, *hoher Stromverbrauch*). Insgesamt stellt der Einsatz der Wortwolke eine gute Möglichkeit dar, die Lernenden zu aktivieren und an bereits vorhandenes Wissen zur Einführung in die Unterrichtseinheit anzuknüpfen.
Anschließend wurde der erste Arbeitsauftrag formuliert. Dieser beinhaltete die Aufforderung, die beiden zugeteilten Aspekte zu bearbeiten und anschließend zwei Gruppenmitglieder auszuwählen, die im Plenum die wichtigsten Informationen in einem Kurzvortrag präsentieren sollten. Im Vergleich zu den vorherigen Erprobungen bearbeiteten in der Haupterprobung alle Lernenden inhaltlich zwei Aspekte, jeweils einen *großen* und einen *kleinen* Aspekt (s. Kapitel 6.4). Für den Kurzvortrag erhielten die Lernenden Unterstützungsmaterial in Form von Moderationskarten (s. Anhang D.1), auf denen die wichtigsten Informationen aus den entwickelten Lernmaterialien zusammengefasst waren. Dies sollte die Sicherungsphase dahingehend unterstützen, dass die wichtigsten Informationen auf jeden Fall von den jeweiligen Gruppen als spätere Bewertungsgrundlage genannt werden. Abschließend erhielten alle Lernenden noch ein Übersichtsblatt (s. Anhang D.1).
Erst nach der Ergebnissicherung im Plenum folgte der Wechsel zur Bewertung.

6.5.1.2 Arbeitsphase Bewerten

In Mesozyklus 1 wurde bereits auf die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Bewertungsscheibe verwiesen (s. Kapitel 6.3.3). In den Erprobungen wurden daher unterschiedliche Möglichkeiten eingesetzt, wie das Arbeiten mit der Bewertungsscheibe gestaltet werden kann. Im folgenden Kapitel werden zunächst die jeweiligen Vorgehensweisen in den Erprobungen beschrieben, die sich auf die Einordnung der Informationen in die Bewertungsscheibe beziehen und deren Ergebnisse in den Plenumsphasen zusammengetragen und diskutiert wurden.

Die Arbeitsphase der Bewertung innerhalb der Gruppen, die sich mit Ausnahme der Haupterprobung unmittelbar an die Erarbeitung der einzelnen Aspekte anschloss (s. Stundenverlaufsplan, Anhang A.3), wurde in den ersten Erprobungen durch eine mehrschrittige Aufgabe zur Anwendung der Bewertungsscheibe strukturiert. Diese Bewertungsstrukturaufgabe wurde in den Erprobungen gestalterisch variiert. Der jeweilige Inhalt der Aufgabe wurde jedoch nicht verändert, sodass aus Gründen der Übersichtlichkeit auf eine Darstellung aller Varianten verzichtet wird. Abbildung 48 zeigt daher eine Variante:

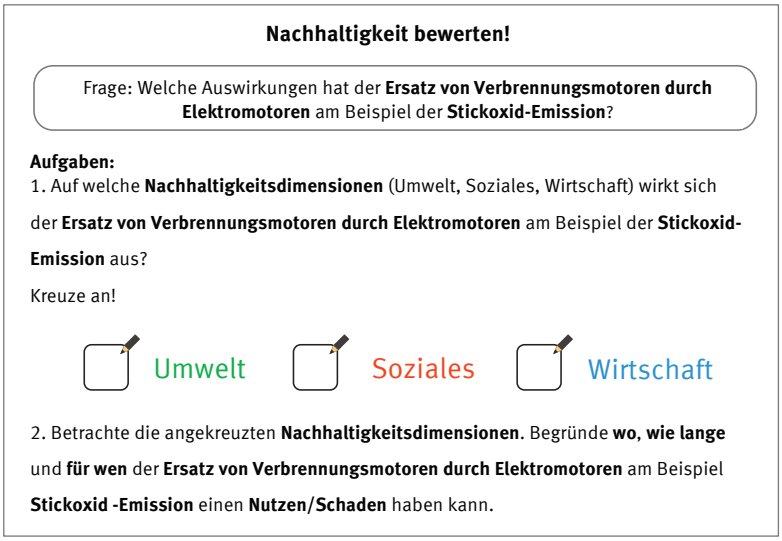


Abbildung 48: Ausschnitt der strukturierenden Bewertungsaufgabe zum Aspekt Stickoxide.

Die zentrale Leitfrage wird spezifisch für den zu bewertenden Aspekt formuliert. In einem ersten Schritt sollen die Lernenden ankreuzen, auf welche Nachhaltigkeitsdimensionen sich der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren am Beispiel der Stickoxidemissionen auswirkt (Aufgabenteil 1).

Darauf aufbauend sollten sie im zweiten Aufgabenteil (s. Abbildung 49) nacheinander den drei Bewertungsfragen (*Wo? Wie lange? Wer?)* nachgehen und überlegen, ob es sich um mögliche positive oder negative Auswirkungen handelt.

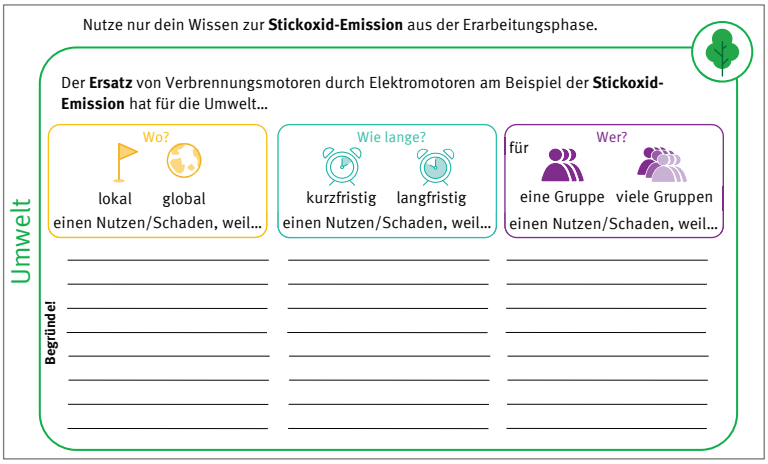


Abbildung 49: Ausschnitt strukturierende Bewertungsaufgabe. Ausschnitt Stickoxide

Zu diesem Zweck wurde das Eingabefeld für jede Dimension vorstrukturiert, um die einzelnen Schritte anzuleiten. Abschließend sollte die Entscheidung beziehungsweise die Einordnung der Informationen aus den Aufgaben 1 und 2 zur Visualisierung in die Bewertungsscheibe übertragen werden (s. Abbildung 50). Dazu erhielten die Lernenden rote und grüne Stifte zur Markierung auf einer ausgedruckten Bewertungsscheibe (Größe A4). Die Aufgaben sollten zunächst in Partnerarbeit bearbeitet werden und bei Unsicherheiten mit den Gruppen desselben Aspekts diskutiert werden.

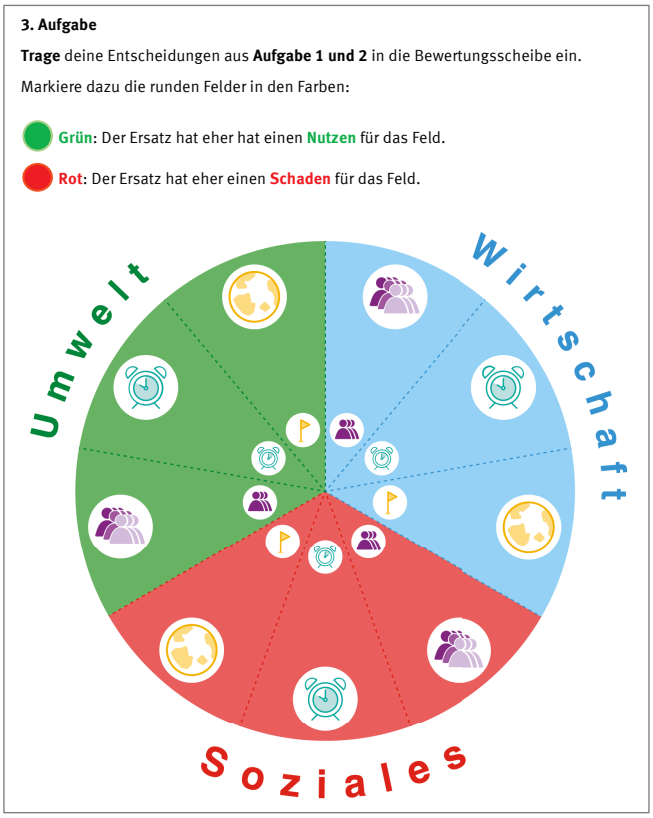


Abbildung 50: Aufgabenteil 3 zur Markierung der Felder der Bewertungsscheibe.

Haupterprobung

In der Haupterprobung sollte diese Phase aktivierender gestaltet werden (s. Stundenverlaufsplan, Anhang A.3). Dazu wurde unter anderem der Wechsel von Partner- zu Gruppenarbeit konkret angeleitet und die Bewertungsstrukturaufgabe entfernt.

In einem ersten Schritt sollten die Lernenden zu zweit die Informationen ihrer jeweiligen Aspekte in die Bewertungsscheibe einordnen und für jede Markierung ein Argument aufschreiben. Die Markierung erfolgte hier durch ein haptisches Vorgehen: Es wurden grüne und rote Punkte zur Markierung auf einer Bewertungsscheibe der Größe A3 bereitgestellt. Ziel dieser Variante war es, die Diskussion untereinander zu verstärken und die Möglichkeit zu schaffen, Punkte durch Verschieben noch einmal zu verändern und somit verschiedene Überlegungen auszuprobieren. Zur Verschriftlichung der Argumente wurden rote und grüne Moderationskarten bereitgestellt: Grün für Argumente die positiven Auswirkungen beschreiben, Rot für negative Auswirkungen. In einem zweiten Schritt

sollten alle Lernenden einer Themengruppe ihre Bewertung vergleichen, diskutieren und sich auf eine gemeinsame Gruppenbewertung einigen. Dazu sollten die Argumente aus der Partnerarbeit ausgewählt, ergänzt und zusammengefasst werden. Zur Sicherung des Ergebnisses wurden die Lernenden aufgefordert ihre Bewertungsscheiben mit den iPads zu fotografieren.

Um die formulierten Forschungsfragen, die auf die Anwendung der Bewertungsscheibe abzielen, zu untersuchen, liegt der Fokus insbesondere auf den Ergebnissen, die in der anschließenden Plenumsphase zusammengetragen und diskutiert wurden.
Eine systematische Auswertung der vorbereitenden Phase zur Bewertung ist aufgrund unvollständiger Daten aus den einzelnen Erprobungen an dieser Stelle nicht sinnvoll umsetzbar. Nur in wenigen Fällen liegt eine vollständig ausgefüllte Bewertungsaufgabe vor. Bei vielen Lernenden fehlen Aufgabenteile, insbesondere Aufgabenteil 2, indem entsprechende Begründungen formuliert werden sollten. Ohne die Begründungen der Lernenden können nur bedingt Rückschlüsse auf die Nachvollziehbarkeit der Markierungen gezogen werden. Die Videoaufzeichnungen zeigen außerdem, dass viele Lernende über die Arbeitsphase hinaus in der Plenumsphase Markierungen auf der Bewertungsscheibe vornehmen, so dass eine Trennung der Ergebnisse nicht mehr ersichtlich ist.

Des Weiteren soll es nicht Ziel des Unterrichtkonzepts sein, am Ende eine Einteilung der ausgefüllten Bewertungsscheibe in die Kategorien „richtig“ oder „falsch“ vorzunehmen. Bewertungen sind letztlich immer individuell und basieren unter anderem auf unterschiedlichem Vorwissen und persönlichen Einstellungen. Der Einsatz der Bewertungsscheibe kann daher dann als erfolgreich bezeichnet werden, wenn die Lernenden die erarbeiteten Aspekte oder auch weitere Informationen nachvollziehbar und mit einer passenden Begründung bewerten (s. Kapitel 6.3.3). Als nachvollziehbar werden insbesondere solche Markierungen und Argumente bezeichnet, die sich auf Basis der vorgestellten Definitionen der Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen sinnvoll einordnen lassen.
Es geht also weniger um eine Beurteilung, inwieweit die Markierungen „richtig“ oder „falsch“ sind, sondern vielmehr darum, auf welcher Argumentationsbasis die Bewertung vorgenommen wird und ob sich diese als nachvollziehbar bzw. sinnvoll ausweist.
Positiv lassen sich abschließend folgende Ergebnisse der Plenumsphase zusammenfassen: Die Lernenden sind in der Lage erarbeitete Informationen nachvollziehbar in die Bewertungsscheibe einzuordnen und diese zum Teil angemessen zu begründen. Darüber hinaus wird auch vorhandenes Wissen aktiviert und mithilfe der Bewertungsscheibe bewertet. Die Lernenden erkennen durch die Diskussion untereinander, dass es unterschiedliche Möglichkeiten, gibt die Informationen zu bewerten. Sie erkennen unter anderem auch an, dass bei fehlenden Informationen nicht alle Dimensionen und Ebenen bewertet werden können.

6.5.1.3 Plenumsphase

Den Abschluss der Unterrichtseinheit bildete zur Zusammenführung und Sicherung der Ergebnisse die Plenumsphase, in der auch eine Reflexion des Gesamtergebnisses erfolgen sollte. Die Plenumsphase folgt der inhaltlichen Erarbeitung der einzelnen Aspekte von Elektromobilität (s. Kapitel 6.4) und der vorherigen Einordnung der Informationen in die Bewertungsscheibe in Partner - oder Gruppenarbeit (s. Kapitel 6.5.1.2).
Für die Auswertung der Ergebnisse der Plenumsphase wurde die codierte Unterrichtssequenz *Plenumsphase* jeweils vollständig transkribiert. Die durchschnittliche Dauer der Plenumsphase lag zwischen 10 und 12 Minuten.
Zur Darstellung der Ergebnisse werden in diesem Kapitel ausgewählte Auszüge aus den Transkripten dargestellt. Die vollständigen Transkripte befinden sich im digitalen Anhang D.2. Ergänzend werden die visualisierten Ergebnisse der Bewertungsscheiben aus den jeweiligen Plenumsphasen abgebildet.
Anhand der Ergebnisse aus der Plenumsphase sollen Erkenntnisse darüber gewonnen werden, auf welche Weise die Lernenden die Bewertungsscheibe nutzen.

Im ersten Erprobungsdurchgang erfolgte die Ergebnissicherung der drei verschiedenen Aspekte nacheinander an einer gemeinsamen großen Bewertungsscheibe (A0) mit roten und grünen Magnetpunkten, sodass insgesamt auf einer Bewertungsscheibe die Markierungen für alle Aspekte gesammelt wurde.
In den Klassen 9.1 und 9.2, in denen ebenfalls drei Aspekte inhaltlich erarbeitet wurden, wurden die drei Aspekte jeweils getrennt auf einer digitalen Bewertungsscheibe visualisiert. Dies sollte den Unterschied zwischen den Aspekten hervorheben und eine getrennte Betrachtung ermöglichen.
Aus jeder Gruppe sollte eine beispielhafte Verteilung der Punkte und eine Begründung der Überlegungen genannt werden. Die anderen Gruppenmitglieder wurden aufgefordert, mögliche Unterschiede zu ergänzen.
In den beiden anderen Klassen (9.3 und 9.4) wurde ebenfalls eine digitale Bewertungsscheibe zur Visualisierung der Ergebnisse verwendet und die vorgenommenen Bewertungen im Plenum zusammengetragen und zur Diskussion gestellt. Da hier nur ein Aspekt in der Unterrichtseinheit erarbeitet wurde, stand auch nur eine Bewertungsscheibe zur Visualisierung der Ergebnisse zur Verfügung, auf der die einzelnen Gruppen in gegenseitiger Ergänzung ihre Bewertungen vornahmen und beschrieben.
In der Haupterprobung wurden dem Plenum jeweils die fotografierten Gruppenergebnisse anhand einer Power-Point-Präsentation vorgestellt. Auf diese Weise wurden die Ergebnisse vier verschiedener Bewertungsscheiben, die sich jeweils auf zwei Aspekte konzentrierten, nebeneinander visualisiert, um einen Vergleich zu ermöglichen. Darüber hinaus erfolgte in der Haupterprobung noch eine Zusammenführung der Ergebnisse zu

einer Gesamtbewertungsscheibe. Dazu wurde eine große A0 im Raum platziert und von jeder Gruppe die Punkte ihrer Aspekte übertragen.

6.5.1.4 Ergebnisse der Plenumsphase

Im folgenden Kapitel werden die Ergebnisse der Plenumsphasen aus den Erprobungen (s. Kapitel 6.2.2.) mit Fokus auf die Klassen 9.1 bis 9.4 sowie der Haupterprobung vorgestellt. Dazu wird der Ablauf der Plenumsphasen dargestellt und Auszüge aus den Diskussionen präsentiert. Die Ausschnitte aus den Transkripten wurden an dieser Stelle zur besseren Lesbarkeit geglättet, indem Grammatik und Rechtschreibung korrigiert wurden. Die Auszüge werden in ihrer zeitlichen Abfolge chronologisch dargestellt und durch Überschriften inhaltlich gegliedert. Die vollständigen Transkripte aller Plenumsphasen befinden sich im digitalen Anhang D.2. Zusätzlich werden die visualisierten Ergebnisse der Bewertungsscheiben abgebildet.

Plenumsphase Klasse 9.1

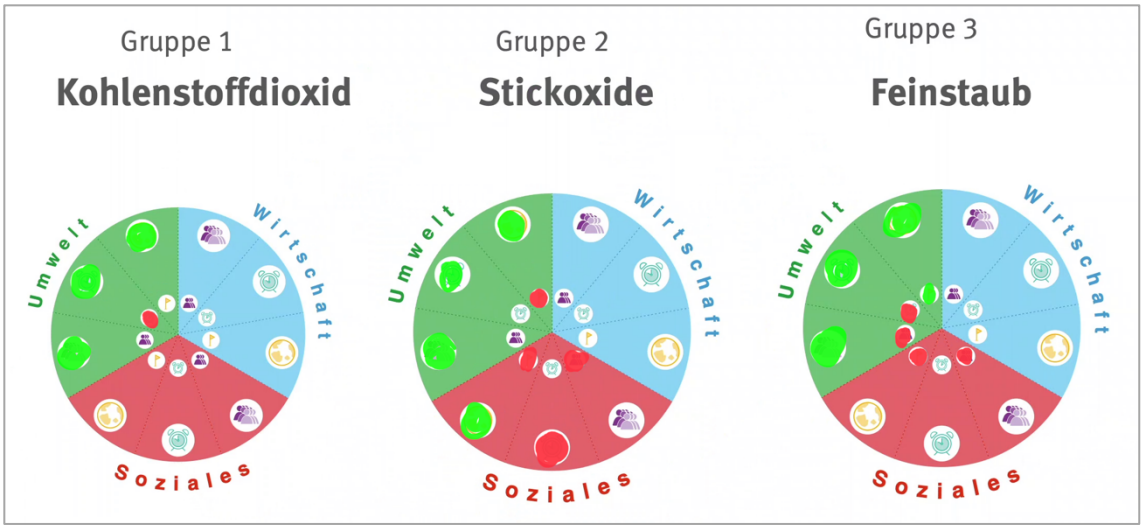


Abbildung 51: Ergebnisse der Bewertungsscheiben zu den Aspekten Kohlenstoffdioxid, Stickoxide und Feinstaub der Klasse 9.1.

Bewertung Kohlenstoffdioxid

> S5: „Ja, also wir haben uns ja mit den CO_2-Emissionen beschäftigt. Und es war jetzt bei den Verbrennungsmotoren, gabs höhere CO_2-Emissionen. Und bei den Elektroautos, also mit Elektroautos, gabs die meisten Emissionen für die Strombereitstellung, aber wenn wir bis 2050 klimaneutral, also erneuert/ nur erneuerbare Energien hätten, dann hätte/ wäre das quasi ja weg. Und deshalb wärs dann auch noch sehr wenig CO_2-Ausstoß. Und wir haben uns insgesamt dazu dann entschieden, dass es einen langfristigen Nutzen hat, weil weniger CO_2 in die Atmosphäre gestoßen wird. Aber kurzfristig erstmal einen Schaden, weil wenn jetzt so viele Autos vor 2050 hergestellt werden, wird viel CO_2 ausgestoßen.“ *(Markierung Umwelt langfristig grün, kurzfristig rot)*

[…]
S5: „Und ähm, aber wir haben auch einen globalen Nutzen, weil das weniger CO_2 ja für die/ für das alles gut ist. Und auch für mehrere Gruppen, weil auch wegen des CO_2-Ausstoßes." (*Markierung Umwelt global grün, viele Gruppen grün*)

Die Schülerin berücksichtigt in ihrer Argumentation die erarbeiteten Informationen aus dem Material zu Kohlenstoffdioxid. Sie benennt konkret Argumente und ordnet sie nachvollziehbar in die Nachhaltigkeitsdimension *Umwelt* und die entsprechenden Bewertungsebenen ein.

Bewertung Stickoxide

S19: „Ja, wir haben erstmal zu der Umwelt gemacht, dass es generell global, auf jeden Fall Vorteile hat, weil die Stickoxide natürlich nicht so viel ausgestoßen werden, bei diesen Elektromotoren. Und das ist auf jeden Fall ein großer Vorteil. Aber lokal haben wir das dann für etwas Schaden eingetragen, weil die Produktion und einfach die Herstellung ist ja auch nicht sehr gut. Und dadurch, da werden sehr viel Stickoxide hergestellt. Aber auf langfristige Zeit haben wir das dann, für ein guten Nutzen empfunden, weil ja über langfristige Zeit werden nicht so viel ausgestoßen und das ist auf jeden Fall viel besser für die Umwelt. Und deswegen werden auch sehr viele Altersgruppen und Gruppen generell gut, zu Nutzen gebracht und können damit viel anfangen und genau deswegen." (*Markierung Umwelt global grün, lokal rot, langfristig grün, viele Gruppen grün*)

L: „Mhm (*zustimmend*). Habt ihr noch einen Bereich zu dem es etwas gab?"

S19: „Ja, wir haben noch den sozialen Bereich."
[…]
S19: „Und da haben wir auch, dass es global auf jeden Fall sehr sinnvoll ist. Lokal aber dafür nicht, weil das natürlich auch dann einen Schaden aufweist. Wegen dem Regenwasser zum Beispiel. Und deswegen ist es über langfristige Zeit auch nicht so sinnvoll, weil es einfach schädlich für die Umwelt, das Soziale ist."(*Markierung Soziales global grün, lokal rot, langfristig rot*)

S18: „Ähm, weils ja auch für, auf Menschen von bestimmten Altersgruppen auch dann gesundheitliche Schäden haben kann." (*Markierung Soziales, eine Gruppe, rot*)

Die Schülerin (S19) bezieht sich auf die erarbeiteten Informationen aus dem Material zu Stickoxiden. Sie nennt konkrete Informationen und ordnet diese für die Dimension *Umwelt* auf verschiedenen Ebenen ein. Ein *kurzfristiger* und *lokaler* Schaden wird durch die Information deutlich, dass die Herstellung der Fahrzeuge eine große Emissionsquelle darstellt und diese bei Elektroautos durch die zusätzliche Batterieherstellung etwas höher sind. Die Begründung für die Bewertungsebenen wird nur allgemein formuliert. Bei der Nachhaltigkeitsdimension *Soziales* weicht die Begründung der Schülerin von der

eigentlichen Definition der sozialen Dimension ab und wird auch in der Argumentation kurz mit der Umwelt vertauscht. Eine weitere Schülerin (S18) ergänzt noch den passenden Bezug zur Gesundheit.

Bewertung Feinstaub

> S12: „Ähm ja, also beim Feinstaub ist das so, das wird halt auch ausgestoßen beim Verkehr. Und Feinstaub kann halt zu zum Beispiel Herzinfarkten oder Lungenkrebs führen. Und wir haben uns erstmal angeguckt, dass es global erstmal Nutzen hat, wenn man auf Elektromobilität umsteigen würde, da die weniger davon ausstoßen quasi." (*Markierung Umwelt, global, grün*)

> S12: „Ähm und wir haben auch gesagt, dass es erstmal lokal auch besser wird, da die Luft ja auch hier eingeatmet wird und eigentlich überall Straßenverkehr quasi ist. Ähm, langfristig haben wir das ebenfalls als Nutzen erkannt. Allerdings kurzfristig erstmal eher als Schaden, da der Bau dieser Batterien halt auch etwas ausstößt. Ähm und dann haben wir bei, für alle Menschen ist es erstmal nen Nutzen, da die Luft ja von uns allen geatmet wird, egal ob man jetzt selber Autofahrer ist oder nicht. Allerdings hat das für kleine Gruppen halt eher auch einen Schaden da Leute die zum Bespiel daran arbeiten müssen oder die in der Nähe von Fabriken wohnen, wo diese Batterien herstellt werden, die haben's dann nicht so gut dadurch." (*Markierung Umwelt lokal grün, kurzfristig rot, viele Gruppen grün, eine Gruppe rot*)

Die Begründung der Schülerin bezieht sich auf das Material zu Feinstaub. Die Verteilung ihrer Punkte beschreibt die Schülerin alle für die *Umwelt*. Innerhalb ihrer Aussage finden sich jedoch Argumente, die in die Definition der sozialen Dimension passen und dadurch zum Teil nicht alle nachvollziehbar sind. Das Einatmen der Luft, deren Qualität durch die Reduzierung von Stickoxiden verbessert werden würde, wäre als gesundheitliche Auswirkung einzuordnen und demnach der sozialen Dimension zugehörig.
Mit Zustimmung der Schülerin werden für die von ihr beschriebenen Argumente die Markierungen *Soziales*, *lokal* und *eine Gruppe rot* ergänzt.

Plenumsphase Klasse 9.2

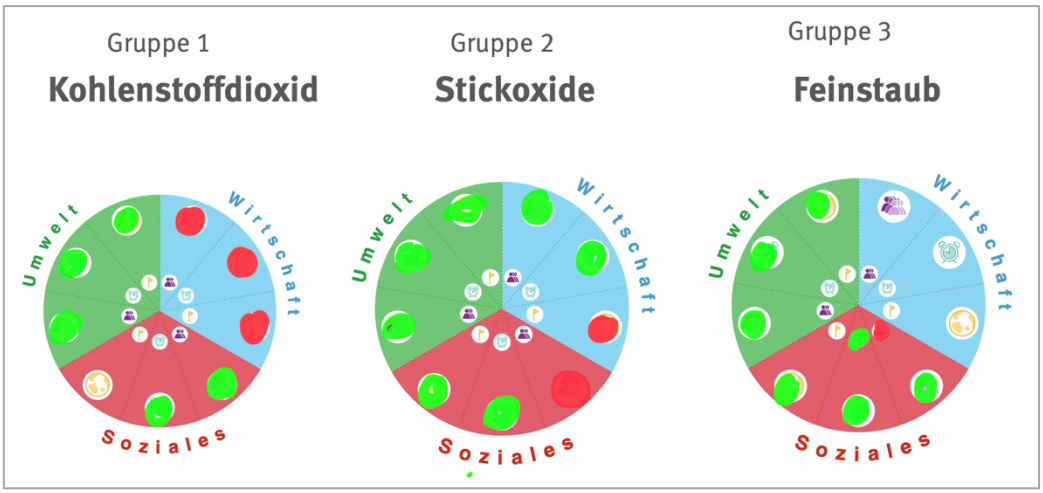


Abbildung 52: Ergebnisse der Bewertungsscheiben zu den Aspekten Kohlenstoffdioxid, Stickoxide und Feinstaub der Klasse 9.2.

Bewertung Kohlenstoffdioxid

> S4: „Okay, also wir haben bei der Umwelt, haben wir eigentlich alle drei Felder links, haben wir eigentlich grün gemacht, weil's auf Dauer doch schon global, langfristig und auch für alle Menschen ein Vorteil sein wird. Wirtschaftlich haben wir alle Felder links rot gemacht, äh rechts rot gemacht, weil/"
> […]
> S4: „Weil es einfach halt, weil Deutschland exportiert ja auch sehr viele Autos und hat/ die sitzen ja glaub ich auch viel in anderen Ländern und wenn jetzt alle auf Elektromotoren umsteigen würden, wär's glaub ich nicht so schmackhaft für die anderen Länder und man würd wirtschaftlich glaub ich sehr runtergehen." (*Markierung Umwelt global, langfristig, viele Gruppen grün; Wirtschaft global, langfristig, viele Gruppen rot*)

> L: „Okay, habt ihr noch was oder?"
> […]
> S6: „Äh, beim, ja also bei Sozialen haben wir auf jeden Fall, dass das für langfristig eigentlich gut ist und bei vielen Gruppen auch. Und global oder lokal, das haben wir sag ich mal so ausgelassen." (*Markierung Soziales langfristig, viele Gruppen grün*)

Die Schülerin benennt für ihren Aspekt die Zuordnung zur *Umwelt* nachvollziehbar, ohne jedoch eine Begründung zu geben, die sich aus dem Material ergibt. Zusätzlich nennt sie Gründe für die negativen Auswirkungen der *ökonomischen* Dimension, die nicht Inhalt des Materials sind und auch keinen Bezug zum Aspekt Kohlenstoffdioxid haben. Es bleibt unklar, woher diese Informationen stammen. Schülerin 6 ergänzt grüne Markierungen im *sozialen* Bereich für *langfristig* und *viele Gruppen*. Hier bleib ebenfalls eine Erläuterung der Zuordnung aus. Die Nachvollziehbarkeit kann dahingehend nicht weiter beurteilt werden. Die Schülerin erklärt noch ergänzend, dass sie die Bewertungsebene *Raum*

ausgelassen habe. Dadurch könnte vermutet werden, dass auf eine möglichste Vollständige Markierung aller Dimensionen und Ebenen abgezielt wurde und daraus möglicherweise auch die Zuordnungen entstanden sind, die keine Referenz zum Material aufweisen und entsprechend auch nicht weiter ausgeführt werden. Eine Bestätigung dieser Vermutung kann nicht nachgewiesen werden.

Bewertung Stickoxide

> S12: „Äh ja genau, also Elektroautos haben auch kein Auspuff und daher stoßen die keine direkten Emissionen beim Fahren aus. Aber vor allem auch die Fahrzeugherstellung wie S17 ja auch gesagt hat, da entstehen jedoch viele Stickstoffe. Und deswegen haben wir bei der bei der Wirtschaft global, dann haben wir das rot gemacht. Ähm bei der Umwelt haben wir die ganzen oberen Kreise grün gemacht." *(Markierung Wirtschaft global rot, Umwelt global, langfristig, viele Gruppen grün)*
>
> S17: „Ähm, ja bei der Wirtschaft, das mit den mehreren Gruppen, eigentlich auch grün gemacht, weil eigentlich auch, dass es auf mehrere Gruppen eigentlich einfacher wird, würde ich sagen, also wirtschaftlich. Weil wenn wir weniger verbrauchen, also ja, wir haben's grün gemacht." (*Markierung Wirtschaft viele Gruppen grün*)
> […]
> S17: „Äh und langfristig haben wir's halt auch grün gemacht, dass es auf längeren Zeitraum auch einfach besser wird. Bei Soziales haben wir das mit den Gruppen rot gemacht, da das einfach weniger." (*Markierung Wirtschaft langfristig grün, Soziales viele Gruppen rot*)
>
> L: „Du meint das mit mehreren?"
>
> S17: „Ja mit mehreren rot gemacht, weil das einfach weniger Arbeitsplätze für die Menschen verspricht. Also sozusagen die Autoherstellung. Wenn man über/ allein hier in Münster guckt wie viele Autowerkstätten es äh gibt und daran sieht man einfach schon, dass das eigentlich sehr schwerlastig als Beruf ist und ähm, deswegen haben wir das rot gemacht."
> […]
> S17: „Ähm langfristig wird's aber grün sein, wegen der Gesundheit auch, weil durch das au/ah. Stickoxide sind halt ätzend und greifen die Augen und die Schleimhäute an, deshalb wird das auf längeren Zeitraum auch besser werden. Und willst du weiter machen?" (*Markierung Soziales langfristig grün*)

Schülerin 17 ordnet allen drei Dimensionen Markierungen zu, deren Begründungen teilweise offenbleiben beziehungsweise nicht aus dem erarbeitenden Material zu Stickoxiden ersichtlich sind. Insbesondere die Zuordnung zur *Wirtschaft* bezieht sich nicht auf die Informationen, die den Lernenden gegeben wurden. Hier sind die Zuordnungen nicht

nachvollziehbar. Die *Umwelt* wird zwar inhaltlich sinnvoll markiert, jedoch ohne konkrete Begründung in Bezug auf die Erarbeitung des Aspektes Stickoxide.
Lediglich für die Zuordnung *viele Gruppen* im *sozialen* Bereich ist teilweise eine Begründung nachvollziehbar, jedoch nicht fundiert und woher diese Informationen stammen. Auch passt die Begründung nicht vollständig zur Definition des markierten Feldes: Die Schülerin beschreibt eine Berufsgruppe (Beschäftige Auto-Werkstätte) und führt für diese Gruppe eine negative Auswirkung im *sozialen* Bereich auf. Aus dieser Begründung leitet die Schülerin jedoch die Markierung *viele Gruppen* ab.

Bewertung Feinstaub

> S8: „Ja, also genau wir hatten die Feinstaub-Problematik. Und also halt was den Umweltaspekt angeht, da ist es abge/, also gibt es eigentlich natürlich keine CO_2-Emission, da es halt von einem Elektromotor betrieben wird. Allerdings, gibt es halt dennoch CO_2-Emissionen, die halt zum Beispiel bei der Herstellung."
>
> L: „Jetzt bist du bei CO_2, ich glaub du meinst Feinstaub?"
>
> S8: „Ach so ja, genau, Feinstaub. Also halt bei der Produktion von den Batterien. Und halt das beim sozialen Feld, dass halt der Feinstaub halt je kleiner der ist, also je kleiner der Typ ist quasi vom Feinstaub, desto gefährlicher für den Menschen. Das kann halt zu Schlaganfällen oder so kommen. Und ja, also zur Wirtschaft hatten wir jetzt nicht so was erfahren, deswegen haben wir auch nur bei der Scheibe den Umweltaspekt und den sozialen Aspekt. Und da haben wir eigentlich so ziemlich alles grün."
> (*Markierung Umwelt und Soziales global, langfristig, viele Gruppen*)
>
> […]
> S8: „Genau und bei den inneren Feldern hatten wir ähm, hatten wir auch schon begonnen, allerdings nur beim sozialen Feld und zwar ähm, also die Zeitspanne und das ist auch bei uns grün. Aber das die lokale, also die kleinere Gruppe quasi halt rot wegen den gesundheitlichen Problemen." *(Markierung Soziales kurzfristig grün, eine Gruppe rot)*

Die Schülerin bezieht sich konkret auf das Material. Sie erkennt, dass keine Informationen vorhanden sind, um die *wirtschaftliche* Dimension zu bewerten und äußert diese Erkenntnis auch in ihrer Aussage. Sie beschreibt, dass insgesamt beim Fahren keine Feinstaub-Emission mehr entsteht, wohl aber bei der Herstellung. Sie geht aber nicht weiter auf den Vergleich der beiden Emissionsfaktoren ein (emissionsfrei auf der Straße, aber mehr Feinstaub bei der Herstellung im Vergleich zum Verbrennungsmotor) und fasst insgesamt einen Nutzen zusammen. In der *sozialen* Dimension beschreibt Schülerin 8 zwar, dass Feinstaub generell gesundheitliche Folgen haben kann, aber nicht, dass es dabei insbesondere auf den Ort der Emission ankommt. Hier werden nur allgemeine Informationen beschrieben, so dass die Begründungen nicht näher ausgeführt werden und nicht auf

ihre Nachvollziehbarkeit überprüft werden können. Der Bezug zur Leitfrage, die sich auf einen Vergleich der beiden Fahrzeugtypen bezieht, ist nicht erkennbar.

Klasse 9.3 Stickoxide

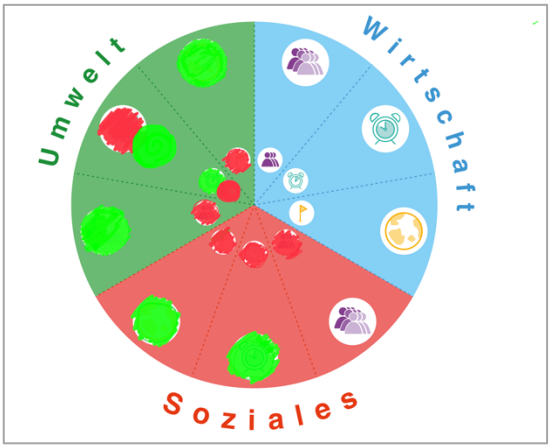


Abbildung 53: Ergebnis der Bewertungsscheibe zum Aspekt Stickoxide der Klasse 9.3.

> S3: „Also wir haben das halt so, dass es vielleicht langfristig für die Umwelt halt keinen Sinn macht Elektroautos zu fahren, weil ich mein das macht ja eh viel mehr Müll.“ *(Schülerinnen markieren Umwelt, langfristig rot und kurzfristig grün)*
>
> S4: „Ja, weil die Batterien und so weiter. Und kurzfristig würde es halt vielleicht Sinn machen, weil/“
>
> S3: „Solange man dann das Auto fährt und dann halt weiter verschrottet so.“
>
> S4: „Ja und wenn man jetzt zum Beispiel guckt, dass (unv.) in der Stadt rumfährt, dann lohnt sich das möglicherweise auch. Wenn man halt lange Strecken macht, dann lohnt sich das überhaupt nicht.“

Die Schülerinnen 3 und 4 zeigen innerhalb der Diskussion sehr deutlich ihre Position gegen Elektroautos und beteiligen sich immer wieder mit Wortbeiträgen (s. Transkript, Anhang D.2). Sie beziehen sich dabei während der gesamten Plenumsphase auf Argumente, die nicht aus dem Material zu entnehmen sind.
Auf den Beitrag melden sich zwei Schülerinnen, die innerhalb derselben Dimension und Ebene (*Umwelt, Raum-Ebene*) gegenteilige Markierungen eingeordnet haben:

> S20: „Ähm, ich hatte mir überlegt, dass es vielleicht auch kurzfristig nicht so wirklich viel Sinn ergibt, weil es stand ja auch da, dass es eine etwas höhere, Stickstoff-Emission hat. Und dann würde es doch zumindest in dem Punkt mehr Sinn ergeben, wenn man jetzt die Autos fahren würde, die nicht so hohe Stickstoff-Emission haben.“ (*Schülerin gibt Umwelt, kurzfristig, rot an*)
> […]

S22: „Also wir haben auch, dass es kurzfristig vielleicht nicht so viel Sinn ergibt, weil wie S20 schon gesagt hat, halt die Stickoxid-Emission bei Herstellung der Autos höher sind als beim Verbrennmoto/auto. Aber langfristig schon, weil dadurch ja langfristig die Stickoxid-Emissionen gesenkt werden und es deswegen langfristig doch sinnvoll ist." (*Schülerin gibt Umwelt, langfristig grün an*)

Die Argumente beziehen sich bei diesen Schülerinnen auf Informationen aus dem Material. Sie berücksichtigen in ihrer Entscheidung die Information, dass bei der Herstellung von Elektroautos der Ausstoß an Stickoxiden im Vergleich zu Verbrennungsmotoren leicht höher ist, aber insgesamt besser. Daraus schlussfolgern sie einen *kurzfristigen* Schaden durch die Herstellung und einen *langfristigen* Nutzen für die Dimension *Umwelt*. Ihre Argumentation kann nachvollzogen werden. Die Schülerinnen 3 und 4 wiederholen dazu erneut ihre Argumente. Und ergänzen, unter anderem noch folgende Punkte:

S3: „Ja, also wenn man halt nen Unfall baut, dann explodieren die/aber ähm, halt."
[…]
S4: „Und dazu kommt noch, dass sich nicht, dass sich nicht jeder so nen Elektroauto alle drei Jahre leisten kann. Also manche Leute können sich ja schon ziemlich schwer ein Auto leisten. Aber alle drei Jahre nen neues Elektroauto ist schon nicht wenig. Und Elektroautos sind teuer, deswegen."

Sie begründen ihre Position weiter und beziehen sich wiederum auf Informationen, die aus den Materialien nicht ersichtlich sind. Insbesondere das Argument, ein Elektroauto müsse alle drei Jahre ersetzt werden, ist nicht nachvollziehbar. Daraus schlussfolgern sie weiterführend einen finanziellen Aspekt.
Die Lehrkraft lenkt die Diskussion zurück zu den Stickoxiden um weitere Beiträge zu sammeln:

S25: „Ähm, also wir haben, dass der globale Effekt eigentlich von Nutzen ist, weil/ Also, aber dort kann man ja auch noch drüber diskutieren, wie wir auch gerade schon diese kleine Diskussion hatten. Ähm und aber dafür, dass der lokale Effekt eben keinen Nutzen bringt, weil die Herstellungsbedingungen ebenso sind, dass es, wenn man jetzt beim lokalen Effekt die Gebiete betrachtet, wo die Autos hergestellt werden, weil die da eben echte Probleme kriegen wegen den Herstellungsbedingungen."
[…]
S25: „Ähm, genau also das. Wir haben's so ähnlich bei den, also bei diesem hier. Ich weiß nicht gesellschaftliche Bedingung?"

L: „Soziales meinst du? Ja".

S25: „Ähm, haben wir eigentlich auch auf das Gleiche bezogen, also dass es insgesamt vielleicht Sinn macht und auch Nutzen bringt für viele Gruppen. Da kann man jetzt, wie

gesagt, auch noch drüber diskutieren. Ähm, aber eben für diese eine Gruppe, wo das, äh die da leben, wo das hergestellt wird eben nicht." (*Schülerin gibt Soziales global grün, lokal rot, langfristig grün, kurzfristig rot und eine Gruppe rot an*)

Es werden für die Dimension *Umwelt* ein *globaler* Nutzen und ein *lokaler* Schaden ergänzt und beschrieben, dass auf der Begründung ebenfalls Felder in der *sozialen* Dimension markiert worden sind. Die *Gruppen-Ebene* in der *sozialen* Dimension wird noch ergänzt. Die Lehrkraft fragt weiter und Schülerin 22 konkretisiert die Begründung für die soziale Dimension:

S22: „Ähm, wir haben uns überlegt, dass das global gut ist für die Gesundheit der Menschen, aber lokal halt nicht so gut ist, weil wie S25 schon erwähnt hat, dass gerade bei den Herstellungsgebieten viel Stickoxid dann in der Luft ist und das dann nicht so gut ist für die Gesundheit der (unv.), aber generell halt schon."

Eine Schülerin hinterfragt diese Aussage und erhält von Schülerin 15 eine weitere Erläuterung, die die Argumentation für die soziale Dimension noch einmal spezifischer aus. Dabei beschreibt sie unter Bezugnahme auf den Inhalt eines Textes aus dem Material die Begründung, dass insbesondere der Ort ausschlaggebend dafür ist, ob Menschen von gesundheitlichen Folgen betroffen sind:

S15: „Äh, ich glaube auch, zum Beispiel in dem Text stand ja auch, dass das gerade der Gesundheit schon ein bisschen hilft, gerade auch so in äh viel befahrenden Gegenden. Also wenn man wirklich in so ner, keine Ahnung in so ner Großstadt ist und da nur mit Elektroautos gefahren, ist das schon glaub ich, also das hilft der Gesundheit mehr als mit Verbrennungsmotoren."

Für die beschriebenen Markierungen in der *sozialen* Dimension nennen zwei Schülerinnen am Ende der Diskussion noch jeweils ein Argument, das sich nicht aus dem Material ableiten lässt und sich auf den Aspekt der Arbeitsplätze bezieht:

S25: „Außerdem gibt's ja ganz viele neue Arbeitsplätze dadurch. Also ähm (unv.) und all das. Und das ist dann ja global auch gut (unv.)."

S27: „Aber das macht doch keinen Sinn, weil die Menschen, die vorher da gearbeitet haben, wo die Verbrennungsmotorautos hergestellt wurden, die verlieren dann ja ihre Arbeit. Also letztendlich, auch wenn sie dann bei den anderen Werkstätten dann eine neue Anstellung finden, ist da keine Verbesserung. Weil es ja dieselben Leute sind die ihre Arbeit verlieren und dann ne neue Arbeit wiederfinden.

Schülerin 25 argumentiert, dass neue Arbeitsplätze geschaffen würden und dies insgesamt gut sei und Schülerin 27 argumentiert, dass auf der anderen Seite auch Menschen ihre Arbeit verlieren würden.

Klasse 9.4 zu Kohlenstoffdioxid

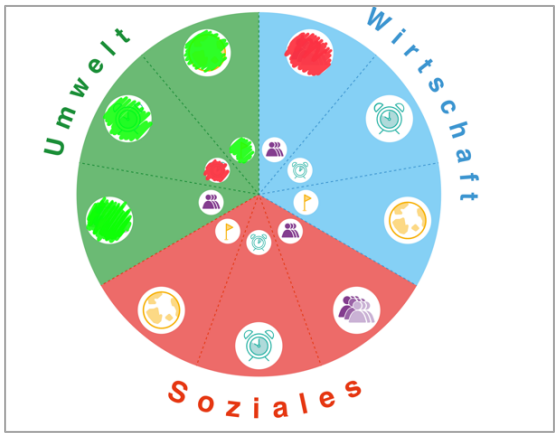


Abbildung 54: Ergebnis der Bewertungsscheibe zum Aspekt Kohlenstoffdioxid der Klasse 9.3.

> S14: „Wir haben das Lokale grün ausgefüllt, weil wir uns dachten, dass Elektromotoren ja in einer Stadt offensichtlich auch den Lärm runter, also die Lärmbelastung, senken. Und das ja auch gut ist für die Menschen und in der Stadt, ja also in dem Gebiet, ja dafür sorgen, dass die Um/ Luftverschmutzung weniger wird. Und ja, deswegen auch bei Umwelt." *(Markierung Umwelt, lokal, grün)*

Die Schülerin begründet ihre Markierung für einen *lokalen* Nutzen mit einer möglichen Verringerung der Lärmbelastung in der Stadt. Im zweiten Teil der Aussage nennt sie eine Verringerung der Luftverschmutzung. Ihre Markierung bezieht sich insgesamt nur auf die *Umwelt*, weshalb der Hinweis auf die mögliche Lärmreduzierung, eine Information ohne Bezug zum Material, an dieser Stelle nicht passend ist, sondern dem Bereich *Soziales* zugeordnet werden müsste. Die Begründung der Luftverschmutzung könnte je nach Erklärung beiden Bereichen zugeordnet werden, bezieht sich hier aber konkret auf den Menschen, was mit der Gesundheit zu assoziieren ist und dann auch der Dimension *Soziales* zuzuordnen wäre. Sowohl das Argument der Lärmbelastung als auch der Luftverschmutzung ist nicht der Erarbeitung von Kohlenstoffdioxid zugehörig.
Im Vergleich dazu beschreibt Schülerin 4 in Referenz zum Material einen *globalen* Nutzen für die *Umwelt*:

> S4: „Ja, bei uns war das, dass wir das bei global haben. Weil, es ist ja so, dass wenn die ganze, also wenn jetzt bis 2035, alles auf erneuerbare Energien und so umgestellt wird, dass dann sich das Klima erholen kann und auch wieder besser wird. Und da, das ist dann ja für alle besser, also für die globale/ Menschheit *(Markierung Umwelt, global, grün)*
> […]

S4: „Ähm, und dann wird auch mit den, glaub ich mit den Gletschern und so, und der Meeresspiegel sinkt wieder. Und deswegen glauben wir halt, dass es also lokal auch, aber halt auch global."

Weiter beschreibt Schülerin 10 (s. Transkript, Anhang D.2) nachvollziehbar die Markierung *Umwelt, langfristig, grün* mit der Bedingung, dass bis 2035 die Umstellung auf erneuerbare Energien erfolgen müsse. Schülerin 21 ergänzt die *Markierung Umwelt, viele Gruppen, grün*, mit dem Argument, dass die Reduzierung des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes dann auch alle Menschen betrifft. Beide Markierungen lassen sich aus den Informationen zum Aspekt Kohlenstoffdioxid ableiten. Darauf folgen zum Abschluss der Diskussion noch zwei weitere Beiträge:

S13: „Ähm, genau, wir hatten gesagt, oh Gott, dass wir das Ver/, dass das kurzfristige Schäden nehmen könnte. Auch wegen den Kosten einfach, dass das/eil das ja auch sehr teuer sein kann. Ähm und dass die ganze Umstellung, dass daher ja, dann halt nicht funktioniert."

L: „Ja. Wo würdest du das dann eintragen? In welchem Feld?"

S13: „Ach so hier." (*Markierung Umwelt, kurzfristig, rot*).

L: „Okay. Du hast noch was zum Ergänzen?"

S4: „Ja, bei der Wirtschaft haben wir noch, dass das für viele Gruppen schlecht ist." *(Markierung Wirtschaft, viele Gruppen, rot)*
[…].
S4: „Weil dadurch, dass keine Verbrennungsmotoren dann mehr gebaut werden oder hergestellt werden, verlieren viele Menschen ihren Arbeitsplatz, haben wir jetzt so gesehen. Und deswegen glauben wir, dass das auch sch/, also so gesehen schlecht für die Wirtschaft sein könnte, dadurch dass halt dann viele dann dadurch keinen Arbeitsplatz mehr bekommen oder finden (..) und verlieren."

Beide genannten Argumente berücksichtigen nicht die Informationen aus dem Material, sondern werden von den Schülerinnen zusätzlich angeführt. Die Einordnung der Markierung *Umwelt, kurzfristig, rot* bezieht sich vor allem auf die Begründung, dass die Kosten zu hoch seien und deshalb die „Umstellung" nicht funktionieren würde. Dementsprechend ist die Zuordnung zur Nachhaltigkeitsdimension *Umwelt* an dieser Stelle nicht passend, sondern berührt wirtschaftliche Aspekte. Auch die Aussage von Schülerin 4 beschreibt ökonomische Auswirkungen, die sich nicht auf den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß und die Materialinhalte beziehen, aber durch ihre Beschreibung in der Dimension *Wirtschaft* passend eingeordnet werden.

Insgesamt zeichnet sich die Plenumsphase in Klasse 9.4 durch eine sehr vielseitige Diskussion aus. Die Lernenden nennen mehrfach auch Argumente, die sich nicht auf die vorangegangene Erarbeitung zurückführen lassen und teilweise in ihrer Zuordnung auf der Bewertungsscheibe nicht immer nachvollziehbar sind.

Haupterprobung

Um die Gruppenergebnisse zu sichern und zu präsentieren, wurde während in der Haupterprobung von jeder Gruppe ein Foto der Bewertungsscheibe gemacht. Diese sind in Abbildung 55 dargestellt und werden kurz erläutert:

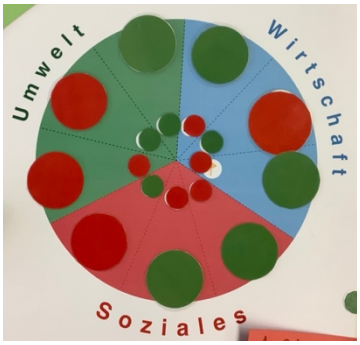
Gruppe 1: Kohlenstoffdioxid, Kosten	Gruppe 2: Stickoxide, Lärm
Gruppe 3: Rohstoffe, Arbeitsplätze	Gruppe 4: Feinstaub, Reichweite
	

Abbildung 55: Ergebnisse der vier Gruppenbewertungen in der Haupterprobung.

Wie auch in den vorherigen Erprobungen schon herausgestellt wurde, werden auch hier viele Punkte nachvollziehbar auf der Bewertungsscheibe vergeben. Wiederum vergaben die Lernenden zusätzlich Punkte, die auf Argumenten beruhten, die sich nicht direkt aus den zugeordneten Aspekten der jeweiligen Gruppe ergaben. In der Aufgabenstellung war nur die Bewertung der beiden vorgegebenen Aspekte gefordert. Die Ausgangssituation der Lernenden in der Haupterprobung war jedoch insofern anders, als dass jeder der acht Aspekte kurz vorgestellt wurde und somit im Verlauf der Erprobung insgesamt mehr Informationen präsentiert wurden. Bezüglich des Verhältnisses von vergebenen Punkten und zugehörigen Argumenten lässt sich zusammenfassen, dass in jeder Gruppe mehr

Punkte als Argumente vergeben wurden. Die Punkte ohne zugehöriges Argument fallen häufig durch ihren fehlenden Bezug zum Material auf. Beispielsweise hat Gruppe 2 mit den Aspekten Stickoxide und Lärm alle Felder der Wirtschaft markiert, ohne ein Argument zu nennen. Positiv hervorzuheben ist Gruppe 4, die nur Dimensionen markiert hat, die thematisch zu ihrem Material passen.
Da ähnliche Erkenntnisse wie bei den vorangegangenen Erprobungen herausgearbeitet werden können, wird an dieser Stelle auf die zusätzliche Darstellung von transkribierten Auszügen aus den Präsentationen verzichtet und auf den Anhang verwiesen (s. Anhang D.2).

6.5.1.5 Diskussion

Die Ergebnisse der Plenumsphase sollen anhand folgender Forschungsfragen untersucht und diskutiert werden:

> *3.1.1 Inwieweit ordnen Lernende die erarbeiteten Informationen ausgewählter Aspekte von Elektromobilität in die Bewertungsscheibe ein?*

> *3.1.2 Inwieweit ordnen Lernende weitere Informationen von Elektromobilität in die Bewertungsscheibe ein?*

Die dargestellten Ausschnitte zeigen, dass die Lernenden an verschiedenen Stellen der Diskussionen in der Lage sind, erarbeitete Informationen aus den jeweiligen Aspekten von Elektromobilität nachvollziehbar in die Bewertungsscheibe einzuordnen. Dabei lassen sich Unterschiede festmachen, wie elaboriert die einzelnen Lernenden vorgehen: Teilweise werden die Markierungen ausführlich, detailliert und umfassend eingeordnet und durch passende Argumente, die auf den Informationen aus dem Material basieren, begründet (vgl. S11, 9.1). Es finden sich aber auch Aussagen, die Bewertungen vornehmen, die zwar aus den Informationen des Materials erklärbar sind, aber nicht weiter ausgeführt werden und eher allgemein gehalten sind (vgl. S4, 9.2).

An verschiedenen Stellen der Diskussion bewerten die Lernenden auch Felder, zu denen in den erarbeiteten Materialien keine Informationen gegeben wurden. Insbesondere die Aspekte Kohlenstoffdioxid (*Umwelt*), Stickoxide (*Umwelt, Soziales*) und Feinstaub (*Umwelt, Soziales*) berühren in den Materialien inhaltlich nicht die Nachhaltigkeitsdimension der *Wirtschaft*. Auffällig ist, dass diese Bewertungen häufig nicht weiter ausgeführt werden, sondern nur benannt werden oder sich auf Informationen aus dem Vorwissen der Lernenden beziehen, die keinen Bezug zum Material aufweisen. Es lassen sich bei den Lernenden dabei jedoch auch nachvollziehbare Begründungen für die Einordnung in die Bewertungsscheibe festmachen, wenn diese angeführt werden. Mit diesen Erkenntnissen

kann unterstrichen werden, dass die Bewertungsscheibe die Lernenden auch in die Lage versetzt, bereits vorhandenes Wissen angemessen einzuordnen und damit zu aktivieren. Diese Einordnung kann dann ebenfalls als erfolgreiche Anwendung der Bewertungsscheibe bezeichnet werden, wenn die Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen passend markiert und beschrieben werden.
Die Aufgabenstellung wurde hier zwar im engeren Sinne nicht korrekt bearbeitet, da nur die erarbeiteten Aspekte bewertet werden sollten, jedoch zeigt sich hier, dass die Bewertungsscheibe gleichzeitig auch Vorwissen aktivieren und eine Bewertung desselben strukturieren kann.

Einige Aussagen der Plenumsdiskussion beziehen sich auf Aspekte wie Arbeitsplätze (vgl. S25, S27, 9.3) oder Lärm (vgl. S14, 9.4), die in den zugehörigen Erprobungen nicht behandelt wurden, aber zu den ausgewählten Aspekten gehören, zu denen im Rahmen dieser Arbeit Lernmaterial entwickelt wurde. Auf diese Weise kann die Auswahl der acht Aspekte als für die Lernenden relevant und zum Teil auch als bekannt bestätigt werden.

Darüber hinaus kann durch verschiedene Aussagen und visualisierten Ergebnisse anhand der Bewertungsscheiben vermutet werden, dass es für die Lernenden teilweise schwierig war, nur einzelne Dimensionen und Ebenen zu betrachten und sie versucht haben alle, bzw. möglichst viele Felder zu füllen (vgl. S6, 9.2). Jedoch wurde eben diese Schwierigkeit, nur einzelne Bereiche zu fokussieren, auch von einigen Lernenden erkannt und explizit herausgestellt (vgl. S8, 9.2; Gruppe 4 Haupterprobung).
Verschiedene Aussagen weisen Vermischungen der Nachhaltigkeitsdimensionen oder Bewertungsebenen auf. Dies zeichnet sich dadurch aus, dass zum Teil ausführliche Begründungen von Argumenten für eine vorgenommene Bewertung aufgeführt werden, die jedoch anschließend nicht zu einer passenden Markierung innerhalb der Bewertungsscheibe führt (vgl. S19; S12 9.1). Diese Schwierigkeiten sind insofern zu erklären beziehungsweise nicht gänzlich unerwartet, als dass die Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund erfolgt, dass die Durchführung der Intervention nur einmalig erfolgte und das methodische Instrument der Bewertungsscheibe erst kennen gelernt werden muss. Zur Verinnerlichung und dem Erlernen der jeweiligen Definitionen der drei Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen, sollte demnach mehr Zeit eingeplant werden. Die kurze Einführung von nur 15 Minuten ist durch die Rahmenbedingungen der Erprobungen bedingt gewesen. Auch eine wiederholte Durchführung des Unterrichtskonzepts mit verschiedenen nachhaltigkeitsbezogenen Kontexten kann dieser Schwierigkeit positiv begegnen und wäre für eine langfristig erfolgreiche Etablierung der Methode der Bewertungsscheibe wünschenswert.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen 3.1.1 und 3.1.2 lässt sich zusammenfassen: Sowohl erarbeitete Informationen aus den Materialien, als auch bereits vorhandenes

Wissen zum Thema Elektromobilität werden nachvollziehbar mithilfe der Bewertungsscheibe bewertet. Darüber hinaus finden sich zum Teil Schwierigkeiten, die Bewertungen durch passende Argumente zu begründen, was unter anderem an fehlenden Informationen liegen könnte und häufig dann zu beobachten ist, wenn die Markierungen nicht aus den Materialien herzuleiten sind. Die Entwicklung von geeigneten Materialien, die als Bewertungsgrundlage fungieren und im zweiten Mesozyklus beschrieben wurde, nimmt somit einen wichtigen Stellenwert ein. Des Weiteren könnte eine Schwierigkeit in der Formulierung der Aufgabenstellung liegen, nur einzelne Informationen einzuordnen und die Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen voneinander abzugrenzen.

Für die aufgezeigten Schwierigkeiten sollte das Vorgehen bei der Erprobung kritisch betrachtet werden: Innerhalb kurzer Zeit wurden sowohl die Definitionen aller drei Nachhaltigkeitsdimensionen als auch die Bewertungsebenen mit ihrer jeweiligen Zweiteilung vorgestellt, um direkt im Anschluss die Bewertungsscheibe zu präsentieren. Die neue Methode benötigt Zeit, um von den Lernenden verstanden zu werden und sollte vor allem durch wiederholte Anwendung erlernt und verinnerlicht werden. Aus den Rahmenbedingungen der Erprobung lassen sich somit mögliche Erklärungsansätze für das Auftreten der identifizieren Schwierigkeiten beschreiben.

Positiv lassen sich abschließend folgende Ergebnisse der Plenumsphase zusammenfassen: Die Lernenden sind in der Lage erarbeitete Informationen nachvollziehbar in die Bewertungsscheibe einzuordnen und diese zum Teil angemessen zu begründen. Darüber hinaus wird auch vorhandenes Wissen aktiviert und mithilfe der Bewertungsscheibe bewertet. Die Lernenden erkennen durch die Diskussion untereinander, dass es unterschiedliche Möglichkeiten gibt, die Informationen zu bewerten. Sie erkennen unter anderem auch an, dass bei fehlenden Informationen nicht alle Dimensionen und Ebenen bewertet werden können.

6.5.1.6 Reflexion des Gesamtergebnisses

Im Anschluss an die einzelne Bewertung der Aspekte und Diskussion der Ergebnisse erfolgte in der Haupterprobung im Plenum das Zusammenführen der Ergebnisse zu einer Gesamtbewertung (s. Stundenverlaufsplan, Anhang A.3). Dazu wurden die verteilten roten und grünen Punkte der jeweiligen Aspekte an einer großen Bewertungsscheibe (A0) über Magneten angebracht. Das Ergebnis ist in Abbildung 56 dargestellt:

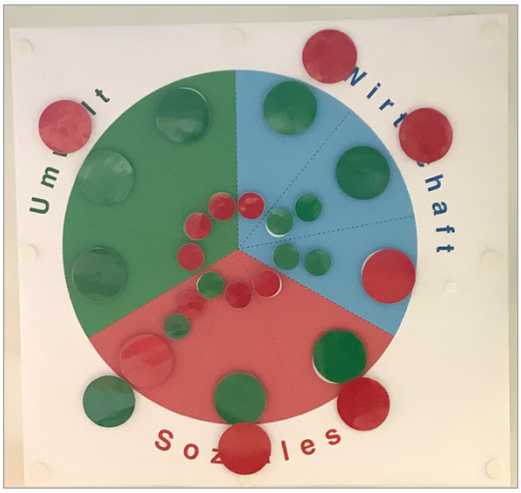


Abbildung 56: Zusammenführung aller acht Aspekte zu einem Gesamtergebnis in der Haupterprobung.

Die Zusammenführung einzelner Bewertungsscheiben zu einer Gesamtscheibe hat in diesen beiden Schritten nur in der Haupterprobung stattgefunden. Bei der Betrachtung der Gesamtbewertungsscheibe (s. Abbildung 56) fällt auf, dass die Anzahl der Punkte sich verringert hat. Möglicherweise wurde von den Lernenden missverstanden, dass eine genaue Übertragung der Gruppenbewertungsscheibe gefordert war, sodass bereits vorhandene Punkte nicht erneut ergänzt wurden.
Die Lehrkraft fragte zunächst, wer sich für nachhaltig oder nicht nachhaltig entscheiden würde. Danach wurde gefragt, wer sich unsicher ist und wer seine Meinung im Laufe der Stunde geändert hat. Insgesamt entschieden sich 11 Lernende für nachhaltig und je ein Lernender für nicht nachhaltig und unsicher. Zwei Lernende gaben an, ihre Meinung geändert zu haben. Die restlichen Lernenden enthielten sich bei der Abfrage. Ziel der Abfrage durch die Lehrkraft war es, mindestens eine Pro- und eine Contra-Argumentation in der Reflexion anzuhören.
Die Lernenden wurden gebeten, das Ergebnis der Gesamtscheibe zunächst nur zu beschreiben:

S10: „Bei Umwelt sind halt mehr Punkte."

L: „Mhm (*zustimmend*). Und wie sind die farblich so verteilt? […]."

S7: „Im kleinen Raum wirken die Aspekte erstmal negativ, aber wenn man sich das große Ganze dann anguckt, dann überlappen die positiven Aspekte auf langfristige Zeit die negativen."

Im Anschluss stellte die Lehrkraft erneut die zugrundeliegende Leitfrage der Unterrichtseinheit, um nach einer individuellen Bewertung der Lernenden zu fragen. Es wurden folgende Beispielaussagen im Plenum gesammelt:

Beispielsaussage 1

S6: „Also wer sich ein E-Auto kaufen möchte, weil man nachhaltig fahren möchte, dann würde ich der Person sagen, dass sich das erst lohnt, wenn man auch wirklich viele tausend Kilometer fährt, um halt diese, diesen Bau des E-Autos oder diesen Bau vom Elektromotor zu rechtfertigen oder auszugleichen muss man halt sehr viele Kilometer zurücklegen. Abgesehen davon, was bei den aktuellen Strompreisen ja auch das Laden zum Teil teurer ist als zu tanken, also Benzin zu tanken. Muss man halt sehr viel fahren und zum Beispiel ist es ja nicht nachhaltig, wenn das Auto jetzt nach hunderttausend Kilometern der Motor zum Beispiel kaputt ist und man dann einen neuen brauchte. Man sollte sich schon nen gutes Auto aussuchen und man müsste viel fahren, damit das diesen nachhaltigen Aspekt überhaupt auch berücksichtigt oder das überhaupt Sinn macht."

Schüler 6 bezieht sich in seiner Argumentation auf die Kompensation des Kohlenstoffdioxidgehalts über eine lange Nutzungsdauer des Elektroautos. Damit beschreibt er ein Argument, das der Dimension *Umwelt* zugeordnet werden kann. Die Information findet sich im Material Kohlenstoffdioxid, welches der Schüler in seiner Gruppe (Gruppe 1) erarbeitet hatte. Als zweites Argument nennt er den Aspekt Kosten. Er bezieht sich auf die Strompreise zum Zeitpunkt der Erprobung und die Situation, dass diese ebenfalls sehr hoch sind und er somit das Argument, dass Strom günstiger als Benzin ist, entkräftet sieht. Diese Information findet sich so nicht direkt im Material zu Kosten wieder. Bereits in der Erarbeitungsphase konnte festgestellt werden, dass der Schüler selbständig weitere Informationen recherchiert und das Material dahingehend kritisch reflektiert hat, wie aktuell die Angaben der durchschnittlichen Strom- und Benzinpreise einzuschätzen sind (s. Kapitel 6.5.4.1). Der Kostenaspekt wurde ebenfalls in Gruppe 1 thematisiert. Es lässt sich zusammenfassen, dass Schüler 6 in seiner Antwort zwei Argumente - Kohlenstoffdioxid und Kosten - nennt, die sich zwei Nachhaltigkeitsdimensionen zuordnen lassen, der *Umwelt* und der *Wirtschaft*. Er benennt damit die beiden Aspekte, die zu Beginn der Unterrichtseinheit in seiner Gruppe konkret erarbeitet wurden.

Beispielaussage 2

S7: „Also ich würde erstmal sagen, dass das negativ im Sozialen ist, das der Abbau der Rohstoffe kritisch zu sehen ist, genauso die Herstellung. Aber trotzdem würde ich sagen, dass das kurzfristig, sieht das vielleicht etwas unattraktiver aus. Aber langfristig find ich,

> sieht das sehr attraktiv aus, vor allem, wenn das durch die Politik gefördert wird. Und wenn wir jetzt diesen Umstieg darauf machen, denke ich, dass das auch ein großes Zukunftspotential hat. Gerade wenn durch die Wirtschaft dann nochmal neue Technologien gefordert werden. Und ich denke, dass die grüne Energie doch die bessere Wahl ist."

