

**Empirische Studien zur horizontalen Vernetzung in
naturwissenschaftlichen Schulbüchern und zur
Förderung situationalen Interesses im
fächerübergreifenden Unterricht**

Dissertation

zur Erlangung des mathematisch-naturwissenschaftlichen Doktorgrades
„Doctor rerum naturalium“ (Dr. rer. nat.)
der Georg-August-Universität Göttingen

im Promotionsprogramm Physik
der Georg-August University School of Science (GAUSS)

vorgelegt von
Johannes Lewing
aus Großburgwedel
Göttingen, 2022

Betreuungsausschuss

APL. PROF. DR. SUSANNE SCHNEIDER, Didaktik der Physik, Fakultät für Physik, Georg-August-Universität Göttingen

PROF. DR. THOMAS WAITZ, Abteilung für Fachdidaktik Chemie, Institut für Anorganische Chemie, Georg-August-Universität Göttingen

PROF. DR. STEFAN DREIZLER, Institut für Astrophysik, Fakultät für Physik, Georg-August-Universität Göttingen

Mitglieder der Prüfungskommission

Referentin APL. PROF. DR. SUSANNE SCHNEIDER, Didaktik der Physik, Fakultät für Physik, Georg-August-Universität Göttingen

Korreferent PROF. DR. THOMAS WAITZ, Abteilung für Fachdidaktik Chemie, Institut für Anorganische Chemie, Georg-August-Universität Göttingen

Weitere Mitglieder der Prüfungskommission

PROF. DR. STEFAN DREIZLER, Institut für Astrophysik, Fakultät für Physik, Georg-August-Universität Göttingen

PROF. DR. PASCAL KLEIN, Didaktik der Physik, Fakultät für Physik, Georg-August-Universität Göttingen

PROF. DR. SASCHA SCHROEDER, Pädagogische Psychologie, Georg-Elias-Müller-Institut für Psychologie, Georg-August-Universität Göttingen

PROF. DR. KERSTIN STRECKER, Didaktik der Informatik, Institut für Mathematik und Informatik, Georg-August-Universität Göttingen

Tag der mündlichen Prüfung: 12.08.2022

Zusammenfassung

Bereits seit einigen Jahrzehnten wird die Umsetzung eines integrierten Fachs Naturwissenschaften in Deutschland diskutiert, wobei als Argumente einerseits eine lernförderliche Vernetzung fachlicher Inhalte und andererseits eine interessenfördernde Wirkung durch die Anknüpfung an interdisziplinäre Vorstellungen und Interessen der Lernenden vorgebracht wird. Insbesondere an den naturwissenschaftlichen Disziplinen Chemie und Physik haben vor allem Mädchen wenig Interesse, sodass Fächerübergreif als Chance verstanden werden kann, den Unterricht interessanter und gendergerechter zu gestalten. Allerdings liegt zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht nur wenig empirische Evidenz vor, sodass mit zwei separaten Untersuchungen zur Verbesserung der Studienlage beigetragen werden soll.

In der ersten Studie wird die aktuelle Praxis des integrierten Fachs Naturwissenschaften, welches an integrierten Gesamtschulen in Niedersachsen unterrichtet wird, hinsichtlich der horizontalen Vernetzung fachlicher Inhalte analysiert. Zu diesem Zweck wurden mittels Methoden der Computerlinguistik und des maschinellen Lernens fachliche Termini aus Schulbüchern automatisiert extrahiert, sowie den naturwissenschaftlichen Disziplinen zugeordnet und bezüglich des gemeinsamen Auftretens analysiert. Die Schulbücher sind durch die Unterteilung in interdisziplinäre Kapitel zwar fächerverbindend angelegt, dennoch zeigen die Ergebnisse im Vergleich zu Schulbüchern des fächergetrennten Unterrichts keine stärkere Vernetzung von Termini unterschiedlicher naturwissenschaftlicher Disziplinen. Darüber hinaus weisen integrierte Schulbücher einen stärkeren biologischen Schwerpunkt auf.

Die zweite Studie untersucht die interessenfördernde Wirkung des fächerübergreifenden Unterrichts, indem Lernstationen mit physikalischen Aufgaben zum Energiekonzept entwickelt und jeweils in einen biologischen und einen technischen Kontext eingebettet wurden. In der Onlinebefragung wurde das situationale Interesse der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler unmittelbar nach der Bearbeitung einer Lernstation gemessen und mittels Mehrebenenregressionen modelliert. Es zeigt sich, dass insbesondere die emotionale Facette durch die Variation der Kontextdomäne beeinflusst werden kann. Aufgrund des hohen individuellen Interesses an Biologie zeigen Mädchen auch bei der Bearbeitung physikalischer Aufgaben in Kontexten dieser Domäne ein höheres emotionales situationales Interesse. Zur Ausbildung stabiler Interessen ist die wertbezogene Komponente des situationalen Interesses von besonderer Bedeutung. Auf diese Facette zeigt sich ein hoher Einfluss des individuellen Interesses an Physik, aber auch das Interesse an der Kontextdomäne hat hier einen signifikanten Effekt.

Abstract

The implementation of integrated science education has already been a widely discussed topic in Germany for several decades. The arguments put forward are, on the one hand, a learning-promoting linking of subject content and, on the other hand, an interest-promoting effect by linking to the interdisciplinary ideas and interests of the learners. Girls in particular have shown less interest in the scientific disciplines of chemistry and physics so that interdisciplinary teaching can be seen as an opportunity to make lessons more interesting and gender-appropriate. However, there is little empirical evidence to support integrated science education. Therefore, this dissertation presents two studies to contribute to the scientific discussion.

In the first study, the current practice of the integrated subject natural sciences, which is taught at integrated comprehensive schools in Lower Saxony, is analyzed with regard to the horizontal networking of subject-related content. For this purpose, methods of computational linguistics and machine learning were used to automatically extract subject terms from textbooks, as well as to assign them to the natural science disciplines and to analyze them with respect to their co-occurrences. Although the textbooks are designed to connect the disciplines by subdividing the contents into interdisciplinary chapters, the results do not show a stronger interconnection of terms from different scientific disciplines compared to textbooks of subject-separated instruction. Furthermore, integrated textbooks show a stronger focus on biology.

The second study investigates the interest-promoting effect of interdisciplinary teaching by developing learning stations with physics assignments tasks on the energy concept and embedding each in a biological and a technical context. In the online survey, the situational interest of participating students was measured immediately after completing a learning station and modeled using multilevel regressions. It is found that especially the emotional facet can be influenced by the variation of the context domain. Due to the high individual interest in biology, girls also show a higher emotional situational interest when working on physics assignments in contexts of this domain. To form stable interests, the value-related component of situational interest is of particular importance. On this facet, a high influence of the individual interest in physics is shown, but also the interest in the context domain has a significant effect here.