Schüler 7 beschreibt die negativen Auswirkungen des Rohstoffabbaus und bezieht diese konkret auf die *soziale* Dimension. Er führt seine Antwort weiter aus und beschreibt, dass es langfristig besser als kurzfristig ist, bezieht sich hier also auf die Bewertungsebene *Zeit*. Offen bleibt bei dieser Aussage, ob sie sich nur auf den sozialen Bereich bezieht. Er beschreibt weiter, dass insbesondere durch die Förderung der Politik langfristig positive Effekte zu erwarten sind sowie wenn im wirtschaftlichen Bereich die Entwicklung neuer Technologien umgesetzt wird. Abschließend fasst er zusammen, dass für ihn „grüne Energie" die bessere Wahl ist. Daraus lässt sich ableiten, dass der Schüler insgesamt eine positive Einstellung gegenüber Entwicklungen und Maßnahmen zum Ausbau erneuerbarer Energien zum Ausdruck bringt.
Er nennt in seiner Antwort mindestens zwei Dimensionen (*Soziales, Wirtschaft*) ganz konkret und indirekt durch seine Ausführungen zum Thema „grüne Energie" auch die *Umwelt*. Inhaltlich stellt er in Bezug auf die Leitfrage den Aspekt des Rohstoffabbaus in den Mittelpunkt, der zu den Aspekten seiner Gruppe gehört (Gruppe 2: Rohstoffe, Arbeitsplätze). Darüber hinaus benennt er konkret die *zeitliche* Ebene und betrachtet die Bereiche *Kurz- und Langfristig*.

Beispielaussage 3

> S8: „Ähm, also ich würde mich auch S7 anschließen. Ich würde sagen, dass die E-Autos auch noch nicht komplett ausgereift sind, dass da auf jeden Fall noch Luft nach oben ist. Egal, ob's jetzt ist der Strom, der benötigt wird, um sie überhaupt erst anzutreiben, dass der nachhaltig gemacht wird. Bis zum Weg und der Herstellung. Also, man sollte sich vielleicht auch darauf konzentrieren, damit das E-Auto insgesamt nachhaltiger wird."

Schüler 8 stimmt der Aussage von Schüler 7 zu und führt seine Antwort weiter aus, indem er als Argument die Problematik der Stromerzeugung beschreibt. Indirekt thematisiert er damit eine kurzfristige Problematik, indem er darauf hinweist, dass hier Verbesserungen notwendig seien, um Elektroautos „insgesamt nachhaltiger" zu machen. Er benennt damit einen Aspekt, der der Umwelt zuzuordnen ist und reflektiert diesen auf der zeitlichen Ebene. Er beschreibt damit eine Information, die in seiner Gruppe nicht selbst erarbeitet wurde.

Beispielaussage 4

Um verschiedene Positionen im Plenum zu sammeln, forderte die Lehrkraft an dieser Stelle einen Schüler auf, der zuvor durch seine Meldung signalisiert hatte, dass er die

Frage nach der Nachhaltigkeit von Elektroautos mit *Nein* beantworten würde, seine Antwort zu begründen:

> S11: „Also, es war nicht so gemeint, dass ich nicht, also ich mein das halt nicht so, dass es nicht nachhaltig ist. Aber es ist halt auch schädlich für die Umwelt, weil man braucht ja auch irgendwo her die Energie. Die kommt ja auch irgendwo her und deswegen ist es halt auch schädlich."

Schüler 11 beschreibt zunächst, dass er insgesamt nicht der Meinung sei, dass Elektroautos nicht nachhaltig sind. Als Argument für seine Aussage nennt er die Umweltschäden, die durch „die Energie" (Stromerzeugung) entstehen. Damit stellt er die Umwelt in den Fokus seiner Antwort und berücksichtigt in seiner Begründung einen Aspekt (Kohlenstoffdioxid). Dieser gehört nicht zu den Informationen, die er selbst in seiner Gruppe erarbeitet hat (Gruppe 3: Stickoxide, Lärm).

Im Folgenden wird der restliche Diskussionsverlauf der Plenumsphase dargestellt:

> S6: „Ach so ja, ich wollt sagen, dass es aktuell keinen Sinn machen würde, sich jetzt ein E-Auto zu kaufen. Weil, wenn wir uns jetzt alle nen E-Auto kaufen würden, dann würden wir das Stromnetz auch total überreizen. Wir sind glaub ich gar nicht dafür ausgebaut und ausgelegt so viele Autos zu laden. Ähm, ich glaub die Infrastruktur ist noch nicht vorhanden dafür."
> […]
> S8: „Dazu zu S6. Äh ich glaub in Norwegen ist das jetzt so, dass der Großteil der Bevölkerung äh E-Autos hat, also da läuft's auf jeden Fall, aber ich glaub, das liegt auch am System dort. Ich glaub jetzt gerad bei uns in Deutschland wird das System nicht klappen, aber äh in Norwegen scheint es zu funktionieren und ich glaub wir müssen (unv.) adaptieren."
>
> L: „Genau, also interessanter Punkt. Also Norwegen ist da ja auch Vorreiter auch politisch gesehen haben die schon viel früher bestimmte Gesetze veranlasst. Ja?"
>
> S7: „Ganz wichtig ist auch, dass wir vom Autoland wegmüssen, unseren ÖPNV weiter ausbauen müssen und vielleicht auch auf die Fahrradstadt setzen sollten."

Drei der vier Schüler, die bereits im Plenum eine Antwort beschrieben haben, meldeten sich noch einmal, um Ergänzungen zu nennen. Schüler 6 ergänzt, dass das Stromnetz überlastet wäre, wenn viele Elektroautos genutzt würden und er glaube, dass „Wir"- hier wird vermutet, dass er sich auf Deutschland bezieht - dafür nicht ausgebaut seien. Außerdem vermutet er, dass die notwendige Infrastruktur noch nicht vorhanden sei. Schüler 8 bezieht sich direkt auf diese Aussage und führt als Gegenargument an, dass es in Norwegen im Vergleich sehr viele Elektroautos gäbe und es dort funktionieren würde. Er überlegt, dass es wahrscheinlich insgesamt am „System" in Norwegen liegen würde und es

dort deshalb gut umgesetzt wurde. Norwegen könne als Vorbild dienen um die Umsetzung in Deutschland zu adaptieren. Schüler 7 beendet die Plenumsphase mit dem Argument, dass es insgesamt das Ziel sein sollte, den ÖPNV und den Radverkehr auszubauen.

Weitere Beispielaussagen
Ergänzend werden im Folgenden noch ausgewählte Beispielaussagen aus den anderen Erprobungen angeführt. Auch hier wurde am Ende wieder ein Bezug zur Leitfrage hergestellt und im Sinne einer Reflexion des Gesamtergebnisses Antworten gesammelt. Allerdings stand dafür nur noch wenig Zeit zur Verfügung.

> „Also man sieht das besonders, auf die größeren Sachen bezogen, also größere Gruppen oder halt langfristig ist das generell gut. Das Problem ist halt besonders das Kurzfristige für kleinere Gruppen, da die Herstellung und Produktion sehr viel die Umwelt sehr belastet und deswegen ist das halt nur für einen längeren Zeitraum wirklich nachhaltig und sinnvoll." (S13, 9.1)

> „Und wir hatten ja auch gesehen, dass es jetzt zwar viele kurzfristige Schäden geben würde, aber ich finde, dass die langfristige Sicht immer noch wichtiger ist für die Zukunft." (S7, 9.1)

> „[…] Ich glaub ich würde sagen, dass so, ich könnte meine Entscheidung erst festlegen, wenn ich mich noch mehr mit dem Thema so auseinandersetzen würde und dann halt auch jeden einzelnen Aspekt immer so, ja, sag ich mal so, so richtig, dass man Experte dann ist und dann könnt ich, glaub ich erst antworten." (S6, 9.2)

> „Ähm, es gibt auf jeden Fall viel mehr grüne Punkte als rote Punkte. Das bedeutet, es ist eher gut als schlecht." (S25, 9.2)

> „Ich würde sagen, dass es in der Umwelt auf jeden Fall sehr guttun würde, weil jede einzelne Gruppe das aufgewiesen hat, das alles grün ist. Und sozial würde ich sagen, hilft es auch schon sehr weiter. Also wenn man die Anschaffung stärken will oder so, würde das auch viel Sinn machen." (S17, 9.2)

6.5.1.7 Diskussion

Die Reflexion des Gesamtergebnisses und damit die Beantwortung die Beantwortung der Leitfrage, ob Elektroautos nachhaltiger sind als Verbrenner, zeigt, dass die Lernenden verschiedene Kriterien und Dimensionen in ihre Antwort einbeziehen und reflektieren. Auch hier lassen sich Unterschiede in der Ausführlichkeit der Reflexion erkennen.
Beispielsaussage 1 der Haupterprobung bezieht sich jeweils auf zwei Argumente, die sich zwei verschiedenen Dimensionen zuordnen lassen. Es wird beschrieben, dass die Entscheidung für oder gegen ein Elektroauto auch von der individuellen Nutzung abhängig

ist. Dabei bezieht der Schüler seine Argumente auf die beiden Aspekte, die Inhalt seiner Gruppe waren. In seiner Antwort hinterfragt er kritisch die Informationen aus dem Material zu Kosten und erkennt hier, dass solche Informationen auch einer gewissen Dynamik unterliegen und aktualisiert werden sollten.
Möglicherweise hat die Zuordnung der Aspekte hier einen gewissen Effekt, da für diesen Schüler die Argumentation zu dem ihm zugeordneten Aspekt im Vordergrund seiner Überlegungen steht.
Ähnliches kann auch bei der zweiten Beispielaussage identifiziert werden: Der Schüler bezieht das Argument des Rohstoffabbaus, mit dem er sich in der Unterrichtseinheit intensiver beschäftigt hat, in seine Antwort ein. Er benennt negative Auswirkungen im sozialen Bereich und unterscheidet in seiner Ausführung zwischen *kurzfristig* und *langfristig*. Er bewertet hier also anhand der *Zeit-Ebene* und ordnet seine Argumentation darin ein. Weiter beschreibt er, dass sowohl die Entscheidung der Politik als auch die Entwicklungen der *Wirtschaft* einen Einfluss haben, womit er auf eine zweite Nachhaltigkeitsdimensionen eingeht. Abschließend benennt er indirekt noch die *Umwelt* indem er sich für „grüne Energie“ ausspricht. Der Schüler beschreibt also kriteriengeleitet sowohl positive als auch negative Auswirkungen und berücksichtigt dabei alle drei Dimensionen.
Diese Aussage wird von einem anderen Schüler ergänzt, indem er einen Aspekt nennt, der nicht zu seiner Gruppe gehört (Stromerzeugung, *Umwelt*) und für diesen beschreibt, dass ein möglicher Nutzen zu einem späteren Zeitpunkt zu erwarten ist (*Zeit-Ebene*).
Hier zeigt sich bei den Lernenden ein kompensatorisches Entscheidungsverhalten (s. Kapitel 3.2.3), verschiedene Argumente werden genannt und abgewogen (Eggert & Bögeholz, 2006).
Im Gegensatz dazu bezieht sich die Beispielaussage des Schülers, der sich für die Position "nicht-nachhaltig" entschieden hat, nur auf ein Argument, das negative Umweltauswirkungen beschreibt. Diese Aussage könnte eher in die Kategorie nicht-kompensatorisch eingeordnet werden: Die Entscheidung wird nur aufgrund der negativen Umweltauswirkungen getroffen.

Am Ende der Reflexion ist besonders hervorzuheben, dass die Lernenden über die Leitfrage hinaus diskutieren. Auf die Aussage von Schüler 6, dass er glaube, dass das Stromnetz gar nicht ausreichen würde, antwortet Schüler 8 mit dem Gegenargument, dass es mit Norwegen ein Land gebe, in dem dies sehr gut gelungen sei. Die Diskussion schließt mit dem Fazit von Schüler 7, dass letztendlich die Alternativen ÖPNV oder Fahrrad auch in die Diskussion eingebracht werden sollten. Es wird erkannt, dass über die Leitfrage hinaus weitere Möglichkeiten mit einbezogen und diskutiert werden müssten, und es nicht reicht nur zwei Fahrzeugtypen miteinander zu vergleichen.

Auch die weiteren Beispielaussagen aus den anderen Erprobungen zeigen eine reflektierte Herangehensweise an die Beantwortung der Frage: Unter anderem erkennen die

Lernenden, dass es schwierig ist, eine Entscheidung nur auf Basis der erarbeiteten Informationen zu treffen, da diese dann auch auf unvollständigem Wissen beruhen würde (vgl. S6, 9.2). Die Unterstützung der Bewertungsscheibe wird u.a. auch dadurch unterstrichen, dass das Ergebnis konkret einbezogen und beschrieben wird, wie die Punkte verteilt sind (vgl. S7, 9.1; S13, 9.1) und welche Schlussfolgerungen daraus gezogen werden können: Es gibt sowohl positive als auch negative Effekte, wobei langfristig positive Effekte als erstrebenswerter beschrieben werden.

Die Analyse der abschließenden Diskussion hat gezeigt, dass das Ergebnis der Bewertungsscheibe die Lernenden bei einer kriteriengeleiteten Reflexion unterstützen kann und somit Forschungsfrage 3.1.3: „*Inwieweit unterstützt das Ergebnis der Bewertungsscheibe eine kriteriengeleitete Reflexion zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität*?“, mit den vorherigen Ausführungen beantwortet werden kann.

6.5.2 Erhebungsinstrument: Prä- und Post-Test

In Kapitel 6.2 wurde bereits beschrieben, dass im Rahmen aller Erprobungen die Durchführung eines Prä- und Post-Tests stattgefunden hat. Die Zuordnung der Prä- und Post-Tests wird über einen anonymen Code der Lernenden gewährleistet. Es sind keine Rückschlüsse auf personenbezogene Daten möglich.
Im Folgenden wird das eingesetzte Erhebungsinstrument vorgestellt, das vollständig dem Anhang D.3 dieser Arbeit beigefügt ist.
Der Fragebogen enthält zwei offene Items. Das erste Item bezieht sich auf das Verständnis zum Begriff Nachhaltigkeit und das zweite Item auf den Vergleich zwischen Elektromotoren und Verbrennungsmotoren.
Darüber hinaus wurde der Prä-Test der Haupterprobung noch um insgesamt drei Items erweitert. Zwei weitere offene Items lauteten:

- „Welche Vor- und Nachteile von Autos mit Verbrennungsmotor kennst du? Liste auf!“

- „Welche Vor- und Nachteile von Autos mit Elektromotor kennst du? Liste auf!“

Zusätzlich wurde ein geschlossenes Item mit der Frage nach den Fahrzeugtypen, die die Lernenden zu Hause haben, angeführt. Folgende Antwortmöglichkeiten wurden vorgegeben: *Ein Auto mit Verbrennungsmotor (Benzin/Diesel)*, *Ein Auto mit Elektromotor*, *Ein Auto mit Hybridmotor* sowie die Option *kein Auto*. Die spätere Darstellung der Ergebnisse dieser drei Items bezieht sich folglich nur auf die Haupterprobung (n=18).

Der Post-Test stellt eine Wiederholung der beiden offenen Fragen zum Begriffsverständnis von Nachhaltigkeit und der Nachhaltigkeit von Elektromobilität dar. Darüber hinaus wurde auch für den Post-Test in der Haupterprobung eine Ergänzung an Items vorgenommen. Insgesamt wurden folgende fünf geschlossene Items zur Beantwortung mittels einer fünfstufigen Skala von „*trifft nicht zu*“ bis „*trifft voll zu*“ ergänzt:

- Die Unterrichtseinheit hat mir Spaß gemacht
- Ich fand die Unterrichtseinheit interessant
- Das Thema Nachhaltigkeit interessiert mich
- Das Thema Elektromobilität interessiert mich
- Das Fach Chemie interessiert mich

Abschließend wurden noch zwei offene Items zur Einholung einer allgemeinen Rückmeldung zum Erprobungstag (*Das hat mir heute gefallen*; *Das hat mir heute nicht gefallen*) eingesetzt.
Die Auswertung des Prä- und Post-Tests zielt darauf ab, Lernergebnisse zu beschreiben und mögliche Lernerfolge durch die Durchführung des Unterrichtskonzepts zu identifizieren. Dazu werden folgende Forschungsfragen formuliert:

3.2 Welches Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen die Lernenden vor und nach der Intervention?

3.3. Welche Vorteile- und Nachteile von Elektromobilität sehen Lernende vor der Intervention?

3.4. In welcher Weise bewerten Lernende die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention?

Die Auswertung und Diskussion der Ergebnisse zur Beantwortung der formulierten Forschungsfragen erfolgt in den Kapiteln 6.5.3 und 6.5.4.

6.5.3 Verständnis von Nachhaltigkeit

3.2 Welches Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen die Lernenden vor und nach der Intervention?

In diesem Kapitel wird zunächst das Vorgehen zur Auswertung der Prä-Post-Daten zum Verständnis von Nachhaltigkeit beschrieben und das entwickelte Kategoriensystem vorgestellt (s. Kapitel 6.5.3.1). Anschließend erfolgt in Kapitel 6.5.3.2 die Darstellung und in Kapitel 6.5.3.3 die Diskussion der Ergebnisse zur Beantwortung der Forschungsfrage:

6.5.3.1 Auswertung

Zur Auswertung der ersten Frage wurde in einem deduktiv-induktiven Vorgehen (s. Kapitel 6.2.3.3), das in Abbildung 57 dargestellte Kategoriensystem entwickelt:

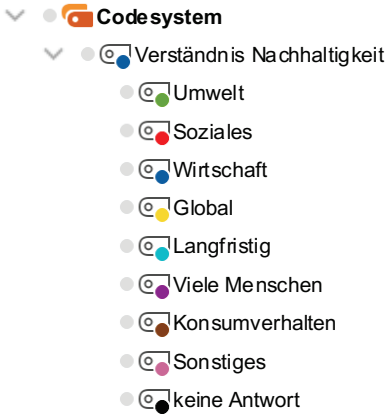


Abbildung 57: Deduktiv-induktiv entwickeltes Kategoriensystem in der Darstellung von MAXQDA 2022 zur Auswertung der Frage: Was verstehst du unter dem Begriff Nachhaltigkeit?

Das Begriffsverständnis von nachhaltiger Entwicklung wurde im theoretischen Rahmen dieser Arbeit ausführlich dargestellt (s. Kapitel 1). Im ersten Mesozyklus (s. Kapitel 6.3) wurde auf Basis dieses Verständnisses das methodische Instrument der Bewertungsscheibe als Kern des Unterrichtskonzepts „nachhaltig:bewerten“ entwickelt, sodass sich auch die zu codierenden Kategorien an den Elementen der Bewertungsscheibe - den Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen - orientieren.
Als deduktive Kategorien wurden daher die Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* sowie die Kategorien *Global*, *Langfristig* und *Viele Menschen* festgelegt. Letztere beschreiben dabei immer den äußeren Bereich der Bewertungsebenen, die sich am übergeordneten Ziel einer nachhaltigen Entwicklung orientieren (s. Kapitel 1.2).
In einem induktiven Vorgehen haben sich weiter die Kategorien *Konsumverhalten*, *Sonstiges* sowie *keine Antwor*t ergeben.
Tabelle 30 zeigt einen Ausschnitt aus dem zugrundeliegenden Codierleitfaden, der vollständige Codierleitfaden ist in Anhang D.4.1 zu finden. Die Antworten wurden auf Basis des Codierleitfadens durch zwei Codierende unabhängig voneinander codiert. Nach

einem ersten Durchgang, bei dem noch nicht alle Daten erhoben waren, wurde der Prozess wiederholt und die Definitionen der Kategorien in gemeinsamer Diskussion der beiden Codierenden ausgeschärft und optimiert. Dieses Vorgehen beschreibt das *konsensuelle Codieren* nach Rädiker und Kuckartz (2022).

Tabelle 30: Ausschnitt aus dem Codierleitfaden mit Darstellung der Kategorie „Konsumverhalten".

Name der Kategorie	Konsumverhalten
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie *Konsumverhalten* beschreibt Aussagen über das Verhalten einer Person oder einer Gruppe von Menschen, die sich auf den Erwerb (Kauf), die Nutzung oder den Verbrauch von Gütern im Alltag beziehen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Konsumverhalten wird codiert, wenn Aussagen über das Verhalten einer Person oder einer Gruppe von Menschen beschrieben werden, die sich auf den Erwerb, die Nutzung oder den Verbrauch von Gütern beziehen.
Beispiele für Anwendungen	*„kein unnötiger Konsum/nicht viel verbrauchen/so viel es geht* sparen"; Kurs 2\K2 S14: 1)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Konsumverhalten wird nicht codiert, wenn eine Aussage zum Konsumverhalten in erkennbarem bzw. direktem Bezug zu einer Nachhaltigkeitsdimension beschrieben wird. Beispiel: *„Mülltrennung/Umwelt so wenig wie möglich belasten/Versuchen strom und heizkosten zu sparen/Energie sinnvoll nutzen*"; (K2 S12, Pos. 1) Stattdessen erfolgt die Codierung mit der entsprechenden Kategorie: *Umwelt, Soziales, Wirtschaft*

6.5.3.2 Ergebnisse

Insgesamt haben 124 Schülerinnen und Schüler im Rahmen der Erprobungen (s. Kapitel 6.2.2) an der Durchführung des Prä- und Post-Tests teilgenommen. Die Zusammensetzung der Stichprobe aus den teilnehmenden Kursen und Klassen wurde in Kapitel 6.2.2 beschrieben und ist der Übersicht in Tabelle 7 zu entnehmen.

Abbildung 58 zeigt die Verteilung der Anteile der codierten Kategorien in Prozent zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Prä-Post-Vergleich. Die Intercoder-Übereinstimmung beträgt 98,41 %.

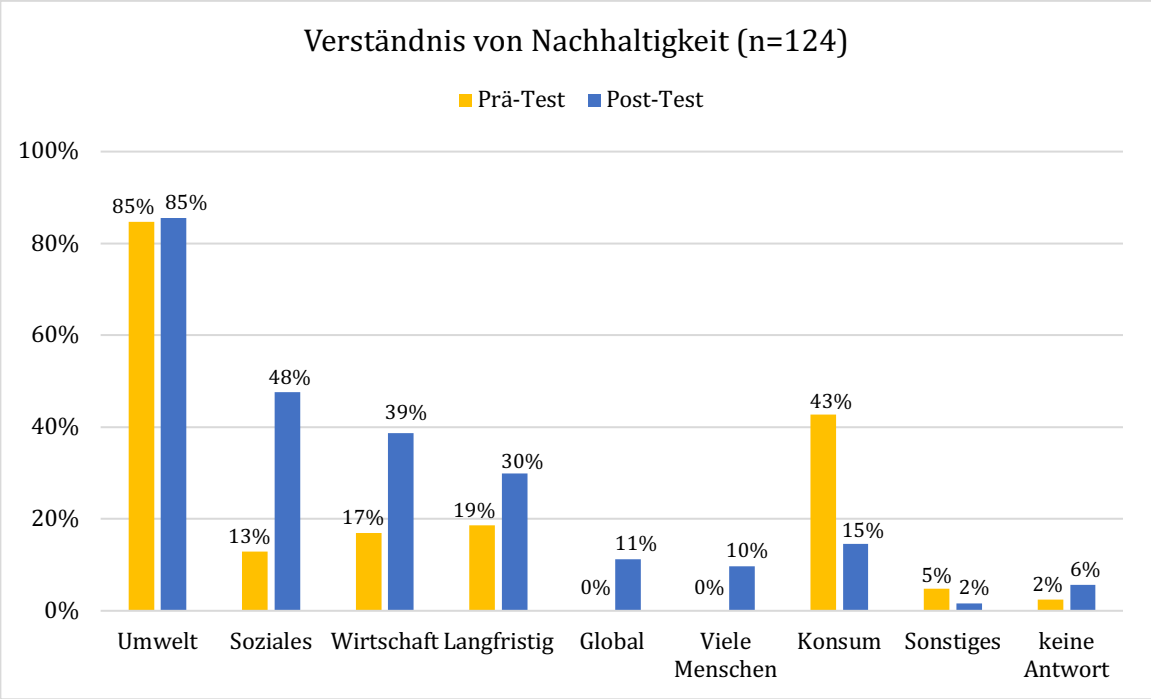


Abbildung 58: Verteilung der Anteile der Kategorien in den Antworten der Lernenden zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

Die Ergebnisse der einzelnen Erprobungsdurchgänge finden sich in graphischer und tabellarischer Darstellung der absoluten Häufigkeit im Anhang D.5.1 dieser Arbeit. Dabei werden jeweils die Erprobungen zusammengefasst dargestellt, in denen der gleiche Inhalt durchgeführt wurde. Also für den ersten Erprobungsdurchgang Kurs 1 und Kurs 2 und für den zweiten Erprobungsdurchgang Klasse 9.1 und 9.2. Da im dritten Erprobungsdurchgang einmal nur Stickoxide (Klasse 9.3) und einmal nur Kohlenstoffdioxid (Klasse 9.4) erprobt wurde, wird hier eine getrennte Betrachtung angeführt.

Vor der Intervention findet sich die Kategorie *Umwelt* in 85 % der Antworten und ist damit die am häufigsten genannte Kategorie mit sehr deutlichem Abstand zu den anderen Kategorien. Die Kategorie *Soziales* wurde in 13 % und die Kategorie *Wirtschaft* in 17 % der Antworten der Lernenden codiert. Der Anteil der Kategorie *Langfristig* beträgt 19 %. Die beiden anderen Kategorien *Global* und *Viele Menschen*, die den Bereichen der Bewertungsebenen zugeordnet werden können, wurden im Prä-Test nicht identifiziert (0 %).

Die induktiv entwickelte Kategorie *Konsumverhalten* ist mit einem Anteil von 43 %, die am zweithäufigsten genannte Kategorie in den Antworten der Lernenden. Die Kategorie *Umwelt* wurde im Vergleich dazu doppelt so häufig genannt. In 5 % der Antworten wurde die Kategorie *Sonstiges* gefunden und in 2 % *keine Antwort*.

Auch im Post-Test zeichnet sich die Kategorie *Umwelt* durch den größten Anteil aus. Der Anteil ist nahezu identisch, die absolute Häufigkeit beträgt 105 Nennungen im Prä-Test und 106 Nennungen im Post-Test (s. Anhang D.5.1), so dass durch Rundung auf eine Nachkommastelle beide Anteile bei 85 % liegen.
Die Kategorie *Soziales* findet sich im Post-Test in 48 % der Antworten und hat sich damit im Vergleich zum Prä-Test fast verdreifacht. Die Nennung der Kategorie *Wirtschaft* findet sich mit einem Anteil von 39 % in fast doppelt so vielen Antworten wie vor der Intervention. Der Anteil der Kategorie *Langfristig* hat sich um 8 % erhöht und liegt im Post-Test bei 27 %. Die beiden im Prä-Test fehlenden Kategorien *Global* und *Viele Menschen* wurden mit 11 % und 10 % im Post-Test genannt.
Die Nennung der Kategorie *Konsumverhalten* ist deutlich zurückgegangen und liegt im Post-Test mit einem Anteil von 15 % fast dreimal niedriger. Die Nennung *Sonstiges* findet sich nur noch in 2 % der Antworten. Keine Antworten finden sich bei 6 % aller Lernenden.

Um eine tiefergehende Aussage über die Veränderung des Verständnisses treffen zu können, werden im Folgenden die Kombinationen der Kategorien betrachtet, die in den Antworten der Lernenden vorkommen und die Ergebnisse tabellarisch im Vergleich von Prä- und Post-Test dargestellt (s. Tabelle 31). Der Fokus liegt dabei auf dem Vorkommen der Kombinationen folgender Kategorien: *Umwelt*, *Soziales*, *Wirtschaft*, *Langfristig*, *Global*, und *Viele Menschen*. Die Berücksichtigung aller sechs Kategorien entspricht einem umfassenden Verständnis von Nachhaltigkeit, wie es im theoretischen Teil dieser Arbeit ausführlich dargelegt wurde (s. Kapitel 1) und sich in der Entwicklung der Bewertungsscheibe widerspiegelt.

Im Prä-Test nennen 11 Lernende keine der fokussierten Kategorien. 65 Lernende nennen nur die Kategorie *Umwelt*, was einem Anteil von 52 % aller Antworten entspricht. Die Nachhaltigkeitsdimension *Soziales* wird als Kategorie einmal alleine genannt und die Kategorie *Langfristig* wird von sechs Lernenden genannt. Somit wurde bei insgesamt 72 Lernenden nur eine Kategorie codiert. Vier Kombinationen von jeweils zwei Kategorien wurden bei 31 Lernenden codiert: 12 Lernende beschreiben in ihren Antworten die Kategorien *Umwelt* und *Wirtschaft*, 11 Lernende die Kategorien *Umwelt* und *Langfristig*, 7 Lernende die Kombination der Kategorien *Umwelt* und *Soziales* und in einer Antwort wurden die Kategorien *Wirtschaft* und *Langfristig* codiert.

Tabelle 31: Kombinationen der Kategorien Prä-Test (links) und Post-Test (rechts).

Prä	Umwelt	Soziales	Wirtschaft	Global	Langfristig	Viele Menschen	Lernende	Prozent	Anzahl Codes
							11	9 %	0
	X						65	52 %	1
					x		6	5 %	1
		x					1	1 %	1
	x		x				12	10 %	2
	x				x		11	9 %	2
	x	x					7	6 %	2
			x		x		1	1 %	2
	x	x	x				5	4 %	3
	x	x			x		2	2 %	3
	x		x		x		2	2 %	3
	x	x	x		x		1	1 %	4
Σ							124	100 %	24

Post	Umwelt	Soziales	Wirtschaft	Global	Langfristig	Viele Menschen	Lernende	Prozent	Anzahl Codes
							9	7 %	0
	x						35	28 %	1
					x		3	2 %	1
	x	x					12	10 %	2
	x		x				6	5 %	2
	x				x		6	5 %	2
		x			x		3	2 %	2
	x	x	x				21	17 %	3
	x			x	x		2	2 %	3
				x	x	x	2	2 %	3
		x		x	x		1	1 %	3
	x	x	x		x		12	10 %	4
	x	x	x	x			2	2 %	4
	x	x	x			x	2	2 %	4
	x	x		x	x		2	2 %	4
	x	x			x	x	1	1 %	4
	x	x	x	x	x	x	5	4 %	6
Σ							124	100 %	48

Eine Kombination von drei Kategorien findet sich bei insgesamt 9 Lernenden. Die Kombination aller drei Kategorien, die den Dimensionen der Nachhaltigkeit entsprechen, wurde von 5 Lernenden beschrieben. Die Kategorien *Umwelt*, *Soziales*, *Langfristigkeit* und *Umwelt*, *Wirtschaft* und *Langfristigkeit* wurden bei jeweils zwei Lernenden kodiert. Nur in einer Antwort wurde im Prä-Test eine Kombination aus vier Kategorien identifiziert, die sich aus den Kategorien *Umwelt*, *Soziales*, *Wirtschaft* und *Langfristigkeit* zusammensetzt. In Abbildung 59 sind die beschriebenen Ergebnisse des Prä-Tests zur Übersicht grafisch zusammengefasst. Die Abbildung beschränkt sich auf das Vorkommen der ausgewählten Kategorien.

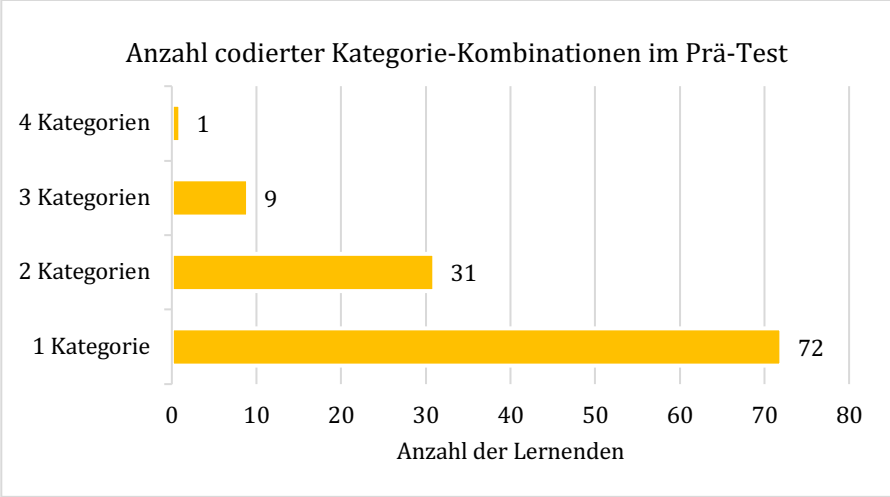


Abbildung 59: Anzahl codierter Kategorie-Kombinationen in den Antworten der Lernenden der ausgewählten Kategorien Umwelt, Soziales, Wirtschaft, Langfristig, Global und Viele Menschen im Prä-Test.

Zum Vergleich zeigt Abbildung 60 die Anzahl der kodierten Kategorien-Kombinationen im Post-Test. Die Zusammenfassung der Ergebnisse aus Tabelle 31 bezieht sich ebenfalls auf die Betrachtung der ausgewählten Kategorien *Umwelt*, *Soziales*, *Wirtschaft*, *Langfristig*, *Global* und *Viele Menschen*.

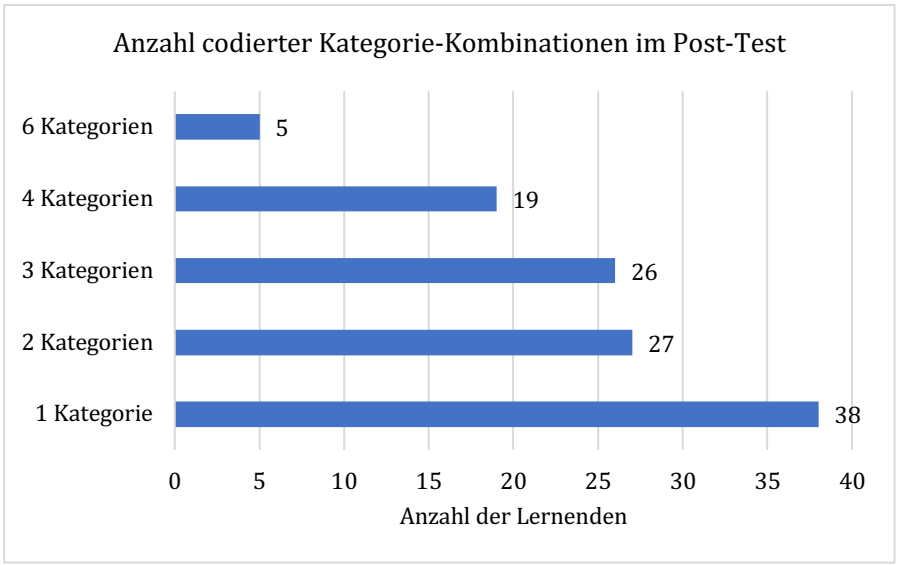


Abbildung 60: Anzahl codierter Kategorie-Kombinationen in den Antworten der Lernenden der ausgewählten Kategorien Umwelt, Soziales, Wirtschaft, Langfristig, Global und Viele Menschen im Post-Test.

Im Post-Test wurden neun Antworten der Lernenden identifiziert, die keiner der ausgewählten Kategorien zugeordnet werden konnten. Davon wurden sechs Antworten als *Keine Antwort* kategorisiert (s. Tabelle 31).
Die Kategorie *Umwelt* wurde alleinstehend von 35 Lernenden beschrieben und damit fast um die Hälfte weniger als im Prä-Test. Drei weitere Antworten wurden ebenfalls nur mit einer Kategorie, *Langfristig*, codiert. Vier Kombinationen beziehen sich auf die Codierung von zwei Kategorien bei insgesamt 27 Lernenden: 12 Lernende beschreiben in ihren Antworten die Kategorien *Umwelt* und *Soziales*, jeweils 6 Lernende beschreiben *Umwelt* und *Wirtschaft* und *Umwelt* und *Langfristig* und 3 Lernende benennen die Kategorien *Soziales* und *Langfristig*. Auch bei der Codierung mit drei verschiedenen Kategorien gibt es vier Kombinationsmöglichkeiten: 21 Lernende nennen alle drei Kategorien der Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft*. Zwei Lernende nennen die Kategorien *Umwelt*, *Global* und *Langfristig* und zwei Lernende nennen alle drei Kategorien, die den Bereichen der Bewertungsebenen zugeordnet werden können. In einer Antwort wurden die Kategorien *Soziales*, *Global* und *Langfristig* codiert.
Für die Anzahl von vier codierten Kategorien finden sich fünf verschiedene Kombinationen: 12 Lernenden benennen die Kategorien *Umwelt*, *Soziales*, *Wirtschaft* und *Langfristig*, jeweils zwei Lernende benennen alle drei Kategorien der Nachhaltigkeitsdimensionen sowie einmal *Global* und einmal *Viele Menschen*. Die Codierung von fünf Kategorien findet sich in keiner Antwort. Insgesamt sechs Lernende weisen in ihren Antworten im Post-Test die Nennung aller sechs Kategorien auf.

Um eine Aussage darüber treffen zu können, bei wie vielen Lernenden eine Veränderung des Nachhaltigkeitsverständnisses nach der Intervention identifiziert werden kann, wurde für die Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Lernenden eine Auswertung über das Visualisierungstool Dokumentenvergleichsdiagramm von MAXQDA vorgenommen. Durch eine farbliche Zuordnung der Kategorien visualisiert das Dokumentenvergleichsdiagramm einen Vergleich der vergebenen Kategorien im Prä- und Post-Test. Die generierten Dokumentenvergleichsdiagramme befinden sich im Anhang D.5.2.
Aus dem Dokumentenvergleichsdiagrammen lässt sich eine Zuordnung der Ergebnisse in die Kategorien *Erweiterung*, *Veränderung* und *keine Veränderung* vornehmen. Eine Definition der Kategorien ist in Tabelle 32 dargestellt:

Tabelle 32: Definition der Kategorien: Erweiterung, Veränderung und keine Veränderung zur Auswertung der Dokumentenvergleichsdiagramme.

Erweiterung	Die Kategorie *Erweiterung* beschreibt die zusätzliche Codierung im Post-Test von mindestens einer Nachhaltigkeitsdimension (*Umwelt, Soziales, Wirtschaft*) oder einer Bewertungsebene (*Global, Langfristig, Viele Menschen*), die nicht im Prä-Test codiert wurde.
Veränderung	Die Kategorie *Veränderung* beschreibt eine unterschiedliche Codierung im Prä- und Post-Test. Diese kann u.a. durch eine Reduzierung der im Prä-Test codierten Kategorien ohne Hinzufügen neuer Kategorien sowie durch den Austausch von Kategorien (= gleichbleibende Anzahl von Kategorien) gekennzeichnet sein.
Keine Veränderung	Die Kategorie *keine Veränderung* beschreibt eine identische Codierung im Prä- und Post-Test.

Die Ergebnisse aus den Dokumentenvergleichsdiagrammen, unterteilt in die einzelnen Erprobungsdurchgänge sowie die Zusammenfassung aller Lernender (n=124), befinden sich in Tabelle 33:

Tabelle 33: Ergebnisse Dokumentenvergleichsdiagramm aufgeteilt in die einzelnen Erprobungen sowie eine Gesamtdarstellung (n=124).

	Erweiterung	**Veränderung**	**Keine Veränderung**
1. Erprobungsdurchgang (Kurs 1, Kurs 2)	13	4	13
2. Erprobungsdurchgang (9.1, 9.2)	28	9	3
3. Erprobungsdurchgang (9.3)	14	2	4
4. Erprobungsdurchgang (9.4)	6	6	4
Haupterprobung	8	5	5
Gesamt	**69**	**26**	**29**

Insgesamt zeigen 69 Lernende, 56 % der gesamten Stichprobe, eine Erweiterung ihres Verständnisses von Nachhaltigkeit. Bei 26 Lernenden (21 %) konnte eine Veränderung und bei 29 Lernenden (23 %) keine Veränderung festgestellt werden.
Unterschiede lassen sich zwischen den einzelnen Erprobungsdurchgängen beschreiben: Im ersten Erprobungsdurchgang ist die Anzahl der Lernenden mit einer Erweiterung gleich groß wie die Anzahl der Lernenden, bei denen keine Veränderung festgestellt werden konnte. Im vierten Erprobungsdurchgang ist die Anzahl der Lernenden mit einer Erweiterung und einer Veränderung gleich groß. In den übrigen Erprobungen zeigen sich

ähnliche Relationen wie im Gesamtergebnis: Die Mehrheit der Lernenden beschreibt im Post-Test ein erweitertes Verständnis von Nachhaltigkeit.

6.5.3.3 Diskussion

3.2 Welches Verständnis von Nachhaltigkeit zeigen die Lernenden vor und nach der Intervention?

Vor der Intervention lag der Fokus der Lernenden erwartungsgemäß deutlich auf der *Umwelt*. Dennoch finden sich auch vor der Intervention Beschreibungen zu den beiden anderen Nachhaltigkeitsdimensionen *Soziales* und *Wirtschaft* (s. Abbildung 58). Dass sich Nachhaltigkeit auf einen langfristigen Zeitraum bezieht und damit in Anlehnung an die entwickelte Bewertungsebene *Zeit*, die sich an der Brundtland-Definition (World Commission on Environment and Development, 1987) orientiert, findet sich ebenfalls bereits in 19 % der Antworten der Lernenden. Beschreibungen, dass Nachhaltigkeit auf eine *globale* Perspektive abzielt und möglichst *viele* Menschen betreffen sollte, sind im Verständnis vor der Intervention der Lernenden nicht zu finden. Auffällig ist, dass die eher allgemeine Kategorie *Konsumverhalten* als zweithäufigste Kategorie identifiziert wurde. Diese bezieht sich auch auf unspezifische Aussagen zum Verhalten beim Erwerb oder der Nutzung von Alltagsgütern (vgl. Codierleitfaden, Anhang D.4.1). Bei der Codierung dieser Kategorie ist kein eindeutiger Bezug zu den Zielen der drei Nachhaltigkeitsdimensionen erkennbar. Interessant ist, dass diese eher allgemeinen Aussagen im Post-Test deutlich von 43 % auf 15 % zurückgehen.
Im Vergleich zum Prä-Test ist in allen sechs Kategorien, die für das Verständnis von Nachhaltigkeit relevant sind, ein Anstieg zu verzeichnen. Mit Ausnahme der Umwelt, deren Anteil nahezu gleichbleibt, ist ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen. Insbesondere die beiden anderen Dimensionen *Soziales* und *Wirtschaft* verdoppeln bzw. verdreifachen sich.

Bei der Betrachtung der Zusammensetzung der Antworten ist positiv hervorzuheben, dass eine Zunahme der Komplexität des Nachhaltigkeitsverständnisses bei vielen Lernenden festgestellt werden kann. Diese zeichnet sich durch eine erkennbare Steigerung hin zu einem mehrdimensionalen Verständnis aus, das unter anderem verschiedene Perspektiven wie langfristig, global und viele Menschen einbezieht. Vor der Intervention beschreibt mehr als die Hälfte der Lernenden ein eindimensionales Verständnis von Nachhaltigkeit in Bezug auf die Umwelt, was sich durch das alleinige Vorkommen dieser Kategorie auszeichnet. Im Post-Test nimmt das Vorkommen mehrerer Kategorien und damit die Komplexität des Verständnisses zu. Die Betrachtung der Einzelergebnisse lässt zudem Rückschlüsse darauf zu, bei wie vielen Lernenden eine Erweiterung des

Nachhaltigkeitsverständnisses erkennbar ist: Mehr als die Hälfte der Lernenden beschreibt im Post-Test ein komplexeres Verständnis von Nachhaltigkeit als im Prä-Test.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Die Durchführung der Intervention führt bei der Mehrheit der Lernenden zu einem komplexeren Verständnis von Nachhaltigkeit, das sich durch eine Erweiterung um mindestens eine Nachhaltigkeits- bzw. Bewertungsebene auszeichnet.

6.5.4 Vorstellungen zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität

FF 3.2: Welche Vorteile- und Nachteile von E-Autos sehen Lernende vor der Intervention?

FF 3.3: In welcher Weise bewerten Lernende die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention?

Im folgenden Kapitel soll untersucht werden, wie die Lernenden die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention bewerten (FF 3.2). Außerdem werden auch die Ergebnisse der zusätzlichen Items des Prä-und Post-Tests dargelegt, die nur in der Haupterprobung erhoben wurden (FF 3.3).

Einleitend werden zunächst die Ergebnisse dargelegt, welche Vor- und Nachteile die Lernenden vor der Intervention beschreiben und zur Beantwortung der Forschungsfrage 3.2 herangezogenen werden. Anschließend folgt in Kapitel 6.5.4.1 die Auswertung zur Frage, wie die Lernenden die Nachhaltigkeit der Elektromobilität vor und nach der Intervention beschreiben. Die Darstellung der Ergebnisse folgt in Kapitel 6.5.4.2 und werden anschließend in Kapitel 6.5.4.3 diskutiert. Das Kapitel schließt mit einer kurzen Beschreibung der Ergebnisse der zusätzlichen Items aus dem Post-Test der Haupterprobung zur Bewertung der Unterrichtseinheit sowie einem allgemeinen Feedback der Lernenden zur durchgeführten Erprobung.

Vor- und Nachteil von Verbrennungs- und Elektromotoren
Die Ergebnisse der zusätzlichen Items „*Welche Vor- und Nachteile von Autos mit Verbrennungsmotor kennst du? Liste auf!*“ und „*Welche Vor- und Nachteile von Autos mit Elektromotor kennst du? Liste auf!*“, die in der Haupterprobung (n=18) erhoben wurden, werden in den folgenden Abbildungen graphisch dargestellt und erläutert. Die Auflistungen der Vor- und Nachteile wurden inhaltlich zusammengefasst und werden in ihrer absoluten Häufigkeit, wie oft sie in den Antworten der Lernenden gefunden wurden, herausgestellt.

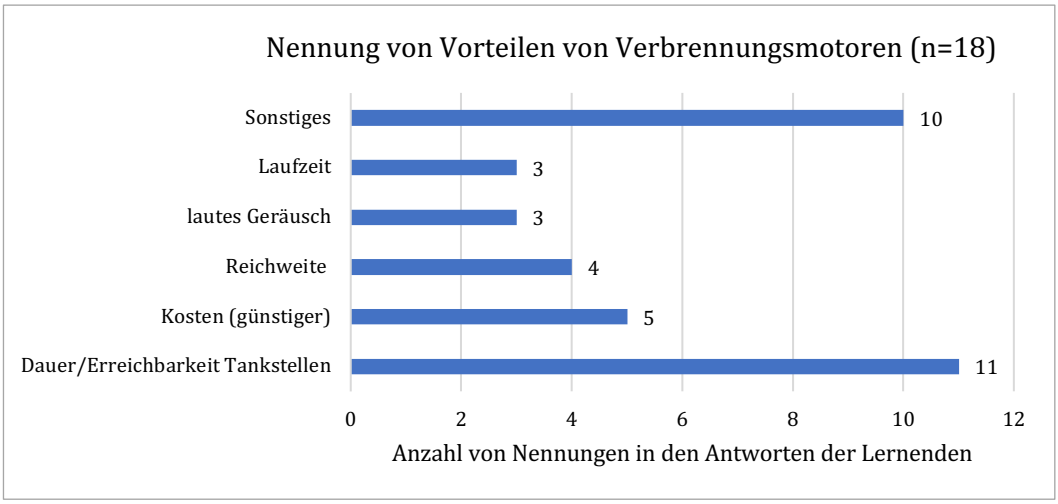


Abbildung 61: Anzahl der Nennungen von Vorteilen von Verbrennungsmotoren (n=18).

In Abbildung 61 werden die Nennungen von Vorteilen von Verbrennungsmotoren (n=18) dargestellt. Die am häufigsten genannten Vorteile von Verbrennungsmotoren sind die kurze *Betankungszeit* sowie die gute Erreichbarkeit und Anzahl von *Tankstellen* (11 Nennungen). Günstigeren *Kosten* wurden fünfmal genannt. Vier Nennungen beziehen sich auf den Vorteil der *Reichweite*. Drei Nennungen führen den Vorteil an, dass durch den *Lärm* der Verbrennungsmotoren Unfälle vermieden werden könnten. Ebenfalls dreimal wird eine lange *Lebensdauer* als Vorteil gesehen. Unter der Nennung *Sonstiges* wurden unter anderem folgende Vorteile zusammengefasst, die sich durch eine gewisse Subjektivität auszeichnen: *Fahrgefühl*, mehr *verfügbare Modelle* sowie der *Sound beim Fahren*. Im Gegensatz dazu wird in Abbildung 62 die Auflistung der Nachteile für Verbrennungsmotoren zusammengefasst:

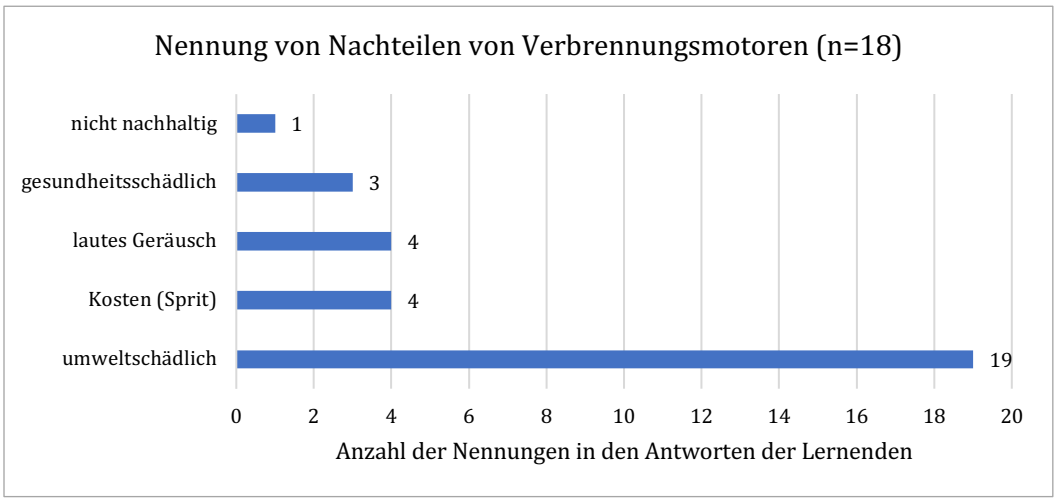


Abbildung 62: Anzahl der Nennungen von Nachteilen von Verbrennungsmotoren (n=18).

Der am häufigsten genannte Nachteil von Verbrennungsmotoren ist mit insgesamt 19 Nennungen der *Schaden für die Umwelt*. Inhaltlich beziehen sich davon sechs Nennungen konkret auf den hohen *Kohlenstoffdioxid-Ausstoß*. Jeweils vier Nennungen entfallen auf

den Nachteil der *Spritkosten* sowie auf den *Lärm* von Verbrennungsmotoren. Diese beiden Nennungen stehen unter anderem im Widerspruch zu den Nennungen der Vorteile. Hier werden zwei Aspekte unterschiedlich von den Lernenden eingeordnet. Dreimal wird als Nachteil *Gesundheitsschädlichkeit* aufgeführt und einmal die allgemeine Formulierung, dass Verbrennungsmotoren *nicht nachhaltig* seien. Die Zuordnung, welche Aspekte als Vor- oder Nachteil bewertet werden, ist also nicht einheitlich.
Insgesamt werden viele verschiedene Aspekte genannt, die sich auf alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen verteilen.
Die Abbildungen 63 und 64 zeigen in Gegenüberstellung die beschriebenen Vor- und Nachteile von Elektromotoren:

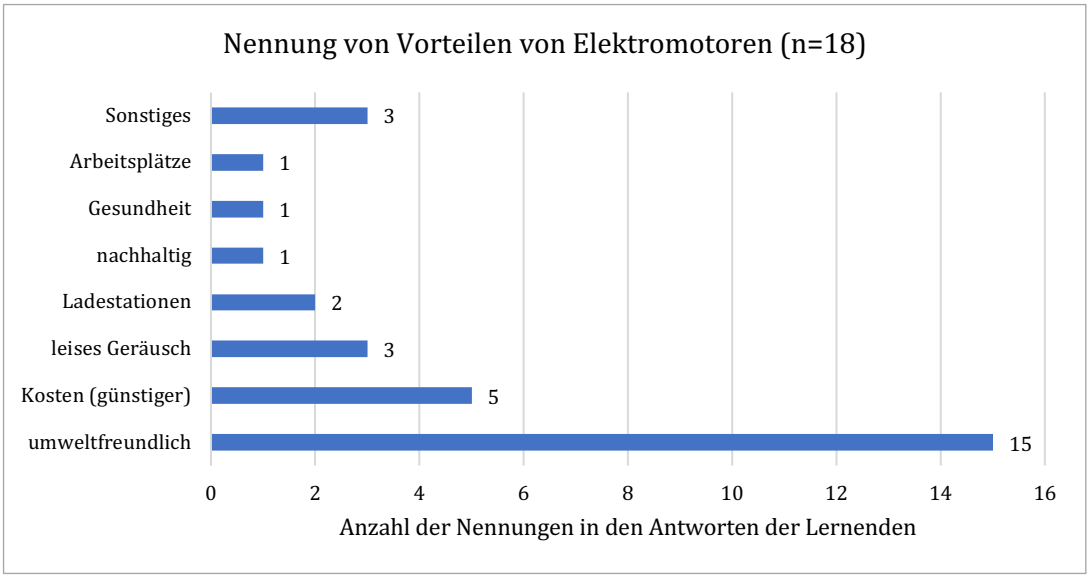


Abbildung 63: Anzahl der Nennungen von Vorteilen von Elektromotoren (n=18).

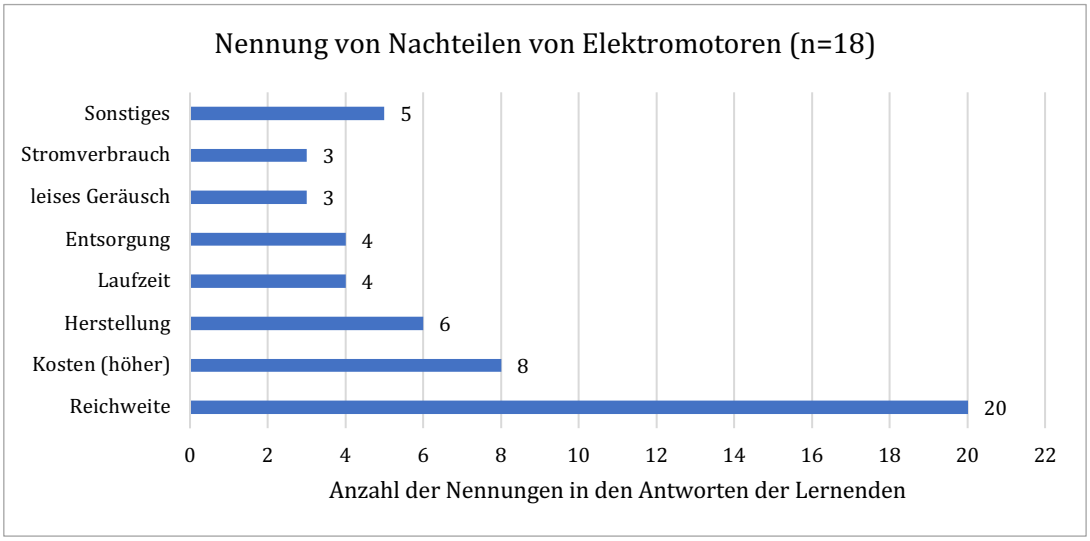


Abbildung 64: Anzahl der Nennungen von Nachteilen von Elektromotoren (n=18).

Der am häufigsten genannte Nachteil der Verbrennungsmotoren (*umweltschädlich*), findet sich als häufigster Vorteil der Elektromotoren wieder (15 Nennungen): *umweltfreundlich*. Insgesamt acht der 15 Nennungen beziehen sich auf den reduzierten Ausstoß

von Kohlenstoffdioxid. Die beiden Aspekte *Kosten* und reduzierte *Geräuschbelastung* finden sich ebenfalls wie bei den Verbrennungsmotoren sowohl als Vor- als auch als Nachteil der Elektromotoren wieder. *Kosten* werden fünfmal als Vorteil und achtmal als Nachteil genannt. Das *leise Geräusch* von Elektromotoren wird gleich oft als Vor- und Nachteil genannt (3 Nennungen). *Nachhaltigkeit*, *Gesundheit* und *neue Arbeitsplätze* wurden jeweils einmal als Vorteil genannt.
Der größte Nachteil wird in der *Reichweite* gesehen (20 Nennungen). Diese gliedert sich inhaltlich in die Beschreibung der allgemeinen Reichweite sowie die Nennung der langen *Ladezeit* und der geringen Verfügbarkeit von *Ladestationen*. Demgegenüber finden sich auch zwei Nennungen, die die *Lademöglichkeit* positiv einordnen. Weitere Nachteile sind die mögliche kürzere *Laufzeit* (4 Nennungen), also die Lebensdauer eines Autos, die *Entsorgung* (4 Nennungen) und der hohe *Stromverbrauch* (3 Nennungen). Insgesamt sechs Nennungen für Nachteile entfallen auf die *Herstellung* und verteilen sich unter anderem auf die Begründungen *schlechte Arbeitsbedingungen* sowie *hoher Ressourcenverbrauch* und *Emissionen*. Unter *Sonstiges* wurden fünf Nachteile zusammengefasst, die sich teilweise ebenfalls auf subjektive Begründungen wie *Aussehen* oder geringe *Modellauswahl* beziehen.
Von 18 Lernenden gaben 17 an, zuhause ein Auto mit Verbrennungsmotor zu haben. Zwei gaben zusätzlich ein Auto mit Hybridmotor als Zweitwagen an. Ein Lernender gab an, kein Auto zuhause zu haben.

Die beschriebenen Ergebnisse der beiden zusätzlichen Items im Prä-Test der Haupterprobung beziehen sich nur auf eine kleine Stichprobe und sind daher als nicht repräsentativ und gering aussagekräftig anzusehen. Dennoch geben Sie einen übersichtlichen Eindruck und zeigen am Beispiel der neunten Klasse, die an der Haupterprobung teilgenommen hat, wie vielfältig das Wissen über Elektroautos ist und dass sich unterschiedliche Vorstellungen zu den beiden Fahrzeugtypen finden lassen. Keiner der Lernenden gab jedoch an, ein Elektroauto zuhause zu haben. Sowohl die Vor- und Nachteile von Verbrennungsmotoren als auch die Vor- und Nachteile von Elektromotoren werden vielfältig beschrieben und es finden sich Aspekte zu allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen wieder.

Ebenso kann hier noch einmal gezeigt werden, dass es sich um einen geeigneten Kontext handelt, der bei den Lernenden präsent ist und zu dem es bestimmte Einstellungen gibt. Alle ausgewählten Aspekte von Elektromobilität, die im Rahmen dieser Arbeit erarbeitet wurden, spiegeln sich in den Nennungen wider. Interessant ist unter anderem die gleichzeitige Nennung von Aspekten als Vor- und als Nachteil. Hier lässt sich vermuten, dass die Bewertung des gleichen Aspektes unterschiedlich ausfallen kann, was bei der Verwendung der Bewertungsscheibe zu einer unterschiedlichen Visualisierung ein und desselben Aspektes führen würde und was durch die methodischen Anwendungsmöglichkeiten verdeutlicht werden kann.

6.5.4.1 Auswertung

Zur Auswertung der Frage, wie Lernende vor und nach der Intervention die Nachhaltigkeit von Elektromobilität im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren bewerten, wurde erneut ein deduktiv-induktives Kategoriensystem entwickelt. Die Antworten wurden auf Basis des Codierleitfadens, der vollständig dem Anhang D.4.2 beigefügt ist, durch zwei Codierende unabhängig voneinander codiert.

Das Kategoriensystem, als Ausschnitt abgebildet in Abbildung 65, unterteilt sich zum einen in den Obercode *Entscheidung* und zum anderen in die Obercodes *Begründung* und *keine Begründung*.

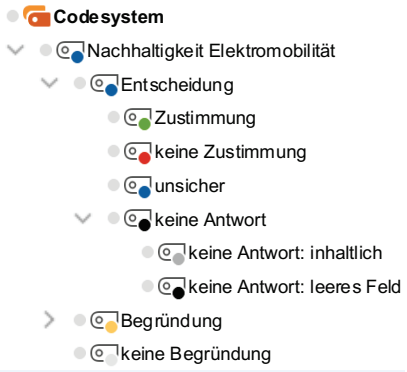


Abbildung 65: Ausschnitt Kategoriensystem.

Der Obercode *Entscheidung* unterteilt sich in die deduktiv festgelegten Subcodes *Zustimmung* und *keine Zustimmung* sowie die induktiv entwickelten Subcodes *unsicher* und *keine Antwort*, der sich weiter in *keine Antwort: inhaltlich* und *keine Antwort: leeres Feld* differenziert. Die jeweiligen Kategoriendefinitionen sind dem Codierleitfaden im Anhang D.4.2 zu entnehmen. Die Antworten werden dahingehend codiert, welche Entscheidung zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität sich aus den Antworten der Lernenden identifizieren lässt. Die Kategorie *Zustimmung* wird bei Aussagen codiert, die die Frage zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität mit *Zustimmung* beschreiben. Bei gegenteiligen Aussagen entsprechend die Kategorie *Keine Zustimmung*. Die Kategorie *unsicher* wird bei Aussagen codiert, die weder eine Zustimmung noch eine Ablehnung erkennen lassen und sich entsprechend durch Unsicherheit ausweisen (s. Codierleitfaden, Anhang D.4.2). Dadurch soll in einem ersten Schritt zur Strukturierung der Antworten eine Übersicht über die Verteilung der Entscheidungen generiert werden.

In einem zweiten Schritt wurden die Antworten hinsichtlich ihrer inhaltlichen Begründung codiert, um unter anderem Aussagen über die Komplexität der Antworten treffen zu können. Das Kategoriensystem wird als Ausschnitt in Abbildung 66 dargestellt und befindet sich vollständig in Anhang D.5.3.

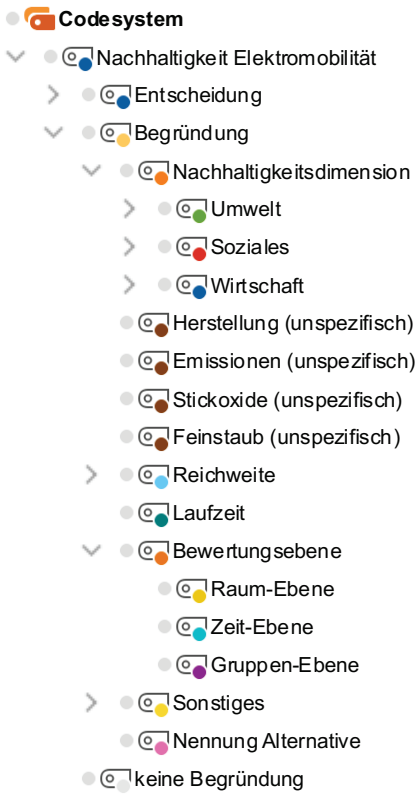


Abbildung 66: Ausschnitt Kategoriensystem.

Deduktiv wurden die Obercodes *Nachhaltigkeitsdimension* und *Bewertungsebene* festgelegt. Die drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* und die drei Bewertungsebenen *Raum-, Zeit- und Gruppen-Ebene* bilden entsprechend die zu codierenden Subcodes. Induktiv wurden neun Subcodes für *Umwelt*, fünf Subcodes für *Soziales* und vier Subcodes für *Wirtschaft* entwickelt. Vier Kategorien, die offen lassen, auf welche Dimension sich der Aspekt konkret bezieht, inhaltlich aber mehreren Dimensionen zugeordnet werden könnten, wie z. B. *Herstellung*, erhielten den Zusatz *unspezifisch*. Des Weiteren wurden die Kategorien *Reichweite* mit insgesamt drei Subcodes, *Laufzeit*, *Sonstiges* inklusive Subcodes sowie *Nennung Alternative* entwickelt. Enthält eine Antwort keine Begründung, wird sie entsprechend mit *keine Begründung* codiert.

6.5.4.2 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, wie die Lernenden die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention bewerten. Die Intercoder-Übereinstimmung liegt bei 97,76 %.
In Abbildung 67 wird zunächst die Verteilung der Kategorien in ihrer absoluten Häufigkeit dargestellt, die die jeweilige Entscheidung der Lernenden im Prä- und Post-Test vergleichen.

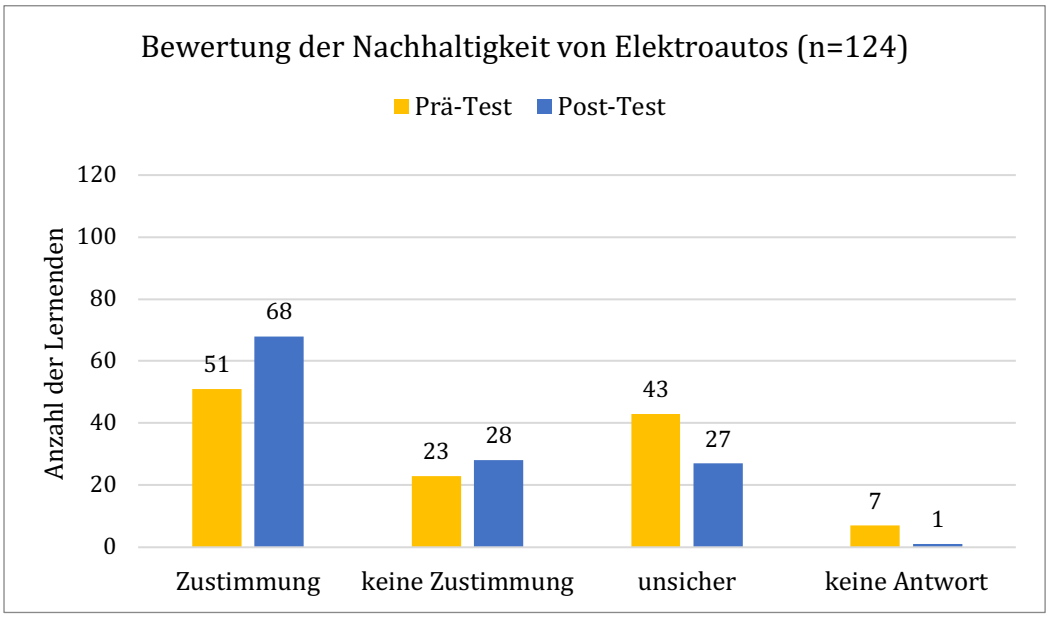


Abbildung 67: Verteilung der Kategorien in Angabe der absoluten Häufigkeit zur Bewertung der Lernenden in Bezug auf die Nachhaltigkeit von Elektromotoren im Vergleich zu Verbrennungsmotoren (n=124).

Im Prä-Test beschreiben 51 Lernende eine zustimmende Antwort auf die Frage, ob Elektromotoren nachhaltiger sind als Autos mit Verbrennungsmotoren. Eine ablehnende Antwort wird von 23 Lernenden beschrieben. Insgesamt 43 Lernende lassen eine eindeutige Positionierung offen und erhalten für ihre Antwort die Kategorie *unsicher*. Bei sieben Lernenden findet sich keine Antwort, davon vier, weil keine inhaltliche Aussage zur Fragestellung formuliert wurde und bei drei Lernenden fehlt die Formulierung einer Antwort gänzlich.
Im Post-Test werden die Antworten von 68 Lernenden mit der Kategorie *Zustimmung* codiert und von 28 Lernenden mit der Kategorie *keine Zustimmung*. Die zustimmenden Antworten haben im Vergleich zum Prä-Test um 25 % zugenommen. Die ablehnenden Antworten haben sich um fünf Antworten (18 %) erhöht. Die Kategorie *unsicher* wurde mit 27 Codierungen um 37 % weniger vergeben als im Prä-Test. Nur ein Post-Test enthielt keine Antwort.
Über die Auswertung der Dokumentenvergleichsdiagramme, die dem Anhang D.5.4 beigefügt sind, ergibt sich bei insgesamt 54 Lernenden eine Veränderung der Entscheidung im Vergleich zum Prä-Test. Die genaue Verteilung der Veränderungen vom Prä- zum Post-Test der Einzelergebnisse wird in Tabelle 34 dargestellt:

Tabelle 34: Veränderungen der Entscheidung von Prä- zu Post-Test.

zu / von	Zustimmung	keine Zustimmung	unsicher	keine Antwort	**gesamt**
unsicher	21	8			**29**
Zustimmung		1	7	1	**9**
Keine Zustimmung	5		4		**11**
keine Antwort	1	4	2		**7**
Gesamt					**54**

Es soll darüber hinaus untersucht werden, inwiefern sich die Bewertungskriterien innerhalb der Antworten vor und nach der Intervention wiederfinden lassen und inwiefern darüber hinaus eine Steigerung der Komplexität der Antworten festgestellt werden kann. In Abbildung 68 wird das Vorkommen von Argumenten, die sich den Bewertungsebenen zuordnen lassen, in ihrer absoluten Häufigkeit im Prä- und Post-Vergleich graphisch dargestellt:

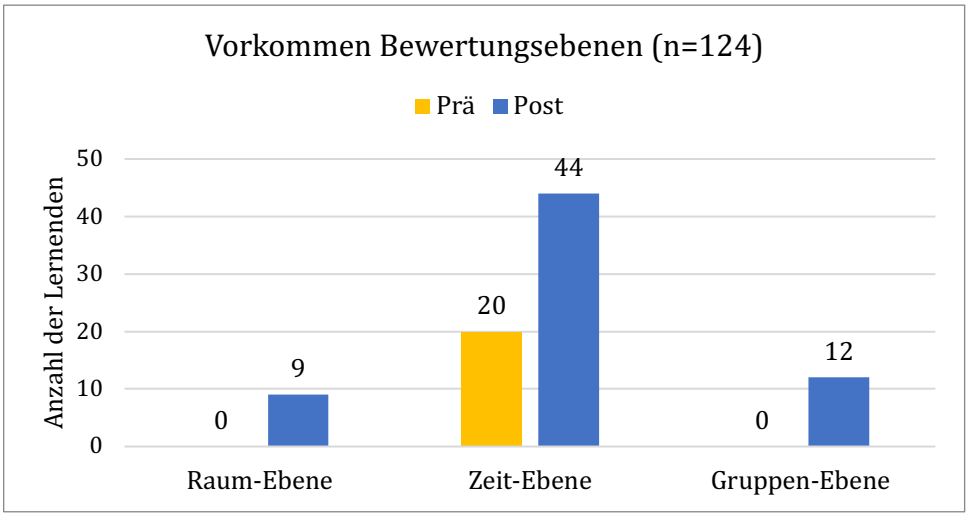


Abbildung 68: Vorkommen der Kategorien der Bewertungsebenen im Prä-Post-Vergleich (n=124).

Im Prä-Test kann nur das Vorkommen der *zeitlichen* Ebene identifiziert werden, die *räumliche* Ebene und die *Gruppen-Ebene* werden nicht berücksichtigt. Insgesamt 20 Lernende nennen in ihrer Antwort eine *zeitliche* Perspektive. Im Post-Test lassen sich dagegen alle drei Bewertungsebenen identifizieren: Neun Lernende beschreiben die *Raum-Ebene*, 44 Lernende, also mehr als die Hälfte, nennen die *Zeit-Ebene* und 12 Lernende berücksichtigen auch Argumente der *Gruppen-Ebene*. Das Vorkommen der Zeit-Ebene im Prä-Test stimmt dabei mit den Ergebnissen aus Abbildung 58, zur Frage des Nachhaltigkeitsverständnisses, überein.

Tabelle 35 gibt einen Überblick, inwiefern das gleichzeitige Vorkommen der Kategorien *Raum-Ebene*, *Zeit-Ebene* und *Gruppen-Ebene* codiert wurde. In 75 Antworten findet sich keine Kategorie, die einer Bewertungsebenen zugeordnet werden kann. 32 Lernende benennen in ihrer Antwort eine *zeitliche* Ebene. Zwei Lernende beziehen nur die *räumliche* Ebene und zwei Lernende nur die *Gruppen-Ebene* mit ein. Sechs Lernende nennen die

Zeit- und *Gruppen-Ebene*, drei Lernende nennen die *Raum- und Zeit-Ebene* und einmal findet sich die Kombination der Kategorien *Raum-Ebene* und *Gruppen-Ebene*. Somit findet sich bei neun Lernenden eine Kombination von zwei Bewertungsebenen. Insgesamt bei drei Lernenden ist die Berücksichtigung aller drei Bewertungsebenen erkennbar.

Tabelle 35: Tabellarische Darstellung der Anzahl und vorkommenden Kombinationen der codierten Kategorien Raum-Ebene, Zeit-Ebene und Gruppen-Ebene.

Raum-Ebene	Zeit-Ebene	Gruppen-Ebene	Dokumente	Prozent	Anzahl Codes
			75	61 %	0
	x		32	26 %	1
x			2	2 %	1
		x	2	2 %	1
	x	x	6	5 %	2
x	x		3	3 %	2
x		x	1	1 %	2
x	x	x	3	2 %	3
			124	100,00	12

Neben der graphischen und tabellarischen Darstellung der Ergebnisse, wird in Tabelle 36 eine Auswahl an besonders reflektierten Antworten von Lernenden aus dem Post-Test dargelegt.

Tabelle 36: Reflektierte Aussagen von Lernenden im Post-Test

Beispiel 1	„Ich finde, dass wir noch nicht genau beurteilen können, ob das Einsetzen von Elektromotoren sinnvoll ist, denn wir haben uns bis jetzt nur mit einem Kriterium beschäftigt und noch viele Fragen sind offen. Man müsste sich nur noch mehr damit auseinandersetzen.“ (9.3\RS06A: 4)
Beispiel 2	„Ich finde es immernoch schwierig eine Entscheidung zu treffen. Thema Feinstaub aber auch die anderen Sachen sprechen mehr für Elektroautos, aber es gibt auch viele Aspekte die wir noch nicht zu genau wissen und die wir uns nicht angucken. Aber ich gehe wohl eher richtung Elekro.“ (9.1\YY03C: 4)
Beispiel 3	„im Bezug auf die Umwelt ja, weil sie weniger CO_2 verursachen und somit besser sind. Im Bezug auf Wirtschaft, Soziales etc. weiß ich diesbezüglich nicht genug, könnte mir aber gut vorstellen, dass es auch Nachteile gibt und das müsste auch mit einbezogen und abgewägt werden.“ (9.4\RN05R: 4)
Beispiel 4	„Wenn man sich die Faktoren anschaut welche wir behandelt haben dann ja, aber ich glaube das wir uns noch mehr dazu hätten anschauen sollen und dann wurde ich sagen das es immer auf die Persönliche Nutzung des Autos ankommt.“ (9.2\AA15V: 4)
Beispiel 5	„Ich denke man kann keine richtige Antwort darauf geben, denn einerseits würde ein Elektromotor langfristig, global bei vielen Gruppen einen Nutzen haben, jedoch ist es auch für manche Gruppen gesundheitsschädlich und tötet teilweise auch Pflanzen. Außerdem werden in den Motoren auch Stoffe benutzt, die wertvoll sind und die Herstellung ist sehr aufwenidg und schädlich.“ (9.1\AU26C: 4)

Beispiel 6	„Ich denke schon, da die Elektromotoren vorallem in dem Bereich Umwelt ein großer Nutzen sind und unter anderem viel CO2 gespart wird. Jedoch Gibt es auch noch Negative Aspekte und kurzfristige Schäden bzw. Schäden für einzelen Gruppen.“ (9.1\RH18E: 4)
Beispiel 7	„Ja, da es insgesamt mehr Nutzen als Schaden durch Autos mit Verbrennungsmotoren gibt. Zwar gäbe es für kleinere Gruppen und kurzfristig Schäden, langfristig könnte dies aber noch geklärt werden. Hinzu kommt auch, dass Elektromotoren schonmal weniger Schaden als Verbrennungsmotoren machen (richtiger Schritt in die Richtung)“ (9.1\TM01E: 4)
Beispiel 8	„Ich persönlich finde es schon sinnvoll, da man vorallem an dem Ergebnis gesehen hat, dass zwar manche Argumente dagegensprechen, jedoch gibt es überwiegend viele Argumente dafür.“ (9.2\AN30A: 4)
Beispiel 9	„Ja, ich finde es sinnvoll Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren zu ersetzen, da es keine CO_2 Emissionen beim Nutzen gibt. Allerdings wäre der Feinstaub eine Problematik, die aber auch bei Verbrennungsmotoren auftritt. Als Fazit kann man sagen, dass es mehr Vorteile als Nachteile von Elektromotoren gibt.“ (9.2\RB26O: 4)

In den ersten vier Antwortbeispielen benennen die Lernenden konkret, dass ihnen für ihre Entscheidung noch Informationen fehlen und dass sie sich bewusst sind, dass die Erarbeitung in der Unterrichtseinheit nur einzelne Aspekte, je nach Erprobung auch nur einen Aspekt, fokussiert hat. Es ist ein Bewusstsein dafür erkennbar, dass Informationen nicht immer vollständig vorliegen, aber auch, dass Entscheidungen deshalb nicht immer absolut sind und sich zeitweise nur auf Grundlage bestimmter Informationen treffen lassen. Darüber hinaus erkennt die Schülerin in Beispiel vier, dass es sich letztlich auch um eine individuelle Entscheidung handelt, da das persönliche Nutzungsverhalten berücksichtigt werden muss. Insbesondere Beispiel drei zeichnet sich durch eine mehrdimensionale Betrachtung aus, es werden alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen konkret benannt und beschrieben, welche Aussagen zu den Dimensionen möglich sind: Für die Umwelt wurden Informationen aufbereitet, die auf eine positive Bewertung hindeuten. Es wird jedoch die Erkenntnis beschrieben, dass für die beiden anderen Nachhaltigkeitsdimensionen kein Wissen vorhanden ist und daher auch Nachteile vermutet werden. Es wird richtig beschrieben, dass die Berücksichtigung aller Dimensionen wichtig ist und die Entscheidung am Ende kompensatorisch erfolgen sollte.
Beispiel fünf berücksichtigt insgesamt alle drei Bewertungsebenen und beschreibt einen Nutzen für die äußeren Felder der Bewertungsscheibe, aber auch einen Schaden in den kleineren Feldern und in verschiedenen Dimensionen. In dieser Beispielaussage finden sich mehrere konkrete Argumente, die sich auf verschiedene Aspekte der Elektromobilität beziehen. Hier wird deutlich, dass die Antwort kriteriengeleitet formuliert und durch die zuvor ausgefüllte Bewertungsscheibe unterstützt wird.
Auch die Beispiele sechs bis neun zeichnen sich durch eine Bewertung auf verschiedenen Ebenen und in verschiedenen Dimensionen aus. Insbesondere das Beispiel acht bezieht

sich direkt auf das Ergebnis der Bewertungsscheibe, aber auch die anderen Antworten weisen auf eine Unterstützung der Antwort durch die Bewertungsscheibe hin.

Die Nutzung der Bewertungsscheibe zeigt an den ausgewählten Beispielen unter anderem die Befähigung zu einer kriteriengeleitet Reflexion, teilweise unter Berücksichtigung mehrerer Nachhaltigkeitsdimension und Aspekten von Elektromobilität, sowie eine kompensatorische Vorgehensweise.

6.5.4.3 Diskussion

3.4 In welcher Weise bewerten Lernende die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention?

In Abbildung 67 wurde graphisch dargestellt, welche Entscheidung die Lernenden vor und nach der Intervention in Bezug auf die Frage der Nachhaltigkeit von Elektromobilität in ihren Antworten beschreiben. Dabei kann wie Tabelle 34 zeigt, insgesamt bei 54 Lernenden eine Änderung im Vergleich zum Prä- und Post-Test festgestellt werden. Der größte Anteil der veränderten Entscheidungen entfällt auf die Kategorie *unsicher*. Positiv zu vermerken ist, dass von den sieben Lernenden, die vor der Intervention keine Antwort formuliert haben, alle im Post-Test eine Antwort formulieren und nur noch eine offene Antwort im Post-Test festgestellt werden kann.
Die deskriptive Darstellung der Entscheidungen zeigt vor allem, dass die Durchführung der Intervention bei einem Teil der Lernenden zu einer Änderung ihrer Entscheidung geführt hat. Um die Forschungsfrage in Hinblick auf das Ziel der Unterrichtseinheit bzw. des Einsatzes der Bewertungsscheibe zu beantworten, Lernende zu einer kriteriengeleiteten Bewertung von Fragen nachhaltiger Entwicklung zu befähigen und deren Reflexion zu unterstützen, muss der Inhalt der Argumente in den Antworten untersucht werden:
Die Darstellung der Ergebnisse zeigt, dass vor der Intervention nur die Bewertungsebene *Zeit* in den Antworten der Lernenden berücksichtigt wurde. Insgesamt wurde in 16 % der Antworten im Prä-Test eine *zeitliche* Perspektive kodiert. Nach der Durchführung der Unterrichtseinheit können im Post-Test alle drei Bewertungsebenen identifiziert werden. Der Anteil der *Zeit-Ebene* verdoppelt sich auf 36 % und liegt damit deutlich über dem Anteil der *Raum*- und *Gruppen-Ebene* mit 7 % bzw. 10 % (s. Abbildung 68). Insgesamt findet sich bei 49 Lernenden die Nennung einer der Bewertungsebenen in unterschiedlicher Komplexität, die genaue Verteilung ist in Tabelle 35 dargestellt.
Es lässt sich zusammenfassen, dass ein zunehmender Anteil codierter Bewertungsebenen darauf hinweist, dass die Lernenden ihre Antworten zum Teil unter Berücksichtigung der erlernten Bewertungskriterien formuliert haben. Diese Erkenntnis lässt sich somit in Bezug auf das formulierte Ziel des Unterrichtskonzepts, kriteriengeleitetes Bewerten zu unterstützen, positiv hervorheben.

Diese Erkenntnis wird durch die Hinzunahme ausgewählter Antworten von Lernenden, die in Tabelle 36 aufgeführt werden, gestärkt. Anhand der exemplarischen Antworten kann ein zum Teil sehr elaboriertes und reflektiertes Antwortverhalten charakterisiert werden. Unter anderem erkennen die Lernenden, dass ihre Bewertung nur auf ausgewählten Informationen basieren kann, bzw. dass dies eine Entscheidung für sie erschwert. Weiterhin kann herausgestellt werden, dass das Ergebnis der Bewertungsscheibe in die Antwort einfließt, indem sowohl Vor- als auch Nachteile, z. B. durch explizite Nennung der Markierung, genannt werden und somit ein kompensatorisches Entscheidungsverhalten (s. Kapitel 3.2.3) erkennbar wird. Die Antworten deuten auch darauf hin, dass die Lernenden erkennen, dass eine mehrdimensionale Perspektive angestrebt werden sollte, diese aber unter Umständen nur begrenzt möglich ist. Es ist jedoch wichtig, dass gerade dieses Ziel erkannt wird, da, wie beschrieben, je nach Thema und zur Verfügung stehenden Informationen auch keine vollständige Einordnung möglich ist. Die Bewertungsscheibe soll vor allem durch ihre Visualisierung transparent machen, welche Dimensionen und Kriterien bei einer Entscheidung und Auseinandersetzung mit Fragen nachhaltiger Entwicklung berücksichtig werden sollten.

Weitere Ergebnisse

Im Rahmen der Haupterprobung wurden die Lernenden im Post-Test zusätzlich anhand der in Kapitel 6.5.2 beschriebenen fünf geschlossenen Items zur Bewertung der Unterrichtseinheit sowie zu ihrem Interesse befragt. Den Antworten der Skala wurde zur Auswertung jeweils ein Zahlenwert zugeordnet: *trifft nicht zu* = 1, *trifft eher nicht zu* = 2, *teils-teils* = 3, *trifft eher zu* = 4, *trifft voll zu* =5. Dadurch konnte eine Mittelwertbestimmung der erhobenen Daten durchgeführt werden, die in Abbildung 69 dargestellt wird:

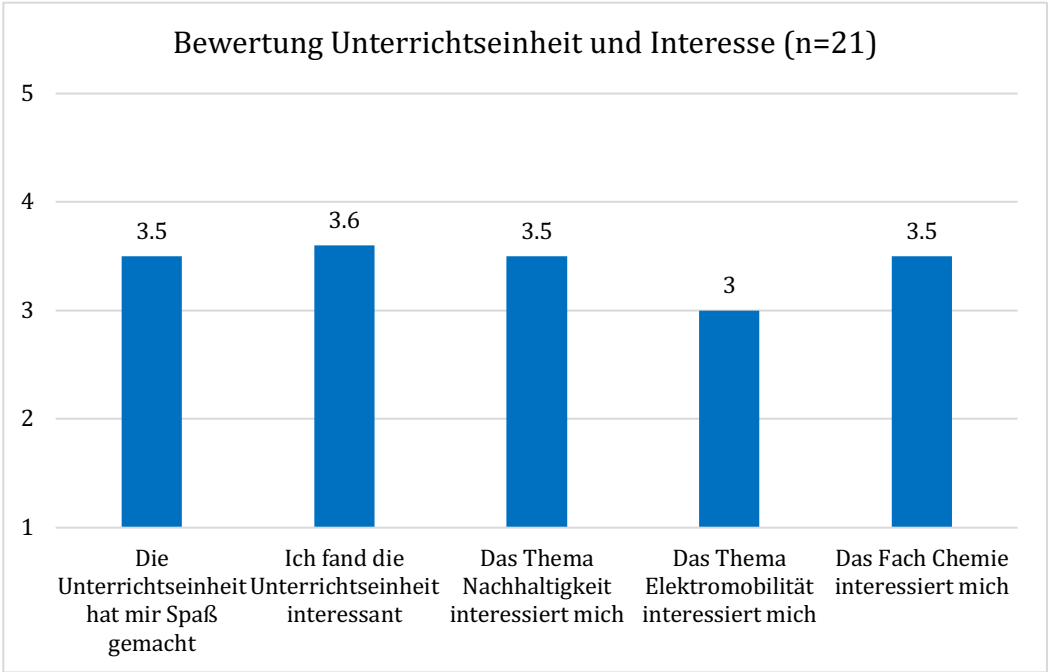


Abbildung 69: Bewertung der Unterrichtseinheit

Der Post-Test wurde von allen Lernenden, die am Erprobungstag anwesend waren, ausgefüllt (n=22). Ein Schüler hat die geschlossenen Items des Post-Tests nicht beantwortet, so dass sich die Darstellung auf n=21 bezieht.
Für die Aussage „Die Unterrichtseinheit hat mir Spaß gemacht“ wurde ein Mittelwert von 3,5 erhoben. Dass die Unterrichtseinheit interessant war, bewerteten die Lernenden mit einem Mittelwert von 3,6. Mit einem Mittelwert von 3,5 gaben die Lernenden an, dass sie das Thema Nachhaltigkeit interessiert und mit einem Mittelwert von 3, dass sie das Thema Elektromobilität interessiert. Für die allgemeine Aussage zum Interesse am Fach Chemie wurde ein Mittelwert von 3,5 ermittelt.

Abschließend wurden die Lernenden um ein offenes Feedback zum Erprobungstag gebeten. Positiv hervorgehoben wurden die Rahmenbedingungen des Tages (19 Nennungen), unter anderem der zeitliche Rahmen der einzelnen Phasen, die freundliche Atmosphäre durch die betreuende Lehrkraft sowie die Ausstattung und Verpflegung wurden aufgelistet. In Bezug auf die inhaltliche Gestaltung der Unterrichtseinheit wurden der Einsatz von Gruppenarbeit (6 Nennungen), die Aufgaben, bei denen unter anderem experimentiert werden konnte (5 Nennungen) sowie das Thema des Tages - Elektromobilität - (4 Nennungen) positiv erwähnt. Dem stehen nur wenige negative Aspekte gegenüber: Zwei Lernende empfanden die Zeit als zu lang und fünf Lernende beschrieben, dass ihnen die Aufgaben nicht gefallen haben. Der Rest wird durch fehlende Antworten und sonstige Antworten abgedeckt.

6.5.5 Fazit Mesozyklus 3

Für den dritten Mesozyklus wurde folgende Fragestellung formuliert:

FF 3: Inwieweit kann nach der Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit eine Erreichung der Ziele des Unterrichtskonzepts beschrieben und identifiziert werden?

Zur Beantwortung der FF 3.1 wurden zunächst der Ablauf der vorangegangen Unterrichtsphasen dargelegt (s. Kapitel 6.5.1.1; 6.5.1.2) und anschließend der Fokus auf den Verlauf der Plenumsphase gelegt (s. Kapitel 6.5.1.3). Auszüge aus der Diskussion und Reflexion der Plenumsphase in den Erprobungen wurden vorgestellt und durch die Ergebnisse der im Plenum zusammengetragenen Bewertungsscheiben ergänzt. Es konnte herausgestellt werden, dass die Lernenden erarbeitete Informationen aus den Lernmaterialien in die Bewertungsscheibe einordnen und angemessen begründen können (FF 3.1.1). Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die Bewertungsscheibe auch bereits vorhandenes Wissen aktiviert, was sich daran zeigte, dass auch Informationen, die nicht aus den

zur Verfügung gestellten Lernmaterialien entnommen werden konnten, mit Hilfe der Bewertungsscheibe eingeordnet wurden (FF 3.1.2). In der abschließenden Reflexion zeigen die Lernenden zum Teil eine kriteriengeleitete Vorgehensweise unter Einbezug der ausgefüllten Bewertungsscheiben und nennen sowohl positive als auch negative Effekte (FF 3.1.3).

Die Auswertung des Prä-Post-Tests konnte zeigen, dass die Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit zur Elektromobilität bei der Mehrheit der teilnehmenden Lernenden zu einem erweiterten und komplexeren Verständnis von Nachhaltigkeit geführt hat (FF 3.2). Die Entscheidung bezüglich der Nachhaltigkeit von Elektroautos hat sich nach der Intervention verändert. Diesbezüglich konnte durch die inhaltsanalytische Auswertung der Antworten im Post-Test gezeigt werden, dass nach der Intervention eine Zunahme von Antworten zu verzeichnen ist, die unter Berücksichtigung der erlernten Bewertungskriterien formuliert wurden (FF 3.4).

6.6 Mesozyklus 4: Lehrkräfteworkshop

Zum Abschluss des Design-Experiments erfolgt in einem letzten vierten Mesozyklus die Evaluation eines Workshops mit Chemielehrkräften. Im Rahmen des Workshops wurde das Unterrichtskonzept nachhaltig:bewerten und das methodische Instrument der Bewertungsscheibe vorgestellt. Die teilnehmenden Lehrkräfte führten innerhalb des Workshops ausgewählte Materialien zu Elektromobilität durch (s. Kapitel 6.6.1).
Am Ende des Workshops wurde über einen Fragebogen (s. Kapitel 6.6.2) eine Evaluation der Lehrkräfte eingeholt. Die Ergebnisse der Fragebogenerhebung (s. Kapitel 6.6.4) werden zur Beantwortung folgender Forschungsfrage herangezogen und in Kapitel 6.6.5 diskutiert:

FF 4: Wie evaluieren Chemielehrkräfte das Unterrichtskonzept „nachhaltig : bewerten" im Rahmen eines Workshops?

Die Fragestellung wird durch folgende Sub-Forschungsfragen strukturiert:

FF 4.1: Welches Wissen und welche Erfahrungen haben Chemielehrkräfte mit Unterrichtseinheiten zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit?

FF 4.2: Wie evaluieren Chemielehrkräfte den Einsatz der Bewertungsscheibe?

FF 4.:3 Wie evaluieren Lehrkräfte die entwickelten Materialien zum Kontext Elektromobilität?

Ziel des Workshops war es, dass entwickelte Unterrichtskonzept und Beispielmaterialien in der Praxis tätigen Chemielehrkräften vorzustellen und damit eine erste Transfermöglichkeit zu generieren. Alle teilnehmenden Chemielehrkräfte sind als Ausbildungsbeauftragte für angehende Chemielehrkräfte tätig, so dass hier eine besonders wertvolle Möglichkeit besteht, dass jene das Unterrichtskonzept als Multiplikator:innen verbreiten. Gleichzeitig wird durch den Einsatz einer Evaluation ein Feedback von den praktizierenden Lehrkräften an die Forschenden generiert, das im Sinne des Design-Based Research (siehe Kapitel 4.2) eine hilfreiche Begleitung und Unterstützung für mögliche Anpassungen darstellt und Erkenntnisse für einen fortlaufenden iterativen Prozess liefern kann (Wilhelm & Hopf, 2014).

6.6.1 Inhalt und Durchführung des Workshops

Der Workshop fand im Mai 2023 mit 22 Chemielehrkräften, die in der Ausbildung von angehenden Chemielehrkräften tätig sind, statt. Die Durchführung des Workshops dauerte inklusive einer kurzen Pause ca. zwei Stunden. Inhalt war die Vorstellung des Unterrichtskonzeptes nachhaltig:bewerten und die Durchführung ausgewählter Materialien zur exemplarisch entwickelten Unterrichtseinheit zur Elektromobilität. Jeder Lehrkraft wurde zu Beginn eine Materialmappe ausgehändigt. Der Inhalt der Materialmappe gestaltete sich wie folgt:

1. **Materialien zum Unterrichtskonzept (allgemein)**
    a. Bewertungsscheibe
    b. Definitionskarten: Nachhaltigkeitsdimensionen
    c. Definitionskarten: Bewertungsebenen
2. **Beispielmaterialien zum Thema Elektromobilität**
    a. Verlaufsplan „Wie nachhaltig ist Elektromobilität?“
    b. Kohlenstoffdioxid
    c. Stickoxide
    d. Feinstaub
    e. Rohstoffe
    f. Lärm
    g. Reichweite
    h. Kosten
    i. Arbeitsmarkt
    j. Moderationskarten
    k. Zusammenfassung
3. **Literatur**

Die Musterlösungen zu den einzelnen Aspekten sowie ein Erwartungshorizont zur Bewertung der Informationen wurden darüber hinaus zusätzlich digital zur Verfügung gestellt. Der Erwartungshorizont erhält den Hinweis, dass jeweils eine mögliche antizipierte Bewertungsscheibe vorgestellt wird und sich die markierten Felder und Beispielargumente nur auf die Informationen aus den Materialien beziehen. Andere Zuordnungen sind je nach Vorwissen oder möglichen Interpretationen der erhaltenen Informationen möglich. Es wird darauf hingewiesen, dass nicht zwischen richtigen und falschen Bewertungen unterschieden werden soll. Die formulierten Ergebnisse sind als am ehesten aus dem Material ableitbar und zu erwarten anzusehen.

Zu Beginn wurde das Unterrichtskonzept zunächst allgemein vorgestellt. Dazu wurde ausgehend von der Definition des Leitbildes (s. Kapitel 1.2) sowie der Beschreibung der 17 Nachhaltigkeitsziele (s. Kapitel 1.3.1) die Idee des Konzeptes vorgestellt.

Es wurde eine kurze Einordnung in die curricularen Vorgaben vorgenommen und die Anknüpfungspunkte an das Konzept Bildung für nachhaltige Entwicklung aufgezeigt. Am Beispiel der entwickelten Definitionskarten (s. Kapitel 6.3) wurden die Dimensionen der Nachhaltigkeit beschrieben und die Bewertungsebenen anschaulich erläutert. Anhand eines Beispiels zum Bau einer Windkraftanlage wurde die Bewertungsscheibe eingeführt und anhand von Beispielargumenten exemplarisch ausgefüllt.
Um den Lehrkräften den Einsatz der Bewertungsscheibe möglichst praxisnah zu veranschaulichen, wurde der Ablauf des Workshops teilweise an die bereits durchgeführten Erprobungen angelehnt. Daher erfolgte der Einstieg in das Thema Elektromobilität analog zur Haupterprobung ebenfalls über den Einsatz von Menti-Meter und die Frage, welchen Assoziationen die Lehrkräfte zur Elektromobilität haben. Anschließend wurde die Leitfrage („Sind Elektroautos im Vergleich zu Verbrennungsmotoren nachhaltiger?“) und die entwickelten Materialien der Unterrichtseinheit vorgestellt.
In einer Arbeitsphase erhielten die Lehrkräfte die Möglichkeit, ausgewählte Materialien aus der Perspektive der Lernenden zu bearbeiten. Die eine Hälfte der Lehrkräfte beschäftigte sich mit den Aspekten *Kohlenstoffdioxid* und *Arbeitsplätze*, die andere Hälfte mit den Aspekten *Stickoxide* und *Lärm*. Dazu erhielten sie für die Versuche bereits vorbereitete Experimentierkästen. Die Auswahl sollte den Lehrkräften zwei für den Chemieunterricht gut einsetzbare Aspekte mit einem Experiment zeigen und zwei Aspekte, die nicht chemiespezifisch sind, aber in ihrer Summe alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen berühren. Der anschließende Einsatz der Bewertungsscheibe erfolgte in der haptischen Variante (A3-Ausdruck Bewertungsscheibe und laminierte Punkte) und sollte zu einer offenen Diskussion führen. Zur Sammlung von Argumenten wurden rote und grüne Moderationskarten verteilt. In der Arbeitsphase wurden die Lehrkräfte gebeten, sich jeweils zu zweit mit den Materialien zu beschäftigen und miteinander zu diskutieren. Während des Workshops wurden immer wieder Hinweise zu möglichen Umsetzungen im Unterricht gegeben und auf verschiedene Variationsmöglichkeiten eingegangen.
Am Ende der Arbeitsphase wurden exemplarisch zwei Bewertungsscheiben vorgestellt. Anhand derer konnte verdeutlicht werden, dass die Bewertung je nach Aspekt, aber auch je nach individueller Einschätzung, unterschiedlich ausfallen kann und dies als Diskussionsgrundlage dienen soll. Auf Wunsch der Lehrkräfte wurde die Diskussion der Ergebnisse gleichzeitig bereits als offene Feedbackrunde zum Konzept genutzt und es fand ein konstruktiver Austausch zwischen den Lehrkräften und den Referentinnen statt. Zum Abschluss erhielten die Lehrkräfte ein Poster der Bewertungsscheibe.

Die Durchführung des Fragebogens erfolgte am Ende des Workshops und beanspruchte ca. 15 Minuten Zeit. Die Konstruktion des Erhebungsinstrument wird im folgenden Kapitel vorgestellt.

6.6.2. Erhebungsinstrument

Der Fragebogen besteht aus insgesamt 25 Items: 17 geschlossene Items, 5 halboffene Items und 3 offene Items. Er gliedert sich in einen allgemeinen Teil zu Kenntnissen zur Bewertung von Nachhaltigkeit im Unterricht, Fragen zum methodischen Instrument der Bewertungsscheibe sowie Fragen zum Materialbeispiel Elektromobilität. Abschließend erhielten die Lehrkräfte die Möglichkeit, ein offenes Feedback zu geben. Der vollständige Fragebogen befindet sich im Anhang E.

Im allgemeinen Teil wird das Wissen der Lehrkräfte zu Unterrichtseinheiten zur Bewertung im Nachhaltigkeitskontext (Item 1) sowie Erfahrungen mit bereits durchgeführten Unterrichtseinheiten (Item 2) erhoben. Dabei wird nach der Thematisierung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen (2.1) sowie der Aspekte Globalität, Langfristigkeit und Betroffenheit verschiedener Gruppen (2.2) gefragt.
Die Items 3.1 bis 3.4 erheben Einschätzungen zur Anwendbarkeit der Bewertungsscheibe anhand einer vierstufigen Skala von "trifft vollständig zu" bis "trifft nicht zu". In Abbildung 70 sind die einzelnen Items dargestellt:

Die Bewertungsscheibe

		trifft vollständig zu	trifft überwiegend zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
3.1	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe anhand des Themas Elektromobilität einzusetzen	☐	☐	☐	☐
3.2	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe auf andere Nachhaltigkeitsthemen zu übertragen.	☐	☐	☐	☐
z.B. auf das Thema:					
3.3	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe anhand von Zeitungsartikeln, Social-Media-Einträgen etc. einzusetzen.	☐	☐	☐	☐
3.4	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe in meinem zweiten Unterrichtsfach einzusetzen. Fach:	☐	☐	☐	☐

Abbildung 70: Ausschnitt des Fragebogens der Items 3.1 bis 3.4 zum Einsatz der Bewertungsscheibe.

Zusätzlich wird erhoben, für welche Klassenstufe die Methode als geeignet angesehen wird (Item 3.5) und wie die Komplexität eingeschätzt wird (Item 3.6). Die Einschätzung der Komplexität erfolgt auf einer fünfstufigen Skala von „sehr hoch“ bis „sehr niedrig“. In

Item 3.7 wird erfragt, in welcher Variante die Bewertungsscheibe eingesetzt werden würde (analog, digital, beides) und in Item 3.8, inwieweit die Lehrkräfte die Bewertungsscheibe als Poster im Fachraum aushängen würden.
Die Items 4.1 bis 4.3 (s. Abbildung 71) erheben ebenfalls auf einer vierstufigen Skala von "trifft vollständig zu" bis "trifft nicht zu", wie die Lehrkräfte das vorgestellte Beispielmaterial bewerten.

Material: Elektromobilität

		trifft vollständig zu	trifft überwiegend zu	trifft teilweise zu	trifft nicht zu
4.1	Das Material ist **inhaltlich** angemessen aufbereitet.				
4.2	Das Material ist angemessen **gestaltet**.				
4.3	Der **Umfang** des Materials kann individuell angepasst werden.				

Abbildung 71: Ausschnitt des Fragebogens der Items 4.1-4.3 zum Material zur Elektromobilität.

Nach der Eignung des Originalmaterials und seiner möglichen Anpassung wird in 3 weiteren Items gefragt (Item 5-7). Abschließend werden anhand zweier offener Items noch Rückmeldungen (Item 8) sowie Verbesserungsvorschläge (Item 9) eingeholt.

6.6.3 Auswertung

Von den 22 teilnehmenden Lehrkräften haben insgesamt 20 den Fragebogen ausgefüllt und abgegeben. Die Ergebnisse beziehen sich somit auf eine Stichprobe von n=20. Die schriftlichen Antworten wurden digitalisiert und zur Auswertung in das Programm *Excel 2019* eingetragen. Zur Auswertung der eingesetzten ratingskalierten geschlossenen Items wurden die Skalen-Werte in numerische Werte übersetzt. Für die niedrigste Einschätzung wurde eine Eins vergeben („*trifft nicht zu*“; „*sehr niedrig*“) und für die höchste entsprechend eine Vier bzw. Fünf („*trifft vollständig zu*“; „*sehr hoch*“). Aus diesen Werten erfolgte die Bestimmung der Mittelwerte.
Weiterhin wurden die Daten der halboffenen und offenen Items zur Auswertung in *MAXQDA22* eingepflegt und inhaltlich-strukturierend anhand induktiver Kategorienbildung ausgewertet (s. Kapitel 6.2.3.3).
Im folgenden Kapitel 6.6.4 werden die Ergebnisse des Fragebogens dargestellt.

6.6.4 Ergebnisse

Von den 20 Lehrkräften, die alle in Baden-Württemberg unterrichten, gaben 18 an, an einer Realschule und zwei an einer Gemeinschaftsschule zu unterrichten. Letztere bietet sowohl den Realschul- als auch den Hauptschulabschluss an. Allen gemeinsam ist, dass sie in der Sekundarstufe I unterrichten.
Auf die Frage, ob bereits Unterrichtseinheiten zur Bewertung von Nachhaltigkeit bekannt sind, antworteten fünf Lehrer mit ja und 15 mit nein, was einem Anteil von 75 % der anwesenden Lehrer entspricht. Folgende bekannte Methoden bzw. Unterrichtsideen und Elemente wurden von den fünf Lehrkräften genannt: Rollenspiele, ökologischer Fußabdruck und Pro- und Contra-Argumentationen (zwei Nennungen) sowie Mystery, Concept-Maps, Einsatz des Projekts „debunk“ (Online-Tool) und bereitgestellte Materialien zu Fairem Handel (jeweils eine Nennung).

Auf die Frage, ob die Lehrkräfte bereits Unterrichtseinheiten zur Bewertung von Nachhaltigkeit durchgeführt haben, antworteten neun mit Ja (45 %), zehn mit Nein (50 %) und eine Lehrkraft (5 %) enthielt sich. Zum ergänzenden Item in welcher Art und Weise eine Umsetzung stattgefunden hat, wurden folgende Antworten gegeben: Insgesamt wurden 17 verschiedene Nachhaltigkeitsthemen genannt. Die Themen Energie und Wasser wurden von drei Lehrkräften genannt. Jeweils zwei Lehrkräfte nannten Lithiumabbau und Abfall. Eine Lehrkraft ergänzte, dass der Lithiumabbau anhand von zwei Videos und kontroversen Argumenten diskutiert wurde. Jeweils einmal wurden genannt: Rohstoffe, Fairer Handel, Ökologischer Fußabdruck, Wertstoffe, Massentourismus durch die Methode Rollenspiel, Plastik im Meer, Globalisierung mit einem Mystery, Treibhauseffekt, Pro und Contra Argumente von Kunststoffen, Recycling, Luftverschmutzung, Pro und Contra bestimmter Klimaziele und Biodiversität anhand der Skizzierung eines Nahrungsnetzes.
Zusätzlich wurden durch zwei geschlossene Items (2.1; 2.2) erfragt, welche Nachhaltigkeitsdimensionen und Aspekte dabei bereits thematisiert worden sind. Die Antworten beider Items werden in Abbildung 72 graphisch zusammengefasst.

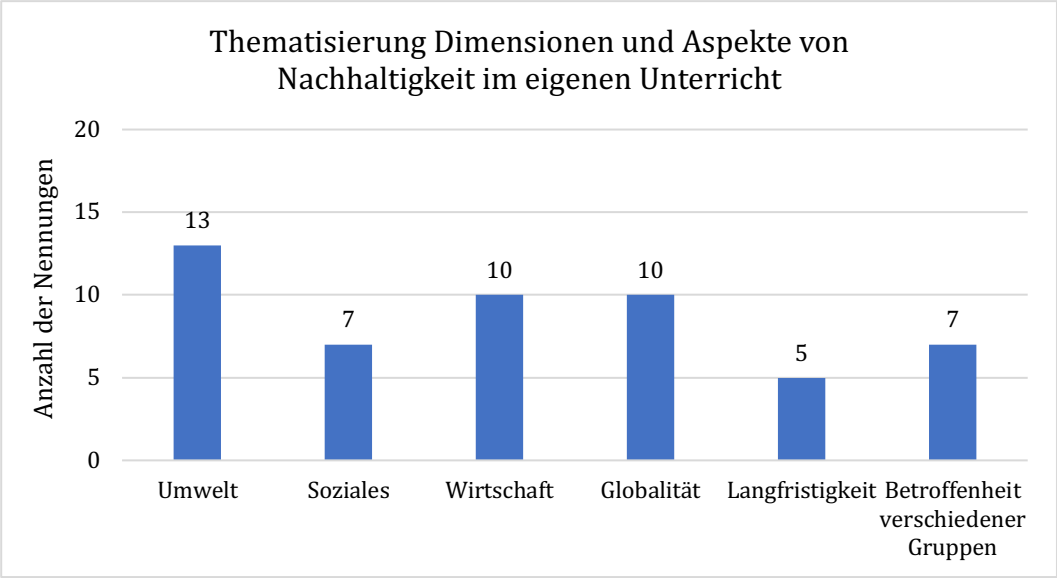


Abbildung 72: Anzahl der Nennungen thematisierter Dimensionen und Aspekte von Nachhaltigkeit im eigenen Unterricht.

Die *Umwelt* wurde von den Lehrkräften mit 13 Nennungen bereits am häufigsten thematisiert. Die Nachhaltigkeitsdimension *Soziales* wurde siebenmal und *Wirtschaft* zehnmal thematisiert. Von den drei Aspekten, die sich an den Bewertungsebenen orientieren, wurde das Thema *Globalität* mit zehn Nennungen am häufigsten besprochen. Die Thematisierung *verschiedener Gruppen* wurde von sieben Lehrkräften in den Unterricht integriert und der Aspekt der *Langfristigkeit* wurde am seltensten eingebunden.

Für den Einsatz der Bewertungsscheibe wurden insgesamt vier Aussagen formuliert, zu denen die Lehrkräfte den Grad ihrer Zustimmung angeben sollten. Zwei der Aussagen wurden noch durch ein halboffenes Fragenformat ergänzt. Einmal die Frage auf welches Thema sich die Lehrkräfte eine Übertragung der Bewertungsscheibe vorstellen könnten und eine Frage zum Einsatz im zweiten Fach.

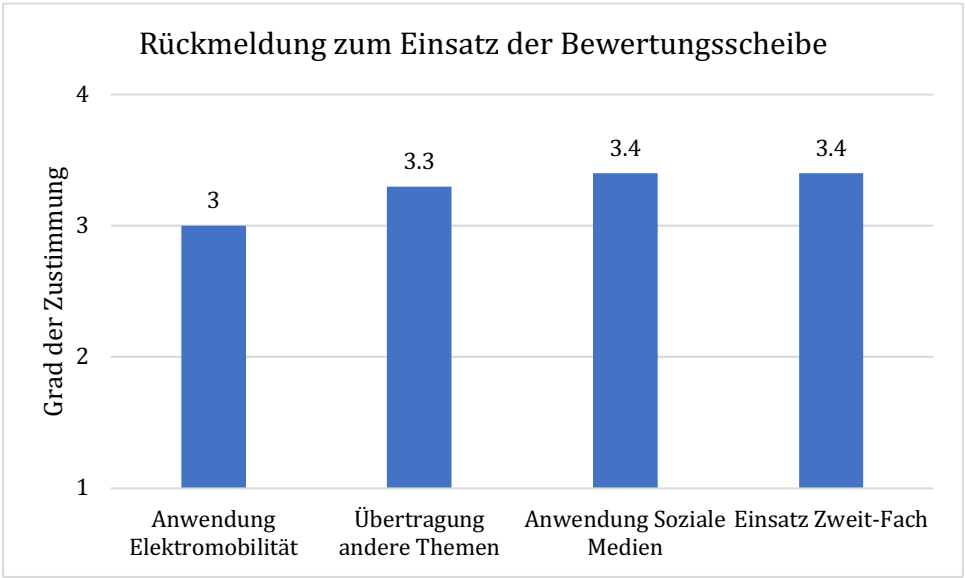


Abbildung 73: Rückmeldung zum Einsatz der Bewertungsscheibe (1=trifft nicht zu; 2= trifft teilweise zu; 3= trifft überwiegend zu; 4= trifft vollständig zu.)

In Abbildung 73 zeigt ein Säulendiagramm die ermittelten Mittelwerte der einzelnen Items 3.1 bis 3.4. Mit einem Mittelwert von 3,0 können sich die Lehrkräfte überwiegend vorstellen die Bewertungsscheibe anhand des vorgestellten Themas Elektromobilität einzusetzen. Die Übertragung auf ein anderes Thema können sich die Lehrkräfte mit einem Mittelwert von 3,3 überwiegend bis vollständig zutreffend vorstellen. Folgende Themen wurden dazu als möglicher Kontext zur Anwendung der Bewertungsscheibe genannt: Wasser (3 Nennungen), Klima (2 Nennungen), Atomkraft (1 Nennung), Energiewende (1 Nennung), Fast Fashion (2 Nennungen), ökologischer Fußabdruck (2 Nennungen), Ernährung (1 Nennung) sowie Sonstiges (2 Nennungen).
Mit einem Mittelwert von 3,4 können sich die Lehrkräfte den Einsatz der Bewertungsscheibe anhand von Social-Media-Einträge vorstellen. Damit liegt die Zustimmung der Lehrkräfte zwischen überwiegend und vollständig zutreffend. Der gleiche Wert (3,4) wurde für die Einschätzung des Einsatzes der Bewertungsscheibe im zweiten Unterrichtsfach der Lehrkräfte ermittelt. Mit großem Abstand wurde dabei am häufigsten das Fach Biologie mit elf Nennungen beschrieben. Die Fächer Physik, Deutsch und das Wahlpflichtfach AES (Alltagskultur, Ernährung, Soziales) wurden zweimal genannt. Jeweils einmal wurden die Fächer Gemeinschaftskunde, katholische Religion, Geschichte, Geographie, Kunst, Technik, und Sport genannt, das Profilfach Naturwissenschaft und Technik sowie die Fächerverbünde WBS (Wirtschafts-, Berufs- und Studienorientierung) und BNT (Biologie, Naturwissenschaft, Technik) (Ministerium für Kultus Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2016).

Das Kreisdiagramm in Abbildung 74 stellt die Einschätzung der Lehrkräfte zusammen, für welche Jahrgangsstufe der Einsatz der Bewertungsscheibe als geeignet angesehen wird.

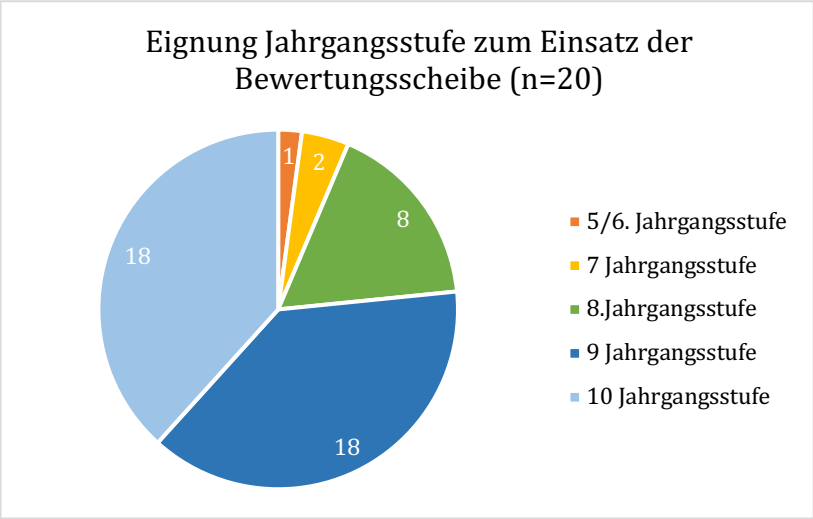


Abbildung 74: Absolute Nennung der Einschätzung der Lehrkräfte für welche Jahrgangsstufen der Einsatz der Bewertungsscheibe geeignet ist (n=20).

Die Jahrgangsstufen 9 und 10 werden mit jeweils 18 Nennungen am häufigsten als geeignet angesehen. Sie liegen damit weit vor den anderen genannten Jahrgangsstufen. Am

zweithäufigsten wird die achte Jahrgangsstufe genannt und mit nur zwei Nennungen die siebte Jahrgangsstufe.
Für das Item zur Einschätzung der Komplexität der Bewertungsscheibe wurde ein Mittelwert von 4,5 erhoben. Damit schätzen die Lehrkräfte die Komplexität zwischen hoch und sehr hoch ein

Insgesamt würden 80 % der Lehrkräfte die Bewertungsscheibe in der analogen Variante nutzen und 20 % sowohl die analoge als auch die digitale Variante. Keine Lehrkraft würde die Bewertungsscheibe nur digital einsetzen. Das Aufhängen des Posters der Bewertungsscheibe wurde von 80 % mit Ja und von 10 % mit Nein beantwortet, ebenfalls 10 % machten keine Angabe.

Die Darstellung der Ergebnisse der Mittelwertbestimmung der Items 4.1 bis 4.3 erfolgt anhand des Säulendiagramms in Abbildung 75:

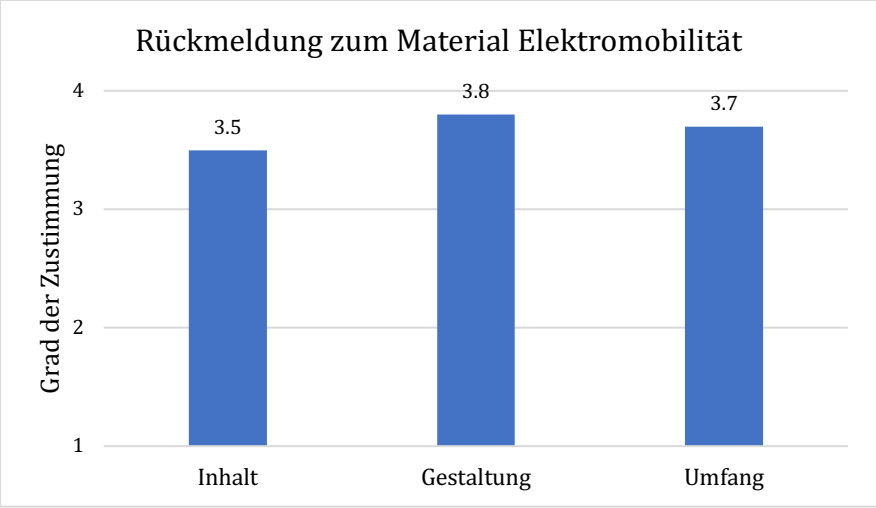


Abbildung 75: Einschätzung der Lehrkräfte zum Materialbeispiel Elektromobilität. (1=trifft nicht zu; 2= trifft teilweise zu; 3= trifft überwiegend zu; 4= trifft vollständig zu.)

Für die Zustimmung zur Angemessenheit des Inhalts wurde ein Mittelwert von 3,5 erhoben und damit als überwiegend bis vollständig zutreffend von den Lehrkräften bewertet. Für die angemessene Gestaltung der Materialien ein Wert von 3,8 und für die Anpassungsfähigkeit des Umfangs ein Wert von 3,7. Beiden Aussagen wird damit im mittel vollständig zugestimmt.

Teile des Originalmaterials würden 19 Lehrkräfte einsetzen, eine Lehrkraft ergänzte den Fragebogen um die Antwort *vielleicht*. Als Originalmaterial wird das erstellte Material bezeichnet, dass die Lehrkräfte als Materialmappe im Rahmen des Workshops erhalten haben. Darin enthalten waren unter anderem die Materialien zu allen acht Aspekten von Elektromobilität inklusive der Moderationskarten für die Sicherungsphase. Ebenfalls erhielten sie eine Kopiervorlage der Bewertungsscheibe und die Definitionskarten der Nachhaltigkeitsdimensionen und der Bewertungsebenen.

Die Frage nach den Originalmaterialien wurde durch ein Item ergänzt, das spezifisch die erprobten Aspekte abfragt und erhebt, welche Aspekte die Lehrkräfte davon einsetzen würden. Die Verteilung auf die erprobten Aspekte stellt sich wie folgt dar (s. Tabelle 37):

Tabelle 37: Verteilung der vier erprobten Aspekte auf die Anzahl der Lehrkräfte die eine Anwendung bejahen.

Aspekt	Anzahl Zustimmung Lehrkräfte
Kohlenstoffdioxid	19
Stickoxide	14
Lärm	13
Arbeitsplätz	13

Alle Lehrkräfte gaben an, dass sie sich vorstellen könnten, das Material in angepasster Form einzusetzen. Welche Anpassungen sich die Lehrkräfte vorstellen könnten, wurde zusätzlich in einer offenen Frage erhoben. Die Inhalte der Antworten sind in der Grafik in Abbildung 76 zusammengefasst:

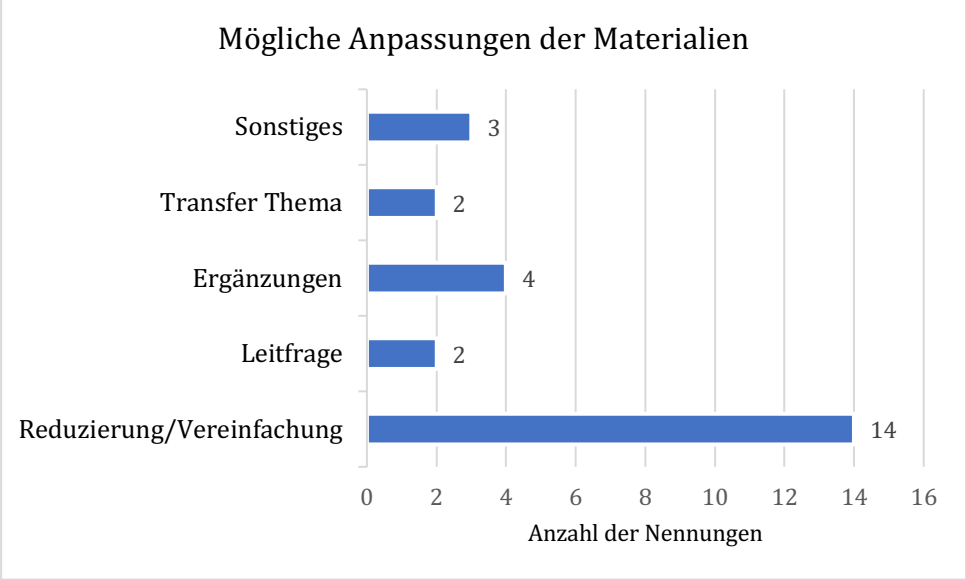


Abbildung 76: Anzahl der Nennungen möglicher Anpassungen der Materialien durch die Lehrkräfte.

Die mit 14 Nennungen am häufigsten genannte Anpassung ist eine vorzunehmende Reduzierung oder Vereinfachung der Materialien. Diese beziehen sich insbesondere auf den Umfang des Materials und beinhalten Vorschläge zur Vereinfachung oder Kürzung. Mehrfach beschreiben die Lehrkräfte die Notwendigkeit einer reduzierten Auswahl von Aspekten, um die Komplexität der Einheit zu reduzieren. Zwei Aussagen beziehen sich speziell auf die zusammenfassenden Lückentexte und schlagen hier eine Vereinfachung vor, z. B. durch ein Wortgeländer. Zwei Lehrkräfte beschreiben eine stärkere Hervorhebung der zugrundeliegenden Leitfrage. Vier Lehrkräfte schlagen vor, weitere Punkte zum Thema Elektromobilität zu ergänzen, z. B. die Frage der Subventionen, die Auslastung des Stromnetzes oder einen Vergleich verschiedener Lobbygruppen oder Parteien. Zwei Lehrkräfte würden ein anderes Thema wählen, eine Lehrkraft verweist auf den

Schwierigkeitsgrad, der als zu hoch eingeschätzt wird. Unter Sonstiges sind noch jeweils drei Vorschläge zusammengefasst, die sich auf das methodische Vorgehen beziehen. Vorgeschlagen wird der Einsatz eines Gruppenpuzzles, der Einsatz von Präsentationskarten mit Anregungen für die Lernenden sowie der Hinweis, die Bewertungsscheibe kleinschrittiger zu üben und eine Wiederholung der Methode anzustreben.

Die offene Rückmeldung, was den Lehrkräften gefallen hat, zeichnete sich durch viele positive Kommentare aus. Insgesamt 17 Lehrkräfte beschrieben ein gutes bis sehr gutes Feedback des Workshops. Drei Lehrkräfte beantworteten die Frage nicht.
Am häufigsten wurden die ansprechende und angemessene Gestaltung und Vielfalt der Materialien sowie allgemein die neue Methode der Bewertungsscheibe hervorgehoben. Insbesondere die Übertragbarkeit auf andere Themen wurde positiv rückgemeldet und die Anpassungsmöglichkeiten an individuelle Lerngruppen gelobt. Die Möglichkeit, die Experimente selbst durchzuführen, wurde ebenfalls als positiver Punkt des Workshops genannt und es wurde angemerkt, dass die Auswahl der Experimente als gut umsetzbar und für den Unterricht geeignet eingeschätzt wurde.
Bezüglich der Organisation des Workshops wurde die Offenheit und die Möglichkeit zum kreativen Austausch zwischen den Referentinnen und den Teilnehmenden als sehr gewinnbringend empfunden und ein Dank für den Erhalt der Materialien und der Bewertungsscheibe vermerkt. Zur Veranschaulichung werden zwei beispielhafte Aussagen der Lehrkräfte angeführt:

> „Material im Unterricht einsetzbar, einige Aspekte gut auf andere Themen und Fächer übertragbar, tolles Tool, um Aspekte zu bewerten und SuS eine Diskussionsgrundlage an die Hand zu geben“ (Workshop\Feedback\LP6)

> „Die einfachen, schülergerechten Versuche, Materialhinweise, die Möglichkeit der individuellen Abänderung, überschaubarer Zeitrahmen mit Ausbaufähigkeit bei Projekten“ (Workshop\Feedback\LP7)

Abschließend wurden von insgesamt sechs Lehrkräften Anmerkungen zu Verbesserungsvorschlägen gemacht: Zwei Lehrkräfte nannten die Notwendigkeit, das Material und die Methode der Auswertungsscheibe an schwächere Lerngruppen anzupassen. Es wurde der Wunsch nach Vorschlägen für eine schrittweise Einführung geäußert. Eine Lehrkraft würde keine vorgefertigten Karten zur Ergebnissicherung austeilen und andere methodische Möglichkeiten bevorzugen, eine andere würde auf Lückentexte verzichten. Inhaltlich weist eine Lehrkraft darauf hin, dass eine Ergänzung der Aspekte zur Entsorgung der Batterie denkbar wäre. Für den Einsatz der Bewertungsscheibe wird vorgeschlagen, transparente Punkte in den Farben Rot und Grün zu verwenden, um die Symbole nicht zu verdecken.

6.6.5 Diskussion

FF 4.1 Welches Wissen und welche Erfahrungen haben Chemielehrkräfte mit Unterrichtseinheiten zur Bewertung im Kontext von Nachhaltigkeit?

Die Ergebnisse des Fragebogens zeigen, dass nur 15 % der anwesenden Lehrkräfte bereits andere Unterrichtseinheiten kennen, die sich mit der Bewertung von Nachhaltigkeit im Unterricht beschäftigen und somit eine Verknüpfung des Kompetenzbereichs Bewertung mit Bildung für nachhaltige Entwicklung anstreben. Eigene Unterrichtseinheiten wurden jedoch von etwa der Hälfte der Lehrkräfte (45 %) durchgeführt, wobei eine Vielzahl unterschiedlicher Nachhaltigkeitsthemen genannt wurde. Bei der Frage, welche Nachhaltigkeitsdimensionen und Nachhaltigkeitsaspekte im Rahmen bereits durchgeführter Unterrichtseinheiten thematisiert wurden, wird die Umwelt am häufigsten angekreuzt. Dies entspricht der in der Arbeit vorgenommenen Vermutung, dass die Umwelt häufig im Vordergrund steht. Mit zehn Lehrkräften verteilt sich jedoch auch die Hälfte auf die Dimension Wirtschaft und sieben Mal wurde angegeben, dass das Thema Soziales in den Unterricht integriert wurde. Bei den Aspekten, die sich an den Bewertungsebenen orientieren, wird am häufigsten (50 %) eine globale Perspektive und mit fünf bzw. sieben Nennungen eine langfristige Perspektive sowie die Betroffenheit verschiedener Gruppen thematisiert. Hier zeigt sich, dass die beiden letztgenannten Aspekte nur von weniger als der Hälfte der Lehrkräfte bereits thematisiert wurden. Sie stellen jedoch wichtige und zentrale Aspekte des Leitbildes der nachhaltigen Entwicklung dar und sind für ein umfassendes Verständnis von großer Bedeutung.

FF 4.2 Wie evaluieren Chemielehrkräfte den Einsatz der Bewertungsscheibe?

Mit überwiegender Zustimmung können sich die Lehrkräfte vorstellen, das methodische Instrument der Bewertungsscheibe anhand des Beispielthemas Elektromobilität einzusetzen. In der Gesamtheit der Evaluationsergebnisse wird deutlich, dass insbesondere eine Reduzierung und Vereinfachung des Materials von den Lehrkräften als notwendig erachtet wird und den Grad der Zustimmung an dieser Stelle möglicherweise noch erhöhen könnte. Auch die Übertragung der Bewertungsscheibe können sich die Lehrkräfte mit hoher Zustimmung vorstellen. Die insgesamt neun verschiedenen genannten Themen zeigen bereits erste Überlegungen der Lehrkräfte, für welche Themen sich eine Anwendung eignen könnte und bestätigen den Anspruch der Bewertungsscheibe, auf vielfältige Nachhaltigkeitsthemen übertragbar zu sein. Auch die im Workshop kurz angerissene Idee, bereits vorhandene Social Media Beiträge zu nutzen, stößt auf überwiegende Zustimmung. Der Einsatz von Social-Media-Beiträgen kann als weniger zeitintensive Anwendungsmöglichkeit für Lehrkräfte gesehen werden und die Vorbereitungszeit für eine

solche Unterrichtseinheit möglichst geringhalten und zur Entlastung der Arbeitszeit beitragen. Auch eine Übertragung auf ihr zweites Fach können sich die Lehrkräfte mehrheitlich vorstellen und bestätigen damit das Ziel der fachunabhängigen Gestaltung der Bewertungsscheibe.

Die Zielgruppe für den Einsatz des Unterrichtskonzepts - Jahrgangsstufe 9 - wird durch die Einschätzung der Lehrkräfte bestätigt. Sowohl die neunte als auch die zehnte Jahrgangsstufe werden mit Abstand als am besten geeignet genannt (s. Abbildung 74).
Der ermittelte Mittelwert von 4,5 beschreibt, dass die Bewertungsscheibe von den Lehrkräften als sehr komplex wahrgenommen wird. An dieser Stelle ist es wichtig zu betonen, dass alle anwesenden Lehrkräfte an einer Haupt- oder Realschule unterrichten und die Lerngruppen dementsprechend einzuordnen sind. Unterschiedliche Möglichkeiten, die Komplexität zu reduzieren, wurden im Rahmen des Workshops diskutiert und zeigen, dass das Unterrichtskonzept vielfältige Möglichkeiten bietet, auch an leistungsschwächere Lerngruppen angepasst zu werden.

FF 4.3 Wie evaluieren Lehrkräfte die entwickelten Materialien zum Kontext Elektromobilität?

Die schriftlichen Anmerkungen zu möglichen Anpassungen (s. Abbildung 76) zeigen hierzu verschiedene Vorschläge auf, die für die Lehrkräfte gut umsetzbar sind. Unter den Vorschlägen finden sich Hinweise, die sich auf eine Anpassung des Materials, aber auch auf methodische Umsetzungen des Einsatzes der Bewertungsscheibe beziehen. Fast alle Lehrkräfte geben aber auch an, dass sie sich den Einsatz der Originalmaterialien vorstellen können, wobei der Aspekt Kohlendioxid am häufigsten genannt wird. Am zweithäufigsten wird das Material zu Stickoxiden genannt. Beide Aspekte beinhalten ein Experiment und zeichnen sich somit als besonders attraktiv für den Einsatz im Chemieunterricht aus. Im Workshop wurde darauf hingewiesen, dass die Materialien auch ohne eine Einheit zur Bewertung gut in Unterrichtseinheiten integriert werden können.

Die positiven und offenen Rückmeldungen zeigen eine hohe Akzeptanz für das vorgestellte Konzept. Die Materialien zur Elektromobilität sowie das entwickelte methodische Instrument der Bewertungsscheibe werden von den Lehrkräften als geeignet hervorgehoben und die gute Umsetzbarkeit im eigenen Unterricht betont. Verschiedene Anmerkungen zeigen, dass sich die Lehrkräfte gut vorstellen können, das Konzept mit eigenen Anpassungen und Ideen für ihre individuellen Lerngruppen zu nutzen. Diese praxisorientierten Umsetzungsmöglichkeiten werden von den anwesenden Lehrkräften besonders geschätzt und als wertvolles Merkmal einer ausgearbeiteten Unterrichtseinheit bzw. eines entwickelten Konzeptes wahrgenommen.

Die beschriebenen Verbesserungsvorschläge werden als individuelle Anpassungsmöglichkeiten insbesondere für schwächere Lerngruppen als konstruktives Feedback aufgenommen. Es wurden mögliche Anregungen festgehalten, die für die Umsetzung einer Variante für leistungsschwächere Lerngruppen in Form eines weiteren Re-Designs umsetzbar sind. Eine detaillierte Ausformulierung und Entwicklung einer vereinfachten Unterrichtseinheit erfolgten aus Zeitgründen nicht mehr im Rahmen des vorliegenden Projektes.

Die Ergebnisse der Befragung beziehen sich nur auf eine kleine Stichprobe von 20 Lehrkräften und sind daher nicht repräsentativ. Die beschriebene Analyse und Diskussion ist daher als wenig aussagekräftig einzustufen. Sie beschreibt jedoch gewinnbringende Rückmeldungen und konstruktiv-kritische Anmerkungen zu den entwickelten Materialien und dem Unterrichtskonzept und bestätigt zum Teil die formulierten Ziele der Bewertungsscheibe, wie die Übertragbarkeit auf verschiedene Fächer und beliebige Themen. Die Aussagen können jedoch noch verallgemeinert werden und beziehen sich auch nur auf Lehrkräfte, die in der Sekundarstufe I an Haupt- und Realschulen unterrichten. Die Entwicklung des Unterrichtskonzepts ist vor allem auf die Sekundarstufe I an Gymnasien und Gesamtschulen ausgerichtet und wurde auch nur mit Lernenden dieser Schulformen erprobt. Für aussagekräftigere Ergebnisse müsste die Evaluation eine größere Stichprobe umfassen und Lehrkräfte der Schulformen Gymnasium und Gesamtschule einbeziehen.

6.6.6 Fazit Mesozyklus 4

Der vierte und letzte Mesozyklus hat sich mit folgender Fragestellung beschäftigt:

> *FF 4: Wie evaluieren Chemielehrkräfte das Unterrichtskonzept nachhaltig bewerten?*

Die Auswertung der Ergebnisse (s. Kapitel 6.6.4) zeigt eine positive Bewertung des Unterrichtskonzepts im Rahmen des durchgeführten Workshops mit Chemielehrkräften. Die teilnehmenden Lehrkräfte wiesen nur geringe Kenntnisse über andere Unterrichtseinheiten zur Nachhaltigkeitsbewertung auf (FF 4.1), so dass ein Bedarf an diesen aufgezeigt werden konnte. Etwas weniger als die Hälfte hatte bereits eigene Erfahrungen sammeln können, auch hier wurde am häufigsten die Umwelt einbezogen. Die Aspekte, die sich in den Bewertungsebenen widerspiegeln und dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung folgen, wurden von Lehrkräften bisher weniger thematisiert.
Die Lehrkräfte können sich vorstellen, die Bewertungsscheibe im eigenen Unterricht einzusetzen, auch mit Übertragung auf ein anderes Thema oder Fach.

Hier wurden verschiedene Ideen notiert. Insgesamt wird die Bewertungsscheibe als sehr komplex bewertet, es wird aber auch eine gute Anpassungsmöglichkeit zur Reduktion und Vereinfachung gesehen (FF 4.2). Das Material zur Elektromobilität wird in Inhalt, Gestaltung und Umfang als überwiegend angemessen bewertet. Auch hier können sich die Lehrkräfte eine Umsetzung durch Anpassung vorstellen (FF 4.3). Insgesamt zeigen die Lehrkräfte eine hohe Akzeptanz für das Konzept und sehen vielfältige Möglichkeiten zur eigenen Umsetzung. Aus den verschiedenen Rückmeldungen lassen sich konstruktive Verbesserungsvorschläge für individuelle Anpassungen ableiten.