Abkürzungsverzeichnis

AUC-ROC	<i>Area under the curve [of the] receiver operating characteristic</i>
BIJU	Bildungsprozesse und psychosoziale Entwicklung im Jugendalter
ChiK	Chemie im Kontext
EK	Emotionale Komponente des situationalen Interesses
FUN	Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaften
INU	Integrierter naturwissenschaftlicher Unterricht
IPN	Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und Mathematik
LS	Lernstation
LSA	Latente semantische Analyse
NLP	<i>Natural language processing</i>
PiKo	Physik im Kontext
PING	Praxis integrierte naturwissenschaftliche Grundbildung
PLON	<i>Project Leerpaketontwikkeling Natuurkunde</i>
ppm	<i>Parts per million</i> (10^{-6})
ROSE	<i>Relevance of Science Education</i>
STE	<i>Science, Technology, Environment</i>
STS	<i>Science, Technology, Society</i>
TDM	Term-Dokument-Matrix
WK	Wertbezogene Komponente des situationalen Interesses

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Forschungsinteresse	2
1.3	Aufbau der Arbeit	4
I	Theorie und Forschungsfragen	5
2	Fächerübergreifender und kontextorientierter naturwissenschaftlicher Unterricht	5
2.1	Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht	5
2.1.1	Entwicklung und Definition	5
2.1.2	Diskussion über fächerübergreifenden Unterricht	9
2.1.3	Empirische Studienlage	11
2.2	Kontextorientierung in den Naturwissenschaften	13
2.2.1	Ziele und Funktionen	15
2.2.2	Empirische Studienlage	17
3	Interesse	20
3.1	Interesse als Person-Gegenstands-Beziehung	20
3.2	Interessenförderung	23
3.3	Empirischer Forschungsstand	25
3.4	Interesse und Selbstkonzept	28
3.5	Interesse und Lernen	30
4	Zielsetzung und Forschungsfragen der Arbeit	32

II Horizontale Vernetzung in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts	36
5 Schulbücher und ihre Sachstrukturen	36
6 Methodologie: Automatisierte Verarbeitung von Schulbuchtexten	39
6.1 Computerlinguistik und Kookkurrenzanalyse	39
6.2 NLP-Methoden zur Bestimmung fachspezifischen Vokabulars	40
7 Methodisches Vorgehen	43
7.1 Stichprobe und Referenzkorpus	44
7.2 Bestimmung naturwissenschaftlicher Termini	46
7.3 Kookkurrenzanalyse	48
8 Ergebnisse	51
8.1 Naturwissenschaftliche Fachsprache in der Sekundarstufe I	51
8.2 Horizontale Vernetzung der naturwissenschaftlichen Disziplinen	56
9 Diskussion	60
III Situationales Interesse von Schülerinnen und Schülern an biologischen und technischen Kontexten	64
10 Entwicklung und Design der Intervention	64
10.1 Auswahl des Lerninhalts: Das Basiskonzept Energie	65
10.2 Auswahl der Kontexte und Entwicklung der Lernstationen	67
11 Methodisches Vorgehen	76
11.1 Beschreibung der Stichprobe	76
11.2 Instrumente	76
11.2.1 Fragebögen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept	77
11.2.2 Fragebogen zum situationalen Interesse und zur kognitiven Belastung	81
11.3 Durchführung der Intervention	84
11.4 Statistische Analyse	85
12 Ergebnisse	88
12.1 Deskriptive Ergebnisse: Individuelles Interesse und Selbstkonzept	88

12.2 Analyse des situationalen Interesses	90
12.3 Weitere Auswertungen	95
12.3.1 Abbruch	95
12.3.2 Freitextantworten zum Interesse	96
13 Diskussion	99
IV Abschluss	104
14 Fazit	104
14.1 Zusammenfassung und Implikationen	104
14.2 Ausblick	111
15 Verzeichnisse	113
15.1 Literatur	113
15.2 Abbildungen	133
15.3 Tabellen	135
V Anhang	138
A Literaturangaben zum Korpus	139
B Anleitung zur manuellen Kodierung des Trainingsdatensatzes	145
C Beispiel einer Concept Map	148
D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten	149
E Fragebogen zur Erhebung der kognitiven Belastung und des situationalen Interesses	157
F Lernstationen	159
G Publikationen und Vorträge	181
H Danksagung	183

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Die Diskussion um fächerübergreifenden Unterricht beschäftigt die Fachdidaktiken bereits seit vielen Jahrzehnten und ist in Deutschland nach wie vor ein aktuelles Thema bei der Gestaltung von naturwissenschaftlichem Unterricht (Frey und Häußler, 1973; Frey, 1974; Labudde, 2014). Immer wieder wurden dabei in der Vergangenheit Versuche vorgenommen, fächerübergreifenden Unterricht in der Schule zu implementieren. Hier sind insbesondere die Projekte PING (Praxis integrierte naturwissenschaftliche Grundbildung) und FUN (Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaften) zu nennen, die Mitte der 1990er Jahre die Entwicklung und Evaluation fächerübergreifender Konzepte zum Ziel hatten (Kremer & Stäudel, 1997). Neben solchen unterrichtspraktischen Ansätzen wurden auch bildungs- und wissenschaftstheoretische Argumentationslinien zur Umsetzung eines fächerübergreifenden Unterrichts entwickelt (Labudde, 2003; Rehm et al., 2008). So wird als Begründung für diese Unterrichtsform unter anderem die Anknüpfung des Unterrichts an das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler angeführt. Diese Präkonzepte liegen nicht in den Einzelfächern vor, sodass die Lernenden bei entsprechender Thematisierung das Wissen in Kontexten konstruieren, die von ihnen als relevant erachtet werden (Labudde, 2003). Da insbesondere die „harten“ Naturwissenschaften Chemie und Physik innerhalb der Sekundarstufe I einen starken Rückgang des Fachinteresses zu verzeichnen haben, kann fächerübergreifender Unterricht als Chance verstanden werden, um diesem entgegenzuwirken (Hoffmann et al., 1998; Labudde, 2014; Potvin und Hasni, 2014).