7 Re-Framing

Im *Framing* (s. Kapitel 5) dieser Arbeit wurde auf Grundlage des dargestellten theoretischen Hintergrundes die Ausgangssituation des Forschungsprojektes als relevantes Problem aus der Praxis herausgestellt und die übergeordnete Forschungsfrage des vorliegenden Projektes definiert:

In welcher Weise kann eine multiperspektivische Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht initiiert werden?

Zur Lösung des Problems wurde folgendes Ziel formuliert:

Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Unterrichtskonzepts zur Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht.

In Kapitel 6 wurde zur Beantwortung der Forschungsfrage die iterative Durchführung des *Design-Experiment* dargelegt. Der Entwicklungsprozess des Design-Experiments gliederte sich insgesamt in vier Mesozyklen (s. Kapitel 6.3 bis 6.6).

Das *Re-Framing* stellt die letzte Phase des Forschungsprojektes und damit einen Rückbezug zum *Framing* der vorliegenden Arbeit dar. Zur Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage erfolgt eine Reflexion des gesamten *Design-Experiments* durch eine Zusammenfassung der einzelnen Ergebnisse aus den Mesozyklen.
Zunächst wird eine Reflexion des *praxisorientierte*n Ziels dieser Arbeit (s. Kapitel 7.1) vorgenommen: Die Entwicklung des Unterrichtskonzepts nachhaltig ⁝ bewerten (s. Kapitel 6.3). Das erprobte und anschließend evaluierte Unterrichtskonzept (s. Kapitel 6.3) inklusive der ausgearbeiteten und optimierten Lernmaterialien zum Beispielkontext Elektromobilität (s. Kapitel 6.4) stellt den *praktischen Output* des Forschungsprojektes dar. Anhand der Analyse der Lernergebnisse (s. Kapitel 6.5) wird die Frage „*What works*“ (Cobb et al., 2003) fokussiert. Anschließend wird unter der Fragestellung *„How does it work*“ (Cobb et al., 2003) das *theorieorientierte* Ziel in den Blick genommen und im Rahmen dessen mögliche Erklärungsansätze und Erkenntnisse als *theoretischer Output* diskutiert (s. Kapitel 7.2).

7.1 Praktischer Output des Projekts

Der erste Mesozyklus (s. Kapitel 6.3) beinhaltete die Erarbeitung der grundlegenden Idee und anschließenden Konstruktion des Unterrichtskonzepts nachhaltig ⋮ bewerten für den naturwissenschaftlichen Unterricht und damit die Entwicklung einer Intervention im Sinne des *Design-Based-Research* (s. Kapitel 4). Diese wurde auf Grundlage von Erprobungen in einer „authentischen Umgebung" (s. Kapitel 4.2, S. 67)im Verlauf der Mesozyklen (s. Kapitel 6.4; 6.5) auf ihre Praxistauglichkeit empirisch evaluiert.
Das Unterrichtskonzept soll zur Förderung des Nachhaltigkeitsverständnisses von Lernenden beitragen und sie zur Bewertung und Reflexion der Nachhaltigkeit einer Maßnahme oder Handlung befähigen. Dadurch werden zwei Schwerpunkte fokussiert: Die *Förderung von Bewertungskompetenz* und die Vermittlung von *Bildung für nachhaltige Entwicklung.*

Im theoretischen Rahmen erfolgte eine Literaturrecherche zu bereits vorhandenen Überlegungen, wie Nachhaltigkeit und die Vermittlung von Bewertungskompetenz im naturwissenschaftlichen Unterricht verknüpft werden können (s. Kapitel 3.4). Dabei wurde der Bedarf an einem *kontext-* und *fächerunabhängigen* Unterrichtskonzept identifiziert und festgestellt, dass es an *allgemein übertragbaren Kriterien* mangelt, mit denen Lernende die Nachhaltigkeit eines Produktes, einer Maßnahme oder einer Handlung bezogen auf das Leitbild einer nachhaltigen Entwicklung bewerten können (s. Kapitel 5).
Zu Beginn der Konzeptentwicklung erfolgte eine theorie- und kriteriengeleitete Herausstellung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen *Umwelt*, *Soziales* und *Wirtschaft* (s. Kapitel 6.3.1). Die Notwendigkeit, sich auf ein mehrdimensionales Verständnis von Nachhaltigkeit zu konzentrieren und dieses Verständnis bei den Lernenden zu fördern, wurde im theoretischen Hintergrund (s. Kapitel 1) ausführlich beschrieben. Die Auswahl der drei zentralen Nachhaltigkeitsdimensionen erfolgte anhand von fünf Kriterien: *Relevanz, Verbreitung, Trennschärfe, Komplexität* und *Anknüpfung an naturwissenschaftliche Themen* (s. Tabelle 8).
Aus dem Begriffsverständnis und dem Leitbild der nachhaltigen Entwicklung (s. Kapitel 1) wurden anschließend drei *Bewertungsebenen* definiert, die die Kriterien zur Bewertung von Nachhaltigkeit für die Lernenden darstellen: Die *Raum-Ebene*, die *Zeit-Ebene* und die *Gruppen-Ebene* (s. Kapitel 6.3.2). Jede Bewertungsebene unterteilt sich in zwei zu unterscheidende Bereiche: *Lokal* oder *global* (Raum-Ebene), *kurzfristig* oder *langfristig* (Zeit-Ebene) und *eine Gruppe* oder *viele Gruppen* (Gruppen-Ebene). Sowohl für die drei Nachhaltigkeitsdimensionen als auch für die drei Bewertungsebenen erfolgten gestalterische Überlegungen in Form von Visualisierungen zum Einsatz im Unterricht (s. Kapitel 6.3.1; 6.3.2).

Es wurde zu jedem Begriff eine entsprechende Definitionskarte ausgearbeitet (s. Anhang B). Diese orientieren sich an theoriebasierten Gestaltungskriterien (s. Kapitel 6.3.1; 6.3.2).
Nach der Auswahl der drei Nachhaltigkeitsdimensionen und der Definition der Bewertungsebenen erfolgte die Entwicklung des zentralen Elements des Unterrichtskonzepts: Das methodische Instrument der *Bewertungsscheibe* (s. Kapitel 6.3.3). Die Bewertungsscheibe verknüpft die drei Nachhaltigkeitsdimensionen mit den drei Bewertungsebenen. Folgende vorab formulierte Anforderungen werden durch ihre Konstruktion erfüllt: *Fächerunabhängig, kontextunspezifisch, Berücksichtigung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen, kriteriengeleitete Strukturierung durch die drei Bewertungsebenen* und *der Einsatz verschiedener Sozialformen.*
Die Bewertungsscheibe visualisiert anschaulich die Komplexität und Multiperspektivität von Nachhaltigkeit und schafft für die Lernenden einen transparenten Überblick. Sie stellt die Notwendigkeit einer differenzierten und umfassenden Auseinandersetzung mit Fragen nachhaltiger Entwicklung heraus und sensibilisiert für eine notwendige mehrdimensionale Argumentation auf der Basis unterschiedlicher Informationen. Darüber hinaus weist sie auf die Bedeutung fehlender Informationen hin, indem die Bewertung einzelner Felder auch ausbleiben kann (s. Kapitel 6.3.3).
Der Einsatz der Bewertungsscheibe ist methodisch vielfältig möglich: Sowohl eine analoge, haptische als auch eine digitale Anwendung in verschiedenen Sozialformen kann in Anpassung an die jeweilige Lerngruppe und Rahmenbedingung erfolgen.
Insgesamt beinhaltete der erste Mesozyklus die vollständige Entwicklung des Unterrichtskonzepts nachhaltig⁝bewerten (s. Kapitel 6.3). Es wurden in vielfältiger Weise die theoriegeleiteten Anforderungen aufgrund der Komplexität von Nachhaltigkeit und der Charakteristika von BNE-Lernprozessen berücksichtigt (s. Kapitel 6.3, MSB NRW 2019) und in den Entwicklungsprozess einbezogen.

Der zweite Mesozyklus (s. Kapitel 6.4) widmete sich der anschließenden Ausarbeitung des Unterrichtskonzepts für die praktische Umsetzung im Unterricht. In einem ersten Schritt wurde kriteriengeleitet der Kontext *Elektromobilität* als geeigneter Beispielkontext für den Chemieunterricht ausgewählt (s. Kapitel 6.4.1). Zusätzlich wurden theoriegeleitet Gestaltungsprinzipien und Elemente für die Entwicklung von Unterrichtsmaterialien festgelegt (s. Kapitel 6.4.2). Es wurden insgesamt 32 Seiten Lernmaterial zu acht ausgewählten Aspekten von Elektromobilität entwickelt: *Kohlenstoffdioxid*, *Stickoxide*, *Feinstaub*, *Rohstoffe*, *Lärm*, *Arbeitsmarkt*, *Kosten* und *Reichweite.* Jeder Aspekt bildete in seiner Entwicklung einen eigenen Zyklus mit mehreren Durchläufen innerhalb des zweiten Mesozyklus (s. Kapitel 6.4.3). Die Gestaltung der Lernmaterialien orientierten sich an Prinzipien aus der *Cognitive Load Theory* (Sweller et al., 2011) sowie der *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (R. E. Mayer, 2021a). Für die einheitliche Ausarbeitung wurde des

Weiteren auf die Berücksichtigung folgender Elemente geachtet: *Sachliche Informationstexte*, Möglichkeit zur *selbstständigen Erarbeitung*, *aktivierende* und *motivierende Aufgaben* verschiedener Aufgabentypen, Einbringung von *experimenteller Aktivität* sowie eine *Sicherungsaufgabe* am Ende des Materials (s. Kapitel 6.4.2.2). Der Einsatz digitaler Elemente erfolgte unter Berücksichtigung des SAMR-Modells nach Puentedura (2006).
Die Lernmaterialien wurden mehrfach und mit verschiedenen Lerngruppen erprobt und reflektiert. Eine ausführliche Darstellung und Diskussion der Ergebnisse erfolgten in Kapitel 6.4.4. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse fand eine progressive Optimierung und iterative Anpassung in Form eines Re-Designs statt. Dadurch konnte im Rahmen des zweiten Mesozyklus eine praktische Eignung und Durchführbarkeit der entwickelten Materialien nachgewiesen werden (s. Kapitel 6.4.4).

Der dritte Mesozyklus untersuchte die Umsetzung und Evaluation des Konzepts unter Berücksichtigung der zentralen Ziele des Unterrichtskonzeptes: Die Förderung des Nachhaltigkeitsverständnisses und die kriteriengeleitete Bewertung und Reflexion von nachhaltigkeitsbezogenen Themen mithilfe der Bewertungsscheibe (s. Kapitel 6.5).
Die Durchführung einer exemplarischen Unterrichtseinheit zu Elektromobilität mit verschiedenen Lerngruppen diente der Analyse von Lernergebnissen und Lernprozessen, um die Zielerreichung zu identifizieren und die Wirksamkeit der Intervention an einem Beispielkontext zu untersuchen.

Mit Hilfe der Bewertungsscheibe sollten die Lernenden Informationen zu ausgewählten Aspekten der Elektromobilität *einordnen*, *bewerten* und im Plenum *reflektieren*. Sie sollten durch das Ausfüllen der Bewertungsscheiben erkennen, dass verschiedene Aspekte der Elektromobilität unterschiedlich bewertet werden können. Die Leitfrage sollte am Ende auf Basis der erstellten Bewertungsscheiben abschließend *kriteriengeleitet reflektiert* werden.
Die Ergebnisse der Plenumsphasen (s. Kapitel 6.5.1.5) zeigten, dass es den Lernenden gelang, ausgewählte Informationen nachvollziehbar in die Bewertungsscheiben einzuordnen und zum Teil angemessen zu begründen. Vorhandenes Wissen wurde aktiviert und ebenfalls mit Hilfe der Bewertungsscheibe bewertet. In der gemeinsamen Diskussion wurde deutlich, dass es unterschiedliche Möglichkeiten gibt, die erhaltenen Informationen zu bewerten. Auch das Fehlen von Informationen und damit die fehlende Bewertung einzelner Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen wurde hervorgehoben. Nach der Plenumsdiskussion der Haupterprobung diskutierten in der Abschlussreflexion die Lernenden über die Leitfrage hinaus weiter, indem auch anderen Möglichkeiten (z.B. der ÖPNV) einbezogen und diskutiert wurden. Es wurde erkannt, dass es nicht ausreicht, nur zwei Fahrzeugtypen miteinander zu vergleichen. Ebenso wurde durch die Ergebnisse der Reflexionsphase (s. Kapitel 6.5.1.7) in der Haupterprobung festgestellt, dass die Lernenden die Schwierigkeit identifizierten, eine Entscheidung nur auf Basis der

erarbeiteten Informationen zu treffen, da hier nicht von einer vollständigen Informationslage ausgegangen werden kann. Innerhalb der Reflexionsphase wurden die erarbeiteten Ergebnisse der Bewertungsscheibe konkret vorgestellt und auf die Markierungen Bezug genommen.
Der Einsatz der Bewertungsscheibe konnte somit als zielführend und wirksam nachgewiesen werden (vgl. Kapitel 6.5.1.5, 6.5.1.7).

In einem Prä- und Post-Test wurde im dritten Mesozyklus untersucht, welches Verständnis die Lernenden vor und nach der Intervention haben (FF 3.2) und inwiefern die Lernenden die Nachhaltigkeit von Elektromobilität vor und nach der Intervention bewerten (FF 3.4).
Die Ergebnisse des Prä-Post-Tests mit insgesamt 124 Lernenden aus verschiedenen Lerngruppen (s. Kapitel 6.2.2, Tabelle 7) zeigten, dass die Durchführung der exemplarischen Unterrichtseinheit zu Elektromobilität insgesamt zu einem erweiterten und komplexeren Verständnis von Nachhaltigkeit führte (s. Abbildung 58). In allen sechs für das Nachhaltigkeitsverständnis relevanten Kategorien war im Post-Test eine Zunahme zu verzeichnen. Ausnahme stellte die Nachhaltigkeitsdimension der *Umwelt* dar, deren Anteil bereits vorher sehr hoch war und im Post-Test daher nahezu gleichblieb. Insbesondere die Nachhaltigkeitsdimensionen *Soziales* und *Wirtschaft* haben sich verdoppelt bzw. verdreifacht. Die Antworten zeichneten sich im Post-Test durch eine höhere Komplexität des Nachhaltigkeitsverständnisses aus. Vor der Intervention beschrieb mehr als die Hälfte der Lernenden ein eindimensionales, auf die *Umwelt* fokussiertes, Nachhaltigkeitsverständnis. Im Post-Test nahm das Vorkommen von mehr als einer Kategorie in einer Antwort zu und wies damit auf ein erweitertes Verständnis von Nachhaltigkeit über ein rein ökologisches Verständnis hinaus hin. Insgesamt wiesen durch eine Erweiterung um mindestens eine Nachhaltigkeits- bzw. Bewertungsebene mehr als die Hälfte der Lernenden im Post-Test ein komplexeres Verständnis von Nachhaltigkeit als im Prä-Test auf (s. Kapitel 6.5.3.2; 6.5.3.3).

Darüber hinaus konnte festgestellt werden, dass sich die Bewertung der Nachhaltigkeit von Elektromobilität im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotor bei einigen Lernenden nach der Intervention verändert zeigte. Anhand der inhaltsanalytischen Auswertung des Post-Tests (s. Kapitel 6.5.4.2) konnte eine Zunahme von Antworten festgestellt werden, die eine Integration der erlernten Bewertungskriterien aufwiesen. Es konnte unter anderem gezeigt werden, dass im Prä-Test nur die Bewertungsebene *Zeit* in den Antworten der Lernenden vorkam. Im Post-Test ließen sich alle drei Bewertungsebenen feststellen: Die Nennung der *zeitlichen* Ebene verdoppelte sich, die anderen beiden Bewertungsebenen fanden sich in einem geringeren Ausmaß wieder. Bei insgesamt 49 von 124 Lernenden wurde mindestens eine Bewertungsebene im Post-Test berücksichtigt. Aus dem steigenden Anteil der codierten Bewertungsebenen konnte geschlussfolgert werden,

dass ein Teil der Lernenden ihre Antworten nach der Intervention unter Berücksichtigung der Bewertungsebenen formulierte.
Durch die zusätzliche Darstellung von elaborierten und reflektierten Antwortbeispielen (s. Tabelle 36) konnte das Ergebnis darüber hinaus weiter gestützt werden.
Dadurch konnten für beide Ziele, die Förderung des Nachhaltigkeitsverständnisses von Lernenden sowie die Befähigung zur kriteriengeleiteten Bewertung, positive Effekte nach der Durchführung der Intervention nachgewiesen werden.

Im Rahmen des dritten Mesozyklus wurde zusätzlich auf Basis einer kleinen und daher nicht aussagekräftigen Stichprobe (n=18) ein Überblick über das vorhandene Wissen zum Kontext Elektromobilität einer neunten Klasse erhoben. Für beide Fahrzeugtypen wurden zahlreiche Vor- und Nachteile sowie Aspekte zu allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen aufgelistet. Anhand dieser kurzen Abfrage konnte gezeigt werden, dass sich der Kontext Elektromobilität stellvertretend für diese Lerngruppe sehr gut eignet und bereits Vorwissen vorhanden war.
Alle acht Aspekte, zu denen Lernmaterial ausgearbeitet wurden, fanden sich in den Antworten der Lernenden wieder. Dabei unterschieden sie sich in ihrer Einstufung zu Vor- und Nachteilen. Daraus ließen sich erste Vermutungen ableiten, dass gleiche Aspekte bzw. deren Informationen unterschiedlich bewertet werden können. Diese Vermutungen konnte im Rahmen der Auswertung bestätigt werden (s. Kapitel 6.5.4.1).

Der vierte Mesozyklus erfolgte abschließend zum Ende des *Design-Experiments* und beinhaltete die Durchführung eines Lehrkräfteworkshops zur Vorstellung des Unterrichtskonzepts und der entwickelten Materialien (s. Kapitel 6.6). Ziel war es, eine erste Transfermöglichkeit zu schaffen und Feedback von aktiven Lehrkräften zu erhalten. Damit wurde ein weiteres DBR-Merkmal (s. Kapitel 4.2) berücksichtigt: Die Zusammenarbeit zwischen Lehrenden und Forschenden, um verschiedene Perspektiven zusammenzubringen und eine konstruktive Verbesserung des Konzepts zu erreichen. Insgesamt zeigte sich im Rahmen der durchgeführten Evaluation eine durchweg positive Bewertung des Unterrichzskonzepts durch die teilnehmenden Lehrkräfte und es konnten konstruktive Verbesserungsvorschläge aus den Rückmeldungen abgeleitet werden, die für weitere Anpassungen bereitstehen (s. Kapitel 6.6.6).

In diesem Kapitel wurde das entwickelte, erprobte und evaluierte Unterrichtskonzept nachhaltig⁝bewerten als *praxisorientiertes* Ziel dargestellt. Der *praktische Output* umfasst neben dem Unterrichtskonzept mit seinem zentralen methodischen Instrument der Bewertungsscheibe eine Vielzahl von entwickelten Lernmaterialien zum gewählten Beispielkontext *Elektromobilität*.

Die Analyse der Ergebnisse konnte zeigen, dass die Umsetzung des Unterrichtskonzepts anhand einer exemplarischen Unterrichtseinheit zu Elektromobilität das Nachhaltigkeitsverständnis der Lernenden (n= 124) erweitert hat. Der Einsatz der Bewertungsscheibe erwies sich als wirksam und zielführend. Die Ergebnisse des Post-Tests zeigten eine Zunahme kriteriengeleiteter Bewertungen zur Frage der Nachhaltigkeit von Elektromobilität im Vergleich zu Verbrennungsmotoren auf.

Indem beschrieben wurde, wie durch die exemplarische Umsetzung des Unterrichtskonzepts nachhaltig⁝bewerten eine multiperspektivische Bewertung und Reflexion von Nachhaltigkeit im naturwissenschaftlichen Unterricht bei Lernenden initiiert werden konnte und damit die Wirksamkeit der Intervention aufgezeigt wurde, konnte die übergeordnete Forschungsfrage des vorliegenden Projekts mit dem Fokus auf „What works" beantwortet werden.

7.2 Theoretischer Output des Projekts

Im Anschluss an die Beschreibung dessen, *was* funktioniert hat, soll abschließend beschrieben werden, wodurch, also *auf welche Weise*, die Umsetzung der Intervention funktioniert haben könnte („*How does it works*"). Es wird reflektiert, welche Elemente des Unterrichtskonzepts nachhaltig⁝bewerten als förderlich für die Wirksamkeit der Intervention identifiziert werden könnten. An dieser Stelle wird versucht, mögliche Erklärungsansätze als *theoretischen Output* des vorliegenden Projektes zu generieren.

In Kapitel 4.2 wurde bereits beschrieben, dass im Rahmen von *Design-Based Research* nach Edelson (2002), Theorien mit unterschiedlicher Reichweite generiert und nach ihrem Anwendungsbereich gegliedert werden können. Demnach kann in *bereichsspezifische Theorien* (durch Problemanalyse), sogenannte *Design-Frameworks* (durch Generalisierung von Design-Lösungen) und *Design-Methodologien* (durch Verallgemeinerung des Ablaufs von Gestaltungsprozessen) (Edelson, 2002, S. 113 zitiert nach Reinmann 2005) unterschieden werden.
In der vorliegenden Arbeit wird eine mögliche *bereichsspezifische* Theorie (Edelson, 2002) in Form von Erklärungsansätzen für die Wirksamkeit der Lerneffekte des Unterrichtskonzepts nachhaltig⁝bewerten entwickelt. Es wird reflektiert, wie diese das Erreichen der Lernergebnisse unterstützt haben könnten.

Die Entwicklung des methodischen Instruments der *Bewertungsscheibe* bildet den Kern des Konzepts.
Die *kontextunabhängige* Konstruktion dieses zentralen Elements wird als wesentlich für den Lernerfolg angesehen. Die Bewertungsscheibe kann als unterstützendes Element des

Unterrichtkonzepts und als essenziell für die multiperspektivische Bewertung und Reflexion des Beispiels *Elektromobilität* hervorgehoben werden.
Die Bewertungsscheibe ist so konstruiert, dass sie auf sämtliche Nachhaltigkeitsthemen übertragbar wäre. Sie reduziert übersichtlich die *Komplexität* des Verständnisses von Nachhaltigkeit auf die drei zentralen Nachhaltigkeitsdimensionen und die drei allgemein definierten Bewertungsebenen. Das Verständnis und die Erweiterung des Nachhaltigkeitsbegriffs ist durch die Kontextunabhängigkeit nicht an einen konkreten Gegenstand gebunden und kann über den jeweiligen Lerngegenstand, z. B. den Aspekt der Kohlenstoffdioxid-Emission beim Kontext Elektromobilität, hinaus erlernt werden.
Die Ergebnisse aus dem Prä- und Post-Vergleich zur Frage des Nachhaltigkeitsverständnisses weisen bei den Lernenden unabhängig von der Wahl und Anzahl der Aspekte einen Lernzuwachs auf (s. Kapitel 6.5.3), wenngleich nicht alle Materialien auf alle Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen gleichermaßen ausgelegt sind. Dadurch kann diese Vermutung bekräftigt werden.

Die Lernenden konnten durch die Bewertungsscheibe nicht nur die Informationen aus dem Lernmaterial zu Elektromobilität durch passende Argumente nachvollziehbar zuordnen, sondern auch bereits vorhandenes Wissen zu diesem Kontext aktivieren und in ihre Reflexion einfließen lassen (s. Kapitel 6.5.1.5; 6.5.1.7). Dies weist auf eine *Stärkung ihres Bewusstseins* für bereits bekannte Informationen und auf eine *hohe Anknüpfungsmöglichkeit* für vorhandenes Wissen hin.

Die Diskussionen in den Plenumsphasen zeigten, dass die Lernenden in der Lage waren, verschiedene Möglichkeiten der Bewertung begründet zu diskutieren und dadurch auf eine multiperspektive Ebene zu erlangen. Sie stellten anhand der Vorstellung ihrer Lernprodukte gemeinsam im Plenum heraus, dass es unterschiedliche Bewertungen und daraus folglich auch unterschiedliche Positionen zum Einsatz von Elektroautos geben kann. Die Phase der *Diskussion* ist für diesen Lernzuwachs von hoher Bedeutung. In den Diskussionen wurde deutlich, dass das Fehlen von Informationen und damit fehlende Bewertungen zu den einzelnen Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen erkannt wurden. Das Vorhandensein unterschiedlicher Meinungen oder Positionen zum Kontext Elektromobilität kann für eine erhöhte Bereitschaft zur Auseinandersetzung mit der Informationslage verantwortlich sein bzw. diese bewirken. Anhand der aktiven Beteiligung der Lernenden mit unterschiedlichen Bewertungen an der Diskussion kann auf eine solche Aktivierung geschlossen werden.

Dieser Erklärungsansatz findet sich in ähnlicher Weise bei Kralisch (2022), der darlegt, dass eine „heterogene Meinungslage mit unterschiedlich elaborierten Erklärungsmustern“ (S. 318) möglicherweise als optimale Voraussetzung für den Verlauf des entwickelten Unterrichtskonzepts choice^{2}reflect angesehen werden kann, in dem es um die

Auseinandersetzung mit kontroversen Themen geht (Kralisch, 2022). Auch die Elektromobilität zeichnet sich durch eine gewisse Präsenz kontroverser Diskussionen aus (s. Kapitel 6.4.2).

Die Bewertungsscheibe schafft es durch ihre Möglichkeit der Visualisierung zu der Erkenntnis zu führen, dass noch mehr Informationen benötigt werden, um eine Entscheidung zu treffen und dass je nach vorhandener Informationslage, getroffene Bewertungen kritisch hinterfragt werden sollten. Diese Schwierigkeit konnte von einigen Lernenden aufgrund der ausgefüllten Bewertungsscheiben identifiziert werden, die aufzeigten, dass die fehlenden Felder zum Teil auf fehlende Informationen zurückzuführen sind und möglicherweise die Entscheidung zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität beeinflussen könnten.
Die Bewertungsscheibe regte die Lernenden durch die transparente Darstellung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen und Bewertungsebenen dazu an, im Vergleich zu ihren vorherigen Überlegungen, die häufig nur den Bereich der Umwelt fokussierten (s. Kapitel 6.5.3; 6.5.4), weitere Aspekte zu berücksichtigen und ihre Bewertung kriteriengeleitet auf mehrere Argumente und Informationen zu stützen. Zum Teil nutzten die Lernenden die Bewertungsscheibe sowohl um ihre Ergebnisse zusammenzufassen als auch unter Hinzunahme ihres vorherigen Wissens diese Ergebnisse zu ergänzen (s. Kapitel 6.5.1).

Der Kontext Elektromobilität wurde kriteriengeleitet ausgewählt. Die Ergebnisse aus den Erprobungen weisen an verschiedenen Stellen darauf hin, dass bei den Lernenden bereits Wissen zu diesem Thema vorhanden war (s. Kapitel 6.5.3; 6.5.4). Somit bestätigte sich die Wahl des Kontextes als richtig und relevant. Daraus könnte ein möglicher *motivationaler* Faktor der Unterrichtseinheit abgeleitet werden, da für die Lernenden ein authentischer Bezug zu ihrer *Lebenswelt* generiert wurde, in der Mobilität ein *aktuelles* und *relevantes* Thema ist. Weiterhin könnte die Variation *verschiedener Aufgabentypen* und *Elemente* wie zum Beispiel der Einsatz digitaler Elemente ein motivationaler Faktor gewesen sein.

Die Bewertungsscheibe ermöglicht das Arbeiten in verschiedenen *Sozialformen*. Die Bearbeitung der Lernmaterialien zu Elektromobilität kann *selbstständig* und *selbstgesteuert* und ohne Eingreifen durch die Lehrkraft erfolgen. Die Erprobungen wiesen nur wenige Verständnisschwierigkeiten in der Erarbeitung des Materials auf, die im Rahmen des iterativen Vorgehens durch ein wiederholtes Re-Design optimiert und ausgebessert wurden (s. Kapitel 6.4.4). Dadurch wurde berücksichtigt, dass Lernen im Sinne der konstruktivistischen Lehr-Lerntheorie, ein aktiver und eigenständiger Prozess ist, bei dem die Lernende ihr Wissen aktiv konstruieren (s. Kapitel 6.4.2.2). Auch die Merkmale für BNE-Lernprozesse verweisen auf die Förderung von eigenverantwortlichen Lernprozessen (s. Kapitel 6.3). Um die multiperspektivische Bewertung und Reflexion zu fördern, sollten

die Lernprodukte - die ausgefüllten Bewertungsscheiben - nach der Erarbeitung der Informationen auf jeden Fall im Plenum präsentiert werden, um die Lernenden zur Diskussion auf Grundlage ihrer Ergebnisse anzuregen.

Die aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse können als Ansatz für eine bereichsspezifische Theorie verstanden werden, die in Bezug zu der festgestellten Wirksamkeit der exemplarischen Umsetzung des Unterrichtskonzepts nachhaltig⁝ bewerten im Kontext *Elektromobilität* zu sehen sind. Es sollte in Zukunft eine Ausweitung auf andere Kontexte nachhaltiger Entwicklung, die den in Kapitel 6.4.1.3 erarbeiteten Kriterien entsprechen, erfolgen, um die theoretischen Erkenntnisse weiter zu überprüfen und empirisch zu stützen.

V Fazit und Reflexion

> „In Bezug auf die Umwelt ja, weil sie weniger CO_2 verursachen und somit besser sind. In Bezug auf Wirtschaft, Soziales etc. weiß ich diesbezüglich nicht genug, könnte mir aber gut vorstellen, dass es auch Nachteile gibt und das müsste auch mit einbezogen und abgewägt werden.“ (9.4\RN05R: 4)

Die zunehmenden Veränderungen des Klimas und Überschreitungen der planetaren Belastungsgrenzen rücken das Thema Nachhaltigkeit mehr denn je in den Vordergrund (Richardson et al., 2023). Dabei stellt sich nicht mehr die Frage, ob Fragen nachhaltiger Entwicklung in der Schule thematisiert werden sollen, sondern wie deren erfolgreiche Umsetzung und Etablierung gelingen kann.
Der theoretische Hintergrund dieser Arbeit hat die bestehenden bildungspolitischen Grundlagen und Vorgaben zur Umsetzung von *Bildung für nachhaltige Entwicklung* aufgezeigt (s. Kapitel 2.2). Die Forderung, BNE umzusetzen, besteht für alle Fächer. Das durchgeführte Projekt begegnet dieser Forderung, indem das Unterrichtskonzept nachhaltig:bewerten eine mögliche Umsetzung von BNE in den naturwissenschaftlichen Unterricht darstellt. Dazu wurden Anknüpfungspunkte von BNE-spezifischen Inhalten und Kompetenzen in den naturwissenschaftlichen Curricula identifiziert (s. Kapitel 2.6). Diese legitimierten den zweiten Schwerpunkt dieser Arbeit: Die Förderung von *Bewertungskompetenz* in den naturwissenschaftlichen Fächern.
Die Vermittlung von *Bewertungskompetenz* durch die Thematisierung von *Fragen nachhaltiger Entwicklung* bietet sich in besonderer Weise an und weist zahlreiche Schnittstellen in den formulierten Kompetenzen auf (s. Kapitel 2.6.3). Vorliegende fachdidaktische Beiträge, die das Bewerten von Nachhaltigkeitsthemen in den Mittelpunkt stellen, wurden in einer ausführlichen Literaturrecherche dargestellt und analysiert (s. Kapitel 3.4). Dabei zeigte sich, dass es sich häufig um *fachspezifische* und *kontextgebundene* Beiträge und Konzepte handelt, denen keine *allgemeingültigen* und auf *verschiedene* Nachhaltigkeitsthemen übertragbaren *Kriterien* zugrunde liegen. Zudem ist eine *mehrperspektivische* Herangehensweise notwendig, um der Komplexität von Fragen nachhaltiger Entwicklung gerecht zu werden und den Blick auf die zentralen Dimensionen von Nachhaltigkeit zu richten.

Im Rahmen des forschungsmethodischen Ansatzes *Design-Based- Research* wurde in dieser Arbeit ein Forschungsprojekt zur Entwicklung, Erprobung und Evaluation des Unterrichtskonzept nachhaltig:bewerten durchgeführt. Das Design-Experiment umfasste vier Mesozyklen. Die Entwicklung des methodischen Instruments der *Bewertungsscheibe* ermöglichte den Lernenden zum Teil eine *kriteriengeleitete* Bewertung und Reflexion des nachhaltigkeitsrelevanten Themas Elektromobilität (s. Kapitel 6.5).

Durch ihre *fach- und kontextunabhängige* Konstruktion erfüllt sie den Anspruch, in unterschiedlichen Nachhaltigkeitskontexten anwendbar zu sein. Sie ermöglicht es, die *Mehrdimensionalität* und *Komplexität* von Fragen nachhaltiger Entwicklung auf einen Blick zu visualisieren und Lernenden ein umfassendes Verständnis des Nachhaltigkeitsbegriffs zu vermitteln (s. Kapitel 6.5.3). Die Ergebnisse der Erprobungen konnten die Wirksamkeit hinsichtlich der genannten Ziele bestätigen.
Zum Beispielkontext *Elektromobilität* erfolgte eine exemplarische Umsetzung des Konzepts. Die praxistaugliche Anwendung der entwickelten *Lernmaterialien*, die zielführende Wirksamkeit der *Bewertungsscheibe* sowie die Erweiterung des *Nachhaltigkeitsbegriffs* wurden durch mehrere Erprobungen mit verschiedenen Lerngruppen im schulischen Kontext nachgewiesen (s. Kapitel 6.5).

Das Zitat zu Beginn des Kapitels zeigt die Antwort einer Schülerin auf die Frage nach der Nachhaltigkeit von Elektroautos im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotor. Sie stützt ihre Bewertung auf die Dimension *Umwelt* und den Aspekt *Kohlenstoffdioxid-Ausstoß*, mit denen sie sich in der Erprobung auseinandergesetzt hat. Sie berücksichtigt jedoch in ihrer Bewertung, dass die beiden anderen Dimensionen fehlen und für eine abschließende Entscheidung auch einbezogen werden sollten. Hier zeigt sich, dass die Schülerin sich einer mehrdimensionalen Sichtweise bewusst ist, aber auf Grundlage des Materials keine mehrdimensionale Entscheidung treffen kann. Diese kritische Haltung zeigt, dass die Schülerin die Notwendigkeit einer mehrdimensionalen Antwort erkannt hat und sich bewusst ist, dass ihre Entscheidung noch nicht endgültig ist. Diese Erkenntnis stellt oft eine Herausforderung dar, da die Tatsache, dass eine Frage nicht eindeutig beantwortet werden kann, im Widerspruch zu dem steht, was die Schülerinnen und Schüler aus dem Unterricht kennen. Die Befähigung der Lernenden, dies zu erkennen und zu verstehen, dass letztlich immer die individuelle Bewertung am Ende eines Entscheidungsprozesses steht, zeigt das große Potenzial des Unterrichtkonzepts zur Vermittlung von Bewertungskompetenz.

Abschließend wurden im Re-Framing Gestaltungselemente des Unterrichtskonzepts identifiziert, die zum Gelingen der Intervention beigetragen haben könnten und somit einen möglichen Ansatz einer bereichsspezifischen Theorie darstellen (s. Kapitel 7). Der *fächer- und kontextunabhängigen* Konstruktion der Bewertungsscheibe als methodisches Instrument des Konzepts wird eine hohe Bedeutung und tragende Rolle zum Gelingen der Intervention zugesprochen. Sie weist durch ihre Gestaltung einen *hohen Aktivierungsgrad* für das Vorwissen der Lernenden auf. Dadurch ermöglicht sie eine Diskussion über den Lerngegenstand hinaus und kann so das Verständnis und Bewusstsein für Fragen nachhaltiger Entwicklung verstärken. Auch die *Diskussion im Plenum* wurde als wichtiges Element hervorgehoben und die *kriteriengeleitete Auswahl des Kontextes* Elektromobilität erwies sich als praxistauglich.

Die Materialentwicklung nahm im Rahmen des Projektes einen großen zeitlichen Umfang ein. Im Schulalltag ist eine umfangreiche Materialerstellung zu einem einzelnen Thema von Lehrkräften aufgrund des Zeitaufwandes nicht oder nur sehr schwer umsetzbar. Dass die Bearbeitung nur eines Aspektes dennoch zu einem sinnvollen Einsatz der Bewertungsscheibe führt, konnte zum Teil aus den Antworten der Lernenden abgeleitet werden und zeigt sich auch in dem eingangs beschriebenen Zitat. Dies sollte Lehrkräfte ermutigen, auch kleinere Bewertungseinheiten (z. B. einen Aspekt) in den regulären Fachunterricht zu integrieren. Übersichten zu weiteren Anknüpfungsmöglichkeiten von BNE-Themen an die naturwissenschaftlichen Curricula wie die Leitlinie BNE NRW (MSB NRW, 2019d), der Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung (KMK & BMZ, 2016) und Ausarbeitungen zum Kernlehrplan NRW mit chemiespezifischem Fokus (Kiesling et al., 2023) könnten Lehrkräfte bei der Planung unterstützen.

Die exemplarische Unterrichtseinheit und Anwendung der Bewertungsscheibe erfolgten im Projekt für die Sekundarstufe I. Für weitere Forschungen könnte u.a. von Interesse sein, wie sich der Einsatz der Bewertungsscheibe in der Primarstufe eignet. Eine Einbindung von nachhaltigkeitsbezogenen Themen bietet sich insbesondere für den Sachunterricht und die naturwissenschaftliche Perspektive an (Giest, 2017; Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2021). Hier könnte eine stark vereinfachte und kleinschrittige Durchführung an einem weniger komplexen Gegenstand eine erfolgreiche Umsetzung versprechen. Auch für andere Schulformen, z. B. Haupt- und Realschulen bzw. Sekundarschulen könnte eine Komplexitätsreduzierung sinnvoll sein. Beispielsweise könnten bereits vorgegebene Argumente von den Lernenden eingeordnet werden. Der durchgeführte Workshop mit Lehrkräften hat gezeigt, dass diese das Potenzial des Konzepts erkannt haben und vor allem auf Anpassungen für ihre Lerngruppe hingewiesen haben (s. Kapitel 6.5.5). Zukünftig sollten weitere Fortbildungen und Workshops für Lehrkräfte zur Verbreitung des Konzepts angestrebt werden. Auch Bemühungen um eine Implementierung in die Ausbildung von Lehramtsstudierenden sowie Lehramtsanwärter:innen sollten umgesetzt werden. Die entwickelten Materialien werden interessierten Lehrkräften für ihren Unterricht digital zur Verfügung gestellt.
Interessant könnte auch die Erprobung der Bewertungsscheibe in den beiden naturwissenschaftlichen Fächern Biologie und Physik sein. Im praktischen und theoretischen Output wurden Gestaltungskriterien für entsprechende Lernmaterialien beschrieben.

Das Unterrichtskonzept *nachhaltig:bewerten* ermöglicht es, Lernende an eine multiperspektivische Bewertung und Reflexion von Fragen der nachhaltigen Entwicklung heranzuführen. Selbstverständlich können diese Fragen nicht abschließend beantwortet werden, sondern bleiben Aufgabe von Forschung und Wissenschaft.

Das Projekt leistet jedoch durch die angestrebte Vermittlung von Kompetenzen im Bereich BNE und Bewertung einen Beitrag dazu, dass Lernende befähigt werden, sich bewusst und multiperspektivisch mit dem Thema Nachhaltigkeit auseinanderzusetzen.

Verzeichnisse

Literaturverzeichnis
Abkürzungsverzeichnis
Abbildungsverzeichnis
Tabellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

ADAC. (o. J.). *Kostenvergleich Elektroauto, Benziner oder Diesel: Was ist günstiger?* Abgerufen am 04. August 2022 von https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/auto-kaufen-verkaufen/autokosten/elektroauto-kostenvergleich/

ADAC. (o. J.). *Marktübersicht: Diese Elektroautos gibt es aktuell zu kaufen*. Abgerufen am 04. August 2022 von https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/elektroautos-uebersicht/

Agora Verkehrswende. (2019). *Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial*. Abgerufen am 07. Januar 2021 von https://www.emobil-umwelt.de/images/pdf/ifeu-2019-agora-verkehrswende_22_klimabilanz-von-elektroautos_web.pdf

Agora Verkehrswende. (2021). *Autojobs unter Strom. Wie Elektrifizierung und weitere Trends die automobile Arbeitswelt bis 2030 verändern werden und was das für die Politik bedeutet.* Abgerufen am 26. Mai 2023 von https://www.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2021/BCG-Jobstudie/64_Jobeffekte.pdf

Ahlf-Christiani, C., Becker, I., Bernicke, B., Bögeholz, S., Dierks, H. G., Fischer, J., von Gadow, F., Hansen, K., Hübner, K.-D., Malm, U., Rost, J., Schulz, P., Siewert, K., Skaumal, U. & Warning-Schröder, H. (2003). *Förderung der Urteilskompetenz im Fachunterricht der Sekundarstufe I und II. Werkstattmaterialien BLK-Programm*, *21*. BLK.

Anastas, P., & Eghbali, N. (2010). Green Chemistry: Principles and Practice. *Chemical Society Reviews*, *39*(1), 301–312. https://doi.org/10.1039/b918763b

Anderson, T., & Shattuck, J. (2012). Design-Based Research: A decade of progress in education research? *Educational Researcher*, *41*(1), 16–25. https://doi.org/10.3102/0013189X11428813

Arbeitsgruppe Chemiedidaktik Universität Osnabrück. (2021). *Abgasskandal - Den Stickoxiden auf der Spur. Materialien zum Download.* Abgerufen am 03. September 2021 von https://www.chemie.uni-osnabrueck.de/forschung/didaktik/materialien_zum_download.html

Ayres, P., & Sweller, J. (2021). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (3. Aufl. S. 199–211). Cambridge University Press.

Banse, C., & Marohn, A. (2021). Wie nachhaltig ist Elektromobilität? Das Unterrichtskonzept „nachhaltig ⁝ bewerten". *MNU-Journal*, *5*, 425–429.

Banse, C., & Marohn, A. (2022). Nachhaltigkeit bewerten anhand von Bewertungsebenen – ein systematischer Ansatz für den naturwissenschaftlichen Unterricht. *Chemkon*, *29* (S1), 246–249. https://doi.org/10.1002/ckon.202200003

Barab, S., & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), 1–14.

Barke, H.-D., Harsch, G., Kröger, S., & Marohn, A. (2018). Chemiedidaktik kompakt. (2. Aufl.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56492-9

Beeken, M., Walf, S., & Budke, M. (2018). Traditionell oder vegetarisch? – „Es geht um die Wurst!" im GreenLab_OS. *Chemkon*, *25*(3), 112–117. https://doi.org/10.1002/ckon.201800005

Betsch, T. (2005). Wie beeinflussen Routinen das Entscheidungsverhalten? *Psychologische Rundschau*, *56*(4), 261–270. https://doi.org/10.1026/0033-3042.56.4.261

Betsch, T., Funke, J., & Plessner, H. (2011). *Denken - Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. *Allgemeine Psychologie für den Bachelor.* Springer.

Betsch, T., & Haberstroh, S. (2014). Current research on routine decision making: Advances and prospects. *The Routines of Decision Making* (S. 389–406). Taylor & Francis.

Betsch, T., Haberstroh, S., & Höhle, C. (2002). Explaining routinized decision making. A review of theories and models. *Theory & Psychology*, *12*(4), 453–488.

Beutel, M., & Möhler, T. (2021). Lärm und Luftverschmutzung: Ihr Einfluss auf psychische Erkrankungen. *Aktuelle Kardiologie*, *10*(06), 526–530.

Bögeholz, S. (2006). Explizites Bewerten und Urteilen. *Praxis Der Naturwissenschaften – Biologie*, *55*(1), 17–24.

Bögeholz, S. (2007). Bewertungskompetenz für systematisches Entscheiden in komplexen Gestaltungssituationen nachhaltiger Entwicklung. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung. Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 209–220). Springer.

Bögeholz, S. (2011). Bewertungskompetenz im Kontext Nachhaltige Entwicklung: Ein Forschungsprogramm. In D. Höttecke (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Beitrag zur Gestaltung partizipativer Demokratie. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. 37 Jahrestagung* (S. 32–46). Paderborn.

Bögeholz, S. (2001). *Explizite Bewertung: Ein Ansatz zur Förderung ökologischer Urteilskompetenz im Unterricht. Biowissenschaften in Schule und Öffentlichkeit.* [Konferenzbeitrag] Jubiläumstagung zum 25-jährigen Bestehen der Sektion Biologiedidaktik im Verband Deutscher Biologen (S. 67–68).

Bögeholz, S., & Barkmann, J. (2003). Ökologische Bewertungskompetenz für reale Entscheidungssituationen: Gestalten bei faktischer und ethischer Komplexität. *DGU Nachrichten*, *27/28*, 44–53.

Bögeholz, S., Böhm, M., Eggert, S., & Barkmann, J. (2014). Education for sustainable development in German science education: Past - present - future. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *10*(4), 231–248. https://doi.org/10.12973/eurasia.2014.1079a

Bögeholz, S., Hößle, C., Höttecke, D., & Menthe, J. (2018). Bewertungskompetenz. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 261–281). Springer.

Bögeholz, S., Hößle, C., Langlet, J., Sander, E., & Schlüter, K. (2004). Bewerten - Urteilen - Entscheiden im biologischen Kontext: Modelle in der Biologiedidaktik. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *10*, 89–115.

Böhm, M. (2019). *Lösungsansätze umwelt- und institutionenökonomisch analysieren und reflektieren können - Ein Beitrag zur theoretischen Fundierung und empirischen Überprüfung von Bewertungskompetenz*. Diss. Georg-August-Universität Göttingen

Böhm, M., Barkmann, J., Eggert, S., & Bögeholz, S. (2013). Umwelt- und institutionenökonomische Analyse und Reflektion von Lösungsansätzen für Herausforderungen des Biodiversitätsschutzes - Ein Beitrag zum Göttinger Modell der Bewertungskompetenz. *Treffpunkt Biologische Vielfalt XII*, 123.

Böhm, M., Barkmann, J., Eggert, S., Carstensen, C. H., & Bögeholz, S. (2020). Quantitative modelling and perspective taking: Two competencies of decision making for sustainable development. *Sustainability*, *12*(17). https://doi.org/10.3390/su12176980

Bormann, I. (2013). Bildung für nachhaltige Entwicklung als Praxis sozialer Innovation. In J. Rückert-John (Hrsg.), *Soziale Innovation und Nachhaltigkeit: Perspektiven sozialen Wandels* (S. 269–288). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-531-18974-1_14

Bortz, J., & Döring, N. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation* (6. Aufl.). Springer.

Böttcher, F., Hackmann, A., & Meisert, A. (2016). Argumente entwickeln , prüfen und gewichten - Bewertungskompetenz im Biologieunterricht kontextübergreifend fördern. *MNU Journal*, *3*, 1–5.

Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, *2*(2), 141–178.

Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung (1998). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung: Orientierungsrahme*n. https://www.pedocs.de/volltexte/2008/147/pdf/heft69.pdf

Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung. (2005). *BLK-Programm 21. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung - Abschlussbericht des Programmträgers zum BLK-Programm*. https://www.pedocs.de/volltexte/2008/340/pdf/heft123.pdf

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. (2021). *Themenheft Batterierohstoffe für die Elektromobilität*. Abgerufen am 26. Mai 2023 von https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/DERA Themenheft-01-21.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Bundesfinanzministerium. (2020). *Änderungen des Kfz-Steuer-Gesetzes für nachhaltigen und klimafreundlichen Straßenverkehr*. Abgerufen am 20. Juli 2023 von https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Zoll/2020-09-21-aenderung-kfz-steuer-gesetz.html

Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2017). *Nationaler Aktionsplan Bildung für nachhaltige Entwicklung: Der nationale Beitrag zum Unesco-Weltaktionsprogramm.* Abgerufen am 07. März 2023 von https://www.bne-portal.de/bne/shareddocs/downloads/files/nationaler_aktionsplan_bildung-er_nachhaltige_entwicklung_neu.pdf?__blob=publicationFile

Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2023a). *BMBF-Dachkonzept Batterieforschung*. Abgerufen am 26. Mai 2023 von https://www.bmbf.de/bmbf/shareddocs/downloads/files/bmbf-dachkonzept-batterieforschung-2023.pdf?__blob=publicationFile&v=5

Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2023b). *Monitoring*. Abgerufen am 8. August 2023 von https://www.bne-portal.de/bne/de/bundesweit/monitoring/monitoring_node.html

Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2022). *Masterplan Ladeinfrastruktur II der Bundesregierung*. Abgerufen am 26. Mai 2023 von https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/masterplan-ladeinfrastruktur-2.pdf?__blob=publicationFile

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2018). *Elektromobilität. Baustein einer nachhaltigen klima- und umweltverträglichen Mobilität*. Abgerufen am 25. Mai 2023 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/flyer-elektromobilitaet.pdf?__blob=publicationFile&v=35

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2022). *Bekanntmachung der Richtlinie zur Förderung des Absatzes von elektrisch betriebenen Fahrzeugen (Umweltbonus)*. Abgerufen am 26. Mai 2023 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/B/bekanntmachung-der-richtlinie-zur-foerderung-absatzes-von-elektrisch-betriebenen-fahrzeugen.pdf?__blob=publicationFile

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. (2023). *BMWK-Maßnahmen zur Batteriezellfertigung*. Abgerufen am 19. Juli 2023 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/M-O/230629-bmwk-massnahmen-zur-batteriezellfertigung.pdf?__blob=publicationFile&v=6

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022). *Elektromobilität in Deutschland*. Abgerufen am 29. Dezember 2023 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/elektromobilitaet.html

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2021). *Rohstoffe für die E-Mobilität - Entwicklungspolitische Perspektiven*. Abgerufen am
22. September 2022 von https://rue.bmz.de/resource/blob/75494/792511638c0331f181434837313ee176/rohstoffe-fuer-die-e-mobilitaet-entwicklungspolitische-perspektiven-data.pdf

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2016). *Klimaschutzplan 2050*. Abgerufen am 22. Juni 2023 von https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/klimaschutzplan-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2018). *Wie umweltfreundlich sind Elektroautos?* Abgerufen am 02. Juni 2022 von www.bmu.de

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (o. J.). *Nachhaltige Entwicklung als Handlungsauftrag*. Abgerufen am 08. August 2023 von https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit/strategie-und-umsetzung/nachhaltigkeit-als-handlungsauftrag

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz. (o. J.). *Planetare Belastbarkeitsgrenzen*. Abgerufen am 08. August 2023 von https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit/integriertes-umweltprogramm-2030/planetare-belastbarkeitsgrenzen

Burmeister, M., & Eilks, I. (2011). Ist ein Bio-Kunststoff immer besser als PVC ? Die Warentestmethode und ein Beispiel aus dem Chemieunterricht. *Praxis Der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, *60*(5), 33–36.

Burmeister, M., Jokmin, S., & Eilks, I. (2011). Bildung für nachhaltige Entwicklung und Green Chemistry im Chemieunterricht. *CHEMKON*, *18*(3), 123–128. https://doi.org/10.1002/ckon.201110144

Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, *8*(4), 293–332.

Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, *32*(1), 9–13.

Collins, A. (1992). Toward a design science of education. In E. Scanlon & T. O'Shea (Hrsg.), *New directions in educational technology* (S. 15–22). Springer.

Collins, A., Joseph, D., & Bielaczyc, K. (2004). Design Research: Theoretical and Methodological Issues. *The Journal of the Learning Sciences*, *13*(1), 15–42.

Cornelius, D., Stifter, S., & Witten, J. (2017). *Bodennahes Ozon und Sommersmog: Was ist Ozon?* Hessisches Landesamt für Naturschutz und Geologie. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/luft/faltblaetter/Ozon_2017.pdf

de Haan, G. (1999). Zu den Grundlagen der Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule. *Unterrichtswissenschaft*, *27*(3), 252–280.

de Haan, G. (2002). Die Kernthemen der Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, *25*(1), 13–20.

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* (S. 23–43). Springer.

de Haan, G. (2010). The development of ESD-related competencies in supportive institutional frameworks. *International Review of Education*, *56*(2), 315–328. https://doi.org/10.1007/s11159-010-9157-9

de Haan, G., & Harenberg, D. (1999). *Bildung für eine nachhaltige Entwicklung. Gutachten zum Programm*. BLK.

de Haan, G., Kamp, G., Lerch, A., Martignon, L., Müller-Christ, G., & Nutzinger, H. G. (2008). *Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit: Grundlagen und schulpraktische Konsequenzen*. Springer.

Dege, J. (2016). *Von Konzept zur Curricularen Innovation für den Chemieunterricht*. Diss. Georg-August-Universität Göttingen.

Dege, J., Haffer, S., & Waitz, T. (2016). Sind Nanopartikel schädlich für Mikroorganismen ? Experimente zur Toxizität von Nanopartikeln. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, *27*(152), 28–33.

Der deutsche Bundestag. (2015). *Gesetz zur Bevorrechtigung der Verwendung elektrisch betriebener Fahrzeuge*. Abgerufen am 26. Mai 2023 von http://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?startbk=Bundesanzeiger_BGBl&start=//*%5B@attr_id='bgbl111s0898.pdf'%5D#__bgbl__//*[@attr_id='bgbl115s0898.pdf']__1467283375017

Design-Based Research Collective. (2003). Design-based Research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, *32*(1), 5–8.

Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. (2023). *Was spricht in Ihren Augen dagegen, sich zurzeit ein Elektroauto zu kaufen*? [Graphik] Abgerufen am 06. Juni 2023 von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1179994/umfrage/umfrage-zu-gruenden-gegen-den-kauf-eines-elektroautos-in-deutschland/#:~:text=Es gibt vielfältige Gründe die,gegen ein E-Auto an.

Deutsche Bundesregierung. (2002). *Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen am 05. März 2023 von https://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/Nachhaltigkeit-wiederhergestellt/perspektiven-fuer-deutschland-langfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=3

Deutsche Bundesregierung. (2016). Die deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Neuauflage. Abgerufen am 25. Februar 2021 von https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuauflage-2016-download-bpa-data.pdf?download=1

Deutsche Bundesregierung. (2018). Abgerufen am 20. März 2023 von https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BPA/Bestellservice/Deutsche_Nachhaltigkeitsstrategie_Neuauflage_2016.pdf;jsessionid=23DE7351883CFDAFC7786231BB7C7A52.s3t1?__blob=publicationFile&v=19

Deutsche Bundesregierung. (2021). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie*. Abgerufen am 23. Mai 2023 von https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998194/1875176/3d3b15cd92d0261e7a0bcdc8f43b7839/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2021-langfassung-download-bpa-data.pdf

Deutsche UNESCO-Kommission. (2011). *UN-Dekade „Bildung für nachhaltige Entwicklung" 2005-2014. Nationaler Aktionsplan für Deutschland*. https://www.unesco.de/sites/default/files/2018-05/UN_Bro_2011_NAP_110817_a_02.pdf

Deutsche UNESCO-Kommission. (2021). *Bildung für nachhaltige Entwicklung Eine Roadmap*. https://www.unesco.de/sites/default/files/2021-10/BNE_2030_Roadmap_DE_web-PDF_nicht-bf.pdf

Die Bundesregierung. (2011). *Regierungsprogramm Elektromobilität*. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/regierungsprogramm-elektromobilitaet-mai-2011.pdf?__blob=publicationFile&v=6#:~:text=Mit%20dem%20Konjunkturpaket%20II%20stellt,der%20Elektromobilität%20zur%20Verfügung%20gestellt

Die Bundesregierung. (2022a). *Gesetzentwurf der Bundesregierung: Entwurf eines Gesetzes zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor*. https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/04_EEG_2023.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Die Bundesregierung. (2022b). *Neue Förderregeln für den Umweltbonus ab 2023*. Abgerufen am 15. Dezember 2022 von https://www.bundesregierung.de/breg-de/schwerpunkte/klimaschutz/eenergie-und-mobilitaet/faq-umweltbonus-1993830#:~:text=Wie hoch sind die Fördersätze,40.000 Euro bis 65.000 Euro.

Dimbath, O. (2021). *Einführung in die Soziologie* (4. Aufl.). utb.

Dinkelaker, J., & Herrle, M. (2009). *Erziehungswissenschaftliche Videographie*. Eine Einführung. VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Döring, N. (2023). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial-und Humanwissenschaften* (6 Aufl.). Springer.

Dube, J., & Hussmann, S. (2019). Fachdidaktische Entwicklungsforschung (Design Research). Theorie- und empiriegeleitete Gestaltung von Unterrichtspraxis. In K. Sommer, C. Mattiesson & C. Prieb (Hrgs.), *Früher Bildungsdialog - Wissenschaftskommunikation zwischen Bildungsforschung und Schule* (S. 18-37) Klinkhardt-Verlag.

Dubs, R. (1995). Konstruktivismus: Einige Überlegungen aus der Sicht der Unterrichtsgestaltung. *Zeitschrift für Pädagogik*, *41*(6), 889–903.

Edelson, D. C. (2002). Design Research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, *11*(1), 105–121.

EFahrer. (2022). *Kostenrechner für Elektroautos*. Abgerufen am 20. Oktober 2023 von https://efahrer.chip.de/kostenrechner

Egbers, M. (2017). Konzeptentwicklungs- und Gesprächsprozesse im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice²learn". In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften, Band 1*. Logos Verlag.

Eggert, S. (2008). *Bewertungskompetenz für den Biologieunterricht – Vom Modell zur empirischen Überprüfung.* Diss. Georg-August-Universität Göttingen.

Eggert, S., & Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *12*, 177–197.

Eggert, S., & Bögeholz, S. (2010). Students' use of decision-making strategies with regard to socioscientific Issues: An application of the rasch partial credit model. *Science Education*, *94*(2), 230–258. https://doi.org/10.1002/sce.20358

Eggert, S., Inken-Barfod, W., & Bögeholz, S. (2008). Entscheidungen treffen - Wie man vorgehen kann. *Naturwissenschaften im Unterricht. Biologie*, *336*, 13–18. https://doi.org/10.1055/a-1068-5597

Eilks, I. (2001). Biodiesel: Kontextbezogenes Lernen in einem gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht. *Praxis der Naturwissenschaften- Chemie in Der Schule*, *50*(1), 8–10.

Eilks, I., Feierabend, T., Hößle, C., Höttecke, D., Menthe, J., Mrochen, M., & Oelgeklaus, H. (2011a). Bewerten Lernen und Klimawandel in vier Fächern – Erste Einblicke in das Projekt „Der Klimawandel vor Gericht" (Teil 1). *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *64*, 7–11.

Eilks, I., Feierabend, T., Hößle, C., Höttecke, D., Menthe, J., Mrochen, M., & Oelgeklaus, H. (2011b). *Der Klimawandel vor Gericht: Materialien für den Fach-und Projektunterricht*. Aulis-Verlag.

Eilks, I., & Klinkebiel, G. (1998). Biodiesel - Ökobilanzen im Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, *9*(45), 132–134.

Eilks, I., Marks, R., & Stuckey, M. (2016). Das gesellschaftskritisch-problemorientierte Unterrichtsverfahren. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, *65*(5), 33–37.

Eilks, I., Marks, R., & Stuckey, M. (2018). Socio-scientific issues as contexts for relevant education and a case on tattooing in chemistry teaching. *Educación Química*, *29*(1), 9. https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.1.63680

Eilks, I., & Ralle, B. (2002). Partizipative Fachdidaktische Aktionsforschung. Ein Modell für eine begründete und praxisnahe curriculare Entwicklungsforschung in der Chemiedidaktik. *Chemkon*, *9*(1), 13–18.

Energis. (2023). *E-Auto Reichweite: Wie viele Kilometer schafft ein Elektroauto ohne laden?* Abgerufen am 13. Februar 2023 von https://www.energis.de/ratgeber/mobilitaet/e_auto_reichweite#:~:text=Die durchschnittliche Reichweite von E,zwischen 200 und 600 Kilometern.

Engagement Global. (2021). *Orientierungsrahmen Globale Entwicklung.* Dokumentation der 12. KMK/BMZ-Fachtagung. https://ges.engagement-global.de/12-kmk-bmz-fachtagung-zum-orientierungsrahmen.html

Euler, D. (2014). Design Research - A paradigm under development. In D. Euler & P. F. E. Sloane (Hrsg.), *Design-Based Research* (S. 15–41). Franz Steiner Verlag.

Euler, D., & Sloane, P. F. E. (2014). Editorial. In D. Euler & P. F. E. Sloane (Hrsg.), *Design-Based Research* (S. 7–12). Franz Steiner Verlag.

Europäische Union. (2008). *Richtlinie 2008/50/EG des europäischen Parlamentes und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa*. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&qid=1419250736800&from=DE

Europäischen Union. (2014). *Verordnung (EU) Nr. 540/2014 Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über den Geräuschpegel von Kraftfahrzeugen und von Austauschschalldämpferanlagen sowie zur Änderung der Richtlinie 2007/46/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 70/157* (Issue 540). https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0540

European Environment Agency. (2016). Electric vehicles in Europe. https://www.eea.europa.eu/publications/electric-vehicles-in-europe

Fagerlönn, J., Sirkka, A., Lindberg, S., & Johnsson, R. (2018, 12-14 September). *Acoustic Vehicle Alerting Systems: Will they affect the acceptance of electric vehicles?* [Konferenzbeitrag] Proceedings of the Audio Mostly 2018 on Sound in Immersion and Emotion. Wrexham, United Kingdom https://doi.org/10.1145/3243274.3243305

Feierabend, T., & Eilks, I. (2009). Bioethanol. Bewertungs- und Kommunikationskompetenz schulen in einem gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht. *Der Mathematische Und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *62*(2), 92–97.

Feulner, B., Hiller, J., & Serwene, P. (2021). Design-Based Research in der Geographiedidaktik – Kernelemente, Verlaufsmodell und forschungsmethodologische Besonderheiten anhand vier ausgewählter Forschungsprojekte. *Educational Design Research*, *5*(2), 1–32. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25233-5_3

Fiebelkorn, F., & Kuckuck, M. (2019). Insekten oder In-vitro-Fleisch – Was ist nachhaltiger? Eine Beurteilung mithilfe der Methode des „Expliziten Bewertens“. *Praxis Geographie*, *6*, 14–20.

Fiebelkorn, F., & Putchert, N. (2018). Aufgetischt: Mehlwurm statt Rindfleisch. Insekten als alternative Proteinquelle bewerten. *Unterricht Biologie*, *439*, 12–16.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2021a). Principles based on social cues in multimedia learning: Personalization, voice, image, and embodiment principles. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 277–285). Cambridge University Press.

Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2021b). Principles for reducing extraneous processing in multimedia learning: Coherence, signaling, redundancy, spatial contiguity, and temporal contiguity principles. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 185–198). Cambridge University Press.

Fischer, F., Waibel, M., & Wecker, C. (2005). Nutzenorientierte Grundlagenforschung im Bildungsbereich. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *8*(3), 427–442.

Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*, *639*, 1188–1204. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223

Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V, Reyers, B., & Rockström, J. (2016). Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science. *Ecology and Society*, *21*(3), art41. https://doi.org/10.5751/ES-08748-210341

Fraunhofer ISE. (2021). *Nettostromerzeugung in Deutschland 2020: erneuerbare Energien erstmals über 50 Prozent*. Abgerufen am 13. Februar 2023 von https://www.ise.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/news/2020/nettostromerzeugung-in-deutschland-2021-erneuerbare-energien-erstmals-ueber-50-prozent.html

Friedrich, Z. (2016). *Nachhaltigkeit wofür? Von Chancen und Herausforderungen für eine nachhaltige Zukunft*. Springer Verlag.

Gausmann, E., Eggert, S., Hasselhorn, M., Watermann, R., & Bögeholz, S. (2010). Wie verarbeiten Schüler/innen Sachinformationen in Problem- und Entscheidungssituationen Nachhaltiger Entwicklung? *Zeitschrift für Pädagogik*, *Beiheft 56*, 204–215.

Gerstenmaier, J., & Mandl, H. (1995). Wissenserwerb unter konstruktivistischer Perspektive. *Zeitschrift für Pädagogik*, *41*(6), 867–888.

Giest, H. (2017). Die naturwissenschaftliche Perspektive konkret. In A. Hartinger (Hrsg.), *Begleitbände zum Perspektivrahmen Sachunterricht Band* 4. Verlag Julius Klinkhardt.

Graf, D. (2001). Welche Aufgabentypen gibt es? *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *7*(54), 422–425.

Gravemeijer, K., & Cobb, P. (2006). Design research from a learning design perspective. In J. van den Akker, K. Gravemeijer, S. McKenney, & N. Nieveen (Hrsg.), *Educational design research* (S. 45–85). Routledge.

Gresch, H. (2020). Korallenriffe. Gefährdung eines Ökosystems und Entwicklung von Schutzmaßnahmen. OER Material für den Biologieunterricht zum Orientierungsrahmen Globale Entwicklung. In KMK/BMZ (Hrsg.), *Ergänzungen zum Orientierungsrahmen Globale Entwicklung*. Engagement Global.

Griese, K.-M., Werner, K., & Cai, M. (2016). Green Meetings: Theoretische Erklärungsansätze und empirische Befunde. In W. Leal Filho (Hrsg.), *Forschung für Nachhaltigkeit an deutschen Hochschulen* (S. 261–275). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-10546-4

Griggs, D., Stafford-Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M. C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N., & Noble, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, *495*(7441), 305–307. https://doi.org/10.1038/495305a

Grotjohann, N., & Sommerfeld, L. (2012). Die Plünderung der Meere. Erwerb von Bewertungskompetenz durch einen Lernzirkel zum Thema Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften - Biologie in der Schule*, *61*(4), 37–42.

Grund, J., & Brock, A. (2022). *Formale Bildung in Zeiten von Krisen – die Rolle von Nachhaltigkeit in Schule, Ausbildung und Hochschule. Kurzbericht des Nationalen Monitorings zu Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE) auf Basis einer Befragung von 3.000 jungen Menschen und Lehrkräften*. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17169/refubium-36890

Grunwald, A., & Kopfmüller, J. (2022). Nachhaltigkeit: 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. In *Nachhaltigkeit*. Campus Frankfurt / New York.

Haidt, J. (2001). The emotional dog and its rational tail: A social intuitionist approach to moral judgment. *Psychological Review*, *108*(4), 814-834.

Härtig, H., Bernholt, S., & Schroeter, B. (2014). Globale Entwicklung als Lernbereich in den Naturwissenschaften. *Zeitschrift Für Internationale Bildungsforschung Und Entwicklungspädagogik*, *37*(3), 22–27. https://doi.org/10.25656/01

Hauff, M. (2021). *Nachhaltige Entwicklung*. De Gruyter. https://doi.org/10.1515/9783110722536

Hauff, M. von, & Kleine, A. (2005). Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie - Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck. *Diskussionsbeiträge Der Technischen Universität Kaiserslautern*, *19*(5), 1–31.

Heinen, R., & Heinicke, S. (2018). Stolpersteine aufgedeckt: Gestaltung. *Unterricht Physik*, *165/166*, 40–45.

Heinen, R., & Heinicke, S. (2021). Gestaltung von Lernmaterial und Didaktische Typografie – wie sich die Lesbarkeit von Texten auch ohne sprachliche Anpassungen verändern lässt. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, *1*. [Konferenzbeitrag] https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/1182

Heinen, R., & Keßling, T. (2022). Gut gesetzt ist halb gelesen: Mit guter Typografie zu einem lesbaren Text. *Unterricht Physik*, *188*, 18–21.

Heinicke, S., & Lumer, J. (2018). Mit Informationstexten umgehen. *Unterricht Physik*, *165/166*, 30–33.

Heinicke, S., Lumer, J., & Heinen, R. (2018). Stolpersteine aufgedeckt: Text. *Unterricht Physik*, *165/166*, 34–29.

Heinrich, J. (2018). Feinstaub, Stickoxide, Ozon: Darf man in Großstädten noch atmen? *Der Pneumologe*, *15*(4), 263–265. https://doi.org/10.1007/s10405-018-0192-8

Hellberg-Rode, G. (2011). Bildung für Nachhaltige Entwicklung - Zusätzliche Anforderung oder Chance zur Innovation? *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *64*(2), 68–72.

Helms, H., Jöhrens, J., Hanusch, J., Höpfner, U., Lambrecht, U., & Pehnt, M. (2011). *UMBReLA - Umweltbilanzen Elektromobilität. Wissenschaftlicher Grundlagenbericht.* Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg. https://www.emobil-umwelt.de/images/pdf/ifeu_(2011)_-_UMBReLA_grundlagenbericht.pdf

Herrle, M., & Breitenbach, S. (2016). Planung, Durchführung und Nachbereitung videogestützter Beobachtungen im Unterricht. In U. Ruin, M. Herrle & T. Engartner (Hrsg.), *Videoanalysen in der Unterrichtsforschung. Methodische Vorgehensweisen und Anwendungsbeispiele* (S. 30–49).

Herrmann, F., Beinhauer, W., Borrmann, D., Hertwig, M., Mack, J., Potinecke, T., Praeg, C.-P., & Rally, P. (2020). Beschäftigung 2030. In W. Bauer, O. Riedel & F. Herrmann (Hrsg.), *Auswirkungen von Elektromobilität und Digitalisierung auf die Qualität und Quantität der Beschäftigung bei Volkswagen. Zusammenfassung und zentrale Ergebnisse.* Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO. https://publicarest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/c024ab94-b0c0-4fd8-a69f-902aa9bfc9cd/content

Hoadley, C. P. (2002). Creating Context: Design-based Research in Creating and Understanding [Konferenzbeitrag]. *Proceedings of CSCL*, 453–462.

Holland, D. (2021). Klimafreundlich online shoppen?! Eine Zukunftswerkstatt zu nachhaltigem Einkaufsverhalten. *Unterricht Physik*, *183/184*, 64–67.

Hößle, C., & Menthe, J. (2013). Urteilen und Entscheiden im Kontext Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ein Beitrag zur Begriffklärung. In J. Menthe, D. Höttecke, I. Eilks, & C. Hößle (Hrsg.), *Handeln in Zeiten des Klimawandels* (S. 35–63). Waxmann.

Hostenbach, J. (2011). *Entwicklung und Prüfung eines Modells zur Beschreibung der Bewertungskompetenz im Chemieunterricht*. Logos Verlag.

Hostenbach, J., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2011). Modellierung der Bewertungskompetenzen in den Naturwissenschaften zur Evaluation der Nationalen Bildungsstandards. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *17*, 261–285.

Höttecke, D. (2013a). Bewerten - Urteilen- Entscheiden. Ein Kompetenzbereich des Physikunterrichts. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, *23*(134), 4–12.

Höttecke, D. (2013b). Rollen-und Planspiele in der Bildung für nachhaltige Entwicklung. In J. Menthe, D. Höttecke, I. Eilks, & C. Hößle (Hrsg.), *Handeln in Zeiten des Klimawandels* (S. 95–111). Waxmann.

Höttecke, D. (2013c). Sachwissen- Werte & Normen- Interessen: Ordnung in die Argumente bringen. *Naturwissenschaften Im Unterricht. Physik*, *23*(134), 17–18.

Höttecke, D., & Hartmann-Mrochen, M. (2013). Flugobst unter der Lupe. Mit einem Planspiel urteilen und entscheiden lernen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, *23*(134), 27–33.

ifeu. (2017). *Umweltbilanzen Elektromobilität*. Abgerufen am 14.09.2020 von https://www.emobil-umwelt.de/index.php/de/umweltbilanzen/gesamtbilanzen/batterieelektrische-pkw

Jungkamp, F. (2021). Kontroversen mit Hilfe wissenschaftlicher Prüfkriterien bewerten: Die Unterrichtskonzeption choice²reflect. In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften, Band 9*. Logos Verlag.

Jürgensmeier, F. (2020). Offene Experimentiersituationen ermöglichen und charakterisieren - eine Schülerlaboreinheit zu einem curricular innovativen Thema. In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften, Band 7*. Logos Verlag.

Kämper, C., Helms, H., & Biemann, K. (2020). *Wie klimafreundlich sind Elektroautos? Update Bilanz 2020*.Institut für Energie- und Umweltforschung. https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Verkehr/emob_klimabilanz_bf.pdf

Karle, A. (2020). *Elektromobilität. Grundlagen und Praixs* (4. Aufl.).Hanser Verlag. https://doi.org/10.3139/9783446460775

Kauertz, A., Fischer, H., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2010). Standardbezogene Kompetenzmodellierung in den Naturwissenschaften der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften, 16*, 135–154.

Kiesling, E., Venzlaff, J., & Bohrmann-Linde. (2022). BNE im Chemieunterricht – von der Leitlinie BNE NRW zur exemplarischen Unterrichtseinbindung. *Chemkon*, *29*(S1), 239–245. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.202200002

Kiesling, E., Venzlaff, J., & Bohrmann-Linde, C. (2023). BNE und Chemieunterricht – BNE als roter Faden durch die Schulchemie und Beispiel einer Lerneinheit zur Klimawirksamkeit von Kohlenstoffdioxid. *Chemkon*, *30(3), 96-02*. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.202100039

Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik* (3. Aufl.). Springer.

Klaus, T., Vollmer, C., Werner, K., Lehmann, H., & Müschen, K. (2010). *Energieziel 2050 : 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen*. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/energieziel_2050.pdf

Klose, A. (2021). *Entwicklung von Unterrichtsmaterialien zum Thema Stickoxide im Rahmen des Unterrichtskonzepts nachhaltig ⁚ bewerten*. Unveröffentlichte Masterarbeit. Universität Münster.

KMK & DUK. (2007). *Empfehlungen der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK) und der Deutschen UNESCO-Kommission (DUK) vom 15.06.2007 zur Bildung für eine Nachhaltige Entwicklung in der Schule.* http://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2007/2007_06_15_Bildung_f_nachh_Entwicklung.pdf

KMK & BMZ. (2007). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung. https://edumedia-depot.gei.de/bitstream/handle/11163/4162/895069504_2008.pdf?sequence=1*

KMK & BMZ. (2016). *Orientierungsrahmen für den Lernbereich Globale Entwicklung im Rahmen einer Bildung für nachhaltige Entwicklung: Ein Beitrag zum Weltaktionsprogramm Bildung für nachhaltige Entwicklung. https://edumedia-depot.gei.de/bitstream/handle/11163/4161/89507012X_2016.pdf?sequence=1*

Knittel, C. (2013). *Eine Feldstudie zur Untersuchung der Förderung von Bewertungskompetenz - am Beispiel der Photovoltaik*. Diss. Pädagogische Hochschule Freiburg.

Knittel, C., & Mikelskis-Seifert, S. (2013). Lohnt sich eine Photovoltaikanalage auf dem Dach? *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *134*(66), 22–26.

Knogler, M., & Lewalter, D. (2014). Design-Based Research im naturwissenschaftlichen Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, *61*, 2–14.

Kraftfahrt-Bundesamt. (2023). *Anzahl der Elektroautos in Deutschland von 2012 bis 2022*. Abgerufen am 09. November 2023 von https://de.statista.com/statistik/daten/studie/265995/umfrage/anzahl-der-elektroautos-in-deutschland/#:~:text=Die Anzahl an zugelassenen Elektroautos,1%2C01 Millionen Fahrzeuge gemeldet.

Kralisch, C. (2022). Wissenschaftskriterien verstehen und anwenden - Weiterentwicklung der Unterrichtskonzeption choice2reflect zur Bewertung gesellschaftlicher Kontroversen. In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften, Band 10*. Logos Verlag.

Kremer, F., & Marohn, A. (2022). „ smart for science “ - Lernen mit Smartphones und digitalen Lernmaterialien im Themenfeld Elektromobilität: *MNU -Journal*, *5*, 390–393.

Kuckartz, U., & Rädiker, S. (2022). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden , Praxis , Computerunterstützung* (5. Aufl.). Beltz Juventa.

KMK. (o. J.). *Aufgabenformate*. Abgerufen am 13. Februar von http://www.kmk-format.de/material/Deutsch/0_Kompetenzorientierung_und_-entwicklung_im_Fach_ Deutsch/0_4_Kompetenzorientierte_Aufgaben/M_0_4_3.pdf

KMK. (2004a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss [Beschluss vom 16.12.2004]*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Biologie.pdf

KMK. (2004b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss [Beschluss vom 16.12.2004]*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Chemie.pdf

KMK. (2004c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss [Beschluss vom 16.12.2004]*. https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_12_16-Bildungsstandards-Physik-Mittleren-SA.pdf

KMK (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife*. *[Beschluss vom 18.06.2020*] https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Chemie.pdf

KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife. [Beschluss vom 18.06.2020]*. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Physik.pdf

Lanfermann, P., Dege, J., Maaß, M., Weidmann, C., & Waitz, T. (2022). Nanotechnologie im Schülerlabor NanoBiNE in Göttingen. In C. Lentz, J. Menthe, T. Waitz & P. Düker (Hrgs.), *BNE in Schule und Lehrkräftefortbildung: Nanotechnologie Und Technikfolgenabschätzung als Chance fürden Chemieunterricht* (S. 71-79). Waxmann.

Leisen, J. (2003). Methoden-Werkzeuge. Neue Erfahrungen mit bekannten Materialien. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*. *3/4*, 6-12.

Leisen, J. (2004). Methoden-Werkzeuge im Deutschsprachigen Fachunterricht. *Fremdsprache Deutsch*, *30*, 22–44.

Leisen, J. (2013). *Handbuch Sprachförderung im Fach - Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis*. Ernst Klett.

Leisen, J. (2022). *Sprachbildung und sprachsensibler Fachunterricht in den Naturwissenschaften*. Kohlhammer Verlag.

LernortLabor. (2017). *Bildung für nachhaltige Entwicklung in Schülerlaboren*. https://www.lernortlabor.de/downloads/LeLa_BNE-Broschuere_2017_Download.pdf

Linkwitz, M., Belova, N., & Eilks, I. (2021). Grüne und nachhaltige Chemie bereits im Chemieunterricht der SI? – Das Projekt „Cosmetics go green". *Chemkon*, *28*(4), 155–161. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.202100003

Linkwitz, M., & Eilks, I. (2019a). Green Chemistry im Unterricht. *Naturwissenschaften Im Unterricht. Chemie*, *30*(172), 19–23.

Linkwitz, M., & Eilks, I. (2019b). Green Chemistry in der Schule: Unterricht und Experimente zur Nachhaltigkeit. *Chemie in Unserer Zeit*, *53*(6), 412–420. https://doi.org/10.1002/ciuz.201900048

Linkwitz, M., & Eilks, I. (2022). Experimente mit immobilisierten Enzymen als Beitrag zum Lernen über Grüne Chemie im Chemieunterricht. *Chemkon*, *29*(5), 395–401. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.202000078

Marks, R., Bertram, S., & Eilks, I. (2006). Chemiebezogene Bewertungskompetenz entwickeln durch offene gesellschaftskritische Kontroversen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, *17*(94/95), 69–73.

Marks, R., Burmeister, M., Lippel, M., & Eilks, I. (2012). Bewerten lernen. Gefilterte Informationen und die Imitierung gesellschaftlicher Praktiken im gesellschaftskritisch-problemorientierten Chemieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, *23*(127), 32–36.

Marohn, A., & Jungkamp, F. (2016). choice²reflect. Kontrovers diskutierte Themen mit Hilfe wissenschaftlicher Prüfkriterien reflektieren am Beispiel Homöopathie. *Praxis der Naturwissenschaften- Chemie in der Schule*, *65*(5), 38–43.

Marohn, A., & Rott, L. (2020). Symbole und Zeichnungen. *Unterricht Chemie*, *176*, 40–43.

Mayer, J., Harms, U., Hammann, M., Bayrhuber, H., & Kattmann, U. (2004). Schulpraxis-Kerncurriculum Biologie der gymnasialen Oberstufe. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *57*(3), 166–172.

Mayer, R. E. (2021a). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 57–72). Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (2021b). The Multimedia Principle. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 145–157). Cambridge University Press.

Mayer, R. E., & Fiorella, L. (2021). Principles for Managing Essential Processing in Multimedia Learning: Segmenting, Pre-training, and Modality Principles*. In R. E. Mayer & L. Fiorella (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 243–260). Cambridge University Press.

McKenney, S., & Reeves, T. C. (2012). *Conducting Educational Design Research*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315105642

McKenney, S., & Reeves, T. C. (2019). *Conducting Educational Design Research*. Routledge.

Meisert, A., Böttcher, F., & Hackmann, A. (2016). Argumente entwickeln, prüfen und gewichten. *MNU Journal*, *3*, 150–157.

Melin, H. E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries - A research review*. Circular Energy Storage. Abgerufen am 13 Februar 2024 von https://www.energimyndigheten.se/globalassets/forskning--innovation/overgripande/state-of-the-art-in-reuse-and-recycling-of-lithium-ion-batteries-2019.pdf

Menthe, J., Baumann, S., & Sprenger, S. (2016). Das Ökohandy- eine echte Alternative? Bewertung für eine nachhaltige Entwicklung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, *27*(152), 23–27.

Menthe, J., Düker, P., Heller, H., & Hönke, A. (2015). Nanosilber in der Waschmaschine - ein kontextorientierter Zugang zur Elektrochemie und Nanowissenschaft. *Praxis der Naturwissenschaften- Chemie in der Schule*, *64*(4), 18–23.

Menthe, J., Feierabend, T., & Eilks, I. (2012). Der Klimawandel- zwischen chemischer Sicht und fächerübergreifenden Betrachtungen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, *23*(129), 20–25. https://doi.org/10.1007/978-3-531-92258-4

Menzel, P. (2023). Schadstoffemissionen. Nachweis von Stickstoffoxiden mit Nitrat-Nitrit-Teststäbchen und Marmeladenglas. *Unterricht Chemie*, 194.

Michelsen, G. (2009). Kompetenzen und Bildung für nachhaltige Entwicklung. In B. Overwien (Hrsg.), *Globalisierung fordert politische Bildung: Politisches Lernen im globalen Kontext* (S. 75–86). Verlag Barbara Budrich.

Michelsen, G. (2017). Verortung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. *Forum Hlz*, 5. In G. Michelsen (Hrgs.), *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit* (S. 5-21). Hessische Landeszentrale für Politische Bildung.

Michelsen, G., & Fischer, D. (2019). *Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Hessische Landeszentrale für politische Bildung. https://hlz.hessen.de/fileadmin/user_upload/PDF/Publikationsreihen/Schriftenreihe_Nachhaltigkeit/HLZ-Broschuere_Nachhaltigkeit_Band_2_2019.pdf

Michelsen, G., & Overwien, B. (2020). Nachhaltige Entwicklung und Bildung. In P. Bollweg, J. Buchna, T. Coelen, & H.-U. Otto (Hrsg.), *Handbuch Ganztagsbildung* (S. 557–574). Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-23230-6_42

Ministerium für Kultus Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). *Gemeinsamer Bildungsplan der Sekundarstufe I*. Chemie. https://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents/lsbw/export-pdf/depot-pdf/ALLG/BP2016BW_ALLG_SEK1_CH.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2014). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen.Chemie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/151/KLP_GOSt_Chemie.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019a). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Biologie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/197/g9_bi_klp_%203413_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019b). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Chemie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/198/g9_ch_klp_3415_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019c). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe I Gymnasium in Nordrhein-Westfalen. Physik*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/208/g9_ph_klp_%203411_2019_06_23.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2019d). *Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung*. https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/Leitlinie_BNE.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2021). *Lehrplan für die Primarstufe in Nordrhein-Westfalen. Fach Sachunterricht.* https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/292/ps_lp_su_einzeldatei_2021_08_02.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2022). *Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Biologie*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/325/gost_klp_bi_2022_06_07.pdf

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen. (2013). *Kernlehrplan für die Gesamtschule – Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen - Naturwissenschaften*. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SI/GE/NW/KLP_GE_NW.pdf

Mittelsten Scheid, N., & Hößle, C. (2008). Bewerten im Biologieunterricht: Niveaus von Bewertungskompetenz. *Erkenntnisweg Biologiedidaktik*, *6*, 87–104.

Müller, M., & Niebert, K. (2017). Verantwortung im Anthropozän. In G. Michelsen (Hrgs.), *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit* (S. 55-70). Hessische Landeszentrale für Politische Bildung.

Netzwerk Leichte Sprache. (2022). *Die Regeln für Leichte Sprache*. https://www.leichte-sprache.org/wp-content/uploads/2023/03/Regelwerk_NLS_Neuaufl2022_web.pdf

Niebert, K. (2016). Nachhaltigkeit lernen im Anthropozän. Wie Schule und Unterricht zu einer nachhaltigen Menschenzeit beitragen können. In M. Schweer (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung in pädagogischen Handlungsfeldern - Grundlagen, Verankerung und Methodik in ausgewählten Lehr-Lern-Kontexten* (S. 77–94). PL Academic Research.

Niebert, K. (2019). The Gymnasium in times of the Anthropocene. In D. Holtsch, M. Oepke, & S. Schumann (Hrsg.), *Lehren und Lernen in der Sekundarstufe II. Gymnasial- und wirtschaftspädagogische Perspektiven* (S. 175–187). hep Verlag.

OECD. (2005). *Definition und Auswahl von Schlüsselkompetenzen*. https://www.oecd.org/pisa/35693281.pdf

OECD. (2020). *Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport. An ignored enviromental policy challenge*. https://doi.org/10.1787/4a4dc6ca-en

Öko-Institut e.V., & Fraunhofer ISI. (2015). *Klimaschutzszenario 2050. 2. Endbericht.* https://www.oeko.de/oekodoc/2451/2015-608-de.pdf

Ortiz, R. A. (2020). Den Spirit von Fridays For Future in den Klassenraum bringen ? *Plus Lucis*, *3*, 35–42.

Ortiz, R. A., & Bartosch, I. (2016). Entscheiden & Urteilen zu nachhaltigem Einsatz von Energie. In: C. Maurer (Hrsg.), *Authentizität und Lernen – das Fach in der Fachdidaktik* (S. 446-448). Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Berlin 2015.

Osranek, R. (2017). *Nachhaltigkeit in Unternehmen*. Springer.

Otte, L., Amel, H., & Korte, T. (2023). Die Wurst hat‘s in sich: Innovative Experimente zu den Inhaltsstoffen fleischhaltiger, vegetarischer und veganer Wurst. *Unterricht Chemie*, *34*(193), 16–20.

Otte, L., Brockhage, F., Kreienhop, N., Lusmöller, J., Schmidt, J., & Beeken, M. (2020a). Eigenschaften, Entstehung und Verwendung von Mikroplastik. Kompetenzen in den Bereichen fachwissen und Erkenntnisgewinnung. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, *31*(179), 20–27.

Otte, L., Brockhage, F., Kreienhop, N., Lusmöller, J., Schmidt, J., & Beeken, M. (2020b). Lösungsansätze für die Mikroplastik-Problematik. Kompetenzen in den Bereichen Bewertung und Kommunikation erwerben. *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie*, *31*(179), 28–33.

Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology*, *56*(3), 1510–1521. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158

Petschenka, A., Ojstersek, N., & Kerres, M. (2004). Lernaufgaben gestalten. Lerner aktivieren mit didaktisch sinnvollen Lernaufgaben. In A. Hohenstein & K. Wilbers (Hrsg.), *Handbuch E-Learning.* Fachverlag deutscher Wirtschaftsdienst.

Pfister, H.-R., Jungermann, H., & Fischer, K. (2017). *Die Psychologie der Entscheidung* (4. Aufl.). Springer.

Porst, R. (2013). *Fragebogen: Ein Arbeitsbuch*. Springer.

Prechtl, M. (2019). Kritikalität und Recycling von Seltenerdelementen. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, *30*(172), 24–28.

Programm Transfer-21. (2007). Orientierungshilfe - Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Sekundarstufe I. Begründungen, Kompetenzen, Lernangebote.http://www.transfer21.de/daten/materialien/Orientierungshilfe/Orientierungshilfe_Kompetenzen.pdf

Programm Transfer-21. (2008). *Programm Transfer 21. Bildung für eine nachhaltige Entwicklung - Abschlussbericht des Programmträgers*. *1. August 2004 bis 31. Juli 2008*. http://www.transfer-21.de/daten/T21_Abschluss.pdf

Puentedura, R. (2006). *Transformation, Technology, and Education*. Abgerufen am 13. Februar 2023 von http://hippasus.com/resources/tte/

Pufé, I. (2017). *Nachhaltigkeit* (3. Aufl.). UVK Verlagsgesellschaft mbH.

Rabe, T., & Bub, F. (2021). Planspiele zum Klimawandel: Klimahandeln multiperspektivisch erleben und reflektieren. *Unterricht Physik*, *183/184*, 60–63.

Rauin, U., Herrle, M., & Engartner, T. (2016). *Videoanalysen in der Unterrichtsforschung*. Beltz Juventa Weinheim/Basel.

Reinmann, G. (2005). Innovation ohne Forschung? Ein Plädoyer für den Design-Based Research-Ansatz in der Lehr-Lernforschung. *Unterrichtswissenschaft*, *33*(1), 52–69.

Reinmann, G. (2007). Innovationskrise in der Bildungsforschung: Von Interessenkämpfen und ungenutzten Chancen einer Hard-to-do-Science. In G. Reinmann & J. Kahlert (Hrsg.), *Der Nutzen wird vertagt.... Bildungswissenschaften Im Spannungsfeld Zwischen Wissenschaftlicher Profilbildung und praktischem Mehrwert*, (S. 198–220). Pabst Verlag.

Reinmann, G. (2014). Entwicklungsfrage: Welchen Stellenwert hat die Entwicklung im Kontext von Design Research? Wie wird Entwicklung zu einem wissenschaftlichen Akt. In D. Euler & P. F. E. Sloane (Hrsg.), *Design-Based Research* (S. 63–78). Franz Steiner Verlag.

Reinmann, G. (2017). Design-based Research. In D. Schwemme & H. Novak (Hrsg.), *Gestaltungs- orientierte Forschung – Basis für soziale Innovationen. Erprobte Ansätze im Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis* (S. 46–61). Bertelsmann.

Reinmann, G. (2022a). Lehren als Design - Scholarship of Teaching and Learning mit Design-Based Research. In U. Fahr, K. Alessandra, H. Angenet, A. Eßer-Lüghausen (Hrsg.), *Hochschullehre erforschen: Innovative Impulse für das Scholarship of Teaching and Learning* (S. 29-44). Springer.

Reinmann, G. (2022b). Was macht Design-Based Research zu Forschung? Die Debatte um Standards und die vernachlässigte Rolle des Designs. *Educational Design Research*, *6*(2), 1–22. https://doi.org/10.1007/978-3-658-25233-5_3

Reinmann, G., & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 613–658). Beltz.

Reitschert, K., & Hössle, C. (2007). Wie Schüler ethisch bewerten. Eine qualitative Untersuchung zur Strukturierung und Ausdifferenzierung von Bewertungskompetenz in bioethischen Sachverhalten bei Schülern der Sek. I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *13*, 125–143.

Reitschert, K., Langlet, J., Hößle, C., Mittelsten Scheid, N., & Schlüter, K. (2007). Dimensionen Ethischer Urteilskompetenz. *Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *60*(1), 43.

Richardson, K., Steffen, W., Lucht, W., Bendtsen, J., Cornell, S. E., Donges, J. F., Drüke, M., Fetzer, I., Bala, G., von Bloh, W., Feulner, G., Fiedler, S., Gerten, D., Gleeson, T., Hofmann, M., Huiskamp, W., Kummu, M., Mohan, C., Nogués-Bravo, D., … Rockström, J. (2023). Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Science Advances*, *9*(37), eadh2458. https://doi.org/10.1126/sciadv.adh2458

Rieckmann, M. (2016). Bildung für nachhaltige Entwicklung - Konzeptionelle Grundlagen und Stand der Implementierung. In M. Schweer (Hrsg.), *Bildung für nachhaltige Entwicklung in pädagogischen Handlungsfeldern - Grundlagen, Verankerung und Methodik in ausgewählten Lehr-Lern-Kontexten* (S. 11–32). PL Academic Research.

Riemeier, T. (2007). Moderater Konstruktivismus. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung: Ein Handbuch für Lehramtsstudenten und Doktoranden* (S. 69–79). Springer.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., … Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, *461*(7263), 472–475. https://doi.org/10.1038/461472a

Rockström, J., & Sukhdev, P. (2014, 30. April). *From MDGs to SDGs: transition to a development paradigm of human prosperity within a safe operating space on Earth*.[Konferenzbeitrag]. 11th Session of the UN Open Working Group on Sustainable Development Goals. Abgerufen am 13. Februar 2024 von https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://sustainabledevelopment.un.org/getWSDoc.php%3Fid%3D4989&ved=2ahUKEwjZsN_ErPKFAxV38QIHHb1ZCJkQFnoECA4QAQ&usg=AOvVaw18U5dLDMePq43iSv7aWMsU

Rodemer, M. (2018). Wilde Verwandte - Retter unserer Kulturpflanzen? Die Potenziale der Pflanzenzucht im Kontext der Ernährungssicherheit erläutern. *Unterricht Biologie*, *439*, 17–22.

Rohrbach-Lochner, F. (2019). Design-Based Research zur Weiterentwicklung der chemiedidaktischen Lehrerausbildung zu Schülervorstellungen. In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften, Band 12*. Logos Verlag.

Rohrbach-Lochner, F., & Marohn, A. (2018). How research-based learning can increase teacher students' knowledge and abilities - A design-based research project in the context of pupils'(mis) conceptions in science. *Research in Subject-Matter Teaching and Learning (RISTAL)*, *1*(1), 35–50.

Rost, J. (2002). Umweltbildung - Bildung für nachhaltige Entwicklung. Was macht den Unterschied? *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik*, *25*(1), 7–12.

Rost, J., Lauströer, A., & Raack, N. (2003). Kompetenzmodelle einer Bildung für Nachhaltigkeit. *Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule*, *8*(52), 10–15.

Rott, L. (2018). Vorstellungsentwicklungen und gemeinsames Lernen im inklusiven Sachunterricht initiieren. Die Unterrichtskonzeption „choice²explore". In A. Marohn (Hrsg.), *Lernen in Naturwissenschaften, Band 4*. Logos Verlag.

Rott, L., & Marohn, A. (2016). Inklusiven Unterricht entwickeln und erproben-Eine Verbindung von Theorie und Praxis im Rahmen von Design-Based Research. *Zeitschrift Für Inklusion*, *4*.

Rychen, D. S. (2008). OECD Referenzrahmen für Schlüsselkompetenzen - ein Überblick. In I. Bormann & G. de Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung: Operationalisierung, Messung, Rahmenbedingungen, Befunde* (S. 15–22). VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Sach, M., & Knipper, K. (2021). Mit Youtube Klima-Experten in den Physikraum holen: Vom Videogucken zum Verstehen zum Bewerten. *Unterricht Physik*, *183/184*, 76–83.

Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, *41*(5), 513–536. https://doi.org/10.1002/tea.20009

Sadler, T. D. (2011). *Socio-Scientific Issues in the Classroom : Teaching, Learning and Research*.Springer.http://ebookcentral.proquest.com/lib/ulbmuenster/detail.action?docID=763807

Sadler, T. D., & Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: The effects of content knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, *28*(12), 1463–1488. https://doi.org/10.1080/09500690600708717

Sakschewski, M. T. (2013). *Bewertungskompetenz im Physikunterricht : Entwicklung eines Messinstruments zum Themenfeld Energiegewinnung , -speicherung und -nutzung* Diss. Georg-August-Universität Göttingen.

Scholz, I. (2017). Herausforderung Sustainable Development Goals. In G. Michelsen (Hrgs.), *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit* (S. 23-39). Hessische Landeszentrale für Politische Bildung.

Siol, A., Voss, N., & Eilks, I. (2023). Kuhmilch oder Haferdrink? Milch und Milchersatzprodukte anhand von Lebenszyklusanalysen bewerten. *Unterricht Chemie*, *2023*(193), 26–30.

Sommer, K., Krupp, U., Kath, J., Toschka, C., Feesche, J., Sauerbrei, J., Vahidi, B., Walter, A., & Wilming, H. (2023). Industrie trifft Schule: Lebenszyklusanalyse für Einsteiger. *Chemie in unserer Zeit*, *57*(2), 124-132.

Spath, D., Bauer, W., Voigt, S., Borrmann, D., Herrmann, F., Brand, M., Rally, P., Rothfuss, F., Sachs, C., Frieske, B., Propfe, B., Redelbach, M., Schmid, S., & Dispan, J. (2012). *Elektromobilität und Beschäftigung - Wirkungen der Elektrifizierung des Antriebsstrangs auf Beschäftigung und Standortumgebung (ELAB)*. Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36704.10249

Spatz, V., Tampe, J., & Feile, R. (2018). Elektroauto - Fahrzeug der Zukunft? Bewertungskompetenz im Rahmen der Elektrizitätslehre fördern. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, *163*, 24–31.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, *347*(6223), 1259855. https://doi.org/10.1126/science.1259855

Steiner, E., & Benesch, M. (2021). *Der Fragebogen. Von der Forschungsidee zur SPSS-Auswertung*. facultas. https://doi.org/doi:10.36198/9783838587882

Stepanek, P. (2022). Die Dimensionen der Nachhaltigkeit. In P. Stepanek (Hrsg.), *Sozialwirtschaft nachhaltig managen: Eine Einführung* S. 81–123). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37506-5_3

Stolz, M., Witteck, T., Marks, R., & Eilks, I. (2011). Doping für den Chemieunterricht und eine Reflexion über geeignete Themen für einen gesellschaftlich relevanten Chemieunterricht. *MNU-Journal*, *64*(8), 472–479.

Streller, S., Bolte, C., Dietz, D., & Noto La Diega, R. (2019). Didaktische Reduktion und Elementarisierung. In S. Streller, C. Bolte, D. Dietz, & R. Noto La Diega (Hrsg.), *Chemiedidaktik an Fallbeispielen: Anregungen für die Unterrichtspraxis* (S. 11–16). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-58645-7_2

Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive Load Theory*. Springer.

Thielmann, A., Wietschel, M., Funke, S., Grimm, A., Hettesheimer, T., Langkau, S., Loibl, A., Moll, C., Neef, C., Plötz, P., Siever, L., Tecereo Espinonza, L., Edler, J. (2020). *Batterien für Elektroautos: Faktencheck und Handlungsbedarf. Sind Batterien für Elektroautos der Schlüssel für eine nachhaltige Mobilität der Zukunft?* Fraunhofer -Institut für System- und Innovationsforschung. Abgerufen am 13. Februar von https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Faktencheck-Batterien-fuer-E-Autos.pdf

Tiemann, R., & Körbs, C. (2014). Die Fragebogenmethode, ein Klassiker der empirischen didaktischen Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in Der Naturwissenschaftsdidaktischen Forschung*, (S. 283–295. Springer

Trauschke, M. (2018). Fleischverzehr auf dem Prüfstand Nahrungsmittelproduktion energetisch analysieren. *Unterricht Biologie*, *439*, 22–26.

Tulodziecki, G., Grafe, S., & Herzig, B. (2013). *Gestaltungsorientierte Bildungsforschung und Didaktik*. Julius Klinkhardt.

Tuma, R., Knoblauch, H., & Schnettler, B. (2013). *Einführung in die interpretative Videoanalyse sozialer Situationen*. Springer VS.

Twenhöven, F. (2019). Der Stickstoffkreislauf - Ein globales Problemt braucht mehr Aufmerksamkeit im Ökologieunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht. Biologie*, *447*, 2–8.

Umweltbundesamt. (2015). *Weiterentwicklung und vertiefte Analyse der Umweltbilanz von Elektrofahrzeugen*. Abgerufen am 13. Februrar 2024 von https://www.emobil-umwelt.de/images/pdf/texte_27_2016_umweltbilanz_von_elektrofahrzeugen.pdf

Umweltbundesamt. (2021). *Stickoxid-Emissionen*. Abgerufen am 29. Dezember 2023 von https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/stickstoffoxid-emissionen#entwicklung-seit-1990

Unesco. (2014). *Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*. https://en.unesco.org/sites/default/files/roadmap_1.pdf

Unesco. (2020). *Education for sustainable development: A Roadmap*. https://doi.org/10.1111/j.2048-416x.2009.tb00140.x

Unesco. (2005). *United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014). International Implementation Scheme*. https://www.bibb.de/dokumente/pdf/a33_unesco_international_implementation_scheme.pdf

United Nations. (1992). *Agenda 21 - Aktionsprogramm der Konferenz für Umwelt und Entwicklung* der Vereinten *Nationen*. https://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf

United Nations. (2000). *Millenniums-Erklärung der Vereinten Nationen*. https://www.unkampagne.de/fileadmin/downloads/erklaerung/millenniumerklaerung.pdf

United Nations. (2015). *Transformation unserer Welt: Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Resolution der Generalversammlung, verabschiedet am 25. September 2015. https://www.un.org/depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf*

van den Akker, J., Gravemeijer, K., McKenney, S., & Nieveen, N. (2006). *Educational Design Research*. Routledge.

van Gog, T. (2021). The Signaling (or Cueing) Principle in Multimedia Learning. In L. Fiorella & R. E. Mayer (Eds.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 221–230). Cambridge University Press.

Walpuski, M., Kampa, N., Kauertz, A., & Wellnitz, N. (2008). Evaluation der Bildungsstandards in den Naturwissenschaften. *Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht*, *6*, 323– 326.

Weinert, F. (2014). Vergleichende Leistungsmessung in Schulen - eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In F. Weinert (Hrsg.), *Leistungsmessungen in Schulen* (3. Aufl., S. 17–31). Beltz.

Weselek, J. (2022). *Bildung für nachhaltige Entwicklung zwischen politischer Erwartung und schulischer Praxis*. Springer Fachmedien. https://doi.org/10.1007/978-3-658-39875-0_3

Wilhelm, M., Amacker, V., & Rehm, M. (2022). Das Viabilitätsmodell: vom Konzept der «sensitiven Nachhaltigkeit» in Hinblick auf die digitale Transformation lernen. In J. Weselek, F. Kohler, & A. Siegmund (Hrsg.), *Digitale Bildung für nachhaltige Entwicklung : Herausforderungen und Perspektiven für die Hochschulbildung* (S. 9–21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-65122-3_2

Wilhelm, T., & Hopf, M. (2014). Design-Forschung. In D. Krüger, I. Parchmann, & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 31–42). Springer.

Wilke, T., Abdelaziz, R., Elbahri, M., & Schwarzer, S. (2017). Nachhaltige Nanochemie - Zwei einfache Green Chemistry-Synthesen für den Chemieunterricht. *Chemkon*, *24*(4), 178–184. https://doi.org/10.1002/ckon.201790003

Wilke, T., & Ruppersberg, K. (2017). Jede Schule besitzt Elektronikschrott- Einfache Experimente zum Recycling von Gold aus Computern. *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie*, *28*(161), 22–26.

Wings, R., Opitz, B., Wathiyage, A., & Krell, M. (2021). Argumentieren im Biologieunterricht : Ein Vorschlag zur Förderung der Bewertungskompetenz zum Thema Fleischkonsum. *Zeitschrift für Didaktik der Biologie (ZDB) - Biologie Lehren und Lernen*, *25*, 64–77.

Wodzinski, R. (2013). Bewertungskompetenz im Unterricht anbahnen. Ein Überblick über geeignete Methoden. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, *134*, 13–16.

World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm

Wuhle, M. (2020). *Nachhaltigkeit - Einfach Praktisch* (3. Aufl.). Springer.

Ziepprecht, K., Schwanewedel, J., Heitmann, P., Jansen, M., Fischer, H. E., Kauertz, A., Kobow, I., Mayer, J., Sumfleth, E., & Walpuski, M. (2017). Modellierung naturwissenschaftlicher Kommunikationskompetenz – ein fächerübergreifendes Modell zur Evaluation der Bildungsstandards. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *23*(1), 113–125. https://doi.org/10.1007/s40573-017-0061-8

Zimmermann, F. M. (2016). Was ist Nachhaltigkeit - eine Perspektivenfrage? In F. M. Zimmermann (Hrsg.), *Nachhaltigkeit wofür? Von Chancen und Herausforderungen für eine nachhaltige Zukunft* (S. 1–24). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48191-2_1

Zowada, C., Linkwitz, M., Siol, A., & Eilks, I. (2020). Nachhaltigkeit bewerten im Chemieunterricht. *Chemkon*, *27*(8), 365–372. https://doi.org/10.1002/ckon.201900051

Zowada, C., Zuin, V. G., Belova, N., & Eilks, I. (2019). Glyphosat und grüne Pestizide. *Naturwissenschaften Im Unterricht. Chemie*, *30*(172), 38–43.

Abkürzungsverzeichnis

BLK	Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung
BNE	Bildung für nachhaltige Entwicklung
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz.
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DBR	Design-Based Research
d. h.	das heißt
DUK	Deutschen UNESCO- Kommission
etc.	et cetera
FF	Forschungsfrage
G	Gruppe
inkl.	inklusive
KMK	Kultusministerkonferenz
L	Lehrkraft
MSB	Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
s.	siehe
S	Schüler:in
S.	Seite
SDG	Sustainable Development Goals
SSI	Socio Scientific Issue
u. a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
z. B.	Zum Beispiel

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Abbildungsquelle: https://www.bmuv.de/themen/nachhaltigkeit/2030-agenda). 9
Abbildung 2: Analyse der planetaren Belastungsgrenzen von 2022 (Abbildungsquelle: https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html; Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, basierend auf der Analyse von Richardson et al. (2023)) 11
Abbildung 3: Das Wedding-Cake-Modell nach J. Rockström und P. Sukhdev (2016) (Abbildungsquelle: https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-the-sdgs-wedding-cake.html; Credit: Azote for Stockholm Resilience Centre, Stockholm University). 12
Abbildung 4: Drei-Säulen-Modell (1) und Schnittmengenmodell (2) (eigene Darstellung in Anlehnung an von Hauff, 2021, S. 171 f.). 17
Abbildung 5: Das Nachhaltigkeitsdreieck (eigene Darstellung nach Pufe, 2017, S. 113). 18
Abbildung 6: Veränderung des Schnittmengen-Modells (eigene Darstellung nach Niebert, 2019, S. 176). 19
Abbildung 7: Schematische Übersicht des Rahmenmodells für Entscheidungsfindungsprozesse (Betsch & Haberstroh, 2014). 44
Abbildung 8: Modell zur Bewertungskompetenz für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung nach Bögeholz, (2011); Bögeholz, (2007); Eggert & Bögeholz, (2006); Bögeholz et al. (2014). 47
Abbildung 9: Strukturmodell der Projektphasen im Rahmen von Design-Based Research. Schema in Anlehnung an Rohrbach-Lochner & Marohn (2018) und Rott & Marohn (2016). 71
Abbildung 10: Sitzplan Kurs 1. Darstellung der Sitzplatzverteilung (S=Schülerin oder Schüler), Gruppeneinteilung (G= Gruppe), inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlenstoffdioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende). 93
Abbildung 11: Sitzplan Kurs 2. Darstellung der Sitzplatzverteilung, Gruppeneinteilung, inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlenstoff-dioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende). 93
Abbildung 12: Sitzplan Klasse 9.1. Darstellung der Sitzplatzverteilung, Gruppeneinteilung, inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlenstoff-dioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende)..... 95
Abbildung 13: Sitzplan Klasse 9.2. Darstellung der Sitzplatzverteilung, Gruppeneinteilung, inhaltliche Zuordnung zu den drei Aspekten Kohlen-stoff-dioxid, Feinstaub und Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende)..... 95

Abbildung 14: Sitzplan Klasse 9.3. Darstellung der Sitzplatzverteilung und Gruppeneinteilung zur Bearbeitung des Aspekts Stickoxide sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende). 97
Abbildung 15: Sitzplan Klasse 9.4. Darstellung der Sitzplatzverteilung und Gruppeneinteilung zur Bearbeitung des Aspekts Kohlenstoffdioxid sowie Positionierung der Aufnahmegeräte (s. Legende). 97
Abbildung 16: Sitzplan Haupterprobung. Darstellung der Sitzplatzverteilung und Gruppeneinteilung sowie Positionierung der der Kamerapositionen (s. Legende). 98
Abbildung 17: Visualisierung der drei Nachhaltigkeitsdimensionen im Unterrichtskonzept. 111
Abbildung 18: Definitionskarte: Die Nachhaltigkeitsdimension Umwelt. 111
Abbildung 19: Symbole der Bewertungsebenen 116
Abbildung 20: Symbole für Lokal und Global (Banse & Marohn, 2021, 2022). 117
Abbildung 21: Symbole für Kurzfristig und Langfristig (Banse & Marohn, 2021, 2022). 117
Abbildung 22: Symbole für Eine Gruppe und Viele Gruppen (Banse & Marohn, 2021, 2022). 118
Abbildung 23: Definitionskarte der Raum-Ebene. 119
Abbildung 24: Das methodische Instrument der Bewertungsscheibe (Banse & Marohn, 2021, 2022). 122
Abbildung 25: Projektlogo „nachhaltig:bewerten“. 128
Abbildung 26: Ausschnitt Material Kohlenstoffdioxid (1. Seite). 160
Abbildung 27: Piktogramme Lernmaterialien. 160
Abbildung 28: Visualisierung Auto mit Elektromotor (orange) und Verbrennungsmotor (gelb). 161
Abbildung 29: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 4). Vergleich der Kohlenstoffdioxid-Emission zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor. Eigene Darstellung verändert in Anlehnung an ifeu (2017) auf Grundlage von Helms et al., (2011) und Öko-Institut & Fraunhofer ISI (2015) (Banse & Marohn, 2021). 162
Abbildung 30: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Aufgabe 2, Seite 4). 163
Abbildung 31: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 5). Aufgabe 3: Vergleich der Kohlenstoffdioxid-Emission zwischen Verbrennungsmotor und Elektromotor für die Klimabilanz im Jahr 2050. (Banse & Marohn, 2021). 164
Abbildung 32: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 6) in Anlehnung an Banse & Marohn (2021) 165
Abbildung 33: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 1 und 2). 175
Abbildung 34: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Seite 5). Informationstext: Woher kommt der Strom für die Autos? 176

Abbildung 35: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Kohlenstoffdioxid (Aufgabe 4). 181
Abbildung 36 :Ausschnitt Lernmaterial Feinstaub. thinglink: "Feinstaub und die Gesundheitsrisiken für den Menschen“ Bildquelle: vecteezy.com 182
Abbildung 37: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Feinstaub (Seite 3). Abbildung der größten Verursacher von Feinstaub: Industrie und Verkehr 184
Abbildung 38: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Feinstaub (Aufgabe 4, Seite 4). Abbildung zur Erarbeitung wovon die Menge an Feinstaub durch Abrieb abhängt 186
Abbildung 39: Ausschnitt aus dem Re-Design Lernmaterial Feinstaub. thinglink: Aufgabe 2 195
Abbildung 40: Durchführung und Beobachtung Stickoxide im Marmeladenglas. Abbildung entnommen aus Banse & Marohn (2022). 198
Abbildung 41: Zusatzmaterial: Teststäbchen zum Nachweis von Stickoxiden. 203
Abbildung 42: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Rohstoffe. Thinglink: Herkunft Rohstoffe und Produktionskette 209
Abbildung 43: Ausschnitte Lernmaterial Feinstaub. Aufgaben zur Erarbeitung (Seite 2 und 3). 210
Abbildung 44: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Lärm (Seite 2). 214
Abbildung 45: Ausschnitt aus dem Lernmaterial Arbeitsplätze. Sicherungsaufgabe (Seite 2). 216
Abbildung 46: Ausschnitt Sicherungsaufgabe Material Kosten (Seite 3) 218
Abbildung 47: Ergebnisse der Wortwolke durch Menti-Meter. 227
Abbildung 48: Ausschnitt der strukturierenden Bewertungsaufgabe zum Aspekt Stickoxide. 229
Abbildung 49: Ausschnitt strukturierende Bewertungsaufgabe. Ausschnitt Stickoxide 229
Abbildung 50: Aufgabenteil 3 zur Markierung der Felder der Bewertungsscheibe. 230
Abbildung 51: Ergebnisse der Bewertungsscheiben zu den Aspekten Kohlenstoffdioxid, Stickoxide und Feinstaub der Klasse 9.1. 233
Abbildung 52: Ergebnisse der Bewertungsscheiben zu den Aspekten Kohlenstoffdioxid, Stickoxide und Feinstaub der Klasse 9.2. 236
Abbildung 53: Ergebnis der Bewertungsscheibe zum Aspekt Stickoxide der Klasse 9.3. 239
Abbildung 54: Ergebnis der Bewertungsscheibe zum Aspekt Kohlenstoffdioxid der Klasse 9.3 242
Abbildung 55: Ergebnisse der vier Gruppenbewertungen in der Haupterprobung. 244
Abbildung 56: Zusammenführung aller acht Aspekte zu einem Gesamtergebnis in der Haupterprobung. 248

Abbildung 57: Deduktiv-induktiv entwickeltes Kategoriensystem in der Darstellung von MAXQDA 2022 zur Auswertung der Frage: Was verstehst du unter dem Begriff Nachhaltigkeit? 256
Abbildung 58: Verteilung der Anteile der Kategorien in den Antworten der Lernenden zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. 258
Abbildung 59: Anzahl codierter Kategorie-Kombinationen in den Antworten der Lernenden der ausgewählten Kategorien Umwelt, Soziales, Wirtschaft, Langfristig, Global und Viele Menschen im Prä-Test. 261
Abbildung 60: Anzahl codierter Kategorie-Kombinationen in den Antworten der Lernenden der ausgewählten Kategorien Umwelt, Soziales, Wirtschaft, Langfristig, Global und Viele Menschen im Post-Test. 261
Abbildung 61: Anzahl der Nennungen von Vorteilen von Verbrennungsmotoren (n=18). 266
Abbildung 62: Anzahl der Nennungen von Nachteilen von Verbrennungsmotoren (n=18). 266
Abbildung 63: Anzahl der Nennungen von Vorteilen von Elektromotoren (n=18). 267
Abbildung 64: Anzahl der Nennungen von Nachteilen von Elektromotoren (n=18). ... 267
Abbildung 65: Ausschnitt Kategoriensystem. 269
Abbildung 66: Ausschnitt Kategoriensystem 270
Abbildung 67: Verteilung der Kategorien in Angabe der absoluten Häufigkeit zur Bewertung der Lernenden in Bezug auf die Nachhaltigkeit von Elektromotoren im Vergleich zu Verbrennungsmotoren (n=124). 271
Abbildung 68: Vorkommen der Kategorien der Bewertungsebenen im Prä-Post-Vergleich (n=124) 272
Abbildung 69: Bewertung der Unterrichtseinheit 276
Abbildung 70: Ausschnitt des Fragebogens der Items 3.1 bis 3.4 zum Einsatz der Bewertungsscheibe. 282
Abbildung 71: Ausschnitt des Fragebogens der Items 4.1-4.3 zum Material zur Elektromobilität. 283
Abbildung 72: Anzahl der Nennungen thematisierter Dimensionen und Aspekte von Nachhaltigkeit im eigenen Unterricht. 285
Abbildung 73: Rückmeldung zum Einsatz der Bewertungsscheibe (1=trifft nicht zu; 2= trifft teilweise zu; 3= trifft überwiegend zu; 4= trifft vollständig zu.) 285
Abbildung 74: Absolute Nennung der Einschätzung der Lehrkräfte für welche Jahrgangsstufen der Einsatz der Bewertungsscheibe geeignet ist (n=20). 286
Abbildung 75: Einschätzung der Lehrkräfte zum Materialbeispiel Elektromobilität. (1=trifft nicht zu; 2= trifft teilweise zu; 3= trifft überwiegend zu; 4= trifft vollständig zu.) 287
Abbildung 76: Anzahl der Nennungen möglicher Anpassungen der Materialien durch die Lehrkräfte. 288

Abbildung 77: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=124) aller Erprobungen zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. ... 441
Abbildung 78: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=30) des ersten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. ... 441
Abbildung 79: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=40) des zweiten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. ... 442
Abbildung 80: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=14) des dritten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. ... 442
Abbildung 81: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden(n=18) des vierten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. ... 443
Abbildung 82: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=22) der Haupterprobung zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. ... 443
Abbildung 83: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Kurs 1 und Kurs 2 ... 445
Abbildung 84: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.1 ... 445
Abbildung 85: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.2 ... 445
Abbildung 86: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.3 ... 446
Abbildung 87: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.4 ... 446
Abbildung 88: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Haupterprobung. ... 446
Abbildung 89: Vollständige Darstellung Kategoriensystem Nachhaltigkeit von Elektromobilität. ... 447
Abbildung 90: Dokumentenvergleichsdiagramm erster Erprobungsdurchgang, Kurs 1 und Kurs 2 ... 448
Abbildung 91: Dokumentenvergleichsdiagramm zweiter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.1 ... 449
Abbildung 92: Dokumentenvergleichsdiagramm zweiter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.2. ... 449
Abbildung 93: Dokumentenvergleichsdiagramm dritter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.3. ... 450

Abbildung 94: Dokumentenvergleichsdiagramm vierter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.4. 450
Abbildung 95: Dokumentenvergleichsdiagramm Haupterprobung. 451

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der 12 Gestaltungskompetenzen (de Haan, 2008, 2010) in Zuordnung zu den Schlüsselkompetenzen der OECD (2005). 29
Tabelle 2: Darstellung der Kernkompetenzen des Orientierungsrahmens in Einteilung der drei Kompetenzbereiche Erkennen, Bewerten und Handeln (KMK & BMZ, 2016, S. 95). 30
Tabelle 3: Darstellungen der Bildungsstandards für den Kompetenzbereich Bewertung für die Fächer Biologie, Chemie und Physik aus (Kultusministerkonferenz, 2004a, 2004b, 2004c). 38
Tabelle 4: Graduierung der Entscheidungsstrategien (Eggert & Bögeholz, (2006, 2010) zitiert nach Sakschewski, (2013). 48
Tabelle 5: Übersicht: Unterteilung in inhaltliche Methoden und Bewertungsmethode.. 62
Tabelle 6: Übersicht aller Mesozyklen des Design-Experiments mit den zugehörigen Forschungs- und Sub-Forschungsfragen. 82
Tabelle 7 Übersicht über alle durchgeführten Erprobungen im Rahmen des Projektes. 91
Tabelle 8: Kriterien zur Auswahl der Dimensionen. 108
Tabelle 9: Kriterien zur Auswahl eines Kontextes für das gesellschaftskritisch-problemorientiertes Unterrichtsverfahren nach Eilks et al. (2016). S. 35; Marks et al. (2006), S. 71. 132
Tabelle 10: Gegenüberstellung der Kriterien. 135
Tabelle 11: SAMR-Modell nach Puentedura (zitiert nach Leisen, 2022, S.118, Tabelle 5.5). 157
Tabelle 12: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Kohlenstoffdioxid) von Kurs 1 und Kurs 2 in der ersten Erprobung. 167
Tabelle 13: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Kohlenstoffdioxid) von Kurs 1 und Kurs 2 nach Punkten und in Prozent in der ersten Erprobung. 168
Tabelle 14: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Kohlenstoffdioxid) von Klasse 9.1 und 9.2 in der zweiten Erprobung. 172
Tabelle 15: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Kohlenstoffdioxid) von Klasse 9.1 und Klasse 9.2 nach Punkten und in Prozent in der zweiten Erprobung. 172
Tabelle 16: Zusammenfassung Aufgabenergebnisse (Kohlenstoffdioxid) von Klasse 9.4 in Prozent in der dritten Erprobung. 176
Tabelle 17: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen von Gruppe 1 (Kohlenstoffdioxid) der Haupterprobung nach Punkten und in Prozent. 178
Tabelle 18: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Feinstaub) von Kurs 1 und Kurs 2 in der ersten Erprobung. 187
Tabelle 19: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Feinstaub) von Kurs 1 und Kurs 2 nach Punkten und in Prozent in der ersten Erprobung. 187

Tabelle 20: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Feinstaub) von Klasse 9.1 und 9.2 in der zweiten Erprobung. 191
Tabelle 21: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Feinstaub) von 9.1 und 9.2 nach Punkten und in Prozent in der zweiten Erprobung. 192
Tabelle 22: Tabellarische Darstellung der Bearbeitungszeit (Stickoxide) von Kurs 1 und Kurs 2 in der ersten Erprobung. 201
Tabelle 23: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Stickoxide) von Kurs 1 und Kurs 2 nach Punkten und in Prozent in der ersten Erprobung. 201
Tabelle 24: Tabellarische Darstellung der durchschnittlichen Bearbeitungszeit (Stickoxide) der Klassen 9.1 und 9.2 in der zweiten Erprobung. 204
Tabelle 25: Zusammenfassung Aufgabenergebnisse (Stickoxide) der Klassen 9.1, 9.2 und 9.3 Prozent in der zweiten und dritten Erprobung. 204
Tabelle 26: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Stickoxide) von Gruppe 3 der Haupterprobung nach Punkten und in Prozent. 207
Tabelle 27: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Rohstoffe) von Gruppe 2 der Haupterprobung nach Punkten und in Prozent. 211
Tabelle 28: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Lärm) von Gruppe 3 der Haupterprobung nach Punkten. 214
Tabelle 29: Tabellarische Darstellung der Aufgabenergebnissen (Kostenvergleich) von Gruppe 1 der Haupterprobung nach Punkten. 219
Tabelle 30: Ausschnitt aus dem Codierleitfaden mit Darstellung der Kategorie „Konsumverhalten“. 257
Tabelle 31: Kombinationen der Kategorien Prä-Test (links) und Post-Test (rechts). .. 260
Tabelle 32: Definition der Kategorien: Erweiterung, Veränderung und keine Veränderung zur Auswertung der Dokumentenvergleichsdiagramme. 263
Tabelle 33: Ergebnisse Dokumentenvergleichsdiagramm aufgeteilt in die einzelnen Erprobungen sowie eine Gesamtdarstellung (n=124). 263
Tabelle 34: Veränderungen der Entscheidung von Prä- zu Post-Test. 272
Tabelle 35: Tabellarische Darstellung der Anzahl und vorkommenden Kombinationen der codierten Kategorien Raum-Ebene, Zeit-Ebene und Gruppen-Ebene. 273
Tabelle 36: Reflektierte Aussagen von Lernenden im Post-Test 273
Tabelle 37: Verteilung der vier erprobten Aspekte auf die Anzahl der Lehrkräfte die eine Anwendung bejahen. 288
Tabelle 38: Stundenverlaufsplan – Erster Erprobungsdurchgang (13.12.2021, 90 Minuten). 350
Tabelle 39: Stundenverlaufsplan – Zweiter Erprobungsdurchgang (09.02.2022, 90 Minuten). 352
Tabelle 40: Stundenverlaufsplan – Dritter und vierter Erprobungsdurchgang (21/23.03.2022, 90 Minuten). 354
Tabelle 41: Stundenverlaufsplan - Haupterprobung (08.11.2022). 356

Tabelle 42: Tabellarische Darstellung der absoluten Häufigkeiten der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=124) aller Erprobungen zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test. 444

Anhang

Anhang A Methodik
Anhang B Definitionskarten
Anhang C Lernmaterialien Elektromobilität
Anhang D Auswertung Erprobungen
Anhang E Fragebogen Lehrkräfteworkshop

Anhang A: Methodik

A.1 Musterlösung und Punktesystem

A.2 Stundenverlaufspläne

A.1 Musterlösung und Punktesystem

Material Kohlenstoffdioxid

	A1	A2	A3	A4	A5	Gesamt
Punkte	1	11	2	4	6	24

A1: Versuchsbeschreibung (1 Punkt)

A2: Verbrennungsmotor: Fahrzeugherstellung (Gemeinsamkeit), Kraftstoffbereitstellung (Unterschied), direkte Emission (Unterschied, größte Ursache), Wartung/Entsorgung (Gemeinsamkeit); Elektromotor: Fahrzeugherstellung (Gemeinsamkeit), Strombereitstellung (Unterschied, größter Faktor), Wartung/Entsorgung (Gemeinsamkeit)
Lückensatz: Insgesamt ist die Kohlenstoffdioxid-Emission durch die Ursache *direkte Emission* bei einem Auto mit *Verbrennungsmotor* am höchsten. (11 Punkte)

A3: Abbildung: Einzeichnung Balken für Fahrzeugherstellung und Wartung/Entsorgung ohne Strombereitstellung. (2 Punkte)

A4: aktuell: keine Null-Emission möglich, nur beim Fahren kein Kohlenstoffdioxid. Fahrzeugherstellung, Wartung/Entsorgung, Strombereitstellung verursachen Emissionen. Strom wird nicht vollständig aus erneuerbaren Energien gewonnen. 2035: Ebenfalls keine Null-Emission möglich. Fahrzeugherstellung und Wartung/Entsorgung verursachen Emissionen. Strombereitstellung aus 100% erneuerbaren Energien würde jedoch deutlich den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß reduzieren. (4 Punkte)

A5: Lückentext: *mehrere, größte, Elektromotor, Verbrennungsmotor, 2035, Elektromotor* (6 Punkte)

Material Feinstaub

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	
Punkte		12	9	2	2	3	8	36
Änderung							7	35

A1: PM_{10}, Nasenschleimhäute, Nasenhöhlen, Atemwegserkrankungen (1 Zeile); $PM_{2,5}$, Lunge, Lungenbläschen, Zellen (Bronchien), Lungenkrebs (2 Zeile); $PM_{0,1}$, Blutbahn, Herzinfarkt, Schlaganfall (3 Zeile)

Lückensatz: Feinstaub ist vor allem wegen seiner geringen *Größe* so gefährlich für den Menschen. Je *kleiner* die Partikel des Feinstaubes sind, desto *schlimmer* sind die Folgen für unsere Gesundheit (12 Punkte)

A2: 39 µg/m³ städtische Industrie, 10 µg/m³ ländlich, 34 µg/m³ städtisch Verkehr
Lückentext: Messstation 3, Messstation 1, Messstation 2 (9 Punkte)

A3: Stadtverkehr, Die Industrie ist in der Regel weiter entfernt von Wohngebieten. In der Stadt atmen die Menschen den Feinstaub direkt ein → gesundheitliche Folgen sind größer (2 Punkte)

A4: Größe des Autos (SUV > Mittelklasse), Größe der Batterie (mehr Reichweite → Mehr Feinstaub) (2 Punkte) weitere Faktoren, von denen Feinstaub abhängt: Fahrstil, Reifen, Straßenbeschaffenheit, Temperatur, Gewicht

A5: Verbrennungsmotor > Elektromotor (direkte Emission), Verbrennungsmotor < Elektromotor (Fahrzeugherstellung), Verbrennungsmotor = Elektromotor (Abrieb) (3 Punkte)

A6: Lückentext: *Auspuff*, *Emissionen*, *Batterie*, *Umwelt*, *Verkehr*, *Reifen*, Lösungswort: *Klima* (7 Punkte) (alte Version: *reduziert*) 8 Punkte)

Material Stickoxide

	A1	**A2**	**A3**	**Gesamt**
Punkte	2	10	9	21

A1: Lücken Versuchsbeobachtung: lila/pink, Stickoxide (2 Punkte)

A2: *Stickoxide, bildet unter UV-Strahlung, saurem/r Regen, ätzendes Reizgas, Kinder, schädigt/tötet, reizt, Husten und Luftnot, auf dem Land, Pflanzenwachstum* (10 Punkte)

A3: *Stickoxide, höher, Elektroautos, Auspuff, emissionsfrei, Luft, gesundheitliche, Belastung*, Lösungswort: *Nachhaltigkeit* (9 Punkte) (alte Version: *weniger, ~~Luft~~*)

Material Rohstoffe

	A1	**A2**	**A3**	**A4**	
Punkte	6	5	11	11	33

A1: Lithium: Australien, Chile und Argentinien, Bergbau, Sole, Durch die Förderung der Sole kann der Wasserhaushalt in Trockengebieten beeinflusst werden. (3 Punkte); Kobalt: Demokratische Republik Kongo, Bergbau, schlechte, gefährliche Arbeitsbedingungen sowie Kinderarbeit im Kleinbau (3 Punkte)

A2: Deutschland - Symbol Elektroauto - Produktion von Elektroautos, Gewinnung von Solen – Symbol Sole – Chile und Argentinien, industrieller Bergbau in Australien – Symbol Hammer – Gewinnung von Lithium aus Festgestein, Batteriezellfertigung – Symbol Batterie – China, Kleinbergbau im Kongo – Symbol Hammer – schlechte Arbeitsbedingungen und Kinderarbeit (5 Punkte)

A3: *Elektroauto, Rohstoffe, Lithium, Kleinbergbau, Kongo, Kinder, Australien, Solen, Akkus, China, Standort* (11 Punkte)

A4: s. A3 (11 Punkte)

Material Lärm

	A1
Punkte	5

A1: 1: Falsch; 2: Richtig; 3: Falsch, 4: Richtig, 5: Falsch (5 Punkte)

Material Arbeitsmarkt

	A1
Punkte	8

A1: Wandel, Elektroautos, Arbeitsplätze, Gleich, Art, Regional Weiterbildung, Ausland (8 Punkte)

Material: Kosten

	A1
Punkte	5

A1: Anschaffung Verbrennungsmotor < Elektromotor; Sprit/Strom Verbrennungsmotor > Elektromotor; Versicherung Verbrennungsmotor > Elektromotor; Steuer Verbrennungsmotor > Elektromotor; Wartung Verbrennungsmotor > Elektromotor (5 Punkte)

Material Reichweite

	A1	**A2**	
Punkte	7	5	12

A1: Tempo – langsam, Fahrstil – zurückhaltend, Komfort – keine, Terrain – flach, Route – Stadt, Temperatur – mild, Last – keine (7 Punkte)

A2: Lückentext:350 km, Haushaltssteckdose, Schnellladestation, neun, zwei bis drei Stunden (5 Punkte)

A.2 Transkriptionsregel

Transkriptionsregeln (verändert nach Kuckartz & Rädiker, 2022, S. 200)

1. Jeder Sprechbeitrag wird als eigener Absatz transkribiert, auch kurze Einwürfe anderer Personen wie „Ja“ oder „Nein“. Zwischen den Sprechbeiträgen wird eine Leerzeile eingefügt, um die Lesbarkeit zu erhöhen. Am Ende und am Anfang eines Absatzes werden Zeitmarken eingefügt
2. Die Schülerinnen und Schüler werden durch ein „S:“ gekennzeichnet. Die Lehrkraft durch ein „L“. Bei mehreren Akteuren (z.B. Gruppendiskussion) werden den Kürzeln eine entsprechende Kennnummer oder ein Name die den entsprechenden Sitzplänen der Klassen zu entnehmen sind zugeordnet (z.B. „S1:“, „Peter:“).
3. Es wird wörtlich transkribiert, also nicht lautsprachlich oder zusammenfassend. Vorhandene Dialekte werden nicht mit transkribiert, sondern möglichst genau in Hochdeutsch übersetzt.
4. Transkribiert wird nah am Text, sodass grammatikalisch umgangssprachliche Formulierungen beibehalten werden können („hab“ statt „habe“ etc). Die Satzform wird beibehalten, auch wenn sie syntaktische Fehler beinhaltet, beispielsweise: „bin ich nach Kaufhaus gegangen“.
5. Wort- und Satzabbrüche werden mit / markiert.
6. Interpunktion wird zu Gunsten der Lesbarkeit geglättet, das heißt bei kurzem Senken der Stimme oder uneindeutiger Betonung wird eher ein Punkt als ein Komma gesetzt. Dabei sollen Sinneinheiten beibehalten werden.
7. Pausen werden je nach Länge durch Auslassungspunkte in Klammern markiert. Hierbei steht (.) für circa eine Sekunde, (..) für circa zwei Sekunden, (...) für circa drei Sekunden und (Zahl) für mehr als drei Sekunden. Deutliche längere Pausen werden nicht berücksichtigt.
8. Verständnissignale und Fülllaute des Interviewers („mhm, ja, aha, ähm“ etc.) werden nicht transkribiert. Alle Äußerungen des Befragten werden transkribiert.
9. Besonders betonte Wörter oder Äußerungen werden durch Großschreibung gekennzeichnet.
10. Emotionale nonverbale Äußerungen der befragten Person und des Interviewers, die die Aussage unterstützen oder verdeutlichen (etwa wie lachen oder seufzen), werden beim Einsatz in Klammern notiert.
11. Unverständliche Wörter werden mit (unv.) gekennzeichnet.
12. Spricht ein Schüler einen anderen gezielt an, wird dieses über „Sx zu Sy“ kenntlich gemacht.

A.3 Stundenverlaufspläne

Tabelle 38: Stundenverlaufsplan – Erster Erprobungsdurchgang (13.12.2021, 90 Minuten).

Phase	Unterrichtsgeschehen	Sozialform	Medien/Material
Begrüßung 2 Minuten	Vorstellung Erklärung zur Videographie Organisatorisches	LV	
Prä-Test 8 Minuten	Durchführung Prä-Test	EA	Prä-Test
Einführung 12 Minuten	Exemplarisch eine Antwort zur Frage 1 (Verständnis Nachhaltigkeit) einholen Überleitung: „Was ist Nachhaltigkeit?“ Tafelbild: Vorstellung drei Nachhaltigkeitsdimensionen und drei Bewertungsfragen → Vorstellung Bewertungsscheibe (Verknüpfung Dimensionen und Bewertungsfragen) Thema der heutigen Stunde: Anwendung der Bewertungsscheibe auf die Frage: „*Wie nachhaltig ist Elektromobilität*?“ anhand von drei ausgewählten Aspekten.	UG	Tafelbild: Dimensionen, Bewertungsebenen (Wo? Wer? Wann?), Bewertungsscheibe, E-Auto und Verbrenner
Arbeitsphase 45 Minuten	Erarbeitung der Materialien und Bewertung der Aspekte (Anwendung Bewertungsscheibe) Gruppenaufteilung (**Kurs 1/Kurs 2**): • Kohlenstoffdioxid (**5/6)** • Stickoxide (**6/6)** • Feinstaub (**5/6)**	PA, GA	Experimentierboxen, iPads, Kopfhörer mit Kabel, Buntstifte austeilen <u>Arbeitsmaterialien</u> Stickoxide Kohlenstoffdioxid Feinstaub Definitionskarten
Plenumsphase und Ergebnis 12 Minuten	Jede Gruppe überträgt ihre Bewertung auf die Bewertungsscheibe und stellt eine kurze Begründung vor	UG	

	Diskussion: „*Was fällt in der Gesamtbetrachtung auf*?“ (unterschiedliche Bewertung etc.)		
Post-Test 8 Minuten	Durchführung Post-Test	EA	Post-Test
Zusammenfassung 2 Minuten	2-3 Beispielantworten sammeln Fazit und Ausblick	UG	
Verabschiedung 1 Minute	Verabschiedung	UG	

Tabelle 39: Stundenverlaufsplan – Zweiter Erprobungsdurchgang (09.02.2022, 90 Minuten).