Im anglo-amerikanischen Raum führte schon in den 1970er Jahren der Sputnik-Schock zur Bereitschaft, das Schulsystem hinsichtlich naturwissenschaftlicher Bildung kritisch zu hinterfragen und Veränderungen vorzunehmen (Rehm und Stäudel, 2017). Am prominentesten vertreten waren solche Ansätze, welche naturwissenschaftliche und technische Inhalte mit gesellschaftlichen Themen verknüpften und unter dem Stichwort *Science-Technology-Society* (STS) oder *Science-Technology-Environment* (STE) zusammengefasst werden können (Schwartz, 2006, Gebhard et al., 2017). In Deutsch-

land führten nicht zuletzt die föderale Struktur des Bildungssystems und politische Entscheidungen zu Hindernissen bei der Implementation fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts, bevor schließlich durch das unterdurchschnittliche Abschneiden der Schülerinnen und Schüler in internationalen Schulleistungstudien ein Umdenken angestoßen wurde (*PISA-Schock*, Rehm und Stäudel, 2017). So wurde argumentiert, dass ein neu eingeführtes Hauptfach Naturwissenschaften im Gegensatz zu den Einzeldisziplinen als Nebenfächern als bedeutender wahrgenommen werden kann (Prenzel et al., 2001). Heute ist es Gymnasien vieler Bundesländer zumindest fakultativ möglich, den Anfangsunterricht der 5. und 6. Klasse fächerübergreifend zu gestalten und die Fächer Biologie, Chemie und Physik in einem integrierten Fach Naturwissenschaften zusammenzufassen (Labudde und Schecker, 2021). In den höheren Jahrgängen der Sekundarstufe I oder auch in der Sekundarstufe II ist ein Verbundfach weniger weit verbreitet und oft als fächerergänzendes Angebot ausgelegt (Hoffmann, 2021). Häufiger als an Gymnasien ist ein integriertes Fach Naturwissenschaften dagegen an Schulen für den Haupt- oder Realschulabschluss zu finden (ebd.). Auch an Gesamtschulen in Niedersachsen werden in der gesamten Sekundarstufe I die Naturwissenschaften in einem integrierten Fach unterrichtet (Niedersächsisches Kultusministerium, 2021).

Neben den verschiedenen theoretisch fundierten Begründungen gibt es nur wenige empirische Studien zur Wirkung des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts (Labudde, 2014). Zumeist werden in den vorhandenen Untersuchungen traditionelle Unterrichtsansätze einem Integrationsfach gegenübergestellt, wobei verschiedene Schwierigkeiten im Zuge der Interpretation der Ergebnisse auftreten können (Bennett et al., 2007; Åström, 2008; Klos, 2008). So fehlt auf der einen Seite häufig eine konkrete Beschreibung der behandelten Inhalte, sodass nicht eindeutig beurteilt werden kann, ob im Gegensatz zum traditionellen Vorgehen ein höherer inhaltlicher Fächerübergreifung stattfindet, oder dieser nur auf Ebene der Studententafel vorliegt (Labudde, 2003). Darüber hinaus sind die meisten Studien nicht experimentell ausgelegt, sodass beispielsweise der Vergleich mit einer adäquaten Kontrollgruppe fehlt.

1.2 Forschungsinteresse

Die vorliegende Arbeit möchte ausgehend von der oben beschriebenen Ausgangslage einen Beitrag zur Beforschung des fächerübergreifenden Unterrichts leisten und zwei Forschungsschwerpunkte in den Fokus nehmen. So soll auf der einen Seite die unterrichtliche Praxis eines integrierten Fachs Naturwissenschaften hinsichtlich der tatsächlichen horizontalen Vernetzung von Inhalten untersucht werden und auf der anderen

Seite eine systematische Analyse der Wirkung inhaltlichen Fächerübergreifens auf das situationale Interesse von Schülerinnen und Schülern vorgenommen werden.

In Bezug auf das erste Forschungsinteresse, der Analyse des inhaltlichen Fächerübergreifens im integrierten Fach Naturwissenschaften, werden als Annäherung an die unterrichtliche Praxis Schulbücher herangezogen. Diese bilden die in der Sekundarstufe I geforderten Inhalte ab und werden neben dem schülerbezogenen Einsatz im Unterricht von Lehrkräften auch zur Vorbereitung genutzt (Härtig et al., 2012; Devetak und Vogrinc, 2013). Um den inhaltlichen Fächerübergreif in den Schulbuchtexten zu messen, sollen zunächst die naturwissenschaftlichen Termini identifiziert und den Einzeldisziplinen zugeordnet werden. Hierbei werden Methoden der Computerlinguistik und des maschinellen Lernens zur automatisierten Verarbeitung eingesetzt. In einer deskriptiven Analyse werden dann Unterschiede zwischen den Disziplinen hinsichtlich ihres verwendeten fachsprachlichen Vokabulars herausgestellt, bevor schließlich eine Kookkurrenzanalyse naturwissenschaftlicher Termini durchgeführt wird. Durch eine Gegenüberstellung der Schulbücher des fächergetrennten Unterrichts und des integrierten Fachs Naturwissenschaften wird auf diese Weise Aufschluss über die inhaltliche Vernetzung erlangt. Neben den Ergebnissen werden auch die eingesetzten Methoden vor dem Hintergrund der gewachsenen Bedeutung computerbasierter Textanalysen im didaktischen Anwendungsbereich eingeordnet.

Das zweite Forschungsinteresse betrifft die Wirkung fächerübergreifenden Unterrichts auf Schülerinnen und Schüler. Im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen soll in einer Interventionsstudie der Fokus auf Fächerübergreif auf Ebene der Inhalte gelegt werden, indem systematisch innerfachliche und fächerübergreifende Kontexte kontrastiert werden. Aufgrund des gewichtigen Arguments der Interessenförderung in der Diskussion um fächerübergreifenden Unterricht und der Relevanz als eigenständiges Unterrichtsziel soll die Wirkung dieses fachüberschreitenden Unterrichts auf das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler beim Lernprozess im Vordergrund stehen. Als Intervention wurden Lernstationen zum Energiekonzept erstellt, welches sich nicht zuletzt durch die vorangegangene Schulbuchanalyse als besonders interdisziplinäres Konzept erwiesen hat (vgl. Eisenkraft et al., 2014). Die einzelnen Stationen wurden jeweils in einen biologischen und einen technischen Kontext eingebettet, sodass in beiden Versionen dieselben physikalischen Kompetenzen gefördert werden und gleichzeitig eine systematische Variation des Kontexts vorgenommen wird. Über den Einfluss des Kontexts hinaus sollen die Effekte der individuellen Interessen und Selbstkonzepte, sowie des Geschlechts und der schulischen Leistung in Physik auf das situationale Interesse mittels Mehrebenenregressionen modelliert werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Teil I der vorliegenden Arbeit wird zunächst der theoretische Hintergrund dargelegt. Kapitel 2 stellt diesbezüglich zunächst den fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht aus theoretischer Perspektive vor. Gleichzeitig wird aufgrund der fachdidaktischen Nähe auch der Schwerpunkt Kontextorientierung genauer abgehandelt. Im Anschluss wird das Interessenkonstrukt in Kapitel 3 auf theoretischer Ebene definiert und empirische Studienergebnisse zusammengefasst, bevor in Kapitel 4 die Ziele der Arbeit festgehalten und Forschungsfragen formuliert werden. Teil II behandelt die erste Studie der Arbeit und geht zunächst auf theoretischer Ebene auf Schulbücher, welche das Untersuchungsmaterial der Studie darstellen, sowie die Definition und Bedeutung von Sachstrukturen ein (Kapitel 5). Aufgrund der erst anfänglichen Etablierung der verhältnismäßig neuen Methoden zur automatisierten Textverarbeitung werden diese in einem größeren Kontext der Methodologie vorgestellt (Kapitel 6), bevor die tatsächlich in der Studie genutzten Methoden beschrieben werden (Kapitel 7). Im Anschluss folgen die Darstellung der Ergebnisse (Kapitel 8) und eine Diskussion, welche auch die genutzten Methoden reflektiert (Kapitel 9). Teil III stellt die Interventionsstudie zur Untersuchung des situationalen Interesses vor. Hier werden zunächst das Design der Studie und die erarbeiteten Lernstationen vorgestellt (Kapitel 10). Im Anschluss werden die Stichprobe, die eingesetzten Instrumente, sowie die Durchführung und die statistische Auswertung in Kapitel 11 beschrieben. Die Präsentation erfolgt schließlich in Kapitel 12, bevor diese in Kapitel 13 diskutiert und eingeordnet werden. Zum Abschluss der Arbeit werden in Kapitel 14 die gefundenen Resultate als Antworten auf die Forschungsfragen zusammengefasst und darauf aufbauend Forschungsdesiderate als Ausblick formuliert.