Phase	Unterrichtsgeschehen	Sozialform	Medien/Material
Begrüßung 2 Minuten	Vorstellung Erklärung zur Videographie Organisatorisches	LV	
Einführung 15 Minuten	Einführung (PP-Präsentation) Nachhaltigkeitsdimensionen, Bewertungsebenen, Bewertungsscheibe (An-wendung) Beispiel Windkraftanlagen Einführung: Elektromobilität (Aspekte) Fragestellung: *Welche Auswirkungen hat der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren*? → Arbeitsauftrag erteilen, Fragestellung bleibt sichtbar	UG	Power-Point, iPad
Arbeitsphase 45 Minuten	Erarbeitung der Materialien und Bewertung der Aspekte (Anwendung Bewertungsscheibe): Gruppenaufteilung (Gruppentische): -*Kohlenstoffdioxid* (Gruppe 1) -*Stickoxide* (Gruppe 2) -*Feinstaub* (Gruppe 3)	PA, GA	Experimentierboxen, iPads, Kopfhörer mit Kabel, Buntstifte austeilen <u>Arbeitsmaterialien</u> Stickoxide Kohlenstoffdioxid Feinstaub Definitionskarten
Plenumsphase und Ergebnis 15 Minuten	Vorstellung der Ergebnisse der einzelnen Gruppen: Folie mit drei einzelnen Bewertungsscheiben nebeneinander (Bewertungsscheiben nach Aspekt aufgeteilt) Anschließend: Gesamtergebnis visualisieren Diskussion: „*Was fällt in der Gesamtbetrachtung auf*?“ (unterschiedliche Bewertung etc.)	UG	Power Point (i-Pad) mit Abbildung der Bewertungsscheiben
Post-Test 8 Minuten	Durchführung Post-Test	EA	Post-Test

Zusammenfassung 4 Minuten	Zweite Frage ins Plenum geben („*Was würdet ihr antworten*?“): 2-3 Beispielantworten sammeln Fazit und Ausblick	UG	
Verabschiedung 1 Minute	Verabschiedung	UG	

Tabelle 40: Stundenverlaufsplan – Dritter und vierter Erprobungsdurchgang (21/23.03.2022, 90 Minuten).

Phase	Unterrichtsgeschehen	Sozialform	Medien/Material
Begrüßung 2 Minuten	Vorstellung Erklärung zur Videographie Organisatorisches	LV	
Einführung 15 Minuten	Frage: *Kennt ihr Dimensionen von Nachhaltigkeit? Habt ihr davon schon einmal gehört?* Einführung (PP-Präsentation): • Nachhaltigkeitsdimensionen • Bewertungsebenen • Bewertungsscheibe (Anwendung der Bewertungsscheibe) • Beispiel Windkraftanlagen • Einführung: Elektromobilität Frage: *Welche Faktoren/Aspekte/Stichworte kennt ihr oder fallen euch zu diesem Thema ein?* • Fragestellung: *Welche Auswirkungen hat der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren?* → **Arbeitsauftrag** erteilen, Fragestellung bleibt sichtbar	UG	Power-Point, iPad
Arbeitsphase 45 Minuten	Erarbeitung der Materialien und Bewertung des Aspekts Stickoxi-de/Kohlenstoffdioxid (Einsatz Be-wertungsscheibe)	PA, GA	Experimentierboxen, Buntstifte austeilen <u>Arbeitsmaterialien</u> Stickoxide Kohlenstoffdioxi Definitionskarten
Plenumsphase und Ergebnis 15 Minuten	Zusammentragen der Bewertung an der digitalen Tafel, eine Gruppe beginnt und die anderen ergänzen. Gemeinsamkeiten, Unterschiede der Gruppen erfragen.	UG	Power Point (iPad), Abbildung Bewertungsscheibe
Post-Test 8 Minuten	Durchführung Post-Test	EA	Post-Test

Zusammenfassung 4 Minuten	Zweite Frage ins Plenum geben („*Was würdet ihr antworten*?“): 2-3 Beispielantworten sammeln Fazit und Ausblick	UG	Power-Point Präsentation
Verabschiedung 1 Minute	Verabschiedung	UG	

Tabelle 41: Stundenverlaufsplan - Haupterprobung (08.11.2022).

Phase	Unterrichtsgeschehen	Sozialform	Medien/Material
Begrüßung 10 Minuten	eigene Vorstellung Hinweise Videographie Vorstellung Tagesablauf Sicherheitseinweisung (kurz)	UG	PowerPoint
Einführung 10 Minuten	Vorstellung Thema: **Elektromobilität** Wortwolke: *Woran denkt ihr bei Elektromobilität*? Folie: acht ausgewählte Aspekte von Elektromobilität „Jetzt gucken wir uns das einmal genauer an“	UG	Power Point iPads (oder das eigene Smartphone)
Arbeitsphase 1 Erarbeitung 60 Minuten Partnerarbeit/Gruppenarbeit (insgesamt 4 Gruppen mit ca. 4-6 SuS)	Inhaltliche **Erarbeitung** der Arbeitsmaterialien in Partnerarbeit (Gruppenarbeit): 1. Kohlenstoffdioxid, Kosten 2. Stickoxiden, Lärm 3. Feinstaub, Reichweite 4. Rohstoffe, Arbeitsmarkt → **Arbeitsauftrag** erklären *vor der Pause Moderationskarten verteilen (gegen Ende der Arbeitsphase)*	PA/GA	Materialien (Arbeitsmappen), i-Pads, Stifte, Experimentierboxen Moderationskarten Folie mit Arbeitsauftrag
	Kleine Pause 10-15 Minuten		
(Ergebnis)-Sicherung Plenum 20 Minuten	inhaltliche Vorstellung der Aspekte (5 Minuten) durch 2 SuS pro Gruppe *Zusammenfassung aller Aspekte während der Pause vorher verteilen*	Plenum	Power Point Moderationskarte Zusammenfassung
Einführung Nachhaltigkeit	Einführung (PP-Präsentation):	UG	PowerPoint

Vorstellung Bewertungsmethode Vorstellung 15 Minuten	Was ist Nachhaltigkeit? Google-Treffer zum Begriff Nachhaltigkeit, Überleitung Nachhaltigkeit ist vielfältig (SDGS, Verweis Schulkonzept) Einführung in die drei **Nachhaltigkeitsdimensionen** Vorstellung Bewertungsebenen und Bewertungsscheibe (Beispiel: Windkraft) **Arbeitsauftrag** erklären und austeilen *Hinweis: nochmal die Karten alle durchlesen* *Definitionskarten Dimensionen/Bewertungsebenen, Whiteboards und Magneten verteilen*		Definitionskarten Dimensionen und Bewertungsebenen Zettel Arbeitsauftrag Folie mit Arbeitsauftrag
Arbeitsphase 2 Bewertung 1 Partnerarbeit 20-25 Minuten	Bewertung der beiden erarbeiteten Aspekte durch Einordnung der Informationen (1.Schritt) Argumente auf die roten und grünen Moderationskarten schreiben. Foto soll vor der Mittagspause gemacht werden	PA	Whiteboard mit A3-Bewertungsscheibe, Magnetpunkte Argumentkarten rot und grün Folie mit Arbeitsauftrag
	Mittagspause 35 (-40) Minuten		
Arbeitsphase 2 Bewertung 2 Gruppenarbeit **20-25 Minuten**	Bewertung der jeweiligen Aspekte in einer Gruppendiskussion Zusammenfassen der Argumente aus der Partnerarbeit Foto der fertigen Scheibe inkl. der Argumente	GA	Whiteboard (neue Nummern verteilen: 1-4), Magnetpunkte Argumentkarten rot und grün Folie mit Arbeitsauftrag

	Foto wird dann in die PowerPoint eingebunden (Vorlage anfertigen)		
(Ergebnis-)Sicherung Plenum 20 Minuten	Bewertungsscheiben der vier Gruppen nebeneinander betrachten Kurze Vorstellung durch eine/n Gruppensprecher/in (Argumentkarten zu den Punkten vorlesen)	Plenum	Plenum PowerPoint
Gesamtbewertung Plenumsdiskussion 20 Minuten	Zusammenführung zu einer Gesamtbewertung an der Tafel (jede Gruppe schickt eine/n Sprecher/in)	Plenum	AO-Bewertungsscheibe an der Tafel (großes Whiteboard im Seminarraum), große Magneten, Argumentkarten zuordnen
Post-Test 10-15 Minuten	Durchführung Post-Test	EA	Post-Test
Abschlussfazit 1-2 Minuten	Fazit Lehrkraft „Take-Home-Message“	UG	
Verabschiedung	*Show-Experimente zum Abschluss*		

Anhang B: Definitionskarten

B.1 Definitionskarten Nachhaltigkeitsdimensionen

B.2 Definitionskarten Bewertungsebenen

B.1 Definitionskarten Nachhaltigkeitsdimension

Umwelt

ökologisch verträglich bedeutet:

- Schutz und Erhalt unserer Umwelt, z.B.:
  - Reduzierung von Emissionen (Kohlenstoffdioxid, Luftschadstoffe)
  - bewusster Umgang mit Wasser, Energie und endlichen Ressourcen (z.B. Lithium oder andere Metalle)
  - Artenschutz

Soziales

sozial gerecht bedeutet:

- Gesundheit
- Sicherheit
- Gerechtigkeit
- Chancengleichheit
  - z.B. Zugang zu Bildung
- faire und sichere Arbeitsbedingungen (Arbeitsschutz)

Wirtschaft

wirtschaftlich leistungsfähig bedeutet:

- Optimierung von Transportwegen und Produktionsprozesse (dadurch z.B. Reduzierung von Emissionen)
- Kreislaufwirtschaft von Rohstoffen und Produkten (z.B. Recycling, Upcycling)
- Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen
  → dauerhaft stabile Wirtschaft

B.2 Definitionskarten Bewertungsebenen

Raum-Ebene

Auf der **Raum-Ebene** kannst du zwischen **Lokal** oder **Global** unterscheiden.

Stelle dir folgende Frage:

Wo gibt es einen Nutzen oder einen Schaden?

Lokal: Der Nutzen oder Schaden betrifft nur einen **begrenzten** Raum. Das kann ein kleines Dorf, eine bestimmte Stadt oder ein ganzes Land sein.

Global: Der Nutzen oder Schaden betrifft die **ganze Welt**.

Zeit-Ebene

Auf der **Zeit-Ebene** kannst du zwischen **Kurzfristig** oder **Langfristig** unterscheiden.

Stelle dir folgende Frage:

Wie lange gibt es einen Nutzen oder einen Schaden?

Kurzfristig: Der Nutzen oder Schaden betrifft die aktuelle Generation.

Langfristig: Der Nutzen oder Schaden bleibt über künftige Generationen bestehen.

Gruppen-Ebene

Auf der **Gruppen-Ebene** kannst du zwischen **einer Gruppe** und **vielen Gruppen** unterscheiden.

Stelle dir folgende Frage:

Wer ist von einem Nutzen oder einem Schaden betroffen?

Eine Gruppe: Der Nutzen oder der Schaden betrifft nur **eine Gruppe**.
Eine Gruppe kann ein gemeinsames soziales, politisches oder wirtschaftliches Interesse haben (Interessengruppe). Es kann auch nach Berufsgruppen, Altersgruppen (z.B. Kinder, Erwachsene) oder Geschlechtergruppen (z.B. Frauen, Männer) unterschieden werden.

Viele Gruppen: Der Nutzen oder der Schaden betrifft **viele** und **unterschiedliche** Gruppen.

Anhang C: Lernmaterialien Elektromobilität

C.1 Kohlenstoffdioxid
C.2 Feinstaub
C.3 Stickoxide
C.4 Rohstoffe
C.5 Lärm
C.6 Arbeitsmarkt
C.7 Kosten
C.8 Reichweite

C.1 Kohlenstoffdioxid

nachhaltig bewerten

Kohlenstoffdioxid-Emission: Was ändert sich mit Elektroautos?

Kohlenstoffdioxid (CO_2) ist ein farbloses Gas, das aus den Elementen Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O_2) besteht.

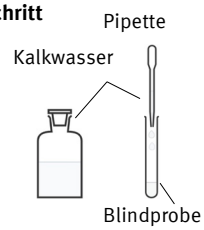
Wodurch entsteht Kohlenstoffdioxid?

1. Aufgabe
Führt zu **zweit** den folgenden Versuch durch. ***Setzt eine Schutzbrille auf!***

Material:
Teelicht, Kalkwasser, Pipette, Feuerzeug, 2x Reagenzgläser, Reagenzglasklammer, Reagenzglasständer

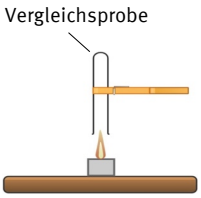
Durchführung:

1. Schritt



Fülle in das erste Reagenzglas eine Pipette voll Kalkwasser. Dieses Reagenzglas ist deine **Blindprobe**.

2. Schritt

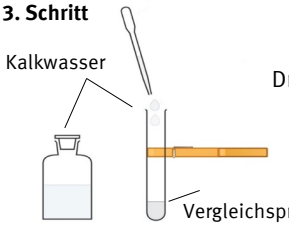


Befestige am zweiten Reagenzglas die Reagenzglasklammer. Das zweite Reagenzglas ist deine **Vergleichsprobe**.

Zünde jetzt das Teelicht an. Halte das zweite Reagenzglas mit der Öffnung nach unten für ca. 30 Sekunden über die Flamme und **fange das entstehende Gas** auf.

Achtung: *Das Reagenzglas kann heiß werden!*

3. Schritt



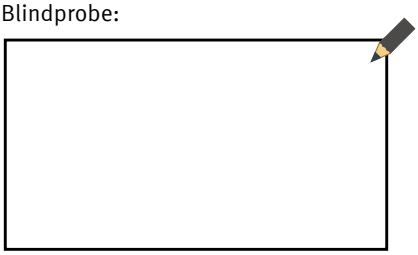
Drehe das Reagenzglas um und gebe ebenfalls eine Pipette voll Kalkwasser hinzu.
Schwenke das Reagenzglas vorsichtig **hin und her.**

1

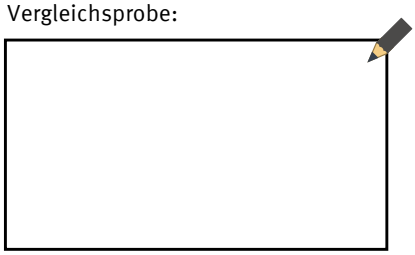
nachhaltig bewerten

Beobachtung:
Notiere deine Beobachtung für die Blindprobe und für die Vergleichsprobe.

Blindprobe:



Vergleichsprobe:



Erklärung:

Mit **Kalkwasser** kann **Kohlenstoffdioxid** nachgewiesen werden.
Zeigt sich bei der Zugabe des Kalkwassers in das Reagenzglas der Vergleichsprobe eine Veränderung des Kalkwassers durch **Trübung** oder **milchigen Niederschlag**, so ist der Nachweis von Kohlendioxid gelungen.

Entsorgung:
Schütte die beiden Reagenzgläser über dem Abfluss aus und spüle sie mit Wasser durch.

nachhaltig bewerten

Wodurch entsteht Kohlenstoffdioxid?

Kohlenstoffdioxid (CO_2) entsteht unter anderem durch **Verbrennungsreaktionen** wie das Brennen einer Kerze.
Im Alltag gibt es Verbrennungen in **sehr großem Ausmaß**, zum Beispiel durch das Verbrennen von Kohle, Erdöl oder Erdgas (fossile Brennstoffe).

Dadurch steigt der Kohlenstoffdioxid-Gehalt in der Atmosphäre. Der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid wird auch **Kohlenstoffdioxid-Emission** genannt.

Ist der Anteil an Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre zu groß, kommt es zur **Erwärmung** der Erde und zu einem **Wandel** des Klimas.
Die Folgen sind dramatisch: Gletscher schmelzen, der Meeresspiegel steigt und die Artenvielfalt verringert sich.

Wo wird viel Kohlenstoffdioxid ausgestoßen?

Der **Verkehr** ist einer der **größten** Verursacher von Kohlenstoffdioxid-Emissionen.
Im Jahr 2020 besaßen 98 % der in Deutschland zugelassenen Autos einen **Verbrennungsmotor.**
Verbrennungsmotoren werden durch das **Verbrennen** von **Benzin** oder **Diesel** betrieben. Es wird nach Lösungen gesucht, diesen Anteil an Verbrennungsmotoren zu verringern.

Frage: Können Autos mit Elektromotor die Kohlenstoffdioxid-Emission **senken**?

Dazu muss der gesamte Lebensweg (die **Klimabilanz**) eines Autos, von der Herstellung bis zur Entsorgung, betrachtet werden:

Herstellung — Fahrzeugbenutzung inkl. Wartung — Entsorgung

nachhaltig bewerten

Wodurch entsteht die Kohlenstoffdioxid-Emission beim Auto?

Vergleiche den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß von einem Verbrennungsmotor mit einem Elektromotor anhand der Abbildung:

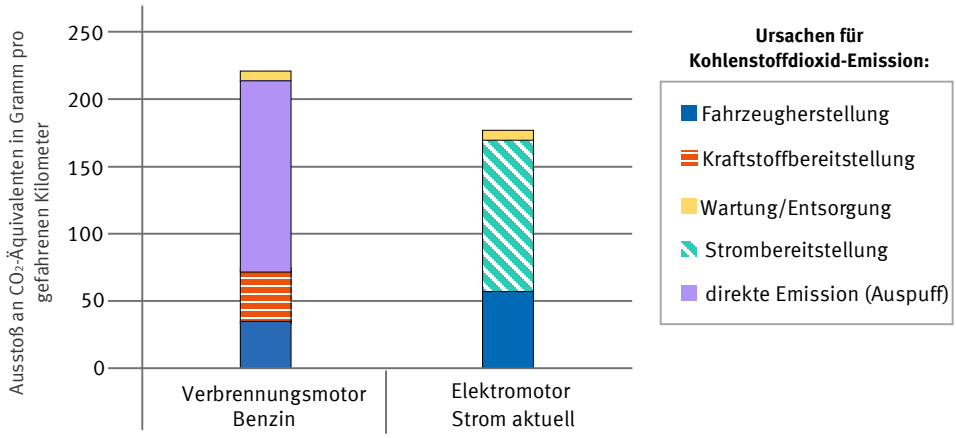


Abbildung: Klimabilanz von einem Verbrennungsmotor verglichen mit einem Elektromotor (200 km Reichweite).

2. Aufgabe:

a) Liste die Ursachen der Kohlenstoffdioxid-Emission für einen Verbrennungsmotor und einen Elektromotor in der Tabelle auf.

b) Markiere mit einer Farbe die **Gemeinsamkeiten** und mit einer anderen Farbe die **Unterschiede** der beiden Fahrzeugtypen. Umkreise jeweils die **größte Ursache** der Kohlenstoffdioxid-Emission.

Verbrennungsmotor	**Elektromotor**

Insgesamt ist die Kohlenstoffdioxid-Emission durch die Ursache _____ bei einem Auto mit _____ am höchsten.

4

nachhaltig bewerten

Woher kommt der Strom für die Autos?

Strombereitstellung in Deutschland:

In Deutschland wird heute noch knapp die Hälfte des Stroms durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe erzeugt. Dadurch wird bei der Stromerzeugung **viel Kohlenstoffdioxid** freigesetzt.

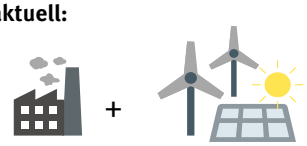
Die andere Hälfte wird durch **erneuerbare Energien** wie Wind- oder Sonnenenergie bereitgestellt. Dadurch wird bei der Stromerzeugung **kein Kohlenstoffdioxid** freigesetzt.

Elektroautos werden an den meisten öffentlichen Ladestationen mit dem **aktuellen Strommix** (Hälfte fossile Brennstoffe und Hälfte erneuerbare Energien) aufgeladen.

Bis **2035** soll unser Strom ausschließlich aus erneuerbaren Energien stammen.

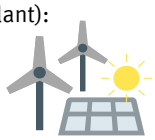
Elektroautos können dann mit Strom aus **vollständig erneuerbaren Energien** aufgeladen.

aktuell:



54% fossile Energiequellen
46% erneuerbare Energiequellen

2035 (geplant):



100% erneuerbare Energiequellen

3. Aufgabe:
Wie **könnte** die Abbildung der Klimabilanz nach erfolgreicher Energiewende im Jahr **2035** aussehen?
Zeichne den Balken für den Elektromotor ein:

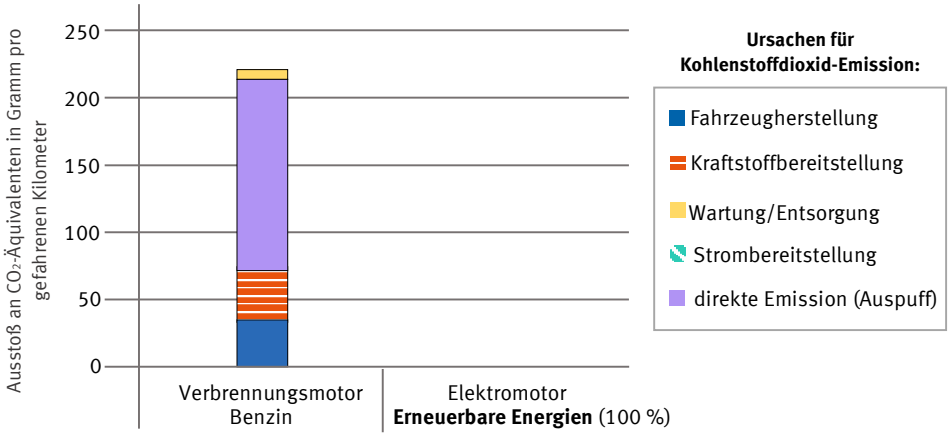


Abbildung: Klimabilanz von einem Verbrennungsmotor verglichen mit einem Elektromotor im Jahr 2035.

nachhaltig bewerten

4. Aufgabe: Beurteile folgende Aussage und notiere deine Antwort:

„Null-Emission“ bei Elektroautos: Jetzt CO_2-frei fahren!“

Zusammenfassung

5. Aufgabe: Fülle die Lücken aus.

Wird der Lebensweg eines Autos mit Verbrennungsmotor und Elektromotor betrachtet sind _____ Faktoren für den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß verantwortlich. Es gibt sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. Der _____ Faktor für den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid ist die direkte Emission am Auspuff eines Verbrennungsmotors.

Mit der Strombereitstellung **heute** haben Autos mit _____ im Vergleich zu einem Auto mit _____ schon einen **geringeren** Ausstoß an Kohlenstoffdioxid.

Mit der geplanten Strombereitstellung im Jahr _____ haben Autos mit Elektromotor einen **noch geringeren** Ausstoß an Kohlenstoffdioxid.

Wort-Pool:

größte *Verbrennungsmotor* *viele* *Elektromotor* *2035*

C.2 Feinstaub

nachhaltig bewerten

Die Feinstaub-Problematik: Was ändert sich mit Elektroautos?

Als Staub werden im Allgemeinen **kleine, feste Partikel** bezeichnet, die über einen gewissen Zeitraum in der Luft verbleiben oder schweben. Diese Partikel werden nach ihrer **Größe** unterschieden. **Feinstaub** bezeichnet Partikel, die 10 Mikrometer oder kleiner sind. Mit dem bloßen Auge kann man sie **nicht** sehen. Es gibt **natürliche** und **vom Menschen** verursachte Quellen für die **Entstehung** von Feinstaub.

Auswirkungen von Feinstaub auf den Menschen

1. Aufgabe:
Informiere dich über die Auswirkungen von Feinstaub auf den Menschen:

a) **Öffne** den Link.
b) **Schaue** dir das Video bis Minute 03:09 an.

Feinstaub und Gesundheitsrisiken

https://www.thinglink.com/vr/am15za

c) **Trage** die Informationen in die Tabelle ein.

Partikelgröße in Mikrometer (µm)	**Ort im menschlichen Körper**	**Gesundheitliche Folgen**

d) **Ergänze** die Lücken im Text:

Feinstaub ist vor allem wegen seiner geringen _____ so gefährlich für den Menschen. Je_____ die Partikel des Feinstaubs sind, desto _____ sind die Folgen für unsere Gesundheit.

nachhaltig bewerten

Grenzwerte – Wo sind sie besonders hoch?

Um die Gefährdung durch Feinstaub zu verringern, wurden **Grenzwerte** festgelegt. Diese Grenzwerte orientieren sich an der Masse pro Kubikmeter. In Deutschland gelten die EU-Richtlinien. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) fordert jedoch seit Jahren strengere Werte:

Grenzwerte nach EU-Richtlinie (gültig)	Grenzwerte nach WHO (Forderung)
PM_{10}: 40 µg/m³ Jahresmittel	PM_{10}: 20 µg/m³ Jahresmittel
$PM_{2,5}$: 25 µg/m³ Jahresmittel	$PM_{2,5}$: 10 µg/m³ Jahresmittel

2. Aufgabe:

a) **Scanne** den QR-Code:

Luftdaten der Messstationen in Deutschland (Umweltbundesamt)

(https://tinyurl.com/5djamndy)

b) **Trage** die **Tageswerte** an Feinstaub für die drei angegebenen Messstationen in die Tabelle ein.

c) **Ergänze** die **Lage** der drei Messstationen in der Tabelle.

Messstation	(1) Warstein	(2) Simmerath (Eifel)	(3) Gelsenkirchen Kurt-Schumacher-Straße
Tagesmittel (µg/m³)			
Lage			

d) **Ordne** dem Text eine Messstation als Beispiel zu. Trage die Zahl in die Klammer ein.

Hohe Feinstaubwerte treten an Orten auf, die entweder durch ein hohes **Verkehrsaufkommen** (Messstation:___) oder durch die **Industrie** (Messstation:__) geprägt sind. Dies ist vor allem in städtischen Ballungsräumen oder in Industriegebieten der Fall. **Niedrige** Feinstaubwerte lassen sich in **ländlichen** Regionen messen, die weit **entfernt von Emissionsquellen** liegen (Messstation:___).

nachhaltig bewerten

Im Vergleich: Verbrennungsmotor und Elektromotor

Direkte Emission und Fahrzeugherstellung

Im Vergleich der Ursachen für Feinstaub bei Autos mit Verbrennungsmotor und mit Elektromotor, fällt bei Elektroautos die **direkte Emission** im **Verkehr** weg. Elektroautos haben **keinen** Auspuff, der Abgase erzeugen kann.

Betrachtet man aber den gesamten Lebensweg eines Autos, ist die **Fahrzeugherstellung** die **größte Feinstaubquelle**. Dieser Faktor ist bei beiden Fahrzeugtypen entscheidend. Für ein Elektroauto wird in der **Industrie** durch die zusätzliche **Batterieherstellung** sogar **mehr** Feinstaub im Herstellungsprozess ausgestoßen.

Wo ist Feinstaub besonders gefährlich?

3. Aufgabe:

a) Industrie und Stadtverkehr stoßen viel Feinstaub aus.
Wo kann das **Gesundheitsrisiko für viele Menschen reduziert**?
Kreuze an:

☐ Ort: Industrie

☐ Ort: Stadtverkehr

b) **Begründe** deine Vermutung:

nachhaltig bewerten

Feinstaub durch Abrieb – wovon hängt die Menge ab?

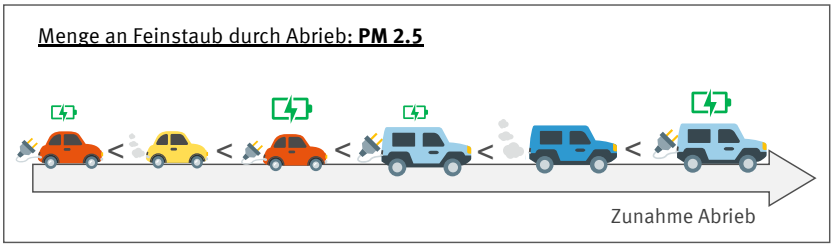
Neben den direkten Emissionen verursacht der **Verkehr** noch mehr Feinstaub durch den **Abrieb** von **Reifen und Bremsen** sowie das **Aufwirbeln von Staub.**

Durch die **Abnutzung von Autoreifen** wird Feinstaub vor allem in Form von kleinsten Gummipartikeln freigesetzt. Der Reifenabrieb ist deshalb auch einer der größten Verursacher von **Mikroplastik**. Der Abrieb gelangt in die **Umwelt** und **belastet** unsere Ökosysteme (z.B. Gewässer).

Die **Menge an Feinstaub** durch Abrieb hängt von verschiedenen Merkmalen ab. Sie **unterscheidet** sich je nach **Fahrzeug** und **Partikelgröße**.

4. Aufgabe:
a) **Betrachte** die Abbildung und **überlege:**

Von welchen **Fahrzeug-Merkmalen** könnte die Menge an Feinstaub durch Abrieb abhängen?



Antwort:

nachhaltig bewerten

5. Aufgabe:
Vergleiche die Ursachen für Feinstaub.
Trage in das Kästchen jeweils ein Zeichen für kleiner, größer oder gleich (<, >, =) ein.

Ursache	Verbrennungsmotor		Elektromotor
Auspuff: direkte Emission im Verkehr		☐	
Fahrzeugherstellung		☐	
Abrieb		☐	

Zusammenfassung

6. Aufgabe:
Fülle die Lücken aus:

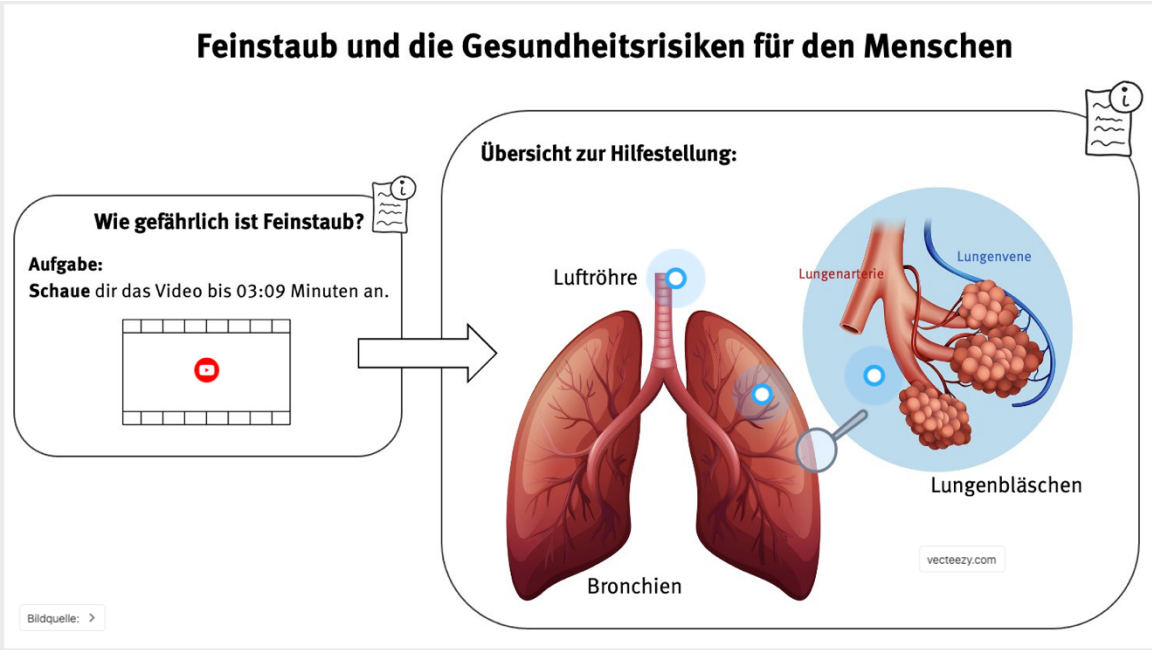
Sowohl ein in Verbrennungsmotor, als auch ein Elektromotor tragen zur Entstehung von Feinstaub bei. Sie unterscheiden sich **wodurch** und **wie viel Feinstaub** entsteht. Elektroautos haben keinen __ __ __ __ __ __ __ (5), sie stoßen keine __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ (4) aus. Über den gesamten Lebensweg eines Autos, ist die Fahrzeugherstellung die **größte Ursache** für Feinstaub. Elektroautos stoßen durch die zusätzliche Herstellung der __ __ __ __ __ __ __ __ mehr Feinstaub aus.

Entscheidend für die Auswirkungen von Feinstaub ist der **Ort**, wo er entsteht: Die Herstellung findet in **weniger dicht bewohnten** Gebieten statt (Industriegebiete), Menschen sind nicht direkt betroffen. Dort wird vor allem die __ __ __ __ __ __ (2) belastet. Die Gesundheit der Menschen wird besonders durch direkte Emissionen im __ __ __ __ __ __ __ (1) **geschädigt**.

Der Abrieb von __ __ __ __ __ __ (3) und Bremsen und das Aufwirbeln von Staub ist ein wichtiger Faktor bei beiden Fahrzeugtypen. Dieser hängt von der **Partikelgröße**, der **Größe des Autos** und der **Größe des Gewichts der Batterie** ab.

Lösungswort: __ __ __ __ __
1 2 3 4 5

Ausschnitte interaktives Material:



C.3 Stickoxide

nachhaltig bewerten

Stickoxid-Emission: Was verändert sich mit Elektroautos?

Stickstoffoxide, oder kurz **Stickoxide**, sind gasförmige Verbindungen, die aus den Elementen **Stickstoff (N_2)** und **Sauerstoff (O_2)** bestehen. Da es verschiedene Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gibt, werden sie auch mit **NO_x** abgekürzt. Die bekanntesten Verbindungen sind **Stickstoffmonoxid (NO)** und **Stickstoffdioxid (NO_2)**.

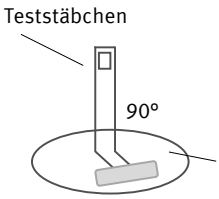
Wodurch entstehen Stickoxide?

1. Aufgabe:
Führt zu **zweit** den folgenden Versuch durch. ***Setzt eine Schutzbrille auf!***

Materialien:
Marmeladenglas mit Deckel, Teststäbchen zum Stickoxidnachweis, Tesafilm, Becherglas (50 ml), destilliertes Wasser, Trockentuch, Feuerzeug, Teelicht

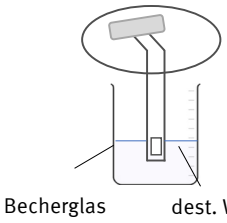
Durchführung:

1. Schritt



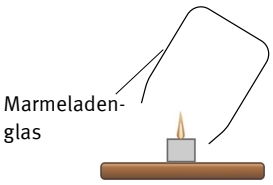
Klebe mit Tesafilm ein Teststäbchen auf die Unterseite des **Marmeladenglasdeckels**. Knicke das Stäbchen so, dass es im 90 ° - Winkel zum Deckel steht.

2. Schritt



Fülle etwas destilliertes Wasser in das Becherglas. Tauche das Teststäbchen kurz ein. Tupfe das Stäbchen mit dem Trockentuch ab.

3. Schritt

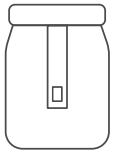


Stelle das Teelicht auf den Tisch. Zünde es jetzt an. Halte für 30 Sekunden das Marmeladenglas vorsichtig über das brennende Teelicht und fange das entstehende Gas auf.

Achtung: *Stelle das Marmeladenglas nicht ganz auf die Kerze, da diese sonst erlischt!*

nachhaltig bewerten

4. Schritt



Puste die Kerze aus, setze den Deckel auf das Marmeladenglas und verschließe es. Warte 1-2 Minuten.

Beobachtung:
Welche Farbe hat das Teststäbchen?

Farbe: _____

Erklärung:
Vergleiche das Teststäbchen mit der **beiliegenden** Farbskala.
Fülle zur Erklärung der Farbveränderung die Lücken aus:

Die _____Farbe des Teststäbchens zeigt, dass durch das Brennen einer Kerze _____ entstehen.

Entsorgung:
Spüle das Marmeladenglas mit Wasser aus. Das verwendete Teststäbchen kannst du im Hausmüll entsorgen.

Bereits das **Brennen einer Kerze** führt zur Bildung von Stickoxiden. **Verbrennungsreaktionen** gibt es im Alltag in noch viel **größerem Ausmaß**, zum Beispiel durch die **Abgase** der Industrie oder **Verbrennungsmotoren** von Autos.

Der **Verkehr** ist mit 43 % die größte Quelle für Stickoxid-Emissionen.
Hier werden sehr große Mengen an Stickoxiden ausgestoßen!

nachhaltig bewerten

Welche Auswirkungen haben Stickoxide?

2. Aufgabe:
a) Lies dir die Informationskästen aufmerksam durch.

Stickstoffdioxid ist ein **ätzendes Reizgas** und dringt tief in die Lunge ein. Dort kann es die Schleimhaut reizen und eine Entzündung auslösen. Das kann zu Husten und Luftnot führen. Außerdem kann Stickstoffdioxid die Augen reizen.

Besonders an heißen Sommertagen mit einer hohen Sonnenstrahlung kann durch Stickstoffdioxid sogenanntes **bodennahes Ozon** entstehen.

Da Stickstoffdioxid **häufig durch Luftströmungen aus den Städten** transportiert wird, ist die Konzentration von Ozon **auf dem Land** deutlicher **höher** als in der Stadt. Ozon kann das Lungengewebe und die Schleimhäute von Menschen reizen.
Das Wachstum von Pflanzen wird durch Ozon geschädigt.

Reagiert Stickstoffdioxid mit dem Wasser in Wolken entsteht **saurer Regen**. Gelangt saurer Regen in Gewässer, kann dieser Pflanzen und Kleinlebewesen schädigen oder sogar töten.

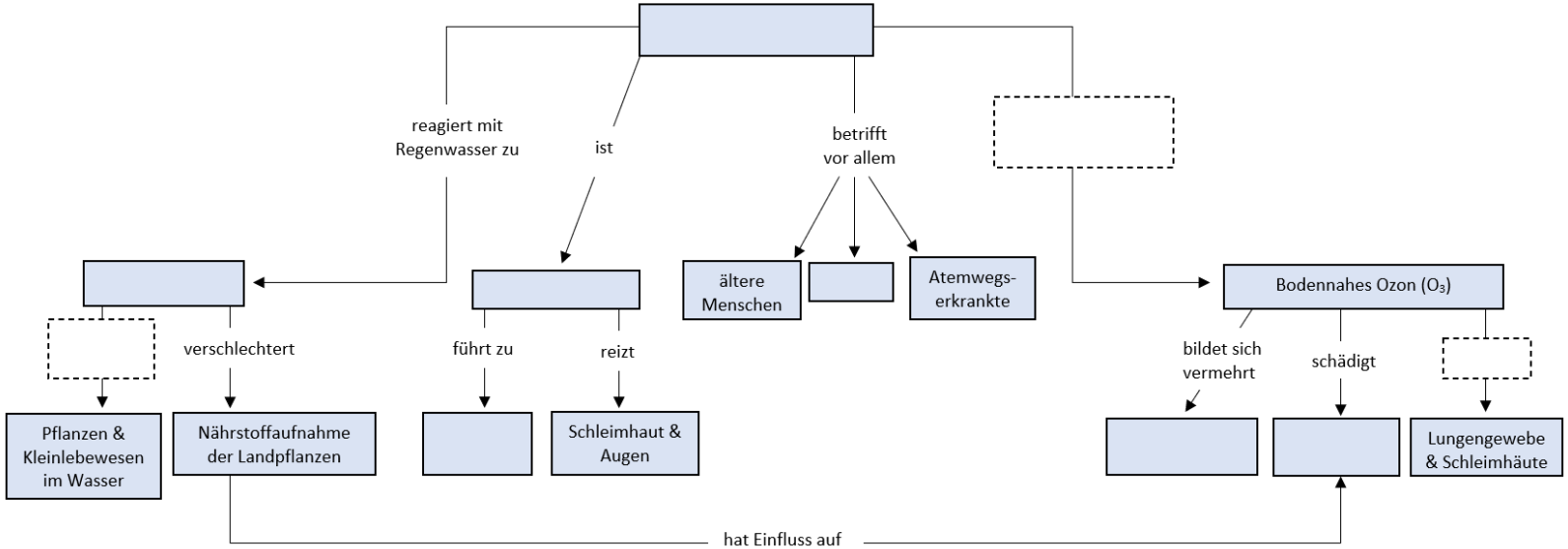
Pflanzen können durch einen sauren Boden schlechter Nährstoffe aufnehmen und wachsen.

Von der schädlichen Wirkung des Stickstoffdioxids sind besonders Menschen betroffen, die eine **Erkrankung der Atemwege** haben sowie **ältere Menschen** und **Kinder**.

nachhaltig bewerten

b) Vervollständige die ***Concept Map*** mit den Begriffen aus dem **Kasten:**

bildet unter UV-Strahlung – reizt – Kinder – Pflanzenwachstum – Husten & Luftnot – auf dem Land – saurem/r Regen – ätzendes Reizgas – schädigt/tötet – Stickstoffdioxid (NO_2)



Hinweis: Bei einer *Concept Map* werden Begriffe über Pfeile miteinander verknüpft. Der Ausdruck auf dem Pfeil verdeutlicht, wie die Begriffe zusammenhängen. Die Richtung des Pfeils entspricht der Leserichtung.

nachhaltig bewerten

Der Vergleich: Verbrennungsmotor oder Elektromotor?

Können Autos mit **Elektromotor** den Ausstoß an Stickoxiden **senken**?

oder

Elektroautos haben **keinen Auspuff** und stoßen daher **keine direkten Emissionen** beim **Fahren** aus.

Verbrennungsmotoren stoßen durch den Auspuff **während des Fahrens** direkt Stickoxide aus.

Bei der **Fahrzeugherstellung** von Elektroautos entstehen jedoch ebenfalls **viele** Stickoxide. Diese sind beim Elektroauto insgesamt **etwas höher** als beim Verbrennungsmotor.

Im Vergleich beider Fahrzeugtypen ist jedoch der Ausstoß an Stickoxiden bei Verbrennungsmotoren über den **gesamten Lebensweg leicht höher**.

Ein entscheidender Unterschied liegt also am **Ort des Ausstoßes**. Während Autos mit Verbrennungsmotor **im Verkehr** zu **gesundheitsschädlichen** Stickoxid-Emissionen in **Städten** führen, sind Elektroautos beim Fahren auf der Straße **emissionsfrei**. Dadurch kann sich die **Luftqualität** für die Menschen in **Städten oder anderen dicht befahrenen Gebieten** verbessern.

Die Stickoxid-Emissionen der Elektroautos durch die Fahrzeugherstellung, entstehen oft in **weniger dicht** bewohnten Gebieten. Dort **belasten** sie vor allem die **Umwelt**.

nachhaltig bewerten

Zusammenfassung

3. Aufgabe:
Fülle die Lücken aus:

Sowohl ein Verbrennungsmotor als auch ein Elektromotor tragen zum Ausstoß von

__ __ __ __ __ __ __ __ __ __bei.
13 3

Auf den ganzen Lebensweg bezogen, ist die Emission beim Elektroauto im Vergleich

zum Verbrennungsmotor etwas __ __ __ __ __.
4 5

Da __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ keinen __ __ __ __ __ __ __ haben, stoßen sie
12 11 6 2

jedoch auf der Straße keine direkten Emissionen aus.

Dadurch kann die Qualität der __ __ __ __ in Städten und dicht befahrenen Gebieten
7

verbessert und die __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ der Menschen geschützt werden.
10 1 9 14

Die Stickoxid-Emission der Elektroautos entsteht eher in weniger dicht besiedelten

Gebieten. Dort tragen Stickoxide dennoch zur __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ der Umwelt
8

bei.

Lösungswort: __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __ __
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14

C.4 Rohstoffe

nachhaltig bewerten

Rohstoffverbrauch: Was verändert sich mit Elektroautos?

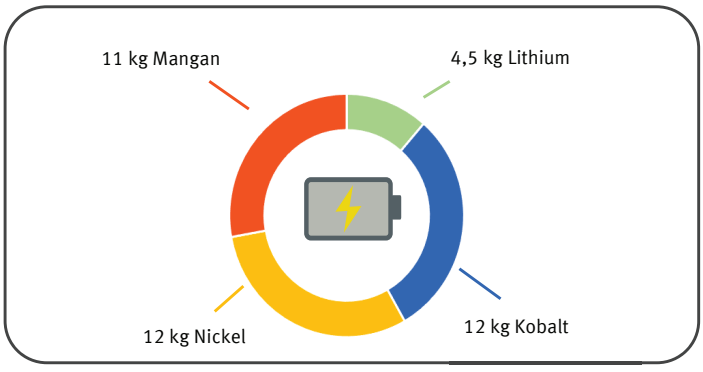
Der Akku im Elektroauto

Der Akkumulator (kurz genannt: **Akku**) ist der **wichtigste Bestandteil** des Elektroautos. Er **entlädt** sich beim Fahren und lässt sich dann wieder **aufladen**. Akkus können als **wiederaufladbare Batterien** bezeichnet werden.
Zum Bau eines Akkus werden viele verschiedene **Rohstoffe** benötigt.

Welche Rohstoffe benötigt der Akku des Elektroautos?

Für den Bau von Elektroautos wird der **Lithium-Ionen-Akku** verwendet. Dieser ist daher besonders **leistungsstark.** Akkus bestehen immer aus zwei Elektroden: der Anode und der Kathode.
Die Kathode des Lithium-Ionen-Akkus besteht am häufigsten aus der Kombination der Rohstoffe **Nickel, Mangan, Kobalt** und natürlich **Lithium.** Die Anode besteht aus **Graphit** (Kohlenstoff).

Für einen Akku der am häufigsten in **Mittelklassewagen** eingebaut wird, werden ungefähr so viele Rohstoffe für die Kathode benötigt:



nachhaltig bewerten

1. Aufgabe:

Informiere dich über die **Herkunft der Rohstoffe** für die Akkus von Elektroautos.

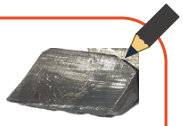
a) **Öffne** mit deinem Smartphone/Tablet den Link.

Der Weg zum Elektroauto - Herkunft der Rohstoffe

https://tinyurl.com/mmpu4ss7

b) **Vervollständige** die Steckbriefe von **Lithium** und **Kobalt.**

Name: Lithium (Li)



Aussehen:
silbriges Leichtmetall

Vorhandensein in der Natur:
Festgestein und Salzseen (Sole)

Funktion in der Batterie:
Elektrolyt-Lösung

Top-Abbauländer:

Art der Gewinnung:

Mögliche Problematik:

Name: Kobalt (Co)

Aussehen:
stahlgraues Schwermetall

Vorhandensein in der Natur:
Festgestein

Funktion in der Batterie:
Kathodenmaterial

Top-Abbauland:

Art der Gewinnung:

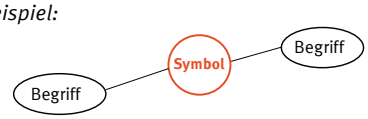
Mögliche Problematik:

2

nachhaltig bewerten

2. Aufgabe:
Verbinde die passenden Begriffe miteinander auf folgende Art:

Beispiel:



Deutschland		Gewinnung von Lithium aus Festgestein
Gewinnung von Lithium aus Solen		China
industrieller Bergbau in Australien		schlechte Arbeitsbedingungen & Kinderarbeit
Batteriezellfertigung		Chile & Argentinien
Kleinbergbau im Kongo		Produktion von Elektroautos

nachhaltig bewerten

Recycling & Forschungsausblick

Das **Recycling** von Lithium-Ionen-Akkus gestaltet sich bisher noch **schwierig**.
Es besteht noch **viel Forschungsbedarf**.
Schwierigkeiten bereiten vor allem die **Brennbarkeit** und **Giftigkeit** des Akkus.
Die Trennverfahren sind aktuell noch sehr **kompliziert** und **teuer**.

Es arbeiten Forscherinnen und Forscher an **neuen Batteriezelltypen**.
Außerdem entstehen immer mehr Fabriken zur **Herstellung des Akkus in Deutschland**, zum Beispiel in Brandenburg.

Rohstoffreichtum als Chance?

Für die Abbauländer kann der Rohstoffsektor neben all der Risiken zu einer **positiven wirtschaftlichen Entwicklung** führen.
Die **Einnahmen durch Rohstoffe** könnten zum Beispiel in **Bildung und Gesundheit** investiert werden.
Außerdem werden durch den Abbau von Rohstoffen **neue Arbeitsplätze** für die **lokale Bevölkerung** geschaffen.
Leider schaffen es aber **derzeit noch nicht alle Länder** von ihrem Rohstoffreichtum ausreichend zu **profitieren**.

nachhaltig bewerten

3. Aufgabe:
Finde die Wörter aus dem **Wortpool** zum Thema Rohstoffe im Buchstabengitter und **markiere** sie.
Es sind insgesamt **11 Wörter** versteckt.

Wortpool

Kongo
Kinder
Australien
Elektroauto
Akkus
China
Kleinbergbau
Standort
Rohstoffe
Solen
Lithium

Buchstabenrätsel

G	D	A	S	K	L	E	V	B	N	G	R	R	W	Q	K
T	E	L	E	K	T	R	O	A	U	T	O	I	O	P	Ü
A	C	G	H	K	J	D	F	L	U	Z	H	R	T	B	J
Z	K	L	E	Ö	F	J	N	B	V	C	S	S	O	I	E
I	O	E	C	S	H	J	L	W	E	B	T	N	H	F	A
A	M	N	H	D	K	Ö	R	G	S	Y	O	P	O	R	H
K	P	G	I	L	E	R	Z	N	D	C	F	L	F	A	P
K	P	S	N	B	K	L	U	D	O	A	F	O	R	F	X
U	D	A	A	U	S	T	R	A	L	I	E	N	I	L	Q
S	J	G	D	L	Ö	R	S	J	C	X	L	P	T	W	V
P	L	K	R	W	Q	A	L	S	T	A	N	D	O	R	T
L	Ö	G	B	N	M	S	Y	O	H	R	S	I	J	L	E
N	K	O	N	G	O	P	K	L	O	L	W	S	C	X	R
L	I	T	H	I	U	M	H	E	S	N	V	T	R	L	L
P	N	Ä	D	W	K	Z	L	N	D	Q	P	C	V	M	E
K	D	L	Ö	F	B	V	C	S	I	Z	T	E	N	K	L
A	E	D	Y	N	M	K	L	Ä	Z	U	I	U	B	F	T
L	R	L	Ö	D	G	B	U	Z	A	I	W	L	D	M	B
K	I	P	D	H	J	H	D	G	K	L	T	J	H	T	L
Ö	G	E	K	L	E	I	N	B	E	R	G	B	A	U	A

nachhaltig bewerten

Zusammenfassung

4. Aufgabe:

Fülle die Lücken mit den **gefundenen Wörtern** aus dem Buchstabengitter **aus**.

Der Akku ist der **wichtigste Bestandteil** im _____ .

Für den **Bau des Akkus** werden mehrere _____ benötigt, wichtig sind vor allem _____ und Kobalt.

Kobalt wird überwiegend durch industriellen Bergbau und _____ in der demokratischen Republik _____ gewonnen.

Besonders im Kleinbergbau herrschen oft **gefährliche Arbeitsbedingungen** für die Menschen und auch _____ müssen teilweise mitarbeiten.

Lithium wird durch Bergbau in _____ und _____ in Chile und Argentinien gewonnen.

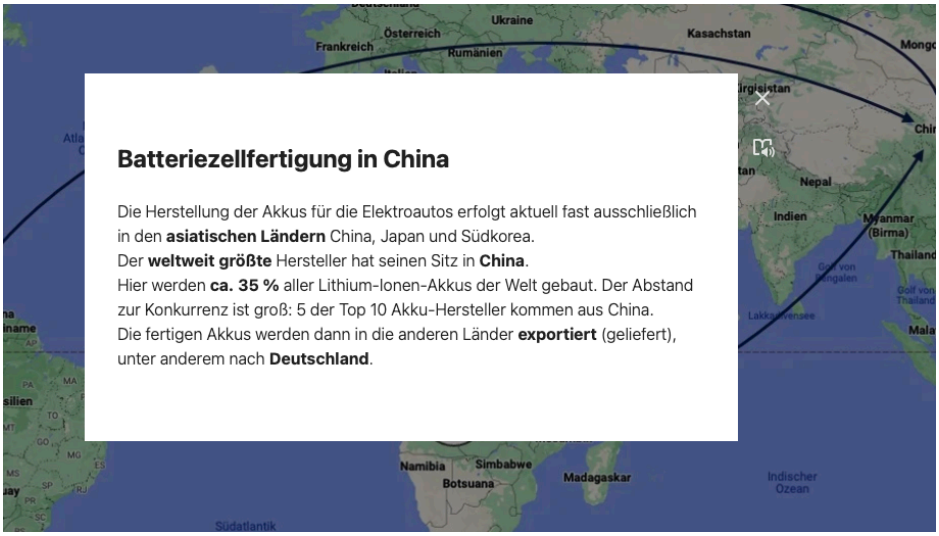
Durch die Förderung der **lithiumhaltigen Sole** kann es zur Beeinflussung des Wasserhaushalts in Trockengebieten kommen.

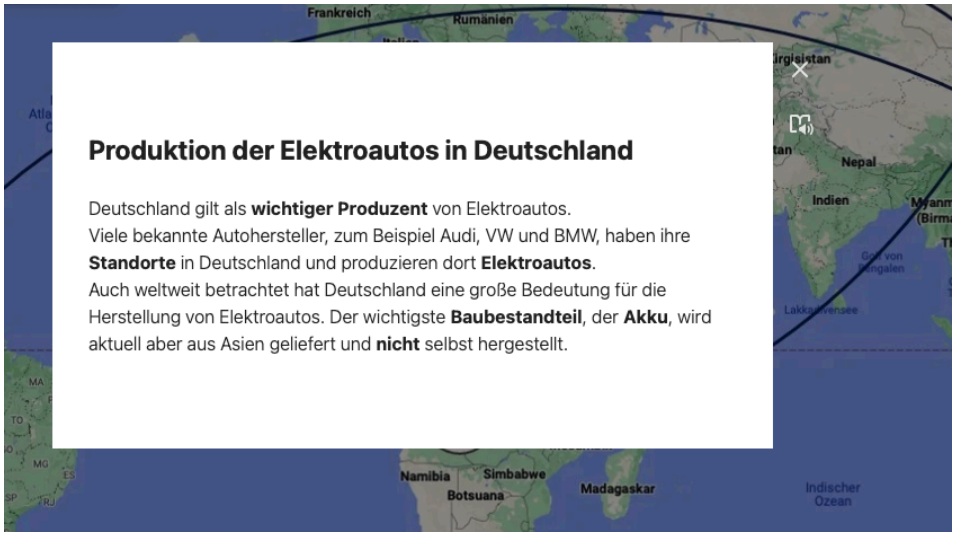
Die **Herstellung der** _____ erfolgt größtenteils in _____ .

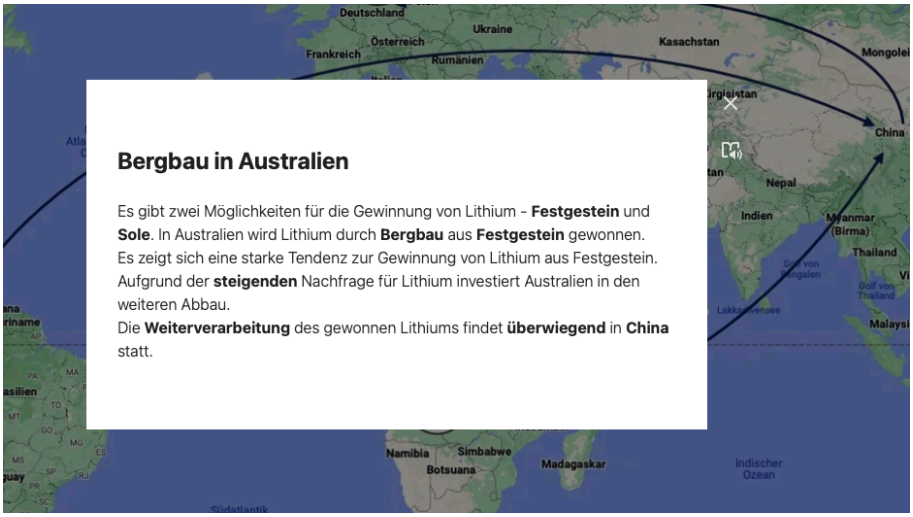
Deutschland ist ein wichtiger _____ für die fertige **Produktion von Elektroautos**.

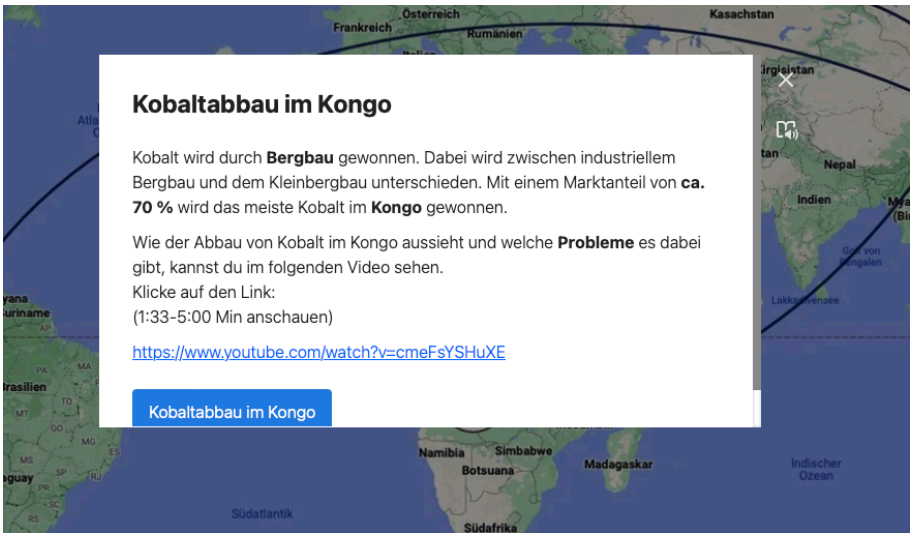
Um in Zukunft weniger Rohstoffe zu verbrauchen, arbeiten Forscherinnen und Forscher bereits an **neuen Batteriezelltypen**.

Ausschnitte interaktives Material:






Bergbau in Australien
Es gibt zwei Möglichkeiten für die Gewinnung von Lithium - **Festgestein** und **Sole**. In Australien wird Lithium durch **Bergbau** aus **Festgestein** gewonnen.
Es zeigt sich eine starke Tendenz zur Gewinnung von Lithium aus Festgestein.
Aufgrund der **steigenden** Nachfrage für Lithium investiert Australien in den weiteren Abbau.
Die **Weiterverarbeitung** des gewonnen Lithiums findet **überwiegend** in **China** statt.
Deutschland
Ukraine
Österreich
Frankreich
Rumänien
Kasachstan
China
Nepal
Indien
Thailand
Namibia
Simbabwe
Botsuana
Madagaskar
Indischer Ozean


Kobaltabbau im Kongo
Kobalt wird durch **Bergbau** gewonnen. Dabei wird zwischen industriellem Bergbau und dem Kleinbergbau unterschieden. Mit einem Marktanteil von **ca. 70 %** wird das meiste Kobalt im **Kongo** gewonnen.
Wie der Abbau von Kobalt im Kongo aussieht und welche **Probleme** es dabei gibt, kannst du im folgenden Video sehen.
Klicke auf den Link:
(1:33-5:00 Min anschauen)
https://www.youtube.com/watch?v=cmeFsYSHuXE
Kobaltabbau im Kongo
Österreich
Frankreich
Rumänien
Kasachstan
Nepal
Indien
Namibia
Simbabwe
Botsuana
Madagaskar
Indischer Ozean
Südatlantik
Südafrika

Der Weg zum Elektroauto
Lithium aus Chile und Argentinien
Zu den Top-Abbauländern von Lithium gehören neben Australien auch **Chile** und **Argentinien**.
Hier befindet sich der wertvolle Rohstoff in **lithiumhaltigen Solen** (Salzseen). Diese Solen werden durch Bohrlöcher an die Oberfläche gepumpt und in Becken gesammelt. Durch das Sonnenlicht verdunstet das Wasser mit der Zeit. Das Lithium reichert sich so in Salzkrusten an.
Welche **Probleme** bei der Gewinnung von Lithium aus den Solen entstehen können, zeigt dir das Video. Klicke auf den Link (0:50 Min-3:40 Min anschauen):
https://www.ardmediathek.de/video/quarks/lebenszyklus-lithium/wdr/Y3JpZDovL3dkci5kZS9CZWI0cmFnLWJkNmNhNjg1LTRhNDctNGRkMC1iMTM1LTcyZTA4NDZhODFlZg
Vereinigtes Königreich
Irland
Belarus
Deutschland
Ukraine
Österreich
Frankreich
Rumänien
Kasachstan
Nepal
Indien
Kuba
Puerto Rico
Nicaragua
Kolumbien
Guyana
Suriname
Ecuador
Brasilien
Peru
Bolivien
Paraguay
Chile
Uruguay
Argentinien
Namibia
Simbabwe
Botsuana
Madagaskar
Südatlantik
Südafrika
Indischer Ozean

C.5 Lärm

nachhaltig bewerten

Lärm im Straßenverkehr: Was verändert sich mit Elektroautos?

Viele Menschen fühlen sich durch **Lärm** gestört. Der Straßenverkehr ist eine **große Lärmquelle** in Deutschland.
Eine dauerhafte hohe Lärmbelästigung kann sogar **gesundheitliche Folgen** haben.
Das **Motorengeräusch** von **Verbrennungsmotoren** trägt dazu bei.
Doch auch **Elektroautos** sind **nicht** ganz **leise**.

Faktoren von Lärm

Der **Motor** ist bei Verbrennungsmotoren **lauter** als bei Elektroautos.

Neben dem Motorengeräusch entsteht Lärm auch durch das Zusammenspiel von **Reifen und Fahrbahn**.

Diese **Rollgeräusche** sind bei Verbrennern und Elektroautos **ungefähr gleich groß**.

Langsames Fahren und Anfahren

Rollgeräusche treten erst bei Geschwindigkeiten **über 25 km/h** auf. Unterhalb dieser Geschwindigkeit ist der **Motor** die größte Lärmquelle.

Da die **Motoren von Elektroautos deutlich leiser** sind als Verbrennungsmotoren, können sie bei **langsamer Fahrt**, z.B. in Wohngebieten oder beim Anfahren an Ampeln und Kreuzungen, den Lärm **reduzieren**.

Geräuschpflicht für Elektroautos

Seit einer **EU-Verordnung** von 2021 müssen Elektroautos bei Geschwindigkeiten unter 20 km/h **künstliche Warnsignale aus Lautsprechern** von sich geben.

Diese Geräusche dienen dem **Schutz** von **blinden Menschen.**
Aber auch für Kinder, Radfahrer, ältere Menschen und abgelenkte Fußgänger sollen die **Warnsignale** den **Straßenverkehr sicherer** machen.

Nutzfahrzeuge und Zweiräder

Zu Nutzfahrzeugen zählen zum Beispiel **Busse und Müllfahrzeuge**.

Bei Geschwindigkeiten im Stadtverkehr sind **elektrische** Nutzfahrzeuge **deutlich leiser** als Verbrenner.

Gleiches gilt für **Motorräder**.
Elektrische Varianten sind in der Regel in **allen Geschwindigkeitsbereichen** leiser als Verbrenner.

1

nachhaltig bewerten

Lässt sich ein **Unterschied** zwischen den **Fahrzeugtypen** feststellen?

Aufgabe: Richtig oder Falsch? **Kreuze** an.

	✓	✗
1. Elektroautos sind immer leiser als Verbrenner.	☐	☐
2. Elektrische Motoräder sind leiser als solche mit Verbrennungsmotor.	☐	☐
3. Beim langsamen Fahren sind Elektroautos lauter als Verbrenner.	☐	☐
4. Blinde Menschen sollen durch Warnsignale an Elektroautos geschützt werden.	☐	☐
5. Die Rollgeräusche sind bei Elektroautos deutlich lauter.	☐	☐

Zusammenfassung

Beim langsamen Fahren **unter 25 km/h**, z.B. beim Anfahren an Kreuzungen, sind die Motoren von **Elektroautos deutlich leiser** als Verbrenner.

Bei **höheren Geschwindigkeiten** wird der Unterschied zwischen Verbrennern und Elektroautos zunehmend geringer, da die **Rollgeräusche überwiegen**, die bei beiden Fahrzeugtypen prinzipiell **gleich** sind.

Elektroautos sind also grundsätzlich **nicht leiser** als Autos mit einem Verbrennungsmotor.

Nutzfahrzeuge und Zweiräder sind dagegen **deutlich leiser** als die Varianten mit Verbrennungsmotor.

C.6 Arbeitsmarkt

nachhaltig bewerten

Arbeitsplätze in der Autoindustrie: Was verändert sich mit Elektroautos?

Die **deutsche Autoindustrie** befindet sich im **Wandel**.
Um den Klimaschutz zu fördern, sollen weniger Autos mit **Verbrennungsmotoren** gebaut werden.
Die Produktion von **Elektroautos** nimmt im Vergleich zu.
Dieser Wandel wirkt sich auch auf die **Arbeitsplätze der Menschen** in der Autoindustrie aus
In Deutschland sind rund 1,7 Millionen Menschen in der Automobilindustrie beschäftigt.

Drei Fakten: Arbeitsplätze in der deutschen Autoindustrie

1

Die **Zahl der Arbeitsplätze** bleibt durch die Produktion von Elektroautos ungefähr **gleich**. Allerdings verändert sich die **Art der Beschäftigung.**

Bei der **Herstellung und Zulieferung** von Bauteilen wie Motor und Kupplung können **Jobs verloren** gehen.
Der Grund: Elektroautos bestehen aus deutlich weniger Bauteilen als Verbrenner und lassen sich daher mit weniger Aufwand bauen.

Vor allem in der **Batterieherstellung** und beim **Ausbau der Ladestationen** für Elektroautos entstehen aber auch neue Arbeitsplätze.

Die **Anforderungen** an die Arbeit ändern sich. Einige Beschäftigte müssen sich **weiterbilden**.

2

Nicht nur die Anforderungen an die Arbeit verändern sich. Auch die **regionale Verteilung** der Arbeit verändert sich.

Der **größte Zuwachs** an Arbeitsplätzen wird im Osten zu verzeichnen sein. Mehrere Automobilhersteller haben dort große Produktionsstätten für die Batterieherstellung gebaut oder geplant.

1

nachhaltig bewerten

3

Elektroautos sind nicht der einzige Grund, weshalb sich die Arbeitsplätze in der Autoindustrie verändern.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die **Digitalisierung und Automatisierung** der Autoherstellung. Hierdurch können viele Arbeitsschritte optimiert oder durch Roboter ersetzt werden. Der **Arbeitsaufwand** pro Fahrzeug **sinkt**.

Zudem ist die Autoproduktion international vernetzt, weshalb **Arbeitsplätze** auch in das **Ausland** verlegt werden, vor allem nach Osteuropa.

Zusammenfassung

Aufgabe: Fülle die Lücken aus.