Teil I Theorie und Forschungsfragen

2 Fächerübergreifender und kontextorientierter naturwissenschaftlicher Unterricht

Fächerübergreifend und Kontextorientierung sind bezüglich des naturwissenschaftlichen Unterrichts insbesondere im Hinblick auf ihr Potential zur Förderung der Interessen von Schülerinnen und Schülern viel diskutiert worden. In dieser Arbeit wird ein Beitrag geleistet, um die derzeitige Praxis fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts und dessen Wirksamkeit hinsichtlich des Aufgreifens von individuellen Interessen zu beschreiben. Hierfür werden nach einer Begriffsklärung sowie einer Beschreibung der Entwicklung und der aktuellen unterrichtlichen Praxis die empirischen Befunde zur Wirksamkeit fächerübergreifenden und kontextorientierten Unterrichts dargelegt.

2.1 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht

2.1.1 Entwicklung und Definition

Ausgelöst durch den Sputnik-Schock wurden in den 1960er Jahren vor allem in den angelsächsischen Ländern Prozesse angestoßen, um das Schulsystem effektiver zu gestalten (Kremer & Stäudel, 1997). Auch in Deutschland wurden Versuche unternommen, um Gesamtschulen einzurichten und das Curriculum neu auszurichten. Letzteres umfasste speziell die Diskussion um ein fächerübergreifendes Fach Naturwissenschaften, welche in zwei aufeinander folgenden Symposien des IPN stattfand (Frey und Häußler, 1973; Frey, 1974). Ein wesentlicher Kritikpunkt am fachsystematischen Unterricht betraf die Lernmotivation der Schülerinnen und Schüler. Der naturwissenschaftsorientierte Lernansatz richtet sich an Konzepten oder Methoden aus, betont damit die Wertfreiheit der Naturwissenschaften, aber greift zu wenig Fragen und Interessen der jungen Lernenden auf. Stattdessen wurde gefordert, dass sich der Unterricht an externen Systemen orientiert, um Probleme zu lösen und Wissen verstärkt in Lebenssituationen

anzuwenden (Kremer & Stäudel, 1997). Auf diese Weise können Einflüsse der Naturwissenschaften auf die Gesellschaft, Wirtschaft oder Politik thematisiert werden. Im Laufe der Jahre wurden verschiedene Projekte und Curricula zum fächerübergreifenden Unterricht entworfen, die aufgrund der vorherrschenden Befürwortung des disziplinären Fachunterrichts wenig Beachtung fanden (Fischler, 1978; Reinhold und Bündler, 2001; vgl. PINC: Projektgruppe Integriertes Naturwissenschaftliches Curriculum, 1978; CUNA: Cuna-Autorengruppe, 1981). Mit steigender didaktischer Bedeutung der von Klafki (1985) geforderten Behandlung epochaltypischer Schlüsselprobleme der Menschheit entstanden in den 1990er Jahren größere Projekte zur Entwicklung und Evaluation fächerübergreifender Ansätze wie PING (Praxis integrierter naturwissenschaftlicher Grundbildung) und FUN (Fächerübergreifender Unterricht Naturwissenschaften) (Kremer und Stäudel, 1997; Gebhard et al., 2017). PING orientierte sich bezüglich der Kontextualisierung stark an etablierten STS-Ansätzen der USA und behandelt die Relation vom Menschen in der Natur. Unter entwicklungspsychologischer Berücksichtigung wurden in jungen Jahrgängen Aspekte aus der direkten Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler thematisiert, während später das Verhältnis des Menschen und der Gesellschaft zur Natur thematisiert wurde (Kremer und Stäudel, 1997; Stäudel und Rehm, 2012). Um die Jahrtausendwende wurde durch die PISA-Studie den deutschen Schülerinnen und Schülern eine unterdurchschnittliche naturwissenschaftliche Kompetenz und ein geringes Interesse, sowie eine niedrige gesellschaftliche Wertschätzung der Naturwissenschaften attestiert, wodurch die Diskussion um den fächerübergreifenden Unterricht erneut angestoßen wurde (*PISA-Schock*, Baumert et al., 2001). Nach einigen Versuchen der Implementation fächerübergreifender Ansätze in Lehrpläne, welche zum Teil durch wechselnde Landesregierungen wieder annulliert wurden, setzte sich schließlich in den meisten Bundesländern ein integriertes Fach Naturwissenschaften für den Anfangsunterricht im 5. und 6. Jahrgang durch (Gebhard et al., 2017). Lediglich drei Bundesländer (Bayern, Sachsen-Anhalt und Sachsen) bieten nicht für jede Schulform in den genannten Jahrgängen wenigstens fakultativ fächerübergreifenden Unterricht an (ergänzt nach Stäudel und Rehm, 2012; Busch, 2016). In den höheren Jahrgängen der Sekundarstufe I wird dagegen in deutlich weniger Bundesländern fächerübergreifender Unterricht durchgeführt (Busch, 2016; Hoffmann, 2021). Speziell für das Bundesland Niedersachsen ist in Tabelle 2.1.1 die Organisationsform des naturwissenschaftlichen Unterrichts für die verschiedenen Schulformen dargestellt. Im Falle der gymnasialen Ausbildung ist ein gefächerter Unterricht vorgesehen, wobei im Anfangsunterricht die Organisation als integriertes Fach optional ist. Andernfalls wird in der Sekundarstufe I der naturwissenschaftliche Unterricht meist integriert unterrichtet.

2.1 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht

Zur Definition lässt sich fächerübergreifender bzw. interdisziplinärer Unterricht grundsätzlich als „schulisches Lehr- und Lernarrangement [bezeichnen], in dem die Gegenstände und Methoden von wenigstens zwei Schulfächern gleichzeitig zur Bearbeitung einer unterrichtlichen Fragestellung bzw. eines Themas herangezogen werden“ (Stübiger, 2009, S. 313). Darüber hinaus lassen sich zwei unterschiedliche Betrachtungsweisen ausmachen. Auf der einen Seite wird diskutiert, inwiefern Inhalte der einzelnen Disziplinen aufeinander bezogen und in welchem Kontext sie unterrichtet werden und auf der anderen Seite steht die Frage nach einem integrierten Fach Naturwissenschaften. Labudde (2003) stellt auf Grundlage einer Literaturrecherche eine einheitliche Typisierung auf, die in der Literatur weitgehend übernommen wurde und unterscheidet fächerübergreifenden Unterricht auf Ebene der Inhalte und auf Ebene der Stundentafel (s. Tab. 2.1.2; vgl. Huber, 1994). So kann aus inhaltlicher Perspektive in einfachster Form ein fächerübergreifender Unterricht in *fachüberschreitender* Form stattfinden, wenn innerhalb eines Faches Erkenntnisse aus einem zweiten Fach genutzt werden. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn im Fach Biologie zum Thema Betäubungsmittel mit Suchtpotential chemische Strukturformeln eingebracht werden (Labudde, 2008). In nächst höherer Stufe werden im *fächerverbindenden* Unterricht Methoden oder übergeordnete Konzepte, die zwei Fächern zuzuschreiben sind, miteinander verknüpft oder Inhalte zur gleichen Zeit aus zwei verschiedenen Fachperspektiven behandelt. So kann beispielsweise das Thema Zeit gleichzeitig in verschiedenen Fächern behandelt werden oder Infinitesimalrechnung sowohl im Physik- als auch im Mathematikunterricht

Tabelle 2.1.1. Organisation des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den verschiedenen Schulformen in Niedersachsen (Stand 03/2022).

Schulform	Organisationsform in der Sekundarstufe I
Hauptschule	Integriertes Fach
Realschule	Integriertes Fach
Oberschule	Integriertes Fach; gefächert ab Jahrgang 7 falls ein gymnasiales Angebot an Schule eingerichtet ist
integrierte Gesamtschule	Integriertes Fach
kooperative Gesamtschule	Entsprechend des jeweiligen Schulzweigs; optional: integriertes Fach im Fall schulzweigübergreifender Lerngruppen in Jg. 5-8
Gymnasium	Gefächelter Unterricht; optional integriertes Fach in 5/6

2.1 Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht

besprochen werden (Labudde, 2008; Labudde, 2014). Als *fächerkoordinierend* oder *themenzentriert* wird ein Unterricht bezeichnet, bei dem ein zentrales Problem oder eine zentrale Frage im Vordergrund steht für dessen Lösung Kompetenzen mehrerer Disziplinen nötig sind. Hier bieten sich reichhaltige Situationen an wie die Planung einer Photovoltaikanlage auf dem Schuldach oder die Thematisierung von Schlüsselproblemen der Menschheit (z. B. Treibhauseffekt). Auf Ebene der Stundentafel kann zwischen Unterricht in den *Einzelfächern*, der ebenfalls fächerübergreifend angelegt sein kann, und dem *fächerergänzenden* bzw. *integriertem* Unterricht unterschieden werden. Als *fächerergänzend* wird Unterricht verstanden, der außerhalb der üblichen Fächer stattfindet wie eine Projektwoche oder Blockunterricht. Auch fallen Wahlpflichtfächer unter diese Kategorie. Hingegen wird das Fach als *integriert* bezeichnet, wenn es regulär in der Stundentafel verortet ist und Inhalte der einzelnen Disziplinen hier behandelt werden sollen (Labudde, 2008). Im deutschsprachigen Raum hat sich im Wesentlichen die Unterscheidung nach Labudde (2003; 2014) durchgesetzt. Darüber hinaus lässt sich fächerübergreifender Unterricht auch auf Ebene des Curriculums differenzieren. Rehm et al. (2008) unterscheiden vier Perspektiven, aus denen heraus die curriculare Struktur des Unterrichts klassifiziert werden kann. So lässt sich zunächst beurteilen, an welchem didaktischen Ansatz sich der Lehrplan orientiert. Beispielsweise kann er an fachlichen Konzepten oder Methoden ausgerichtet sein (naturwissenschaftsimmanent) oder aber stärker äußere Probleme, Anwendungen oder Objekte berücksichtigen und zentral in den Vordergrund stellen (an externen Bezugssystemen orientiert, vgl. Frey und Häußler, 1973). Weiter lassen sich Akzente im Curriculum ausmachen, inwiefern domänenspezifische Grundbegriffe, übergeordnete Basiskonzepte, Methodenarbeit, die Natur der Naturwissenschaften oder andere Aspekte im Mittelpunkt stehen (Rehm et al., 2008). In Bezug auf die naturwissenschaftlichen Domänen lässt sich schließ-

Tabelle 2.1.2. Kategorien zur Einordnung fächerübergreifenden Unterrichts (Labudde, 2003; Labudde und Schecker, 2021).

Ebene der Inhalte	Fachüberschreitend
	Fächerverbindend
	Themenzentriert/ Fächerkoordinierend
Ebene der Stundentafel	<i>Gefächert</i>
	Fächerergänzend
	Integriert

lich ein additiver fächerverbindender Unterricht, in dem ein übergeordnetes Thema als Modul aus unterschiedlichen Perspektiven behandelt wird, vom integrierten und auf übergreifende naturwissenschaftliche Kompetenzen ausgerichteten Unterricht unterscheiden. Auch kann fächerübergreifender Unterricht eher exemplarisch ausgerichtet sein, wenn ein repräsentatives Beispiel ausgewählt wird und somit das verstehende Lernen im Vordergrund steht (vgl. Wagenschein, 2013). Schließlich lassen sich auch verschiedene Unterrichtsformen wie Projektunterricht, Gruppenunterricht oder offener Unterricht auf curricularer Ebene differenzieren (Rehm et al., 2008). Erweiternd zu den oben genannten Kategorien und Perspektiven zur Klassifizierung des fächerübergreifenden Unterrichts haben Labudde et al. (2005) als Orientierungshilfe für Lehrkräfte ein Raster entworfen innerhalb dessen der eigene Unterricht analysiert werden kann. Zu den bereits erläuterten Aspekten fließen auch die Förderung überfachlicher Kompetenzen, die Reichweite behandelte Themen oder die Natur des Entscheidungsprozesses ein.

2.1.2 Diskussion über fächerübergreifenden Unterricht

Die Diskussion über die Einführung fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts führte neben der Entwicklung von Unterrichtsansätzen auch zur Ausarbeitung theoretischer Begründungen zur Legitimation der jeweiligen Unterrichtsformen. Im Folgenden werden die Argumente vorgestellt, welche in der Diskussion vermehrt vorgebracht wurden.