Die Autoindustrie in Deutschland befindet sich in einem großen _ _ _ _ _ _. Die vermehrte Produktion von _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ hat Auswirkungen auf die _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _.
Die Zahl der Arbeitsplätze bleicht ungefähr _ _ _ _ _ _ , aber die _ _ _ der Beschäftigung verändert sich. Auch _ _ _ _ _ _ _ _ verteilen sich die Jobs neu. Für die Beschäftigten kann eine _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ nötig sein.
Weitere Gründe für die Veränderung der Arbeitsplätze sind die Digitalisierung und die Verlagerung von Jobs in das _ _ _ _ _ _ _.

ART
WEITERBILDUNG
REGIONAL
AUSLAND
ELEKTROAUTOS
WANDEL
GLEICH
ARBEITSPLÄTZE

C.7 Kosten

nachhaltig bewerten

Kostenvergleich: Sind Elektroautos teurer als Verbrenner?

Die Kosten für ein Auto – egal ob Verbrennungsmotor oder Elektromotor – entstehen durch:

- Anschaffung (= Kaufpreis)
- Strompreis/Benzin- oder Dieselpreis („Tanken“)
- Steuer
- Versicherung
- Wartung (= Erhaltung und Pflege des Fahrzeugs)

Anschaffung

Der Kauf eines Elektroautos wird **aktuell** (bis 2025) mit einem Bonus von bis zu **9000 €** unterstützt. Für die **Zukunft** steht **allgemein** fest: Je höher die angefertigte Stückzahl, desto **preiswerter** kann produziert werden.

Steuer

Elektroautos sind bis zu **10 Jahre** von der Steuer **befreit** (Neuzulassung bis Ende 2025). Nach Ablauf der 10 Jahre ist das Elektroauto wieder **steuerpflichtig**, jedoch wird nur **50 %** des üblichen Steuersatzes erhoben.

Wartung

Insgesamt ist die Wartung für ein Elektroauto etwa 35 % günstiger als die eines Verbrenners.
Grund: Ein Elektroauto hat **viel weniger verschleißanfällige Teile**.

Versicherung

Die Versicherung für ein Elektroauto **kann** aktuell etwas günstiger sein.
Das kann sich in **Zukunft** wieder ändern. Es wird sich zeigen, welche Schäden entstehen und welche Risiken noch in die **Bedingungen für eine Versicherung** eingerechnet werden.
Eine Versicherung hängt am Ende auch von **individuellen** Faktoren ab.

1

nachhaltig bewerten

Kostenübersicht: Verbrenner vs. Elektroauto

1) **Anschaffung** eines **vergleichbaren** Fahrzeugmodells als Benziner oder als Elektroauto:

	VW Golf	VW iD.3
Preisempfehlung des Herstellers	27.000 €	36.960 €
Bonus		-9000 €
Anschaffungskosten	**27.900 €**	**27.960 €**

2) **Laufende** Kosten beider Fahrzeugtypen eines **vergleichbaren** Fahrzeugmodells. Beispiel einer jährliche Laufleistung von 15.000 Kilometer

	VW Golf	VW iD.3
Strom*		832 €
Benzin*	1350 €	
Versicherung	321€	246 €
Steuer	66 €	
Wartung	168 €	132 €
Laufende Kosten/Jahr	1905 €	1210 €
Kosten pro km	0,13 €	0,08 €
Gesamtkosten über 10 Jahre	**46.950 €**	**40.956 €**

*Benzinpreis: 1,8 €/l
*Strompreis: 0,36 €/kWh

Der Strompreis ist abhängig von der Lademöglichkeit. Die Preisspanne kann zwischen 36 Cent (Steckdose zuhause) und maximal 0,79 Cent (Schnellladestationen) liegen.

nachhaltig bewerten

Der Vergleich: Verbrennungsmotor und Elektromotor

Aufgabe:
Vergleiche die Kosten der beiden Fahrzeugtypen.
Trage in das Kästchen jeweils ein Zeichen für kleiner (‹), größer (›) oder gleich (=) ein.

Kosten	Verbrennungsmotor		Elektromotor
Anschaffung		☐	
Sprit/Strom		☐	
Versicherung		☐	
Steuer		☐	
Wartung		☐	

Zusammenfassung

Werden **alle Kosten** eines Autos zusammengefasst, schneiden Elektroautos **immer häufiger besser** ab als Verbrenner.

Das ist das Ergebnis einer **aktuellen** Vollkosten-Berechnung. Es wird dabei ein Elektroauto mit einem vergleichbaren Auto mit Verbrennungsmotor betrachtet.

C.8 Reichweite

nachhaltig bewerten

Wie weit können Elektroautos fahren?

Die **Reichweite** bezeichnet die Strecke in Kilometer, die bei vollständiger Ladung der Batterie ohne zwischenzeitliches Laden zurückgelegt werden kann.

Aktuell liegt die kleinste Reichweite eines Elektroautos bei **ca. 120 km** und die größte Reichweite bei **ca. 780 km**. Die Reichweite unterscheidet sich je nach **Hersteller**, **Größe des Autos** und **weiteren** Faktoren. Die durchschnittliche Reichweite von Elektroautos lag 2020 bei ca. **350 km**.

Wovon hängt die Reichweite ab?

Die angegebene Reichweite eines Elektroautos kann durch **verschiedene Reichweite-Faktoren** beeinflusst werden. Es gibt für jeden Reichweite-Faktor eine **beste Bedingung**, mit der eine möglichst optimale Reichweite erreicht werden kann.

Aufgabe 1:
Öffne den QR-Code. **Ordne** mithilfe der Simulation jeweils die **beste Bedingung** dem zugehörigen **Reichweite-Faktor** zu.

© smart for science, WWU Münster

Reichweite-Faktor:	Die besten Bedingungen sind:
Tempo	zurückhaltend
Fahrstil	keine
Komfort	Stadt
Terrain	langsam
Route	mild
Temperatur	flach
Last	keine

nachhaltig bewerten

Ladedauer für ein Elektroauto (Beispiel: VW iD3)

	Steckdose (Haushalt)	Ladestation Zuhause (=Wallbox)	Ladestation Autobahn =Schnellladestation
Ladedauer für **80% Kapazität**	21:33 h	04:30 h	00:41 h
Ladedauer für **100km**	06:41 h	01:24 h	00:09 h
Reichweite nach **20 min** laden	4 km	23 km	207 km

Zusammenfassung

Aufgabe 2:
Fülle die Lücken:

Die Reichweite unterscheidet sich je nach **Hersteller**, **Größe des Autos** sowie weiteren **Faktoren** und ihren jeweiligen **besten Bedingungen.**

Die durchschnittliche Reichweite von Elektroautos lag 2020 bei ca. _____.

Die Ladedauer eines Elektroautos ist abhängig von der Ladequelle. Am längsten dauert das Laden über eine _____, am schnellsten über eine _____.

Auf der Autobahn kann zum Beispiel schon in ____Minuten wieder 100 km an Reichweite gewonnen werden.

Anhang D: Auswertung Erprobungen

D.1 Zusatzmaterial
D.2 Beispieltranskript
D.3 Erhebungsinstrument Prä- und Post-Test
    D.3.1 Prä-Test
    D.3.2 Post-Test
D.4 Codierleitfaden
    D.4.1 Verständnis von Nachhaltigkeit
    D.4.2 Nachhaltigkeit von Elektromobilität
D.5 Auswertung Ergebnisse
    D.5.1 Absolute Häufigkeiten der Kategorien zum Verständnis von Nachhaltigkeit nach Erprobungsdurchgängen
    D.5.2 Dokumentenvergleichsdiagramme Verständnis von Nachhaltigkeit
    D.5.3 Kategoriensystem Nachhaltigkeit Elektromobilität
    D.5.4 Dokumentenvergleichsdiagramme Nachhaltigkeit von Elektromobilität

D.1 Zusatzmaterial

Feinstaub

- Elektroautos haben **keinen Auspuff** und dadurch keine **direkte** Emission
  → Verbesserung der **Luftqualität** und Reduzierung **gesundheitlicher Folgen**
- **Fahrzeugherstellung** als größte Feinstaub-Quelle
  → bei Elektroautos durch die **Akku-Herstellung** höher
- Fahrzeugherstellung findet in **weniger dicht bewohnten Gebieten** (Industriegebiete) statt→ Menschen sind **nicht direkt** betroffen, dennoch **Belastung der Umwelt**
- Feinstaub durch Abrieb **unterscheidet** sich je nach Fahrzeug (Größe, Gewicht)

Kohlenstoffdioxid

- **größter Faktor** Verbrenner: **direkte Emission** durch Auspuff
- **größter Faktor** Elektroauto: **Strombereitstellung**
- **Heute** haben **Elektroautos** im Vergleich zum Verbrenner schon einen leicht **reduzierten** Ausstoß
- Mit der **geplanten** Energiewende bis **2035** könnten Elektroautos einen **deutlich reduzierten** Ausstoß haben

Stickoxide

- Auf der Straße sind Elektroautos **emissionsfrei**
  → Dadurch können die **Luft verbessert** und **gesundheitliche Folgen reduziert** werden

- Die Stickoxid-Emission durch die **Fahrzeugherstellung** ist beim Elektroauto während des **ganzen** Lebensweges **leicht** höher

- Fahrzeugherstellung findet in **weniger dicht bewohnten Gebieten** (Industriegebiete) statt → Menschen sind **nicht direkt** betroffen, dennoch **Belastung der Umwelt**

Rohstoffe

- der **Akku** eines Elektroautos benötigt **viele** Rohstoffe wie **Lithium** oder **Kobalt**

- die Gewinnung von Lithium und Kobalt findet **aktuell** teilweise unter **schlechten Arbeitsbedingungen** und der **Belastung der Umwelt** statt

- bis zur **Fertigstellung** eines Elektroautos gibt es **weite Transportwege** → Lösung: zum Beispiel **lokale** Produktion der Akkus

- durch **Veränderungen** könnten Abbauländer trotz all der Risiken von ihrem Rohstoffreichtum **wirtschaftlich** profitieren

Reichweite

- **Reichweite** = Strecke in Kilometer, die bei vollständiger Ladung des Akkus ohne zwischenzeitliches Laden zurückgelegt werden kann
- die Reichweite unterscheidet sich je nach **Hersteller**, **Größe des Autos** sowie weiteren **Faktoren** und **Bedingungen**
- die durchschnittliche Reichweite von Elektroautos lag 2020 bei ca. **350 km**

Arbeitsmarkt der Autoindustrie

- Anzahl von Arbeitsplätzen bleibt **ungefähr gleich** → **Art der Beschäftigung** verändert sich
- mögliche **Weiterbildung** für **angestellte** Arbeitskräfte
- Bau **neuer** Standorte (z.B. für die Batteriezellfertigung)→ **regionale** Neuverteilung von Arbeitsplätzen

Kosten

- Kosten für ein Auto setzen sich aus vielen **verschiedenen** Faktoren zusammen
- Bei der Zusammenfassung **aller Kosten** schneiden **Elektroautos** immer **häufiger besser** ab als **Verbrenner**

Achtung: Das gilt nur für vergleichbare Fahrzeuge! Ein VW Golf (Verbrenner) **kann** mit einem VW iD.3 (Elektro) verglichen werden, aber **nicht** mit einem Tesla!

Lärm

- **unter 25 km/h** → Elektroautos **deutlich leiser** als Verbrenner
- **höhere Geschwindigkeiten** → Rollgeräusche bei beiden Fahrzeugtypen **gleich**
- seit **2021**: Elektroautos müssen unter 20 km/h **künstliche Warnsignale** abgeben um die Sicherheit im Verkehr zu **erhöhen**

Zusammenfassung

Feinstaub

- Elektroautos haben **keinen Auspuff** und dadurch keine **direkte** Emission
  → Verbesserung der **Luftqualität** und Reduzierung **gesundheitlicher Folgen**
- **Fahrzeugherstellung** ist größte Feinstaub-Quelle → bei Elektroautos durch die **Akku-Herstellung** höher
- Fahrzeugherstellung findet in **weniger dicht bewohnten Gebieten** (Industriegebiete) statt→ Menschen sind **nicht direkt** betroffen, dennoch **Belastung der Umwelt**
- Feinstaub durch Abrieb **unterscheidet** sich je nach Fahrzeug (Größe, Gewicht)

Kohlenstoffdioxid

- **größter Faktor** Verbrenner: **direkte Emission** durch Auspuff
- **größter Faktor** Elektroauto: **Strombereitstellung**
- **Heute** haben **Elektroautos** im Vergleich zum Verbrenner schon einen leicht **reduzierten** Ausstoß
- Mit der **geplanten** Energiewende bis **2035** könnten Elektroautos einen **deutlich reduzierten** Ausstoß haben

Stickoxide

- Auf der Straße sind Elektroautos **emissionsfrei** → Dadurch können die **Luft verbessert** und **gesundheitliche Folgen reduziert** werden
- Die Stickoxid-Emission durch die **Fahrzeugherstellung** ist beim Elektroauto während des **ganzen** Lebensweges **leicht** höher
- Fahrzeugherstellung findet in **weniger dicht bewohnten Gebieten** (Industriegebiete) statt → Menschen sind **nicht direkt** betroffen, dennoch **Belastung der Umwelt**

Rohstoffe

- der **Akku** eines Elektroautos benötigt **viele** Rohstoffe wie **Lithium** oder **Kobalt**
- die Gewinnung von Lithium und Kobalt findet **aktuell** teilweise unter **schlechten Arbeitsbedingungen** und der **Belastung der Umwelt** statt
- bis zur **Fertigstellung** eines Elektroautos gibt es **weite Transportwege** → Lösung: zum Beispiel **lokale** Produktion der Akkus
- durch **Veränderungen** könnten Abbauländer trotz all der Risiken von ihrem Rohstoffreichtum **wirtschaftlich** profitieren

Reichweite

- **Reichweite** = Strecke in Kilometer, die bei vollständiger Ladung des Akkus ohne zwischenzeitliches Laden zurückgelegt werden kann
- die Reichweite unterscheidet sich je nach **Hersteller**, **Größe des Autos** sowie weiteren **Faktoren** und **Bedingungen**
- die durchschnittliche Reichweite von Elektroautos lag 2020 bei ca. **350 km**

Kosten

- Kosten für ein Auto setzen sich aus vielen **verschiedenen** Faktoren zusammen
- Bei der Zusammenfassung **aller Kosten** schneiden **Elektroautos** immer **häufiger besser** ab als **Verbrenner**

Achtung: Das gilt nur für vergleichbare Fahrzeuge! Ein VW Golf (Verbrenner) **kann** mit einem VW iD.3 (Elektro) verglichen werden, aber **nicht** mit einem Tesla!

Lärm

- **unter 25 km/h** → Elektroautos **deutlich leiser** als Verbrenner
- **höhere Geschwindigkeiten** → Rollgeräusche bei beiden Fahrzeugtypen **gleich**
- seit **2021**: Elektroautos müssen unter 20 km/h **künstliche Warnsignale** abgeben um die Sicherheit im Verkehr zu **erhöhen**

Arbeitsmarkt

- Anzahl von Arbeitsplätzen bleibt **ungefähr gleich** → **Art der Beschäftigung** verändert sich
- mögliche **Weiterbildung** für **angestellte** Arbeitskräfte
- Bau **neuer** Standorte (z.B. für die Batteriezellfertigung)→ **regionale** Neuverteilung von Arbeitsplätzen

D.2 Beispieltranskript

Die vollständigen Transkripte (D.2) befinden sich im digitalen Anhang dieser Arbeit.

Beispielhafter Ausschnitt aus dem Transkript Plenumsphase Haupterprobung (D 2.8):

#02:51:32-2# S6: Also wer sich ein E-Auto kaufen möchte, weil man nachhaltig fahren möchte, dann würde ich der Person sagen, dass sich das erst lohnt, wenn man auch wirklich viele tausend Kilometer fährt, äh um halt diese äh, diesen äh Bau des E-Autos oder diesen Bau vom Elektromotor äh zu rechtfertigen oder auszugleichen muss man halt sehr viele Kilometer zurücklegen. Abgesehen davon, was bei den aktuellen Strompreisen ja auch äh das Laden zum Teil teurer ist als zu tanken, also Benzin zu tanken. Muss man halt sehr viel fahren und äh zum Beispiel ist es ja nicht nachhaltig, wenn das Auto jetzt nach hunderttausend Kilometern der äh Motor zum Beispiel kaputt ist und man dann einen neuen brauchte, dann äh. Man sollte sich schon äh, äh nen gutes Auto aussuchen und man müsste viel fahren, damit das diesen nachhaltigen Aspekt überhaupt auch berücksichtigt oder das überhaupt Sinn macht. #02:52:21-5#

#02:52:21-5# L: Genau, also bei dir hör ich raus, dass du das vor allem so auf diese Faktoren beziehst, wenn du so das bewerten würdest [S6: Ja.| und das nochmal wichtig ist, dass man es eben auch dauerhaft fahren müsste. [S6: Ja.] Okay, dann genau einmal von dir. #02:52:37-4#

#02:52:37-4# S7: Also ich würd erstmal sagen, dass das ähm negativ im Sozialen ist, das der Abbau der Rohstoffe kritisch zu sehen ist, genauso die Herstellung. Aber trotzdem würd ich sagen, dass das kurzfristig, sieht das vielleicht etwas unattraktiver aus. Aber langfristig find ich, sieht das sehr attraktiv aus, vor allem, wenn das durch die Politik gefördert wird. Und wenn wir jetzt diesen Umstieg darauf machen, denke ich, dass das auch ein großes Zukunftspotential hat. Gerade wenn durch die Wirtschaft dann nochmal neue Technologien gefordert werden. Und ich denke, dass die grüne Energie doch die bessere Wahl ist. #02:53:10-7#

#02:53:10-7# L: Mhm (*zustimmend*). Genau du hast jetzt einmal auch so alle Dimensionen angesprochen. Dann noch, genau du warst auch für eher nachhaltig. [S8: Ja.] Wir hören gleich nochmal ne Gegenposition. #02:53:19-0#

#02:53:19-0# S8: Ähm, also ich würd mich auch S7 anschließen. Ich würd sagen, dass die E-Autos auch noch nicht komplett ausgereift sind, dass da auf jeden Fall noch Luft nach oben ist. Egal, ob's jetzt ist der Strom, der benötigt wird, um sie überhaupt erst anzutreiben. Das der nachhaltig gemacht wird. Bis zum Weg und der Herstellung. Also ähm, sich, man sollte

sich vielleicht auch darauf kon/, ähm konzentrieren, damit das E-Auto insgesamt nachhaltiger wird. #02:53:40-8#

#02:53:40-8# L: Mhm (*zustimmend*). Dann genau einmal. Du hattest eben ja aufgezeigt, dass du es nicht nachhaltig findest. [S11: Ja.]. Wieso, würd ich gern mal hören. #02:53:50-5#

#02:53:50-5# S11: Also, es war nicht so gemeint, dass ich nich äh, also ich mein das halt nicht so, dass es nicht nachhaltig ist. Aber es ist halt auch schädlich für die Umwelt, weil man braucht ja auch irgendwo her die Energie. Die kommt ja auch irgendwo her und deswegen ist es halt auch schädlich. #02:54:06-5#

#02:54:06-5# L: Mhm (*zustimmend*). Genau also bei dir hör ich raus, dass du das dann auf den Umweltaspekt so gewichtest, wenn du das sagst, das es nur für die Umwelt. Aber wir haben ja nochmal heut uns auch angeguckt, wir müssen auf mehrere Sachen schauen. Deswegen also interessant, dass dann aber. Eins scheint ja manchmal auch zu überwiegen. Willst du direkt was dazu sagen? #02:54:24-5#

#02:54:24-5# S6: Ach so ja, ich wollt sagen, dass es aktuell keinen Sinn machen würde, sich jetzt nen E-Auto zu kaufen. Weil, wenn wir uns jetzt alle nen E-Auto kaufen würden, dann würden wir das Stromnetz auch total überreizen. Wir sind glaub ich gar nicht dafür ausge/ ausgebaut und ausgelegt so viele Autos zu laden. Ähm, ich glaub die Infrastruktur ist noch nicht vorhanden dafür. #02:54:41-2#

#02:54:41-2# L: Okay. #02:54:41-9#

#02:54:41-9# S6: Wenn jetzt jeder eins haben wollen würde. #02:54:43-9#

#02:54:43-9# L: Mhm (*zustimmend*). Ja? #02:54:46-5#

#02:54:46-5# S8: Dazu zu S6. Äh ich glaub in Norwegen ist das jetzt so, dass der Großteil der Bevölkerung äh E-Autos hat, also da läuft's auf jeden Fall, aber ich glaub, das liegt auch am System dort, weil [L: Genau.]. Ich glaub jetzt gerad bei uns in Deutschland wird das System nicht klappen, aber äh in Norwegen scheint es zu funktionieren [L: Mhm (*zustimmend*).] und ich glaub wir müssen (unv.) adaptieren. #02:55:05-5#

#02:55:05-5# L: Genau, also interessanter Punkt. Also Norwegen ist da ja auch Vorreiter auch politisch gesehen haben die schon viel früher bestimmte Gesetze veranlasst. Ja? #02:55:14-4#

#02:55:14-4# S7: Ganz wichtig ist auch, dass wir vom Autoland wegmüssen, unseren ÖPNV weiter ausbauen müssen und vielleicht auch auf die Fahrradstadt setzen sollten. #02:55:21-7#

#02:55:21-7# L: Wo wir ja hier genau richtig sind (*lacht*). Aber damit hast du etwas auch noch mit reingebracht, was heute gar nicht in den Materialien mit drin war. Also wir haben ja nicht über alternative Fortbewegungsmittel gesprochen. Also natürlich ist das nochmal, dann, da wird es vielleicht nochmal ganz anders aussehen, wenn wir sowas mit reinbringen. Ja, vielen Dank erstmal für die Beiträge dazu. Ihr merkt, das ist ganz schön kompliziert. (Überleitung zum Post- Test erfolgt). #02:55:45-7#

D.3 Erhebungsinstrument Prä- und Post-Test

D.3.1 Prä-Test

WWU MÜNSTER

Chemie Didaktik Münster

nachhaltig bewerten

Erster Buchstabe deines Vornamens: **E**lias = **E**

Dritter Buchstabe deiner Mutter: Ir**i**s = **I**

Dein Geburts**tag**: **09**.09.2006 = **09**

Zweiter Buchstabe deiner Straße: A**a**seeweg 4 = **A**

Beispiel: EI09A

Dein geheimer Code:

Alter: _____

Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐

WWU MÜNSTER

nachhaltig bewerten

Nachhaltigkeit

1) Was verstehst du unter dem Begriff **Nachhaltigkeit**?
Beschreibe!

WWU MÜNSTER

nachhaltig bewerten

Elektromotor oder Verbrennungsmotor?

2a) Welche Vor- und Nachteile von **Autos mit Verbrennungsmotor** kennst du? **Liste auf!**

Verbrennungsmotor:

Vorteil	Nachteil

2b) Welche Vor- und Nachteile von **Autos mit Elektromotor** kennst du? **Liste auf!**

Elektromotor:

Vorteil	Nachteil

WWU MÜNSTER

nachhaltig bewerten

3) Findest du den Ersatz von Autos mit **Elektromotor** im Vergleich zu Autos mit **Verbrennungsmotor nachhaltig**?
Begründe!

4) **Zuhause** haben wir:

- ☐ Ein Auto mit **Verbrennungsmotor** (Benzin/Diesel)
- ☐ Ein Auto mit **Elektromotor**
- ☐ Ein Auto mit **Hybrid-Motor**
- ☐ **Kein** Auto

D.3.2 Post-Test

WWU MÜNSTER

Chemie Didaktik Münster

nachhaltig bewerten

Erster Buchstabe deines Vornamens: **E**lias = **E**

Dritter Buchstabe deiner Mutter: Ir**i**s = **I**

Dein Geburts**tag**: **09**.09.2006 = **09**

Zweiter Buchstabe deiner Straße: A**a**seeweg 4 = **A**

Beispiel: EI09A

Dein geheimer Code:

Alter: _____

Geschlecht: männlich ☐ weiblich ☐ divers ☐

WWU MÜNSTER

nachhaltig bewerten

Nachhaltigkeit

1) Was verstehst du unter dem Begriff **Nachhaltigkeit**?
Beschreibe!

WWU MÜNSTER

nachhaltig bewerten

2) Findest du den Ersatz von Autos mit **Elektromotor** im Vergleich zu Autos mit **Verbrennungsmotor nachhaltig**?
Begründe!

WWU MÜNSTER

nachhaltig bewerten

3) Kreuze **eine** Antwort an:

	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	teils-teils	trifft eher zu	trifft voll zu
Die Unterrichtseinheit hat mir Spaß gemacht:	☐	☐	☐	☐	☐
Ich fand die Unterrichtseinheit interessant:	☐	☐	☐	☐	☐
Das Thema Nachhaltigkeit interessiert mich:	☐	☐	☐	☐	☐
Das Thema Elektromobilität interessiert mich:	☐	☐	☐	☐	☐
Das Fach Chemie interessiert mich:	☐	☐	☐	☐	☐

Deine Rückmeldung!

Das hat mir heute gefallen:

Das hat mir a heute nicht gefallen:

D.4 Codierleitfaden

D.4.1 Verständnis von Nachhaltigkeit

Name der Kategorie	**Umwelt**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Umwelt beschreibt Aspekte der ökologischen Nachhaltigkeit.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Umwelt wird bei Aussagen codiert, die den folgenden Aspekten der ökologischen Nachhaltigkeit zugeordnet werden können: Schutz und Erhalt der Umwelt, Reduzierung von Emissionen (Kohlenstoffdioxid, Luftschadstoffe etc.), bewusster Umgang mit Wasser, Energie und endlichen Ressourcen (z.B. Lithium oder andere Metalle), Artenschutz.
Beispiele für Anwendungen	"Unter dem Begriff Nachhaltigkeit verstehe ich beim verbrauchen besonderer Rohstoffe Rücksicht auf die Umwelt zu nehmen. Besonders beim Naturschutz und der Umweltpolitik." (9a\NA31A: 1) "Die Umwelt nicht mehr als nötig zu belasten." (9a\AA15V: 1) "Unter dem Begriff Nachhaltigkeit verstehe ich auf die Umwelt zu achten, und zu respektieren, den Müll zu trennen, altes wiederverwenden, Strom/Wasser/Klamotten/… einsparen." (9c\IE27E: 1)

Name der Kategorie	**Soziales**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Soziales beschreibt Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Soziales wird bei Aussagen codiert, die den folgenden Aspekten der sozialen Nachhaltigkeit zugeordnet werden können: Gesundheit, Sicherheit, Chancengleichheit (z.B. Zugang zu Bildung), faire und sichere Arbeitsbedingungen.
Beispiele für Anwendungen	"umweltfreundlich (Transport, Herstellung)/ fair produziert (unter guten Bedingungen)/ man verwendet nur so viel, wie die Erde hat, was sie nicht schädigt/ evtl. aus recycelten Material hergestellt (wenn möglich)" (9d\OS28O: 1) "Nachhaltigkeit ist, dass jeder Mensch die gleiche Chance hat sein Potenzial zu erreichen. Ohne das andere Leuitem Länder oder die Umwelt darunter Leiden. Beispiele zur Nachhaltigkeit wären Produkte ohne CO2 Emissionen und die biologisch abbaubar sind." (HAG\JT27O: 1) „Bewusster Konsum, BNE, Kohlenstoffdioxidverbrauch, Recyclen, Vegan/ vegetarisch leben, zertifizierte Dinke kaufen (Fairtrade) Kohleausstieg, E-Autos“ (HAG\EE07E: 1)

Name der Kategorie	**Wirtschaft**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Wirtschaft beschreibt Aspekte der ökonomischen Nachhaltigkeit.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Wirtschaft wird bei Aussagen codiert, die den folgende Aspekte der ökonomischen Nachhaltigkeit zugeordnet werden könne: dauerhaft stabile Wirtschaft, langfristig gewinnbringend, nur so viel herstellen wie benötigt wird bzw. wie regenerieren kann (*Anlehnung an das ursprüngliche ökonomische Prinzip nach Carlowitz*), hohe Beschäftigungsquote (Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen), Optimierung von Transportwegen und Produktionsprozessen, Kreislaufwirtschaft von Rohstoffen und Produkten (Recycling, Upcycling): die Einbindung von recycelten oder recyclebaren Materialien, neue Verpackungen entwickeln und einsetzen (Innovation).
Beispiele für Anwendungen	"der nachhaltige Umgang mit Materialien (respektvoll)/ Qualität und Materialien von Produkten beachten (-> weniger Plastik, statt Plastiktüten z.B. Stoffbeutel)/ Genug Resourcen für die späteren Generationen vorhanten sind -> durch auch die Wiederverwändeng von produkten, Plastik oder anderem Abfall (upcycling)/ Beim Einkaufen am besten second Hand kaufen/ Sonst Saisonal, Bio und Regional kaufen/ erneurbare Energien nutzen/ recycling" (9d\RH18E: 1) „bewusste Ernährung der Umwelt zugute, Recycling, Vezichten in bestimmten Bereichen, Wiederverwertung, Pfand“ (9a\AI19A: 1) „Nachhaltigkeit ist für mich die so eingeplante Benutzung von Ressourcen, dass die Nachwelt noch gut auf dieser Erde leben kann. Also nicht mehr verbrauchen, als die Erde nachbilden kann.“ (9d\AE25O: 1)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Wirtschaft wird nicht codiert, wenn die Aussage in direktem Bezug zu einer anderen Dimension steht oder wenn die Aussage eine aktive Handlung einer Person beschreibt, die auf ökologische oder soziale Ziele hinweist. "Wenn man etwas wiedervwenden kann und so wenige Ressourcen verbraucht wie nur möglich. Wenn man z.B. ein Handy nicht entsorgt sondern recycelt"(HAG\PN14A: 1) "Unter dem Begriff Nachhaltigkeit verstehe ich ein ressourcensparendes Leben. Jede Person verbraucht nicht mehr als nötig, sodass die nächsten Generationen die gleichen Möglichkeiten und Ressourcen zur Verfügung haben." (9b\RA22A: 1) „ökologische Nachhaltigkeit: Recycling/Wiederverwendung/Klimaneutral/Resourcen achten soziale Nachhaltigkeit: Chancengleichheit bei Frauen und Männern/Bewusstsein für Nachhaltigkeit entwickeln (9a\RK20E: 1)“ **Weiterer Hinweis**: Abgrenzung *Recycling* als industrielles Verfahren, dass auf eine Kreislaufwirtschaft abzielt zu der aktiven

	Handlung *recyclen* eines Individuums, dass auf ökologische Ziele motiviert ist.

Name der Kategorie	**Global**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Global bezieht sich auf Aussagen, die sich dem Bereich Global der Raum-Ebene zuordnen lassen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Global wird codiert, wenn Aussagen eine globale Perspektive beschreiben oder einnehmen.
Beispiele für Anwendungen	"Umwelt/ Soziales/ Wirtschaft/ Gesundheit/Bewusstsein/Wirkungen auf die Welt/wenig Konsum" (9c\GR08S: 2) "es soll global, langfristig und für größere Gruppen ein Nutzen sein -> kann aber oftmals nicht immer alles erfüllt werden" (9d\RU29E: 2)

Name der Kategorie	**Langfristig**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Langfristig bezieht sich auf Aussagen, die sich dem Bereich Langfristig der Zeit-Ebene zuordnen lassen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Langfristigkeit wird codiert, wenn die Aussagen einen langen oder in der Zukunft liegenden Zeitraum beschreiben. Dazu gehören Bezeichnungen wie später, langfristig, länger. Auch die Nennung (weitere, spätere, folgende) Generation bezieht sich auf die Kategorie Langfristig.
Beispiele für Anwendungen	"Ressourcen für spätere Generationen bewahren" (9b\JE20M: 1) "Es bedeutet, so zu leben, dass auch noch die folgenden Generationen etwas/genauso viel von der Erde haben" (9b\IJ14H: 1) "Nachhaltigkeit bedeutet, dass etwas auf längerem Zeitraum sicher einzuplanen ist. Etwas ist also zukunftssicher und hält auch lange." (9b\RS06A: 1)

Name der Kategorie	**Viele Menschen**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Viele Menschen bezieht sich auf Aussagen, die für eine Vielzahl an Menschen beschrieben werden.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Viele Menschen wird codiert, wenn Aussagen die Begriffe viele, viele Menschen, alle, alle Menschen, viele Gruppen oder ähnliche synonyme Bezeichnungen beinhalten.
Beispiele für Anwendungen	„es sollte Globalen, Langfristigen & für viele Gruppen einen Nutzen haben/ Umwelt, Soziales und Wirtschaftliche aspekte berücksichtigen/ ein Produkt sollte Also in besten Fall in all diesen Punkten einen Nutzen und keinen Schaden haben" (9d\RH18E: 2)

	"Nachhaltigkeit bedeutet, dass man so lebt und handelt, dass auf der ganzen Welt für viele Menschen, aber vor allem auch für nachfolgende Generationen genug Ressourcen vorhanden sind." (9c\NS16R: 2)

Name der Kategorie	**Konsumverhalten**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Konsumverhalten beschreibt Aussagen über das Verhalten einer Person oder einer Gruppe von Menschen, die sich auf den Erwerb (Kauf), die Nutzung oder den Verbrauch von Gütern im Alltag beziehen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Konsumverhalten wird codiert, wenn Aussagen über das Verhalten einer Person oder einer Gruppe von Menschen beschrieben werden, die sich auf den Erwerb, die Nutzung oder den Verbrauch von Gütern beziehen.
Beispiele für Anwendungen	"kein unnötiger Konsum/nicht viel verbrauchen/so viel es geht sparen" (Kurs 2\K2 S14: 1) "Nachhaltigkeit ist wenn du z:B. etwas öfter als einmal verwendest." (Kurs 1\K1 S11: 1) "Qualitat über Quantität -> vor allem bei Kauf von Kleidung / auf Umwelt achten und sie wertschätzen -> genügend Resourcen für nächste Generationen übrig lassen/ lokale Produkte kaufen/ abbaubare Verpackungsmaterialien verwenden" (9d\RU29E: 1)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Konsumverhalten wird nicht codiert, wenn eine Aussage zum Konsumverhalten in erkennbarem bzw. direktem Bezug zu einer Dimension beschrieben wird. Zum Beispiel: "Mülltrennung/Umwelt so wenig wie möglich belasten/Versuchen strom und heizkosten zu spaaren/Energie sinvoll nutzen" (K2 S12, Pos. 1) "Unter Nachhaaltigkeit verstehe ich, nicht verschwenderisch zu leben. Darauf zu achten, zum Beispiel Plastik, Strom oder als Beispiel Diesel zu sparen." (AN05A, Pos. 1) "Unter dem Begriff Nachhaltigkeit verstehe ich z.B.: Weniger Plastik benutzen und mehr auf die Umwelt zu achten. Außerdem auch richtig mit den Ressourcen der Erde umzugehen. Damit meine ich nicht alles sofort zu verbrauchen." (9a\EM08O: 1) Stattdessen erfolgt die Codierung mit der entsprechenden Kategorie: • Umwelt • Soziales • Wirtschaft

Name der Kategorie	**Sonstiges**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Sonstiges beschreibt alle weiteren Aussagen.

Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Sonstiges wird codiert, wenn die Aussage sich keiner der anderen Kategorien einordnen lässt, aber eine inhaltliche Antwort auf die Frage "Was verstehst unter Nachhaltigkeit?" ist.
Beispiele für Anwendungen	„verantwortlich, muss staatlich gefördert werden, BNE" (HAG\CL20M: 1)

Name der Kategorie	**Keine Antwort**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie keine Antwort beinhaltet keine Aussage.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie keine Antwort wird codiert, wenn keine Antwort auf die Frage "Was verstehst du unter Nachhaltigkeit?" formuliert wurde.
Beispiele für Anwendungen	*leeres Feld*

D.4.2 Nachhaltigkeit von Elektromobilität

Name der Kategorie	**Zustimmung**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Zustimmung beschreibt die Antwort auf die Frage, wie sinnvoll bzw. wie nachhaltig der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren ist, mit einer Zustimmung.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Zustimmung wird bei Aussagen codiert, die die Frage zur Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) von Elektromobilität mit Zustimmung beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Ja, da durch den Elektromotor kein CO2 verbreitet wird. Dies ist viel umweltfreundlicher" (HAG\EO26C: 3) "Contra: Produktion & Entsorgung von Batterien ist umweltschädlicher/ Verbrennungsmotoren haben höhere Reichweite/Kostenaufwendig E-Autos anzuschaffen/Verbrennungsmotor hält länger // Pro: kein CO2 in der Atmosphäre / Strom ist günstiger als Benzin / Da der Umweltaspekt für mich entscheident ist, halte ich die Anschaffung von Elektromotoren für äußert sinnvoll." (9a\EA24A: 3) "Es wäre auf langzeit definitiv sinnvoll, allerdings sind Elektromotoren erst ab einer bestimmten Anzahl von gefahrenen Kilometern umweltschonender" (9d\AM24A: 3)
Weitere Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Zustimmung wird auch bei Aussagen codiert, die die Frage zur Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) mit einer Pro- und Contra Beschreibung beginnen, aber erkennbar die Hervorhebung einer Entscheidung explizieren. "pro: Verkehr wird leiser/ schnellere Beschleunigung/ können mit überschüssigem Strom versorgt werden/ Wartungskostenkosten geringen // contra: teuer/ Reichweite ist begrenzt/ wenige Stromtankstellen/ zu Gefährlich . Fazit: sinnvoll aber viele

	pro-contra Argumente. Persönlich würde ich mir ein Auto mit Elektromotor zulegen." (9d\IN19A: 3) "Einerseits ja, jedoch sollte man auch auf die Nachteile und nicht nur auf die Vorteile schauen. Zwar bringt ein Elektromotor an sich viele gute Dinge mit sich, allerdings wird zum "aufladen" des Motors auch wieder Strom verwendet/benötigt, was auf Dauer ebenfalls keine Lösung ist. Auch bei der Herstellung wird viel Energie benötigt. Nicht nur dies spricht gegen diesen Austausch der Motoren, sondern auch weitere Dinge. Aber der Austausch bringt auch vieles gutes mit sich, weshalb ich bedingt zustimme." (9d\HR12M: 3) Die Kategorie Zustimmung wird auch bei Aussagen codiert, bei denen eine Zustimmung für einen in der Zukunft liegenden Zeitraum liegt (Zustimmung unter Bedingung). "Für die Langzeit auf jedenfall doch für eine kurze Zeit macht dies keinen Sinn, wegen der Umwelt, und denonoch gebliebenen" (HAG\LL30E: 4) "In langer Hinsicht schon, aber vorerst muss die Herstellung etc. von Elektromotoren auch nachhaltiger gestaltet werden." (9c\NM28A: 4)

Name der Kategorie	**Nicht-Zustimmung**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Nicht-Zustimmung beschreibt die Antwort auf die Frage, wie sinnvoll bzw. wie nachhaltig der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren ist, nicht mit einer Zustimmung (Ablehnung, Verneinung).
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Nicht-Zustimmung wird bei Aussagen codiert, die die Frage zur Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) von Elektromobilität mit einer nicht-zustimmenden Antwort beschreiben. Die Antwort beschreibt eine Zustimmung für Autos mit Verbrennungsmotoren.
Beispiele für Anwendungen	"Nein ich halte es nicht für ausreichend sinnvoll, ob bei der Prdouktion der Lithium-Akkus fast genauso viele Schadstoffe ausgestoßen werden wie bei der Prdouktion eines Verbrenners." (Kurs 2\K2 S11: 3) "Nein, da im Moment der Großteil des Stroms der von Elektroautos gebraucht wird nicht nachhaltig ist. Außerdem ist auch die Herstellung von Elektromotoren sehr umweltschädigend und um das wieder auszugleichen ist die Lebensdauer der Autos nicht lang genug." (9c\EM28Ü: 3)
Weitere Anwendung der Kategorie	Die Anwendung der Kategorie wird auch codiert, wenn die Nicht-Zustimmung dadurch beschreiben wird, dass kein Unterschied zwischen den beiden Fahrzeugtypen besteht. "ich denke das die elektroautos und ihre baterien genauso umweltschädlich sind wie verbrennermotoren" (Kurs 2\K2 S12: 3) "Ich denke, dass die Herstellung von Elektromotoren im Prinzip genauso schädlich für die Umwelt ist wie die Nutzung von

	Verbrennungsmotoren. Auch die Entsorgung dieser Motoren kann problematisch sein." (9c\IB29E: 3)

Name der Kategorie	**unsicher**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie unsicher beschreibt die Antwort auf die Frage, ob der Ersatz von Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren sinnvoll bzw. nachhaltig ist, weder mit Zustimmung noch mit Ablehnung. Die Antwort zeichnet sich durch Unsicherheit in der Entscheidung aus, so dass diese offen gelassen wird.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie unsicher wird bei Aussagen codiert, die die Frage nach der Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) der Elektromobilität weder mit Zustimmung noch mit Ablehnung beantworten. Die Aussage ist durch eine implizite oder explizite Unsicherheit gekennzeichnet.
Beispiele für Anwendungen	"Jain da für mich momentan das E-Auto noch zu wenig entwickelt ist und es noch zu viele Nachteile hibt." (Kurs 1\K1 S8: 1) "Ja und Nein, denn ein Elektromotor produziert keine Abgase, die die Umwelt belasten und Verschmutzen (besserre Luft). Allerdings braucht ein Elektromotor viel Strom bis er aufgeladen ist." (HAG\LB18E: 3) "Einerseits schon da beim fahren dann nicht so viel CO2 ausgestoßen wird. Andererseits wird es bei der Produktion der Batterie dann doch ausgestoßen." (9b\LS14S: 3) "Ich finde es gut, dass nach Alternativen für Verbrennungsmotoren gesucht wird. Ich bin mir allerdings nicht sicher, ob Elektromotoren die richtige Wahl sind. Der Strom muss schließlich auch irgendwo her kommen. Um diese Frage zu beantworten, müsste ich mich näher mit dem Thema auseinandersetzen." (9c\NS16R: 3) "Ich denke, dass es langfristig für durchaus sinnvoll ist. Bei der Produktion sollte man aber schauen, dass auch kurzfristig nicht zu viel Schaden entsteht. Eine ganz genaue Meinung habe ich nicht, denke aber, dass Elektroautos schon ein guter Schritt sind." (9d\NU21M: 4)
Weitere Anwendung der Kategorie	Die Kategorie unsicher wird ebenfalls codiert, wenn die Aussage aus der Nennung von Vor- und Nachteilen ohne Schlussfolgerung besteht. "Ja: Umweltfreundlicher, leiser Nein: teuer, verbrauchen viel Energie, leiser, kaputte Batterien kann man schlecht entsorgen -> umweltschädlich" (HAG\AE11I: 3) "Für: besser für die Umwelt/ nachhaltig/ kein Verbrauch von fossilen Brennstoffe// Gegen: kann nur wenige Kilometer fahren/ keine, zu wenig Ladestationen im öffentlichen Bereich/ neue Auto=teuer, kann sich nicht jeder leisten ein neues Auto zu kaufen/ was passiert mit den alten AUtos/ Akkus werden auch in 3. Ländern hergestellt/ Jobs fallen weg: Gewinnung von den Brennstoffen" (9c\NB08N: 3)

	"Es ist beides nicht gut/Hat vor und nachteile" (Kurs 2\K2 S15: 4)

Name der Kategorie	**Keine Antwort: inhaltlich**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie keine Antwort: inhaltlich beschreibt eine Aussage, die keine inhaltliche Antwort zur gestellten Frage beinhaltet.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie keine Antwort: inhaltlich wird codiert, wenn keine inhaltliche Antwort auf die Frage zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität verfasst wurde.
Beispiele für Anwendungen	"Ich beschäftige mich nicht mit Autos. Autos sind dazu da um leichter weitere Strecken zu fahren. Daher ist es mir relativ egal." (9c\IE27E: 3) "keine ahnung" (Kurs 2\K2 S15: 3) "Weiß ich nicht." (9b\TE31L: 3)

Name der Kategorie	**Keine Antwort: leeres Feld**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie keine Antwort: leeres Feld beschreibt eine fehlende Antwort.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie keine Antwort: leeres Feld wird codiert, wenn insgesamt keine Antwort auf die Frage zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität verfasst wurde (*leeres Feld*).

Name der Kategorie	**Umwelt (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Umwelt (unspezifisch) beschreibt (positive oder negative) Auswirkungen, die einen umweltbezogenen, aber nicht spezifischen Aspekt beschreiben.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Umwelt (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die (positive oder negative) Auswirkungen in Bezug zur Nachhaltigkeitsdimension Umwelt beschreiben, die sich keinem spezifischen Aspekt zuordnen lassen. Die Kategorie Umwelt (unspezifisch) wird demnach bei allen umweltbezogenen Aussagen codiert, die sich keiner der vorhandenen Sub-Kategorien der Kategorie Umwelt zuordnen lassen.
Beispiele für Anwendungen	"Ja, ich halte es für sinnvoll Autos mit Verbrennungsmotoren durch Autos mit Elektromotoren zu ersetzen, weil es besser für die Umwelt ist." (Kurs 1\K1 S10: 2) "Ich weiß, dass beide Motoren nicht so gut für die Umwelt sind. Es kommt daruf an, was auf Dauer umweltfreundlicher ist." (9c\UG10I: 3) "Ich denke schon, da dies ein umweltfreundlicher Umgang wäre und wir dadurch unsere Welt weniger verschmutzen würden" (HAG\LL30E: 3) "Ja. Der wichtigste Argument dafür ist, für mich, Umwelt. Die Autos mit Verbrennungsmotoren sind deutlich schädlicher für die Umwelt als der Elektromotor" (HAG\CL20M: 4)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Umwelt (unspezifisch) wird nicht codiert, wenn als Folge eines unspezifischen Umwelt-Aspekts eine andere

	vorhandene Kategorie vergeben werden kann, z.B. bessere Luft oder Klimawandel. "Ja, da man so die Umwelt vor den Gasen verschonen kann, welche dem Klimawandel beisteuern. Elektroautos muss man zwar aufladen aber brauchen keine chemischen Stoffe." (9c\NK22U: 3) "Ja und Nein, denn ein Elektromotor produziert keine Abgase, die die Umwelt belasten und Verschmutzen (besserre Luft). Allerdings braucht ein Elektromotor viel Strom bis er aufgeladen ist." (HAG\LB18E: 3 Stattdessen wird nur die entsprechende Kategorie, z.B. Klimawandel, codiert.

Name der Kategorie	**Kohlenstoffdioxid-Ausstoß**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Kohlenstoffdioxid-Ausstoß beschreibt (positive oder negative) Auswirkungen durch den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Kohlenstoffdioxid-Ausstoß wird bei Aussagen codiert, die den Ausstoß von Kohlenstoffdioxid beschreiben. Die Aussage kann sich auf positive oder negative Auswirkungen beziehen oder auch nur die Nennung des Ausstoßes von Kohlenstoffdioxid beinhalten.
Beispiele für Anwendungen	"Einerseits schon da beim fahren dann nicht so viel CO2 ausgestoßen wird. Andererseits wird es bei der Produktion der Batterie dann doch ausgestoßen." (9b\LS14S: 3) "Ja, da Verbrennungsmotoren sehr viel Co2 herstellen und dies schadet der Umwelt. Elektromotoren sind "Nachhaltiger"." (9c\VT20A: 3) "Es wäre durchaus sinnvoll, weil dann weniger CO2 ausgestoßen wird d.h. saubere Umwelt und bessere Gesundheit. Das ist langfristig ziemlich gut. Jedoch muss man auch bedenken, dass viele Menschen ihre Arbeit verlieren." (9c\UG10I: 4) "Ich halte es für sinnvoll, auch wenn dieses viele schlechte Dinge mitsich bringen würde, wäre es langfristig die beste Lösung für das CO2 Problem." (9c\EJ25R: 4)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Kohlenstoffdioxid-Ausstoß wird nicht codiert, wenn der Ausstoß von Kohlenstoffdioxid als direkte Folge einer anderen umweltbezogenen Kategorie, z.B. als Folge der Herstellung, beschrieben wird. "Ja. Autos mit Elektromotoren sind besser für die Umwelt, zwar verbrauchen sie bei der Herstellung sehr viel CO2, aber auf die Dauer & wenn man sie lange nutzt, sind sie deutlich effizienter." (9c\EJ25R: 3) "NEIN! Weil E-Autos bei der produktion genauso viel CO2 produzieren wie andere Autos/weil man nicht überall tanken kann/

	weil man nicht lange fahren kann/weil über 6000000 Menschen dann ihren Arbeitsplatz verlieren" (Kurs 2\K2 S10: 3) Stattdessen wird nur die entsprechende Kategorie, z.B. Herstellung, codiert.

Name der Kategorie	**Strombedarf/Strombereitstellung**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Strombedarf/Strombereitstellung beschreibt den Strombedarf zum Laden oder Herstellen eines Elektroautos oder bezieht sich auf Arten der Strombereitstellung zur Deckung des Bedarfs für Elektroautos.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Strombedarf/Strombereitstellung wird bei Aussagen codiert, die sich auf den Bedarf an Strom zum Laden oder Herstellen von Elektroautos beziehen oder auf die Bereitstellung (z.B. durch Nennung möglicher Arten der Strombereitstellung) von Strom. Auch werden Energie und Strom als synonyme Bezeichnung interpretiert.
Beispiele für Anwendungen	"Abgesehen davon, dass ich zu diesem Thema nicht sehr informiert bin, denke ich, dass es in einer Hinsicht Sinn macht Elektromotoen zu verwenden, um bestimmte Gase zu vermeiden, andererseitz muss der Strom für die Elektromotoren ja auch irgendwie produziert werden, da müsste man eine sinnvolle Quelle finden um zum Beispiel Athomkraftwerke oder Kernenergie zu umgehen." (9a\AI19A: 2) "Ja und Nein, denn ein Elektromotor produziert keine Abgase, die die Umwelt belasten und Verschmutzen (besserre Luft). Allerdings braucht ein Elektromotor viel Strom bis er aufgeladen ist." (HAG\LB18E: 3) "Ja: Umweltfreundlicher, leiser Nein: teuer, verbrauchen viel Energie, leiser, kaputte Batterien kann man schlecht entsorgen -> umweltschädlich" (HAG\AE11I: 3)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Strombedarf/Strombereitstellung wird nicht codiert, wenn der Strombedarf oder Arten der Strombereitstellung als direkte Folge einer anderen umweltbezogenen Kategorie, z.B. als Folge der Herstellung, beschrieben wird. "Bedingt: gut, da durch Elektromotoren weniger Umweltschädliche Gase wie CO2 in die Luft gestoßen werden und dies einen großen Effekt auf die Umwelt auswirkt/ schlecht, der Herstellungsprozess ist sehr Energie aufwändig/ schlecht: sie sind sehr teuer und müssen häufig aufgeladen werden, man findet Jedoch nicht imme direkt eine Aufladestation und das laden dauert Länger als Tanken bei nicht elektro Autos" (9d\RH18E: 3) "es kommt drauf an/ Hybrid Autos sind eine gute Option/ Ich finde, dass das eine schwere Entscheidung ist. Klar stoßen verbrennungsmotoren viele schädliche Stoffe aus, allerdings ist auch teils die Herstellung der akkus für die Elektro Autos problematisch, da viele Rohstoffe gebraucht werden und sehr viel Energie gebraucht wird" (9d\NU21M: 3)

	"Elektromotoren sind deutlich leiser, man kann sie kaum hören/ Verbrennungsmotoren sind umweltschädlich, verbrauchen viel Bnezin/ Elektromotoren aber dafür sehr umweltschädliche Herstellung: -> Mienen abgebaut, Batterien, Akkus, sehr viel Strom Verbrauch" (9d\RB14H: 3) Stattdessen wird nur die entsprechende Kategorie, z.B. Herstellung, codiert.

Name der Kategorie	**Herstellung**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Herstellung beschreibt umweltbezogene Auswirkungen der Herstellung/Produktion von Elektroautos oder einzelnen Bestandteile von Elektroautos, insbesondere des Akkumulators.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Herstellung wird bei Aussagen codiert, die die Auswirkungen der Herstellung/Produktion von Elektroautos oder einzelnen Bestandteile, insbesondere des Akkumulators, beschreiben. Die Auswirkungen werden explizit in Bezug zur Umwelt beschrieben oder lassen sich durch die Betrachtung der gesamten Aussage darauf beziehen.
Beispiele für Anwendungen	"ja schon, aber auch die sind ja auch nicht so gut/ Für den täglichen Gebrauch finde ich Elektromotoren besser und vor allem auf Dauer/ die Herstellung und Entsorgung ist ja leider immer noch sehr umweltverschmutzend/ Hybrid?" (9c\RN05R: 3) "Ich denke, dass das Fahren umweltfreundlicher ist, aber der Bau der Batterien zum Beispiel nicht." (9d\AE25O: 3)

Name der Kategorie	**Entsorgung**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Entsorgung beschreibt Auswirkungen der Entsorgung von Elektroautos oder einzelner Bestandteile, insbesondere des Akkumulators.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Entsorgung wird bei Aussagen codiert, die die Auswirkungen der Entsorgung von Elektroautos oder einzelner Bestandteile, insbesondere des Akkumulators, beschreiben. Die Auswirkungen werden explizit in Bezug zur Umwelt beschrieben oder lassen sich durch die Betrachtung der gesamten Aussage darauf beziehen.
Beispiele für Anwendungen	"Weiß nicht. Elektromotoren haben genauso Nachteile, wie Verbrennungsmotoren. Bei einem Elektromotor gibt es Kosten für den Strom, aber es gibt ja auch Autos mit Batterie. Bei Batterien hat man nachher den Müll. Da man Batterien schlecht entsorgen kann, ist das evtl. wieder schlecht für die Umwelt." (9a\UU03M: 3) "Nein, weil wenn die E-batterie vom E-Auto aufgebraucht oder kaputt geht, ist sie Umweltschädlich und kann nicht recyckelt werden" (HAG\NS08E: 3)

Name der Kategorie	**Ressourcenverbrauch/-abbau**

Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Ressourcenverbrauch/-abbau beschreibt den Verbrauch bzw. Abbau von Ressourcen in Bezug zu umweltbezogenen Auswirkungen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Ressourcenverbrauch/-abbau wird bei Aussagen codiert, die den Verbrauch bzw. Abbau der Ressourcen, die nur begrenzt auf der Erde vorhanden sind, beschreibt. Die Aussage bezieht sich auf die begrenzte Verfügbarkeit von Ressourcen, den bewussten Umgang mit Ressourcen und/oder beinhaltet den Bezug zu umweltbezogenen Auswirkungen.
Beispiele für Anwendungen	"Nein! Bei der Produktion der Batterien wird sehr viel CO2 ausgestoßen. Elektroautos sind erst ab 130.000km nachhaltiger als ein Verbrenner, wobei die Lebensdauer vieler Batterien auf nur 100000km geschätzt wird, wobei einer guter Verbrenner bis zu 1000000km aushalten kann, was natürlich weitere Recourssen schont, weil man nciht dringend eines neues Auto braucht." HAG\JR26Ö: 3) "Jein. Sicher, es ist sinnvoll, Verbrennungsmotoren zu ersetzen, allerdings sind Elektroautos ebenfalls umweltschädlich (z.B. der Abbau von Lithiumoder der teilweise in Kohlekraftwerken o.Ä. produzierte Strom). Am sinvollsten ist es, sich auf lange Sicht nach Alternativen umzusehen." (Kurs 1\K1 S12: 3)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Ressourcenverbrauch/-abbau wird nicht codiert, wenn der Ressourcenverbrauch/-abbau als direkte Folge einer anderen umweltbezogenen Kategorie, z.B. als Folge der Herstellung, beschrieben wird. "es kommt drauf an/ Hybrid Autos sind eine gute Option/ Ich finde, dass das eine schwere Entscheidung ist. Klar stoßen verbrennungsmotoren viele schädliche Stoffe aus, allerdings ist auch teils die Herstellung der akkus für die Elektro Autos problematisch, da viele Rohstoffe gebraucht werden und sehr viel Energie gebraucht wird“ (9d\NU21M: 3) Stattdessen wird nur die entsprechende Kategorie, z.B. Herstellung, codiert.

Name der Kategorie	**Verbrauch fossiler Brennstoffe**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Verbrauch fossiler Brennstoffe beschreibt den Verbrauch bzw. Bedarf fossiler Brennstoffe zum Antrieb eines Verbrennungsmotors und seine umweltbezogenen Auswirkungen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Verbrauch fossiler Brennstoffe wird bei Aussagen codiert, die den Verbrauch bzw. Bedarf fossiler Brennstoffe beschreiben. Die Aussage bezieht sich auf umweltbezogene Auswirkungen.
Beispiele für Anwendungen	"Ja, theoretisch schon. Einer seits ist es Umweltfreundlicher nicht mehr mit Benzin zu fahren, doch auch durch die Elektromotoren kommen Schadstoffe in die Luft." (9c\ED16O: 3) "Für: besser für die Umwelt/ nachhaltig/ kein Verbrauch von fossilen Brennstoffe // Gegen: kann nur wenige Kilometer fahren/ keine, zu wenig Ladestationen im öffentlichen Bereich/

	neue Auto=teuer, kann sich nicht jeder leisten ein neues Auto zu kaufen/ was passiert mit den alten AUtos/ Akkus werden auch in 3. Ländern hergestellt/ Jobs fallen weg: Gewinnung von den Brennstoffen" (9c\NB08N: 3)

Name der Kategorie	**bessere Luft (Umwelt)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie bessere Luft (Umwelt) beschreibt umweltbezogene Auswirkungen zur Verbesserung der Luftverschmutzung.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie bessere Luft (Umwelt) wird bei Aussagen codiert, die die Verbesserung der Luft durch Reduzierung von Emissionen (Abgasen) explizit als umweltbezogene Auswirkung beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Teilweise PRO: besser für Umwelt (weniger Luftverschmutzung) KONTRA: teuer/ schwer, Ladestaion zu finden" (9d\TM01E: 3) "Ja und Nein, denn ein Elektromotor produziert keine Abgase, die die Umwelt belasten und Verschmutzen (besserre Luft). Allerdings braucht ein Elektromotor viel Strom bis er aufgeladen ist." (HAG\LB18E: 3)
Weitere Anwendung der Kategorie	Die Kategorie bessere Luft (Umwelt) wird auch bei Aussagen codiert, die reduzierte Emissionen als Auslöser für weniger Luftverschmutzung oder Verbesserung der Luftqualität beschreiben. "Die Produktion der Autos wird nicht nachhaltig sein, doch danach werden keine umweltschdälichen Gase mehr in der Luft verbreitet" (HAG\LL12O: 3)

Name der Kategorie	**Klimawandel**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Klimawandel beschreibt den Klimawandel als Auswirkung, die in Zusammenhang mit der Frage zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität steht.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Klimawandel wird bei Aussagen codiert, die den Klimawandel oder Folgen des Klimawandels, in direktem Zusammenhang mit der Frage zur Nachhaltigkeit von Elektromobilität beschreiben. Der Zusammenhang bezieht sich auf positive Auswirkungen.
Beispiele für Anwendungen	"Ich finde es schon für sinnvoll, da wir schon längst handeln hätten sollen, es aber nicht getan haben. Klar, werden Elektromotore noch entwicklet, aber man sollte dennoch handeln. Der Klimawandel stoppt ja nicht, sondern verschlimmert sich nur." (Kurs 1\K1 S13: 3) "Ja, da kein CO2 ausgestoßt wird/die Luft sauberer wird/besser für die Gesundheit/Gletscher schmilzen nicht/die Welt wird besser/längeres Leben/besser auf für die Tiere" (Kurs 2\K2 S3: 3) "Ja, halte ich, da sich dann das Klima erholen kann und man einen großen Fortschritt macht." (9c\ED16O: 4)

Name der Kategorie	Soziales (unspezifisch)
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Soziales (unspezifisch) beschreibt (positive oder negative) Auswirkungen, die einen unspezifischen Aspekt der sozialen Nachhaltigkeitsdimension beschreiben.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Soziales (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die (positive oder negative) Auswirkungen in Bezug zur Nachhaltigkeitsdimension Soziales beschreiben. Die Kategorie Soziales (unspezifisch) wird bei allen Aussagen codiert, die sich keiner der vorhandenen Sub-Kategorien der Kategorie Soziales zuordnen lassen.
Beispiele für Anwendungen	"Ich finde es schwierig. Es gibt viele Vor-, aber auch Nachteile. Beide Motoren sind individuell gut bzw. schlecht für die Umwelt und die Menschen. Letzen Endes sind Elektromotoren vielleicht etwas besser. Aber ich finde es, wie schon gesagt, schwierig" (9d\YY03C: 3) "Es ist beides das selbe/Autos mit .m stoßen viel CO2 aber E.m verbrauchen viel Strom und Energie. Aber besser wäre es E.m zu benutzen, da es nicht städlich für Menschen und Tiere ist. Nicht so schlimm wie V.m." (Kurs 2\K2 S3: 4) "Nach dem tag würde ich sagen ja. Ich denke es macht sehr viel Sinn. Vorallem für die Umwelt und das Soziale" (9a\UU03M: 4)

Name der Kategorie	Leise (Gefahr)
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Leise (Gefahr) beschreibt negative Auswirkungen der (möglichen) Lärmreduzierung von Elektromotoren.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Leise (Gefahr) wird bei Aussagen codiert, die die (mögliche) Lärmreduzierung von Elektromotoren als negative Auswirkungen beschreiben. Die negative Auswirkungen kann die Beschreibung einer erhöhten Unfallgefahr für andere Verkehrsteilnehmende beinhalten.
Beispiele für Anwendungen	"Eigentlich ja, aber ich denke, dass dies auch Nachteile mit sich bringt, wie zum Beispiel die Herstellung der Autos; dies tut der Umwelt auch nicht gut. Außerdem sind blinde Menschen auf die Geräusche der Autos angewiesen und E-Autos machen halt keine." (9a\EP02O: 3) "dafür: weniger Luftverschmutzungen -> weniger Beitrag um Ozonschicht zu verdicken /nicht so viel, kein Geld für Benzin nötig // dagegen: schwieriger Aufladestationen zu finden/ sehr leise -> gefährlich für Fußgänger, Radfahrer etc. "(9d\RU29E: 3)

Name der Kategorie	Leise (unspezifisch)
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Leise (unspezifisch) beschreibt Auswirkungen der (möglichen) Lärmreduzierung von Elektromotoren.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Leise (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die Auswirkungen der (möglichen) Lärmreduzierung von Elektromotoren beschreiben, die sich nicht auf Gefahren beziehen.
Beispiele für Anwendungen	"Ja; aufgrund der Abgase die dann verschwinden und außerdem sind E-Autos wiederverwertbar. Sie sind leiser und die Luft wird reiner" (HAG\PN14A: 4)

	"pro: Verkehr wird leiser/ schnellere Beschleunigung/ können mit überschüssigem Strom versorgt werden/ Wartungskostenkosten geringen // contra: teuer/ Reichweite ist begrenzt/ wenige Stromtankstellen/ zu Gefährlich . Fazit: sinnvoll aber viele pro-contra Argumente. Persönlich würde ich mir ein Auto mit Elektromotor zulegen." (9d\IN19A: 3) "Elektromotoren sind deutlich leiser, man kann sie kaum hören/ Verbrennungsmotoren sind umweltschädlich, verbrauchen viel Bnezin/ Elektromotoren aber dafür sehr umweltschädliche Herstellung: -> Mienen abgebaut, Batterien, Akkus, sehr viel Strom Verbrauch" (9d\RB14H: 3)

Name der Kategorie	**saubere Luft**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie saubere Luft beschreibt die Verbesserung der Luftqualität durch Reduzierung von Schadstoffen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie saubere Luft wird bei Aussagen codiert, die die Verbesserung der Luftqualität z.B. durch die Reduzierung von Schadstoffen und Partikeln beschreiben. Die Nennung ohne Begründung der Schadstoffreduzierung wird ebenfalls codiert.
Beispiele für Anwendungen	"Ja, da kein CO2 ausgestoßt wird/die Luft sauberer wird/besser für die Gesundheit/Gletscher schmilzen nicht/die Welt wird besser/längeres Leben/besser auf für die Tiere" (Kurs 2\K2 S3: 3) "Ja; aufgrund der Abgase die dann verschwinden und außerdem sind E-Autos wiederverwertbar. Sie sind leiser und die Luft wird reiner" (HAG\PN14A: 4) "Dass kann man nicht genau sagen, denn einerseits ist ein Verbrennungsmotor sehr umweltschädlich, denn er benötigt viel Benzin. Und die Auspuffe verunreinigen die Luft. Anderseits werden für einen Elektromotor viele seltene Materialien, die auch teuer sind gebraucht." (9d\AU26C: 3)

Name der Kategorie	**Arbeitsbedingungen**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Arbeitsbedingungen beschreibt schlechte Bedingungen für Arbeitende in der Herstellung von Elektroautos.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Arbeitsbedingungen wird bei Aussagen codiert, die die schlechten und menschenrechtsverletzenden Bedingungen von Arbeiterinnen und Arbeitern im Rohstoff-Abbau für die Herstellung von Elektroautos beschreiben. Die Aussage kann allgemein schlechte Arbeitsbedingungen beschreiben oder ein konkretes Beispiel (z.B. Kinderarbeit) benennen.
Beispiele für Anwendungen	"Nein, solange Menschen immer noch unter schlechten Bedingungen arbeiten oder viel Wasser verschwednen ist es für mich nicht nachhaltig" (HAG\EE07E: 4) "Nein, tue ich nicht, da auf lange Sicht global die Elektromotoren der Umwelt mehr schaden als Verbrennungsmotore. Dazu kommt die Herstellung (meist Kinderarbeit) und die Entsorgung

	-> nicht ganz klar wohin mit kaputten Motoren/ Batterien" (9a\VN21I: 4) "Ich bin mir immer noch unsicher. Auch wenn die Menschen davon profitieren, heißt es nicht, dass die Arbeiter in der Zukunft unter besseren Bedingungen arbeiten werden. Wen iger CO2 ist gut doch die Stoffe, die bei der Herstellung ausgestoßen werden sind genauso gefährlich für die Menschen die arbeiten. Vielleicht eher unnachhaltig." (HAG\AM03L: 4)

Name der Kategorie	**erhöhte Kosten**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie erhöhte Kosten beschreibt erhöhte Kosten für Autos mit Elektromotoren.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie erhöhte Kosten wird bei Aussagen codiert, die erhöhte oder höhere Kosten von Autos mit Elektromotoren (z.B. in der Herstellung oder Anschaffung) im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Ja: Umweltfreundlicher, leiser Nein: teuer, verbrauchen viel Energie, leiser, kaputte Batterien kann man schlecht entsorgen -> umweltschädlich" (HAG\AE11I: 3) "Nein, da auch wenn Elektromotoren Nachhaltiger sind müssen diese erst mal produziert werden. Außerdem halten Elektromotoren nicht so lange und es ist teurer. Ein weiterer Grund ist, dass elektromotoren auf 100 km/h mehr verbrauchen als Verbrennungsmotoren." (9c\ES04P: 3) "Ja, es wäre auf jeden Fall nachhaltiger und eine gute Alternative, jedoch wäre es problematisch was Finazen angeht, weil nicht jeder genug Geld hat, sowas zu kaufen. Außerdem bräuchte man bestimmte Rohstoffe, die auch vielleicht zu teuer sind."(9c\NG17O: 3) "Ja, zwar sind sie teuer und in kurer Zeit nicht die besten, aber langfristig haben sie einen viel besseren Nutzen als die Brennstoffmotoren und viel besser." (9c\AJ02C: 4)