Aus bildungs- und wissenschaftstheoretischer Perspektive argumentieren Rehm et al. (2008) für die Einführung eines integrierten Fachs *Science*, in dem die Einzelfächer durchaus ihre Grenzen behalten, diese gleichzeitig aber auch explizit thematisiert werden, was durch eine Fächerung erschwert ist. Bildungstheoretisch kann das integrierte Fach den Autoren zufolge stärker den kulturellen Charakter der Naturwissenschaften betonen und somit die kulturelle Teilhabe für Schülerinnen und Schüler ermöglichen. Auch für die gesellschaftliche Teilhabe durch Allgemeinbildung bietet der fächerübergreifende Unterricht Vorteile. Orientiert an den Akzentuierungen eines allgemein bildenden Mathematikunterrichts von Heymann (2013) argumentieren Gebhard et al. (2017), dass der fächerübergreifende Unterricht nicht zwingend einen expliziten Vorteil aufweist, die Umsetzung der Kriterien aber erleichtern kann. So ist beispielsweise der Bezug zu lebensweltlichen Aktivitäten auch im gefächerten Unterricht möglich, wie zahlreiche Projekte bereits gezeigt haben (z. B. PiKo: Duit und Mikelskis-Seifert, 2010; ChiK: Parchmann et al., 2006), allerdings kann der Kontext beispielsweise aus verschied-

denen Disziplinen heraus behandelt werden, wodurch eine reichhaltigere Lernsituation entstehen kann (Gebhard et al., 2017). Auch wird in diesem Zusammenhang die Verantwortungsbereitschaft bzw. die Stärkung des Schüler-Ichs nicht gezwungenermaßen stärker im integrierten Unterricht gefördert. So ist bereits seit längerer Zeit Bildung für nachhaltige Entwicklung ein bedeutendes Konzept des Biologieunterrichts. Allerdings sind es oft interdisziplinäre Themen, die sich für diese Kompetenzen in besonderem Maße eignen. Wissenschaftstheoretisch betrachtet hat das integrierte Fach Naturwissenschaften nach Rehm et al. (2008) ebenfalls eine Daseinsberechtigung. Während es innerhalb der einzelnen Disziplinen wieder Teilgebiete wie die organische oder physikalische Chemie gibt, sind doch in den meisten Lehrwerken Kapitel zur allgemeinen Physik oder allgemeinen Chemie zu finden, in denen Gemeinsamkeiten der Teilgebiete zusammengefasst sind. Genauso kann eine Zusammenfassung der drei Domänen im integrierten Fach sinnvoll sein. Zur Frage der Struktur eines integrierten Fachs schlagen die Autoren ein „Fachwerk“ bestehend aus den Basiskonzepten der drei Fächer vor, da sich diese in großem Maße überschneiden und in den jeweiligen Zugriffsmodi der einzelnen Disziplinen auf die Natur unterscheiden.

Im Großteil der Schweizer Kantone werden die Naturwissenschaften seit über 20 Jahren in einem integrierten Fach unterrichtet (Gebhard et al., 2017). In diesem Zusammenhang fasst Labudde (2014) die wesentlichen Argumente für diese Unterrichtsform zusammen und nennt zunächst, dass das Anknüpfen an Vorwissen im integrierten Fach besser gelingen kann. Da vor allem jüngere Schülerinnen und Schüler weniger stark disziplinär geprägt sind, können Präkonzepte so besser einbezogen werden. Darüber hinaus kann auf diese Weise eine horizontale Verknüpfung zwischen den Fächern erleichtert werden, um im Sinne der Knowledge-in-Pieces-Theorie ein breites Wissensnetz zu entwickeln (vgl. diSessa, 2018). Ebenso argumentiert Labudde (2014) über die Behandlung von Schlüsselproblemen der Menschheit im Unterricht, welche meist aus verschiedenen Perspektiven analysiert werden müssen. Wissenschafts- und Berufspädagogisch kann der interdisziplinäre Unterricht dazu dienen, sowohl die Grenzen als auch Situationen der Überschreitungen einzelner Domänen zu thematisieren (Labudde, 2008). Auch nimmt der Autor eine Steigerung der Motivation im integrierten Fach wahr und betont insbesondere die Möglichkeiten des Aufgreifens der Interessen von Schülerinnen, um den Unterricht gendergerechter zu gestalten. Schließlich können auch überfachliche Kompetenzen bzw. Schlüsselkompetenzen wie Informationsbeschaffung, differenziertes Denken oder Ambiguitätstoleranz mittels Integration der einzelnen Fächer besser geschult werden (Labudde, 2008). Den oft genannten Kritikpunkt, dass im integrierten Fach weniger gelernt wird als im gefächerten Unterricht, widerspricht

der Autor mit Verweis auf die PISA-Studien, welche zwischen Ländern mit integriertem und gefächertem Unterricht keine Leistungsdifferenz gefunden haben (Labudde, 2008). Dabei wird für den fachsystematischen Unterricht argumentiert, dass gerade die logische Abfolge von Argumenten und Konzepten ein hohes Niveau ermöglicht und Abwege vermieden werden (Merzyn, 2013). Auch Kritiker des fächerübergreifenden Unterrichts argumentieren Wissenschaftspropädeutisch und verweisen auf die Fächerung der Hochschulstudiengänge (Merzyn, 2013). Gegen fachsystematischen Unterricht sprechen dagegen das geringe Vermögen, Interessen und Alltagsbezüge der Schülerinnen und Schüler aufzugreifen, sowie die aufgrund des Wunsches nach Vollständigkeit bestehende Überfrachtung des Lehrplans (ebd.)

2.1.3 Empirische Studienlage

Die in der Diskussion um fächerübergreifenden Unterricht genannten Argumente sind vorwiegend aus bildungstheoretischer Perspektive und durch didaktische Überlegungen begründet und bedürfen größtenteils noch einer empirischer Validierung (Labudde, 2014). Die Gewinnung von Evidenz zur Wirksamkeit fächerübergreifenden Unterrichts gestaltet sich aber vor allem aus dem Grund schwer, dass sich die Randbedingungen meist nicht hinreichend genau kontrollieren lassen. Beim Vergleich eines integrierten Fachs mit gefächertem Unterricht unterscheiden sich so neben der Unterrichtsform in vielen Studien auch Schulform, Lehrkräfte oder auch Merkmale der Lerngruppe. Aufgrund der eingeschränkten Studienlage werden häufig Studien herangezogen, die auch dem Bereich des kontextorientierten Unterrichts zuzuordnen sind (z. B. Bennett et al., 2007). Im Folgenden werden empirische Ergebnisse zusammengefasst, die sich gezielt auf einen fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht beziehen.

Ein Vergleich zwischen integriertem und gefächertem Unterricht wurde durch die Daten der PISA-Studien von schwedischen Schulen aus den Jahren 2003 und 2006 realisiert, da es dort den Schulen überlassen ist, ob sie den naturwissenschaftlichen Unterricht gefächert, integriert oder in einer Mischform durchführen (Åström, 2008). In den Daten von 2003 konnte bezüglich des Abschneidens der Schülerinnen und Schüler zwischen den verschiedenen Unterrichtsformen kein Unterschied gefunden werden (Åström & Karlsson, 2007). Die Ergebnisse der späteren PISA-Studie zeigen allerdings, dass sich der Lernerfolg von Mädchen im integrierten Fach zum gefächerten Unterricht unterscheidet, was allerdings zum Teil auf Gruppenunterschiede im ökonomischen, sozialen und kulturellen Status, sowie der zuhause gesprochenen Sprache zurückzuführen ist (Åström, 2008; Tamassia und Frans, 2014). Für Deutschland wurden Effekte des integrierten und

gefächerten naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht in der 5. und 6. Klasse durch Messungen zu Beginn und am Ende der 7. Jahrgangsstufe untersucht (Klos, 2008). Während die differenziert unterrichteten Schülerinnen und Schüler etwas besser hinsichtlich prozessbezogener Kompetenzen abschneiden und ein höheres Selbstkonzept im Fach Physik zeigen, profitieren insbesondere Mädchen durch integrierten Unterricht, da sie besser im Test zu naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen abschneiden und ein höheres Fachinteresse aufweisen. Die genannten Effekte sind allerdings schon zum Ende der 7. Klasse nicht mehr nachweisbar. Der Unterschied im Selbstkonzept kann durch die Fächersozialisation der unterrichtenden Lehrkräfte bedingt sein, da in der Studie vor allem Biologielehrkräfte im Fach Naturwissenschaften tätig waren. An anderer Stelle konnte gezeigt werden, dass sich durch integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht in den Klassenstufen 5 bis 9 die Ausdifferenzierung des Selbstkonzepts in die drei Domänen Biologie, Chemie und Physik vermindern lässt (Jansen, Schroeders, Lüdtke & Pant, 2014).

Die Studie von Klos offenbart, vor welchen Herausforderungen auch die Lehrkräfte beim Unterrichten eines integrierten Fachs stehen, da beispielsweise Schülerinnen und Schüler, welche durch Chemielehrkräfte unterrichtet wurden, auch ein höheres Fachwissen in diesem Fach aufweisen (2008). Aufgrund der Tatsache, dass in Deutschland im Regelfall Lehrkräfte für zwei Fächer ausgebildet werden, müssen die Inhalte mindestens eines Faches fachfremd unterrichtet werden, was unweigerlich zu Problemen führen kann (Früböse et al., 2011; Handtke und Bögeholz, 2020). Damit der fächerübergreifende Unterricht gelingen kann, müssen in allen Phasen der Lehrerbildung Möglichkeiten der Fortbildung geschaffen werden, wobei es neben fachlichen Inhalten und Materialien für den Unterricht auch um weitere Kompetenzen wie beispielsweise Kooperationsbereitschaft gehen muss (Labudde, 2003; Früböse et al., 2011). In der universitären Lehrerbildung werden bereits Angebote entwickelt, um Lehramtsstudierende der Naturwissenschaften an den fächerübergreifenden Unterricht heranzuführen (z. B. Cirkel et al., 2017; Hoffmann, 2021). Innerhalb der Angebote zeigt sich, dass Studierende dem fächerübergreifenden Unterricht ein ähnliches Potential zusprechen wie dem differenzierten Unterricht (Hoffmann, 2021). Allerdings weist das selbst eingeschätzte Fachwissen der Lehramtsstudierenden darauf hin, dass Inhalte der drei naturwissenschaftlichen Domänen bereits im Studium vermittelt werden müssen und die derzeitige Ausbildung in dieser Hinsicht defizitär ist (Handtke & Bögeholz, 2020). In der Schweiz werden bereits integrierte Studiengänge zur Vorbereitung auf den fächerübergreifenden Unterricht angeboten (Brovelli, 2014). Dabei wurde untersucht, inwiefern die Struktur der Studiengänge die Berufside ntität beeinflusst, da sich eine mögliche Bedrohung der

eigenen Identität durch ein integrierte Fachstruktur negativ auf die Unterrichtsqualität auswirken kann (Helms, 1998; Aikenhead, 2003). Es zeigt sich, dass sich sowohl die Berufside ntität, als auch darüber hinaus die selbst eingeschätzten Fähigkeiten nicht zwischen integrierter und gefächerter Studienstruktur unterscheiden (Brovelli et al., 2011). Eine weitere Vignettenstudie zeigt, dass Studierende der integrierten Studienstruktur ein deutlich höheres fachdidaktische Wissen aufweisen als Studierende mit differenzierter Fachstruktur (Brovelli et al., 2013). Auch für die dritte Phase der Lehrerbildung werden zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht Fortbildungen angeboten, wobei sich diese allerdings häufig auf den Anfangsunterricht in der 5. und 6. Klasse beziehen (vgl. Engelmann, 2019). Lehrerbefragungen ergaben in diesem Zuge, dass die Meinungen über den fächerübergreifenden Unterricht sehr heterogen sind. Auf der einen Seite werden häufig mit der fehlenden fachlichen Kompetenz oder unzureichenden fachbezogenen schulpraktischen Kenntnissen die Herausforderungen eines integrierten Fachs betont (Jürgensen, 2005; Fruböse et al., 2011). Andererseits sehen die Lehrkräfte im fächerübergreifenden Unterricht die Chance, an Interessen anzuknüpfen und schreiben ihm eine höhere Wirkung zur Kompetenzentwicklung zu (Grasser, 2010; Busch und Woest, 2016). Bei Lehrkräften, die dagegen den fächerübergreifenden Unterricht ablehnen, zeichnen sich Unterschiede in den unterrichtsbezogenen Einstellungen ab. Sie empfinden das Anknüpfen an Schülerinteressen oder Alltagsvorstellungen, das Aufzeigen gesellschaftlicher Relevanz oder die qualitative Betrachtung von Konzepten als weniger bedeutend für ihren Unterricht als ihre Kolleginnen und Kollegen (Merzyn, 2013). Für höhere Jahrgänge der Sekundarstufe I nimmt die Zustimmung zur Einführung eines integrierten Fachs Naturwissenschaften weiter ab (Busch und Woest, 2016).