Name der Kategorie	**niedrigere Kosten**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie niedrigere Kosten beschreibt niedrigere Kosten für Autos mit Elektromotoren.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie niedrigere Kosten wird bei Aussagen codiert, die niedrige oder niedrigere Kosten von Autos mit Elektromotoren (z.B. Stromkosten, Wartungskosten) im Vergleich zu Autos mit Verbrennungsmotoren beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Contra: Elektroautos kosten mehr beim Kauf/ Herstellung und Entsorgung sehr umweltschädlich/ Verbrennungsmotoren haben eine höhere Reichweite/ Verbrennungsmotoren halten ca. doppelt so lang // Pro: Elektroautos sind monatlich billiger/ CO2 neutral // Für mich ist der Umweltaspekt ausschlaggebend. Jedoch halte ich es für schwierig es massentauglich zu machen, da ein Auto mit Verbrennungsmotor insgesamt finanziell besser abschneidet." (9a\RK20E: 3)

	"Ja, es ist nachhaltiger vom Stoffverbrauch her und man gibt nicht so viel Geld aus. Trotzdem würde ich für Menschen, die gerne nach einem anderen Land reisen, ein Auto mit verbrennungsmotor oder Hybridmotor empfehlen. Für die, die eher in der Stadt untwegs sind eignet sich ein Elektromotor mehr" (HAG\AM03L: 3) "dafür: weniger Luftverschmutzungen -> weniger Beitrag um Ozonschicht zu verdicken /nicht so viel, kein Geld für Benzin nötig // dagegen: schwieriger Aufladestationen zu finden/ sehr leise -> gefährlich für Fußgänger, Radfahrer etc." (9d\RU29E: 3)

Name der Kategorie	**Kosten (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Kosten (unspezifisch) beschreibt unspezifisch Kosten für Autos mit Elektromotoren.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Kosten (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die die Kosten von Elektroautos weder in höher noch in niedriger einstufen oder keine eindeutige Zuordnung zulassen.
Beispiele für Anwendungen	"Pferdetransporter=Verbrennungsmotor -> kein Verbot / E-Autos=Steckdose -> Strömrechnung= $ ->Besorgungskosten -> Geld, wenn man E-Auto kauft =Staatliche unterstüzung / winner=Verbrennungsmotor" (9a\TS19A: 3) "Es kommt drauf an ein Punkt ist der Geräusch Elektromotoren sind geräuschlos. Ein blinder würde die nicht hören. Aber Elektromotoren haben ein sehr hohen Wirkungsgrad. Ich finde die Frage schwierig, weil die Energiekosten komplet stiegen wurden aber Benzinkosten abgeschafft werden." (9a\NA31A: 3) "Weiß nicht. Elektromotoren haben genauso Nachteile, wie Verbrennungsmotoren. Bei einem Elektromotor gibt es Kosten für den Strom, aber es gibt ja auch Autos mit Batterie. Bei Batterien hat man nachher den Müll. Da man Batterien schlecht entsorgen kann, ist das evtl. wieder schlecht für die Umwelt." (9a\UU03M: 3)

Name der Kategorie	**Verlust Arbeitsplätze**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Verlust Arbeitsplätze beschreibt den (möglichen) Verlust von Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie durch den Ausbau der Elektromobilität.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Verlust Arbeitsplätze wird bei Aussagen codiert, die den (möglichen) Verlust von Arbeitsplätzen in der Automobilindustrie beschreiben. Der Verlust wird als Folge des Ausbaus der Elektromobilität beschrieben und dem damit verbundenen Bedarfswechsel für Berufe in der Automobilbranche (z.B. Kfz-Mechaniker).
Beispiele für Anwendungen	"Es wäre durchaus sinnvoll, weil dann weniger CO2 ausgestoßen wird d.h. saubere Umwelt und bessere Gesundheit. Das ist langfristig ziemlich gut. Jedoch muss man auch bedenken, dass viele Menschen ihre Arbeit verlieren." (9c\UG10I: 4) "NEIN! Weil E-Autos bei der produktion genauso viel CO2 produzieren wie andere Autos/weil man nicht überall tanken kann/

	weil man nicht lange fahren kann/weil über 6000000 Menschen dann ihren Arbeitsplatz verlieren" (Kurs 2\K2 S10: 3)

Name der Kategorie	**Raum-Ebene**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Raum-Ebene bezieht sich auf Aussagen, die eine räumliche Perspektive einnehmen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Raum-Ebene wird codiert, wenn die Aussagen eine räumliche Perspektive beschreiben oder einnehmen. Die Aussage kann sowohl aus nur einer räumlichen Perspektive (z.B. global oder lokal) beschrieben werden, als auch aus zwei (z.B. global und lokal) Perspektiven.
Beispiele für Anwendungen	"Ja, weil Autos mit Elektromotor zwar lokal noch umweltschädlicher sind als Verbrennermotoren aber hinterher, global, umweltfreundlicher sind als Verbrennermotoren" (HAG\LB18E: 4) "Es gibt Vor-und Nachteile. Für die Menschen in den Städten wäre es zum Beispiel besser einen Elektromotor zu benutzen, da dann keine Stickoxide ausgestoßen werden. Doch Global hätten nicht alle Vorteile. Ich bin generell eher für Elektro." (9d\EU04O: 4) "Nein, da die Stickstoff-Emissionen höher werden bzw. steigen (global), was vorallem auf ländliche Regionen einen negativen Einfluss hat. Zudem sind die Elektroautos nicht so lanlebig wie Autos mit Verbrennungsmotoren." (9b\IA12I: 4)

Name der Kategorie	**Zeit-Ebene**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Zeit-Ebene bezieht sich auf Aussagen, die eine zeitliche Perspektive einnehmen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Zeit-Ebene wird codiert, wenn die Aussagen eine zeitliche Perspektive beschreiben oder einnehmen. Die Aussage kann sowohl aus nur eine zeitliche Perspektive (z.B. kurzfristig oder langfristig) beschreiben, als auch aus zwei (z.B. kurzfristig und langfristig) Perspektiven. Auch synonyme Begriffe wie *später*, *auf lange Sicht*, *danach*, *hinterher* sind der zeitlichen Perspektive zuzuordnen.
Beispiele für Anwendungen	"In kurzer Zeit nicht, weil es die gleiche Emissionswerte hat wie bei einem Verbrennungsmotor" (HAG\NS08E: 4) "Ja, weil Autos mit Elektromotor zwar lokal noch umweltschädlicher sind als Verbrennermotoren aber hinterher, global, umweltfreundlicher sind als Verbrennermotoren" (HAG\LB18E: 4) "Es wird ab dann sehr sinvoll sein, wenn die Elektroautos länger fahren können und man weiß wie man die Batterien entsorgen kann." (9b\AU13O: 4) "Auf lange Hinsicht ja! Es wird vermutlich schwierig durchzusetzen, aber man könnte Kompromisse wie z.B Hybrid Autos durchsetzen. Allerdings ist die Herstellung & Entsorgung von Elektromotoren ziemlich schädlich ist." (9c\NM28A: 3)

Name der Kategorie	**Gruppen-Ebene**

Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Gruppen-Ebene beschreibt Aussagen in Bezug zur Gruppen-Ebene.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Gruppen-Ebene wird codiert, wenn die Aussagen beschreiben, wer (eine Gruppe, viele Gruppe, eine spezifische Personenanzahl etc.) betroffen ist.
Beispiele für Anwendungen	"Ich denke man kann keine richtige Antwort darauf geben, denn einerseits würde ein Elektromotor langfristig, global bei vielen Gruppen einen Nutzen haben, jedoch ist es auch für manche Gruppen gesundheitsschädlich und tötet teilweise auch Pflanzen. Außerdem werden in den Motoren auch Stoffe benutzt, die wertvoll sind und die Herstellung ist sehr aufwenidg und schädlich." (9d\AU26C: 4) "Ich finde es sinnvoll, da es langfristig eine gute Auswirkung auf die Umwelt hat/ Die Herstellung stößt Stickoxide aus bei Elektromotoren/ Sinnvoll Elektromotoren für alle Altersgruppen" (9d\RB14H: 4) "Ich bin mir immer noch unsicher. Auch wenn die Menschen davon profitieren, heißt es nicht, dass die Arbeiter in der Zukunft unter besseren Bedingungen arbeiten werden. Wen iger CO2 ist gut doch die Stoffe, die bei der Herstellung ausgestoßen werden sind genauso gefährlich für die Menschen die arbeiten. Vielleicht eher unnachhaltig." (HAG\AM03L: 4)

Name der Kategorie	**Herstellung (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Herstellung (unspezifisch) beschreibt den Aspekt der Herstellung/Produktion von Elektroautos oder einzelner Bestandteile, insbesondere des Akkumulators ohne erkennbare Zuordnung zu einer der drei Nachhaltigkeitsdimensionen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Herstellung (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die die Auswirkungen der Herstellung/Produktion von Elektroautos oder einzelner Bestandteile, insbesondere des Akkumulators, beschreiben. Die Auswirkungen werden nicht in Bezug zu einer der drei Nachhaltigkeitsdimensionen beschrieben, sondern allgemein (z.B. nur die Nennung *nachhaltig*) formuliert.
Beispiele für Anwendungen	"Nachhaltiger? Ja! Aber nicht nachhaltig, denn sie brauchen Strom, der nicht immer nachhaltig ist. Außerdem sind die Autoteile (Tür usw.) oft nicht nachhaltig produziert. Die Batterien sind schädlch." (HAG\JT27O: 3) "Nein, da auch wenn Elektromotoren Nachhaltiger sind müssen diese erst mal produziert werden. Außerdem halten Elektromotoren nicht so lange und es ist teurer. Ein weiterer Grund ist, dass elektromotoren auf 100 km/h mehr verbrauchen als Verbrennungsmotoren." (9c\ES04P: 3) "Ich denke, es gibt Vor- und Nachteile, aber an sich ist die Idee nicht schlecht. Eine Alternative ist kein Auto sondern Fahrrad fahren. Die Batterie muss auch hergestellt werden" (9d\EM09E: 3)

Name der Kategorie	**Emissionen (unspezifisch)**

Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Emissionen (unspezifisch) beschreibt Auswirkungen durch den Ausstoß oder die Reduzierung von Emissionen, die sich keiner der drei Nachhaltigkeitsdimensionen zuordnen lassen und allgemein formuliert sind (schädlich statt umweltschädlich oder gesundheitsschädlich).
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Emissionen (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die den Ausstoß oder die Reduzierung von Emissionen (oder synonym Abgase) beschreiben, ohne eine erkennbare Einordnung in eine der drei Nachhaltigkeitsdimensionen.
Beispiele für Anwendungen	"Wenn die Batterien von Elektroautos noch weiterentwickelt werden und nachhaltiger werden denke ich, dass man dadurch viele Emissionen und Geld einsparen könnte." (9a\AN02T: 3) "Im Grunde schon, da CO2 der Umwelt schadet und ein Treibhausgas ist. Allerdings finde ich, dass Elektroautos noch nicht gut genug durchdacht wurden und es viele negative Seiten an ihnen gibt. Als Alternative würde ich eher Autos sehen, die Wasserstoff verbrennen, da dort keine Mengen an schädlichen Gasen freigesetzt werden und auch keine großen Mengen an Strom." (9b\AA16S: 3) "In kurzer Zeit nicht, weil es die gleiche Emissionswerte hat wie bei einem Verbrennungsmotor" (HAG\NS08E: 4)

Name der Kategorie	**kurze Laufzeit**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie kurze Laufzeit beschreibt die mögliche Laufzeit eines Autos mit Elektromotor als kurz.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie kurze Laufzeit wird bei Aussagen codiert, die die Laufzeit eines Autos mit Elektromotor mit oder ohne Vergleich zum Verbrennungsmotor als kurz oder kürzer oder weniger lang beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Nein, da auch wenn Elektromotoren Nachhaltiger sind müssen diese erst mal produziert werden. Außerdem halten Elektromotoren nicht so lange und es ist teurer. Ein weiterer Grund ist, dass elektromotoren auf 100 km/h mehr verbrauchen als Verbrennungsmotoren." (9c\ES04P: 3) "Nein, da die Stickstoff-Emissionen insgesamt steigen, was vor allem auf ländliche Regionen einen negativen Einfluss hat. Zudem sind die Elektroautos nicht sehr langlebig." (9b\RA22A: 4)
Weitere Anwendung der Kategorie	Die Kategorie wird auch codiert, wenn die Laufzeit von Verbrennungsmotoren als länger beschrieben wird. "Contra: Produktion & Entsorgung von Batterien ist umweltschädlicher/ Verbrennungsmotoren haben höhere Reichweite/Kostenaufwendig E-Autos anzuschaffen/Verbrennungsmotor hält länger // Pro: kein CO2 in der Atmosphäre / Strom ist günstiger als Benzin / Da der Umweltaspekt für mich entscheident ist, halte ich die Anschaffung von Elektromotoren für äußert sinnvoll." (9a\EA24A: 3)

Name der Kategorie	**Infrastruktur**

Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Infrastruktur beschreibt Aussagen über die Infrastruktur von Ladesäulen für Elektroautos.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Infrastruktur wird bei Aussagen codiert, die die aktuelle Situation der Lade-Infrastruktur beschreiben oder Aussagen über den notwendigen Ausbau der Lade-Infrastruktur beinhalten.
Beispiele für Anwendungen	"Für: besser für die Umwelt/ nachhaltig/ kein Verbrauch von fossilen Brennstoffe // Gegen: kann nur wenige Kilometer fahren/ keine, zu wenig Ladestationen im öffentlichen Bereich/ neue Auto=teuer, kann sich nicht jeder leisten ein neues Auto zu kaufen/ was passiert mit den alten AUtos/ Akkus werden auch in 3. Ländern hergestellt/ Jobs fallen weg: Gewinnung von den Brennstoffen" (9c\NB08N: 3) "Auf weiter Hinsicht, jedoch ist Deutschland von der Struktur noch nicht darauf vorbereitet, zudem ist es in der momentanen Energiekrise schwierig für die Menschen das zu bezahlen" (HAG\LN11A: 4) "beides Vor und Nachteile / langfristig gesehen, bin ich persönlich für E-Autos, wenn das Konzebt noch deutlich verbessert wirt. Das Heißt: deutlich mehr Ladestationen, kürzere Ladezeiten, längere Fhrten (wie Urlaub möglich) und mehr Gewinn wie zb 5T mit Anhängerkuplung möglich..." (9a\NC28A: 4)

Name der Kategorie	**Ladezeit**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Ladezeit beschreibt die Dauer des Ladevorgangs eines Elektroautos.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Ladezeit wird bei Aussagen codiert, die sich auf die Dauer eines Ladevorgangs zum Laden eines Elektroautos beziehen.
Beispiele für Anwendungen	„Ich finde, dass Autos mit Elektromotor besser für die Umwelt ist, jedoch ist ein Verbrennungsmotor nützlicher z.B. weil man die schnell nutzungsbereit machen kann, da man sie einfach schnell mit Benzin auffüllen kann. Bei einem Elektromotor muss man zu meinem Wissen lange aufladen" (HAG\CL20M: 3) "nein, weil die Elektroautos benötigen viel zeit damit sie sich voll aufladen." (Kurs 2\K2 S17: 4)

Name der Kategorie	**Reichweite (allgemein)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Reichweite (allgemein) beschreibt die Reichweite von Elektromotoren.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Reichweite (allgemein) wird codiert, wenn Aussagen über die mögliche Reichweite von Autos mit Elektromotoren.
Beispiele für Anwendungen	"NEIN! Man kann nicht überall tanken/Man kann nicht lange fahren/viel Co2 bei Herstellung/600.000 Leute sind dann arbeitslos/Verbrennerautos sind einfach besser." (Kurs 2\K2 S10: 4)

	"Elektromotor: kein CO2 Ausstoß, oft keine hohe Reichweite, nicht überall eine Aufladestation/Verbrennungsmotor: CO2 Ausstoß" (Kurs 1\K1 S1: 1) "Nein, da man mit Verbrennungsmotoren viel weiter kommt bis der Tank leer ist. Elektromotoren hingegen muss man viel öfter an den Strom anschließen, was der Umwelt schadet." (9a\AN30A: 3)

Name der Kategorie	**Nennung Alternative**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Nennung Alternative beschreibt die Nennung einer Alternative im Vergleich zu den beiden fokussierten Fahrzeugtypen Verbrennungsmotor und Elektromotor.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Nennung Alternative wird bei Aussagen codiert, die die Nennung einer Alternative beschreiben. Die Alternative kann sowohl die Beschreibung eines weiteren Antriebs (z.B. Hybrid-Motor) oder eines anderen alternativen Fortbewegungsmittels (z.B. Fahrrad) beinhalten.
Beispiele für Anwendungen	"Im Grunde schon, da CO2 der Umwelt schadet und ein Treibhausgas ist. Allerdings finde ich, dass Elektroautos noch nicht gut genug durchdacht wurden und es viele negative Seiten an ihnen gibt. Als Alternative würde ich eher Autos sehen, die Wasserstoff verbrennen, da dort keine Mengen an schädlichen Gasen freigesetzt werden und auch keine großen Mengen an Strom."(9b\AA16S: 3) "Auf lange Hinsicht ja! Es wird vermutlich schwierig durchzusetzen, aber man könnte Kompromisse wie z.B Hybrid Autos durchsetzen. Allerdings ist die Herstellung & Entsorgung von Elektromotoren ziemlich schädlich ist." (9c\NM28A: 3) "Ich denke, es gibt Vor- und Nachteile, aber an sich ist die Idee nicht schlecht. Eine Alternative ist kein Auto sondern Fahrrad fahren. Die Batterie muss auch hergestellt werden" (9d\EM09E: 3)

Name der Kategorie	**Sonstiges**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Sonstiges beschreibt alle sonstigen Aspekte, die zur Begründung der Frage zur Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) von Elektromobilität genannt werden.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Sonstiges wird codiert, wenn die Aussage Begründungen von Aspekten oder Argumenten beinhaltet, die sich keiner der anderen Kategorien zuordnen lassen, aber eine inhaltliche Antwort zur Frage der Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) von Elektromobilität darstellen.
Beispiele für Anwendungen	"pro: Verkehr wird leiser/ schnellere Beschleunigung/ können mit überschüssigem Strom versorgt werden/ Wartungskostenkosten geringen // contra: teuer/ Reichweite ist begrenzt/ wenige Stromtankstellen/ zu Gefährlich. Fazit: sinnvoll aber viele pro-contra Argumente. Persönlich würde ich mir ein Auto mit Elektromotor zulegen." (9d\IN19A: 3)

	"Nein es ist nicht sinnvoll da sich die Motoren vom Verbrennungsmotor besser anhören. In machen Situation Ja z.B. Umweltfreundlicher." (Kurs 1\K1 S7: 1) "Jain da für mich momentan das E-Auto noch zu wenig entwickelt ist und es noch zu viele Nachteile hibt." (Kurs 1\K1 S8: 1) "Es ist auf lange Sicht sinnvoll abe Ich würde momentan noch kein Elektromotor in ein Auto bauen, weil die Feuer wehr noch nicht damit ausgestatttet ist ein E-Auto wenn es brennt zu löschen. (wenn noch möglich)" (Kurs 1\K1 S11: 2)

Name der Kategorie	**keine Begründung**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie keine Begründung beinhaltet keine Begründung der beschriebenen Aussage.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie keine Begründung wird codiert, wenn eine Aussage ohne Begründung formuliert wurde. Die Aussage beinhaltet nur die Antwort (Zustimmung, Nicht-Zustimmung, Unsicher) auf die Frage zur Nachhaltigkeit (Sinnhaftigkeit) von Elektromobilität ohne Nennung von Gründen. Es ist keine andere Kategorie aus der Oberkategorie Begründung vergeben worden.
Beispiele für Anwendungen	"Ich denke schon/Beides ist nicht gut" (Kurs 2\K2 S16: 3) "Ja. Aber meine Sitznachbarn haben mich verunsichert und jetzt weiß ich nicht mehr so genau." (9a\AN06D: 3) "Vorher hatte ich kein Plan davon, jetzt hab ich ein Plan davon, kann nur nicht entscheiden was ich anhand der erarbeitetem besser finde. Ich denke Elektromotor." (9c\IE27E: 4)

Name der Kategorie	**Feinstaub (Gesundheit)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Feinstaub (Gesundheit) beschreibt die Reduzierung von Feinstaub als Aspekt, der (positive oder negative) Auswirkungen auf die Gesundheit hat.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Feinstaub (Gesundheit) wird bei Aussagen codiert, die positive oder negative Auswirkungen von Feinstaub auf die Gesundheit beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Ja, weil Feinstaub gefährlich für unsere Gesundheit ist." (9a\AN06D: 4) "E-Autos haben kein Feinstaub (führt zu Erkrankungen/nur langfristig sinnvoll, da die Produktion hohe Emissionen aufweist" (9d\GC23N: 4)

Name der Kategorie	**Stickoxide (Gesundheit)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Stickoxide (Gesundheit) beschreibt die Reduzierung von Stickoxiden als Aspekt, der (positive oder negative) Auswirkungen auf die Gesundheit hat.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Stickoxide (Gesundheit) wird bei Aussagen codiert, die positive oder negative Auswirkungen von Stickoxiden auf die Gesundheit beschreiben.
Beispiele für Anwendungen	"Es gibt Vor-und Nachteile. Für die Menschen in den Städten wäre es zum Beispiel besser einen Elektromotor zu benutzen, da dann keine Stickoxide ausgestoßen werden. Doch Global hätten

	nicht alle Vorteile. Ich bin generell eher für Elektro." (9d\EU04O: 4)

Name der Kategorie	**Gesundheit (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Gesundheit (unspezifisch) beschreibt (positive oder negative) Auswirkungen, die sich auf die Gesundheit beziehen lassen.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Gesundheit (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die sich auf (positive oder negative) Auswirkungen beziehen, die sich dem Bereich Gesundheit (z.B. etwas ist schädlich) zuordnen lassen, aber keiner der vorhandenen Sub-Kategorien.
Beispiele für Anwendungen	"Ich denke man kann keine richtige Antwort darauf geben, denn einerseits würde ein Elektromotor langfristig, global bei vielen Gruppen einen Nutzen haben, jedoch ist es auch für manche Gruppen gesundheitsschädlich und tötet teilweise auch Pflanzen. Außerdem werden in den Motoren auch Stoffe benutzt, die wertvoll sind und die Herstellung ist sehr aufwenidg und schädlich." (9d\AU26C: 4) "Ich bin mir immer noch unsicher. Auch wenn die Menschen davon profitieren, heißt es nicht, dass die Arbeiter in der Zukunft unter besseren Bedingungen arbeiten werden. Wen iger CO2 ist gut doch die Stoffe, die bei der Herstellung ausgestoßen werden sind genauso gefährlich für die Menschen die arbeiten. Vielleicht eher unnachhaltig." (HAG\AM03L: 4)

Name der Kategorie	**Wirtschaft (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Wirtschaft (unspezifisch) beschreibt (positive oder negative) Auswirkungen, die einen unspezifischen Aspekt der ökonomischen Nachhaltigkeitsdimension beschreiben.
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Wirtschaft (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die (positive oder negative) Auswirkungen in Bezug zur Nachhaltigkeitsdimension Wirtschaft beschreiben, die sich keinem anderen spezifischen Aspekt zuordnen lassen. Die Kategorie Wirtschaft (unspezifisch) wird demnach bei allen Aussagen codiert, die sich keiner der vorhandenen Sub-Kategorien der Kategorie Wirtschaft zuordnen lassen.
Beispiele für Anwendungen	"Ich halte es immer noch nicht für sinnvoll, da es zwar viele postive Beispiele gibt, aber trozdem nicht die passenden wie z.B die Arbeitswirtschaft, die mich überzeugen würden." (Kurs 2\K2 S11: 4) "Es besitzt viele Vorteile für die die Menschen und Umwelt, jedoch ist dies nicht sehr vorteilhaft bezüglich der Wirtschaft, da es finaziell nicht einfach ist, die nötige Rohstoffe zu besorgen." (9c\NG17O: 4)

Name der Kategorie	**Feinstaub (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Feinstaub (unspezifisch) beschreibt Auswirkungen durch den Ausstoß oder die Reduzierung von Feinstaub, die allgemein formuliert sind (schädlich statt umweltschädlich oder gesundheitsschädlich).

Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Feinstaub (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die den Ausstoß oder die Reduzierung von Feinstaub beschreiben, ohne eine erkennbare Einordnung zu einer Nachhaltigkeitsdimension.
Beispiele für Anwendungen	"Teils teils, da Elektroautos besser für die Umwelt sind und kein Feinstaub ausstoßen. Jedoch wird bei der Produktion der batterien sogar viel mehr ausgestoßen. Zu dem gelangt bei den beiden Autos durch die Reifen Feinstaub in die Luft." (Kurs 2\K2 S1: 4) "Ich finde es immernoch schwierig eine Entscheidung zu treffen. Thema Feinstaub aber auch die anderen Sachen sprechen mehr für Elektroautos, aber es gibt auch viele Aspekte die wir noch nicht zu genau wissen und die wir uns nicht angucken. Aber ich gehe wohl eher richtung Elekro." (9d\YY03C: 4)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Feinstaub (unspezifisch) wird nicht codiert, wenn Feinstaub (unspezifisch) oder als direkte Folge einer anderen umweltbezogenen Kategorie, z.B. als Folge der Herstellung, beschrieben wird.

Name der Kategorie	**Stickoxide (unspezifisch)**
Inhaltliche Beschreibung	Die Kategorie Stickoxide (unspezifisch) beschreibt Auswirkungen durch den Ausstoß oder die Reduzierung von Stickoxiden, die allgemein formuliert sind (schädlich statt umweltschädlich oder gesundheitsschädlich).
Anwendung der Kategorie	Die Kategorie Stickoxide (unspezifisch) wird bei Aussagen codiert, die den Ausstoß oder die Reduzierung von Stickoxiden beschreiben, ohne eine erkennbare Einordnung zu einer Nachhaltigkeitsdimension.
Beispiele für Anwendungen	"nein/E-Auto= mehr Stickoxide, kürzeres Autoleben, unklarheit" (9a\TS19A: 4) "Bei Autos mit Verbrennungsmotoren wird durch die Emmission am Auspuff Stickstoff produziert, jedoch finde ich das beider Vor-und Nachteile hat und man deswegen nicht generell sagen kann, was besser ist" (9d\EM09E: 4)
Abgrenzung zu anderen Kategorien	Die Kategorie Stickoxide (unspezifisch) wird nicht codiert, wenn eine direkte Folge einer anderen umweltbezogenen Kategorie, z.B. als Folge der Herstellung, beschrieben wird.

D.5 Ergebnisse

D.5.1 Absolute Häufigkeiten der Kategorien zum Verständnis von Nachhaltigkeit nach Erprobungsdurchgängen

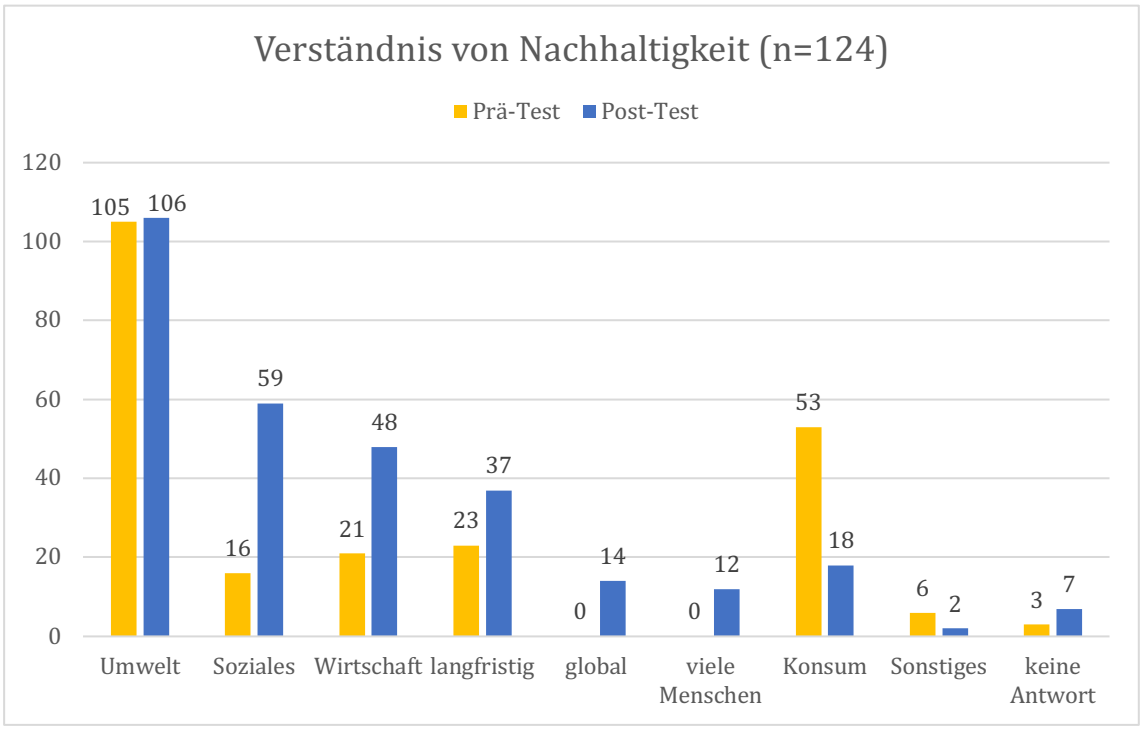


Abbildung 77: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=124) aller Erprobungen zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

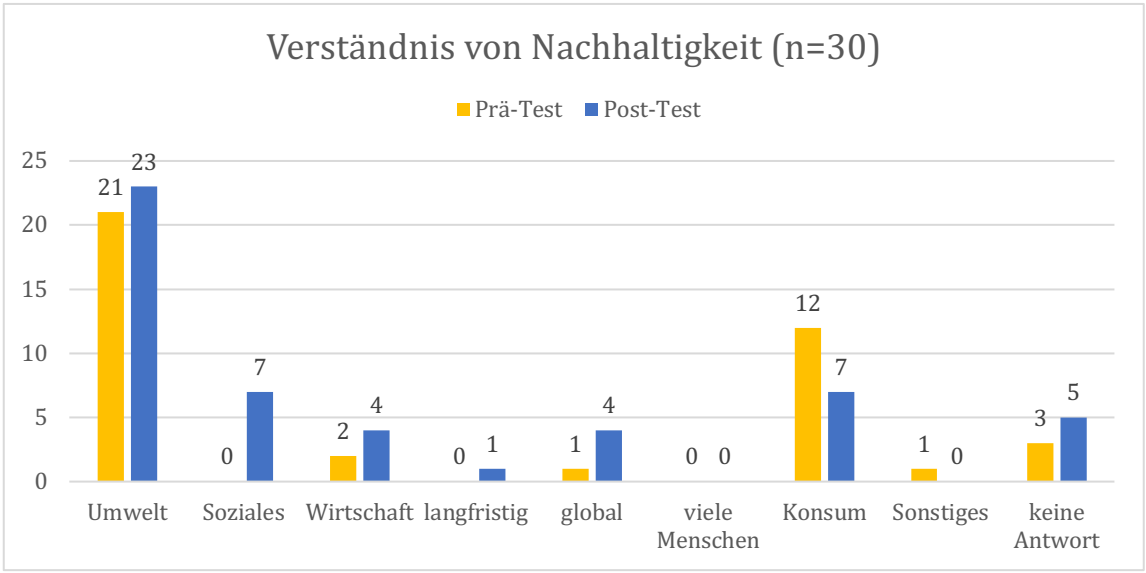


Abbildung 78: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=30) des ersten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

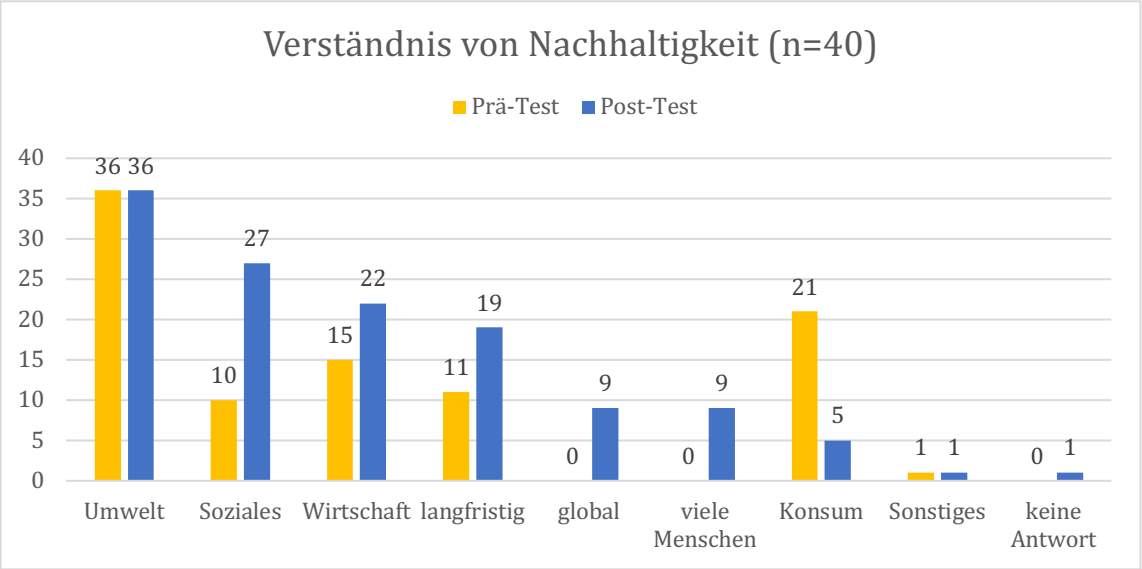


Abbildung 79: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=40) des zweiten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

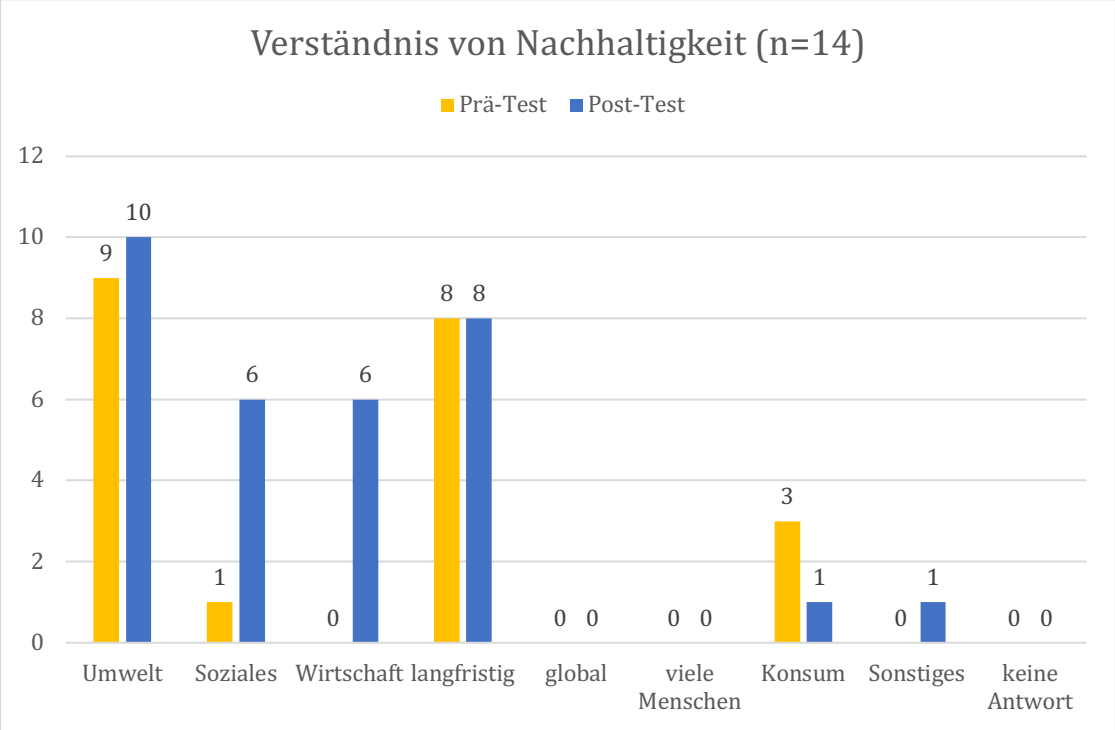


Abbildung 80: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=14) des dritten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

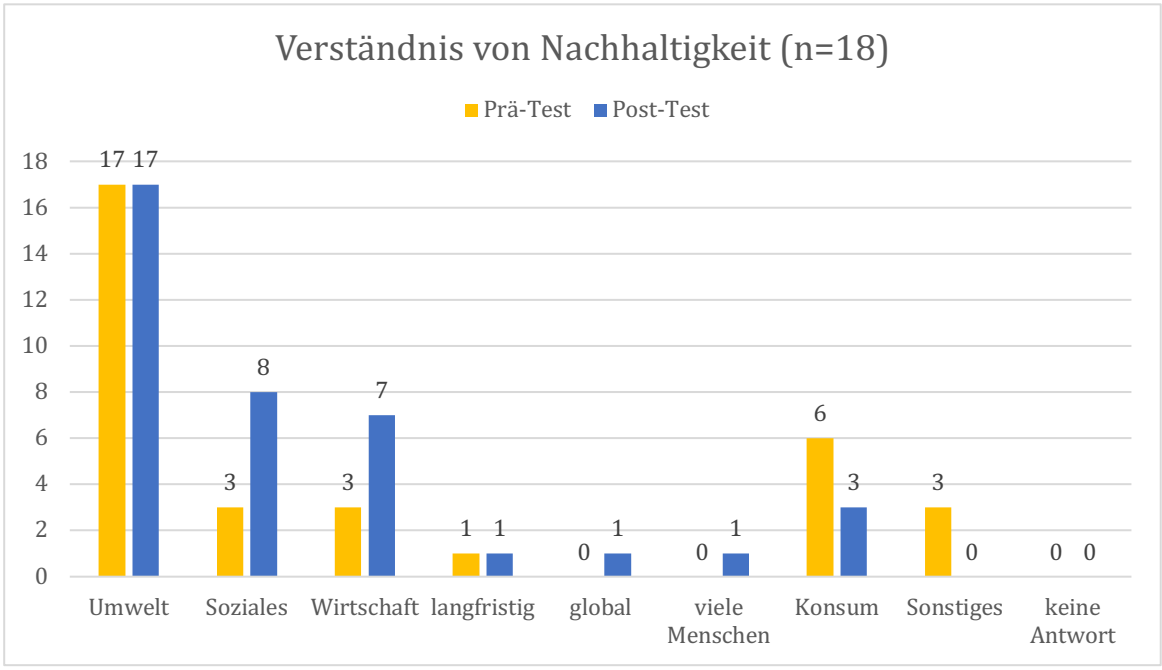


Abbildung 81: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden(n=18) des vierten Erprobungsdurchgangs zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

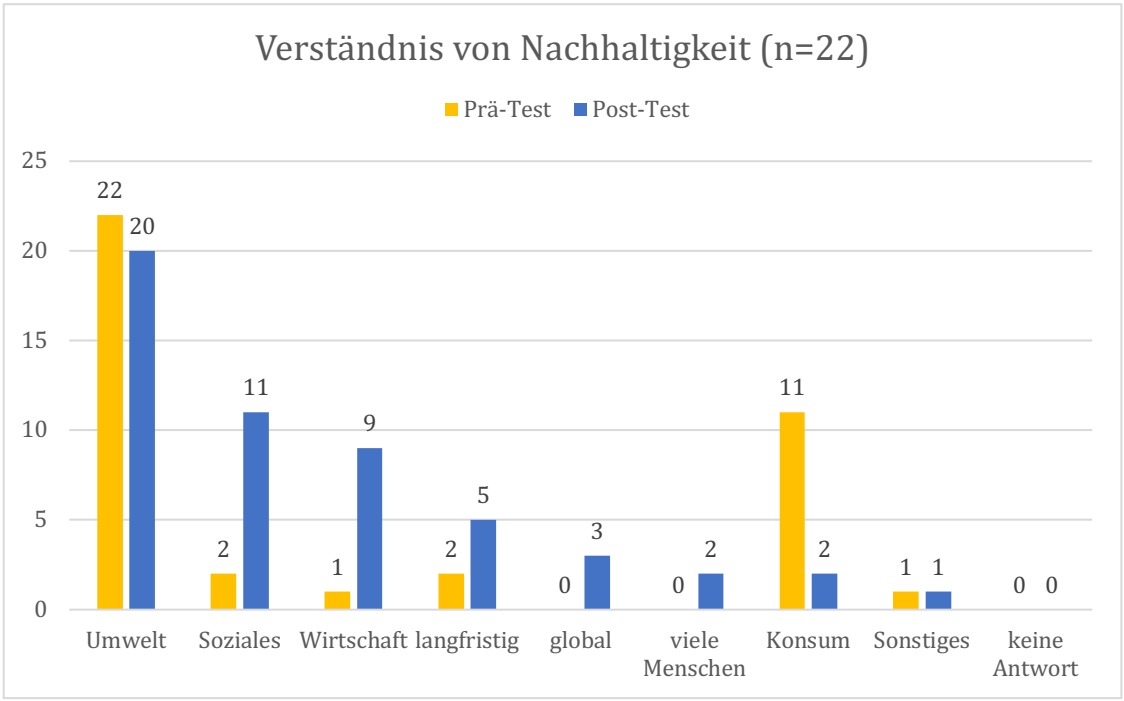


Abbildung 82: Absolute Häufigkeit der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=22) der Haupterprobung zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

Tabelle 42: Tabellarische Darstellung der absoluten Häufigkeiten der Kategorien in den Antworten der Lernenden (n=124) aller Erprobungen zum Verständnis von Nachhaltigkeit im Vergleich von Prä- und Post-Test.

	1. Erprobungs-durchgang	2. Erprobungs-durchgang	3. Erprobungs-durchgang\9.3	3. Erprobungs-durchgang\9.4	4. Erprobungsdurch-gang (Haupterprobung)	Total
Verständnis Nachhaltigkeit (Prä)	**30**	**40**	**14**	**22**	**18**	**124**
Umwelt	21	36	9	22	17	105
Soziales	0	10	1	2	3	16
Wirtschaft	2	15	0	1	3	21
Global	0	0	0	0	0	
Langfristig	1	11	8	2	1	23
Viele Menschen	0	0	0	0	0	
Konsumverhalten	12	21	3	11	6	53
Sonstiges	1	1	0	1	3	6
keine Antwort	3	0	0	0	0	3
Verständnis Nachhaltigkeit (Post)	**30**	**40**	**14**	**22**	**18**	**124**
Umwelt	23	36	10	20	17	106
Soziales	7	27	6	11	8	59
Wirtschaft	4	22	6	9	7	48
Global	1	9	0	3	1	14
Langfristig	4	19	8	5	1	37
Viele Menschen	0	9	0	2	1	12
Konsumverhalten	7	5	1	2	3	18
Sonstiges	0	1	0	1	0	2
keine Antwort	5	1	1	0	0	7
SUMME	151	303	81	136	107	778

D.5.2 Dokumentenvergleichsdiagramme Verständnis von Nachhaltigkeit

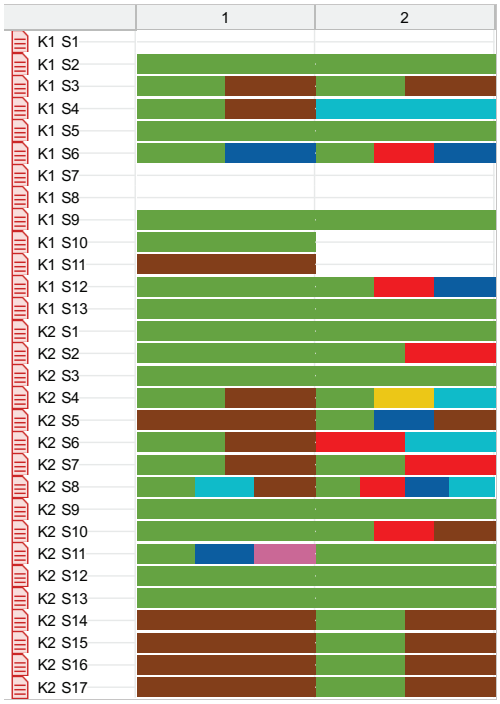


Abbildung 83: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Kurs 1 und Kurs 2.

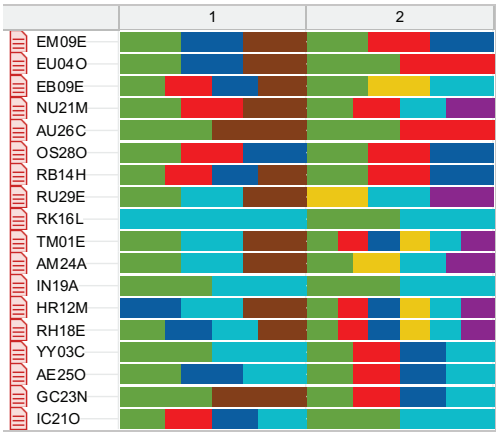


Abbildung 84: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.1.

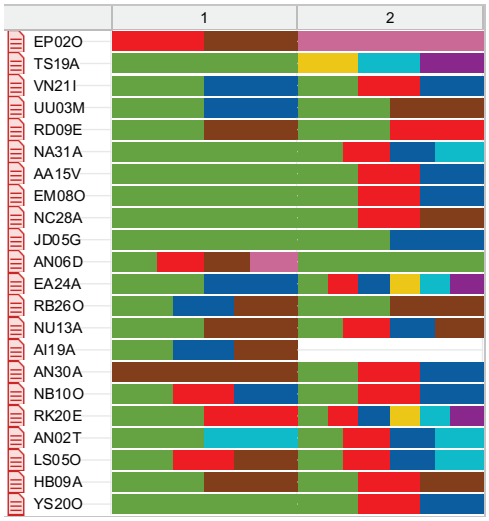


Abbildung 85: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.2.

Abbildung 86: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.3.

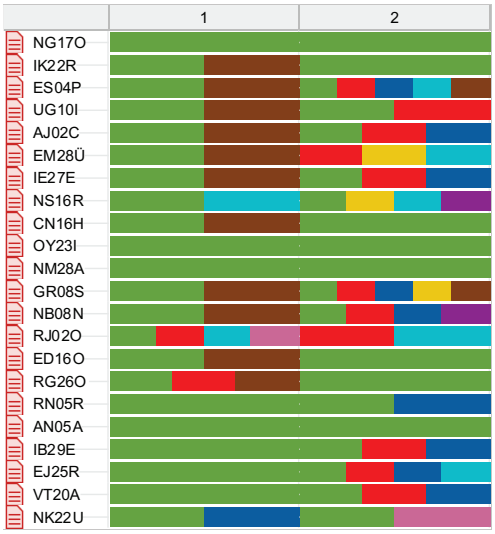


Abbildung 87: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Klasse 9.4.

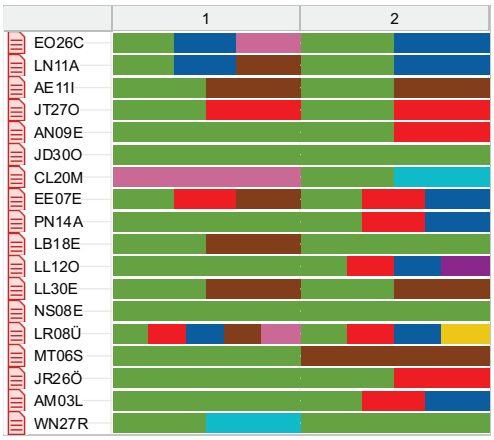


Abbildung 88: Dokumentenvergleichsdiagramm Codierung Verständnis Nachhaltigkeit Haupterprobung.

D.5.3 Kategoriensystem Nachhaltigkeit Elektromobilität

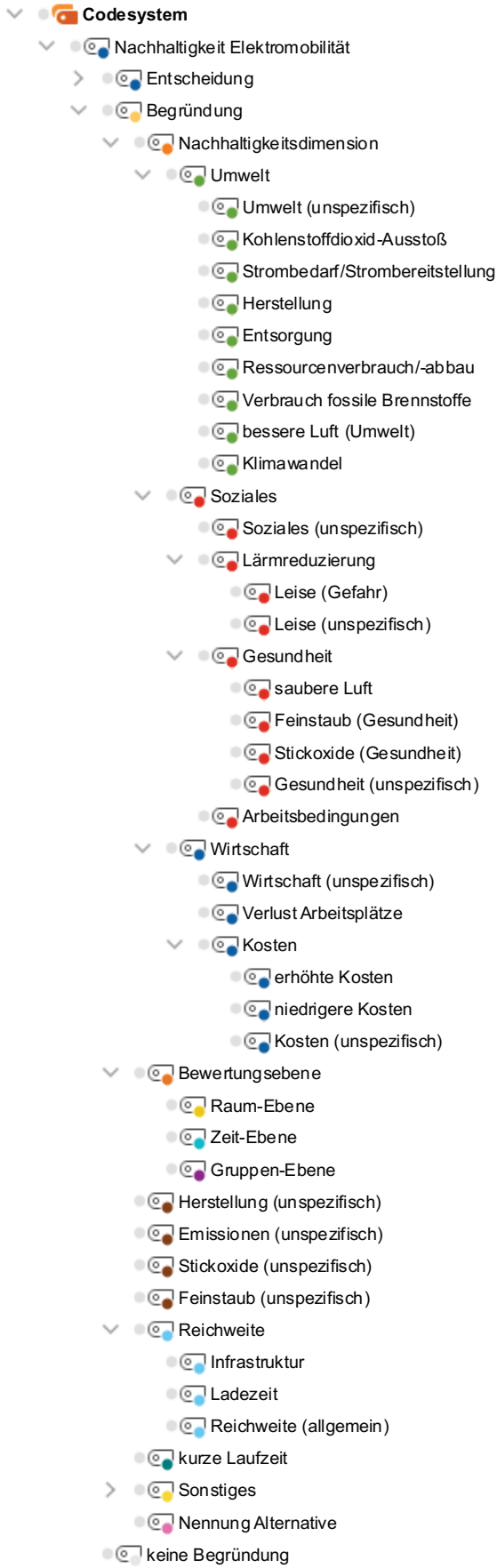


Abbildung 89: Vollständige Darstellung Kategoriensystem Nachhaltigkeit von Elektromobilität.

D.5.4 Dokumentenvergleichsdiagramme Nachhaltigkeit von Elektromobilität

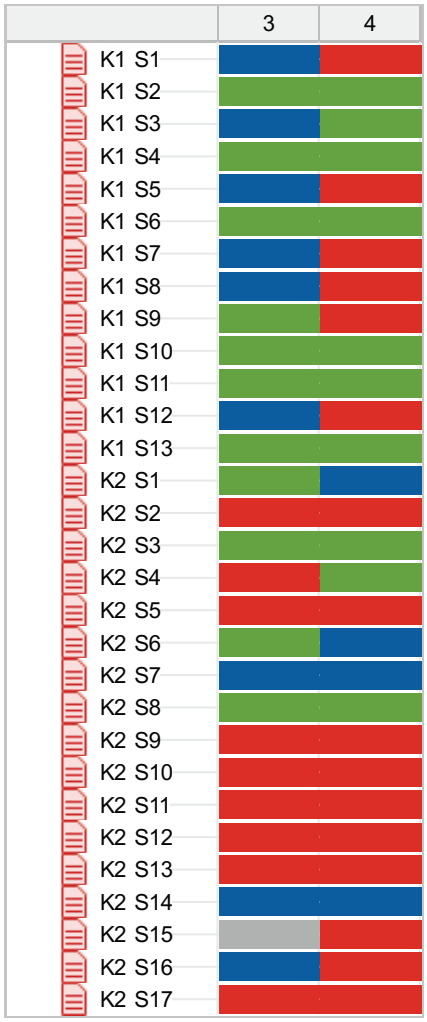


Abbildung 90: Dokumentenvergleichsdiagramm erster Erprobungsdurchgang, Kurs 1 und Kurs 2.

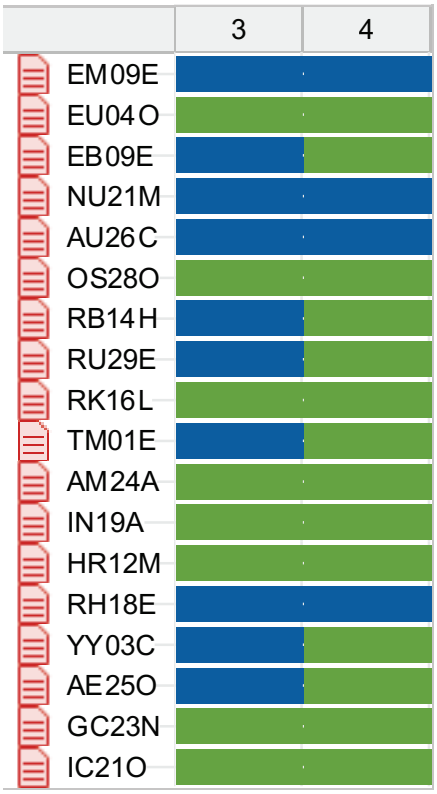


Abbildung 91: Dokumentenvergleichsdiagramm zweiter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.1.

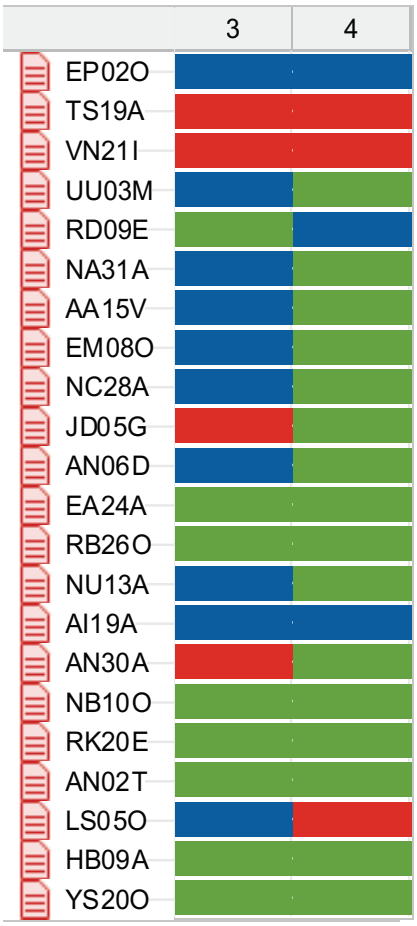


Abbildung 92: Dokumentenvergleichsdiagramm zweiter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.2.

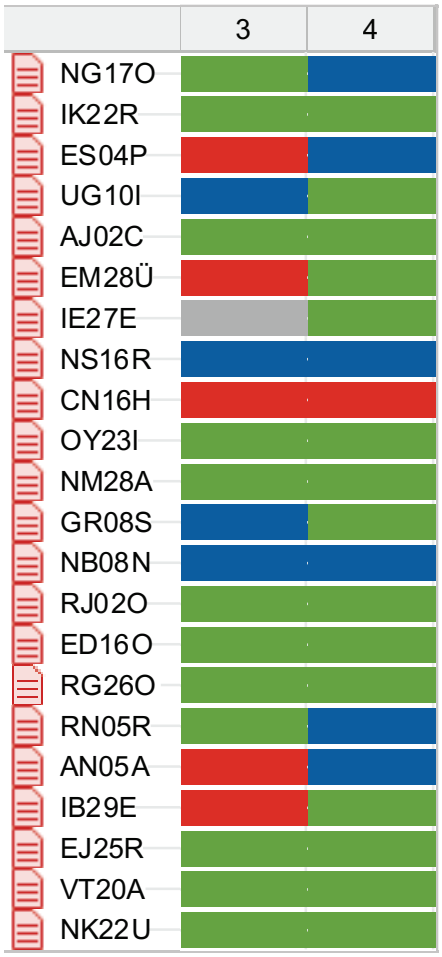


Abbildung 93: Dokumentenvergleichsdiagramm dritter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.3.

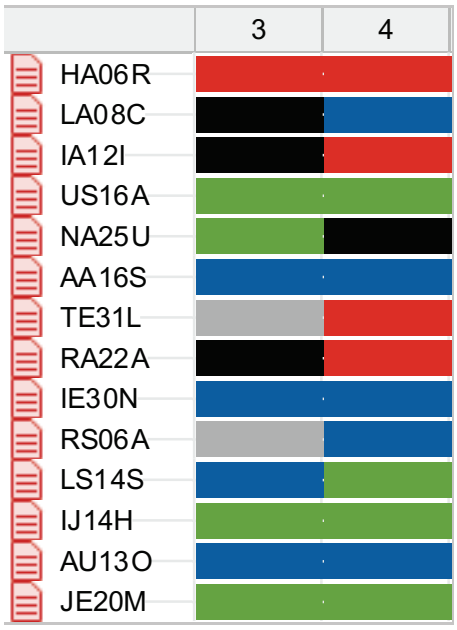


Abbildung 94: Dokumentenvergleichsdiagramm vierter Erprobungsdurchgang, Klasse 9.4.

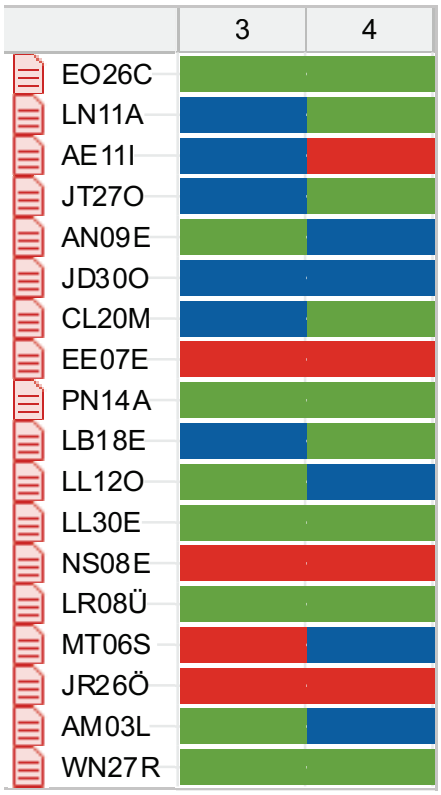


Abbildung 95: Dokumentenvergleichsdiagramm Haupterprobung.

Anhang E: Fragebogen Lehrkräfteworkshop

Fragebogen

An welcher Schulform unterrichten Sie? _____

Allgemein

1. Sind Ihnen andere Unterrichtseinheiten (Methoden, Unterrichtskonzepte etc.) zum **Bewerten im Kontext Nachhaltigkeit** bekannt?

Ja ☐ Nein ☐

Welche?

2. Haben Sie bereits Unterrichtseinheiten zum **Bewerten im Kontext Nachhaltigkeit** durchgeführt?

Ja ☐ Nein ☐

In welcher Weise? (Thema, Methode etc.)

2.1 Welche Nachhaltigkeitsdimensionen wurden thematisiert?

Umwelt ☐ Soziales ☐ Wirtschaft ☐

2.2 Welche Aspekte wurden thematisiert?

Globalität ☐ Langfristigkeit (zukünftige Generationen) ☐

Betroffenheit/Perspektiven verschiedener Gruppen ☐

Die Bewertungsscheibe

		trifft vollständig zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
3.1	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe anhand des Themas Elektromobilität einzusetzen	☐	☐	☐	☐
3.2	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe auf andere Nachhaltigkeitsthemen zu übertragen.	☐	☐	☐	☐
z.B. auf das Thema:					
3.3	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe anhand von Zeitungsartikeln, Social-Media-Einträgen etc. einzusetzen.	☐	☐	☐	☐
3.4	Ich kann mir vorstellen, die Bewertungsscheibe in meinem zweiten Unterrichtsfach einzusetzen. Fach:	☐	☐	☐	☐

3.5 Ich halte die Jahrgangsstufe(n) _____ für geeignet, um die Bewertungsscheibe einzusetzen.

3.6 Wie schätzen Sie die Komplexität der Bewertungsscheibe ein?

Sehr hoch	hoch	angemessen	niedrig	sehr niedrig
☐	☐	☐	☐	☐

3.7 Wie würden Sie die Bewertungsscheibe einsetzen?

analog ☐ digital ☐ beides ☐

3.8 Können Sie sich vorstellen, die Bewertungsscheibe in ihrem Klassenraum/Fachraum aufzuhängen?

Ja ☐ Nein ☐

Material: Elektromobilität

		trifft vollständig zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
4.1	Das Material ist **inhaltlich** angemessen aufbereitet.				
4.2	Das Material ist angemessen **gestaltet**.				
4.3	Der **Umfang** des Materials kann individuell angepasst werden.				

5. Können Sie sich vorstellen, Teile des **Originalmaterials** zum Thema Elektromobilität einzusetzen?

Ja ☐ Nein ☐

Welche Themen können Sie sich vorstellen, einzusetzen?

Kohlenstoffdioxid	Stickoxide	Lärm	Arbeitsplätze
☐	☐	☐	☐

6. Können Sie sich vorstellen, Teile der **Materialien in angepasster Form** einzusetzen?

Ja ☐ Nein ☐

Welche Anpassungen würden Sie vornehmen?

Offene Rückmeldung

7. Das hat mir gut gefallen:

9. Verbesserungsvorschläge:

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Bisher erschienene Bände der Reihe

Lernen in Naturwissenschaften

ISSN 2566-493X

1	Maria Egbers	Konzeptentwicklungs- und Gesprächsprozesse im Rahmen der Unterrichtskonzeption „choice2learn“ ISBN 978-3-8325-4510-9 53.00 EUR
2	Daniel Laumann	Magnetismus hoch 4. Fachliche Strukturierung und Entwicklung multipler Repräsentationen zum Magnetismus für die Hochschule ISBN 978-3-8325-4571-0 60.50 EUR
3	Friederike Rohrbach-Lochner	Design-Based Research zur Weiterentwicklung der chemiedidaktischen Lehrerausbildung zu Schülervorstellungen. Entwicklung und Evaluation eines an Forschendem Lernen orientierten Seminarkonzepts ISBN 978-3-8325-4944-2 53.50 EUR
4	Lisa Rott	Vorstellungsentwicklungen und gemeinsames Lernen im inklusiven Sachunterricht initiieren. Die Unterrichtskonzeption „choice2explore“ ISBN 978-3-8325-4817-9 83.00 EUR
5	Eva Julia Kolbeck	Schulung von Vermittlungsfähigkeiten Promovierender im Fach Chemie. Die Weiterbildung „How to communicate chemistry?“ ISBN 978-3-8325-4953-4 71.00 EUR
6	Björn Dellbrügge	Choice2interact. Interaktiv Lernen mit Tablets im Chemieunterricht ISBN 978-3-8325-5119-3 79.00 EUR
7	Felicitas Jürgensmeier	Offene Experimentiersituationen ermöglichen und charakterisieren. Eine Schülerlaboreinheit zu einem curricular innovativen Thema ISBN 978-3-8325-5184-1 89.00 EUR
8	Jan-Bernd Haas	chem.LEVEL. Fachsprachlich sensibler Chemieunterricht auf Basis des Johnstone Dreiecks ISBN 978-3-8325-5345-6 89.00 EUR

9	Florian Jungkamp	Kontroversen mit Hilfe wissenschaftlicher Prüfkriterien bewerten. Die Unterrichtskonzeption choice^{2}reflect ISBN 978-3-8325-5362-3 69.50 EUR
10	Christopher Kralisch	Wissenschaftskriterien verstehen und anwenden Weiterentwicklung der Unterrichtskonzeption choice^{2}reflect zur Bewertung gesellschaftlicher Kontroversen ISBN 978-3-8325-5517-7 91.50 EUR
11	Fabian Gust	Das Self-assembLAB. Entwicklung, Erprobung und Optimierung eines curricular innovativen Schülerlabors zum Thema Self-assembly ISBN 978-3-8325-5517-7 85.50 EUR
12	Marius van den Boom	Die Unterrichtskonzeption *feil*. Fehlschlüsse identifizieren lernen ISBN 978-3-8325-5562-7 87.00 EUR
13	Larissa Katharina Fühner	Experimentierpraxis im Spektrum der Möglichkeiten. Eine rekonstruktive Analyse der Experimentierpraxis im inklusionsorientierten Physikunterricht ISBN 978-3-8325-5562-7 59.50 EUR
14	Tobias Bergold	NAWI-Konzepte. Digitaler Transfer von neuen Unterrichtskonzepten für den naturwissenschaftlichen Unterricht mithilfe einer Website ISBN 978-3-8325-5719-5 78.00 EUR
15	Yvonne Rath	Stolpersteine im Lehrerhandeln. Anbahnung eines Handlungsrepertoires durch videobasierte Reflexionen im Lehr-Lern-Labor ISBN 978-3-8325-5769-0 89.00 EUR
16	Carolin Banse	Nachhaltigkeit bewerten mithilfe einer Bewertungsscheibe. Entwicklung einer Konzeption für den naturwissenschaftlichen Unterricht am Beispiel Elektromobilität ISBN 978-3-8325-5895-6 98.50 EUR

Alle erschienenen Bücher können unter der angegebenen ISBN-Nummer direkt online (http://www.logos-verlag.de) oder per Fax (030 - 42 85 10 92) beim Logos Verlag Berlin bestellt werden.

Verstehen und *Entwickeln* bilden eine fachdidaktische Einheit: Das Verstehen von Lernprozessen hilft uns, innovative Lernangebote zu entwickeln und an Rahmenbedingungen anzupassen. Die Erprobung und Analyse dieser Angebote kann wiederum zu erweiterten Erkenntnissen und einem tieferen Verstehen führen. Diese Schriftenreihe rückt daher beide Aspekte in den Fokus – mit dem Ziel, das zu fördern, was uns als Naturwissenschaftsdidaktikern am Herzen liegt: das Lernen in Naturwissenschaften!

Die Förderung von Bewertungskompetenz und Bildung für nachhaltige Entwicklung sind gemäß den Bildungsstandards verpflichtende Bestandteile des Chemieunterrichts. Doch wie kann die Nachhaltigkeit einer Maßnahme – z.B. die Förderung der Elektromobilität – im Unterricht bewertet werden? Im Rahmen des forschungsmethodischen Ansatzes des Design-Based Research wurde das Unterrichtskonzept „nachhaltig bewerten“ für die Sekundarstufe I entwickelt und erprobt.
Im Zentrum steht das methodische Instrument der Bewertungsscheibe. Diese visualisiert zum einen die drei Nachhaltigkeitsdimensionen Umwelt, Soziales und Wirtschaft, zum anderen gibt sie drei Bewertungsebenen vor: Wo wirkt die Maßnahme (global oder nur lokal)? Wie lange wirkt sie (langfristig oder nur kurzfristig)? Welche Interessengruppen sind betroffen (viele oder nur eine)? Die Bewertungsscheibe strukturiert und erleichtert somit den Bewertungsprozess, indem sie Kriterien vorgibt: Eine Maßnahme ist dann besonders nachhaltig, wenn sie in allen drei Nachhaltigkeitsdimensionen global, langfristig und für viele Gruppen Nutzen stiftet.
Für die Evaluation des Konzepts wurde eine vollständige Unterrichtseinheit zum Thema Elektromobilität für die Sekundarstufe I entwickelt. Die empirische Untersuchung erfolgte mit Hilfe von Videographien, Artefakten sowie einem Prä-Post-Design.

ISBN 978-3-8325-5895-6

Logos Verlag Berlin

ISSN 2566-493X