2.2 Kontextorientierung in den Naturwissenschaften

Ausgelöst durch das unbefriedigende Abschneiden in großen internationalen Schulleistungsstudien (*PISA-Schock*) wurden seit Beginn der 2000er Jahre Bemühungen und Diskussionen angestellt, um das deutsche Bildungssystem und den Unterricht an den Schulen zu verbessern (Baumert, 1997; Baumert et al., 2001; Baumert et al., 2002). Als zentrales Ergebnis der Studien wurde erkannt, dass deutsche Schülerinnen und Schülern nur in unzureichendem Maße ihr im Unterricht erworbenes Faktenwissen auf neue Situationen anwenden können, woraus eine defizitäre Aufgabenkultur im natur-

wissenschaftlichen Unterricht gefolgt wurde (Kuhn et al., 2010). Auch aufgrund des geringen Interesses an naturwissenschaftlichen Themen, wurde zur Erhöhung der Unterrichtsqualität eine verstärkte Kontextorientierung der behandelten Inhalte gefordert (Duit, 2006; Müller, 2006; Parchmann et al., 2006; Duit und Mikelskis-Seifert, 2007). Zur Definition des Begriffes „Kontext“ existieren verschiedene Ansätze (Bennett & Holman, 2003). Finkelstein (2005) greift die Idee vom Kontext als formgebendes bzw. einbettendes Element auf und grenzt unterschiedliche ineinander verschachtelte Bedeutungsebenen des Begriffes voneinander ab. So ist innerhalb einer spezifischen Lernsituation, in der eine Schülerin oder ein Schüler eine Aufgabe löst oder eine Aktivität ausführt, zunächst die Aufgabe an sich in einen Kontext eingebettet, welcher sowohl durch den konzeptuellen Lerngegenstand als auch durch den inhaltlichen Rahmen oder das speziell zu betrachtende Problem gebildet wird. In einer übergeordneten Ebene begegnet die Person der Aufgabe innerhalb eines bestimmten Kontexts, was Finkelstein (2005) als Situation beschreibt. Diese Situation impliziert die handelnde Person, die Aufgabe inklusive der fachlichen Konzepte und Ziele, die lokale Umgebung, sowie die zur Verfügung stehenden Werkzeuge (Finkelstein, 2005, S. 1194). Die Situation beschreibt somit das *wo* und *wie* der Aufgabenbearbeitung und kann beispielsweise durch das Arbeiten im Klassenraum in Partnerarbeit an einem bestimmten Thema gegeben sein. Die äußere Ebene des Kontexts ist durch die *idioculture* bestimmt, womit das soziale Umfeld gemeint ist, in dem die Lernsituation verortet ist. Es kann sich dabei um eine Schulklasse oder auch um das Team eines Sportvereins handeln. Je nach Zusammensetzung herrschen unterschiedliche soziale Konventionen, Verhaltensnormen, Rituale oder auch Gruppendynamiken. Duranti und Goodwin (1992) beschreiben dagegen einen Kontext als *focal event*, welches als Rahmen das eigentlich zu betrachtende Objekt umschließt und zur Interpretation desselben dient. Gilbert (2006) greift diese Definition auf und betont darüber hinaus die Eigenschaft als verknüpfendes Element zwischen lernender Person und Lerngegenstand, welches die Sinnhaftigkeit und Relevanz der Inhalte verdeutlicht. Auch Muckenfuß (1995) folgt diesem Verständnis von Kontext im Hinblick auf den Physikunterricht. Durch die Auswahl physikalischer Inhalte anhand der lebenspraktischen Bedeutung und dem gleichzeitigen Aufzeigen dieser Bedeutung im Unterricht, erfahren die Lernenden eine sinnstiftende Auseinandersetzung mit dem Thema. Mit steigender internationaler Bedeutung des kontextorientierten Lernens wurden verschiedene Projekte durchgeführt, in denen kontextorientierte Curricula oder konkrete Unterrichtsmaterialien erprobt wurden (Nentwig & Waddington, 2005). Während einige Projekte eher eine *inhaltbezogene Kontextualisierung* verfolgten, in der ein konkreter Inhalt in eine bestimmte lebensweltliche Situation eingebettet

wird (z. B. PLON, ChiK, *Salter's Advanced Chemistry*), bezogen sich andere Projekte eher auf eine *Kontextualisierung durch die Lernumgebung*, welche zum Beispiel durch die Schule oder ein Museum gegeben sein kann (z. B. *PiKo*), sodass diese zwei Auffassungen, die sich auch in der Ausführung von Finkelstein (2005) wiederfinden, im Wesentlichen unterschieden werden können (Parchmann & Kuhn, 2018). Kuhn et al. (2010) greifen darüber hinaus eine weitere Unterteilung auf und verstehen unter Makrokontexten besonders umfassende und authentische Lernumgebungen, die eine Vielzahl an Aspekten beinhalten, die im Unterricht thematisiert werden können, sodass an ihnen unterschiedliche Kompetenzen gefördert werden können. Die Einbettung fachlicher Inhalte in Makrokontexte bietet sich in Form von Projektarbeit an, sodass eine entsprechende unterrichtliche Sequenz auch mehrere Monate umfassen kann. Im Unterschied dazu dienen Mikrokontexte dem kurzfristigen Einsatz und können spontan eingebunden werden. Sie helfen, einzelne Aufgaben in einen lebensweltlichen Bezug zu setzen, um auf diese Weise die Relevanz der Inhalte zu verdeutlichen (Kuhn et al., 2010).

Aus bildungstheoretischer Perspektive ergibt sich die Forderung nach kontextorientiertem Unterricht aus Verknüpfungsansätzen zwischen Unterricht und Gesellschaft. Vordergründig ist das Ziel einer *Scientific Literacy* der Schülerinnen und Schüler am Ende ihrer Schullaufbahn zu nennen. Gemeint ist dabei, dass über das fachliche und fachsprachliche Grundverständnis hinaus das Wesen und die Bedeutung der Naturwissenschaften über die Fachgrenze hinaus begriffen werden soll (Roberts & Bybee, 2014). Hierzu gehört es zum Beispiel, technische Anwendungen im Alltag zu verstehen oder naturwissenschaftliches Wissen in persönliche Entscheidungsprozesse einfließen zu lassen (Fischler et al., 2018). Dieser Grundgedanke wird unter anderem in dem STS-Ansatz verfolgt, bei dem innerhalb eines Unterrichtsfachs auch Auswirkungen naturwissenschaftlicher Entdeckungen auf den technologischen Fortschritt oder auf die Gesellschaft thematisiert werden (Bybee, 1991; Solomon und Aikenhead, 1994). Auch im Bildungsverständnis nach Klafki (2007) spielen die *Schlüsselprobleme der Menschheit* im Unterricht eine tragende Rolle, anhand derer Erkenntnisse einzelner Fächer auf übergeordnete gesellschaftliche Herausforderungen zur Problemlösung angewendet werden.

2.2.1 Ziele und Funktionen

Kontextorientierter Unterricht verfolgt mit der Förderung von Interessen und der Steigerung der Lernleistung im Wesentlichen zwei übergeordnete Ziele. Das erste Ziel wird vor allem durch die Verknüpfung fachlicher Inhalte mit der Lebenswelt erreicht, sodass

Schülerinnen und Schüler zur Erklärung von Phänomenen aus ihrem Alltag befähigt werden (vgl. Bennett, 2003). Die Lernenden sollen hierbei die Bedeutsamkeit und Relevanz der Inhalte erfahren, wobei hier anzumerken ist, dass eine hohe Diskrepanz bestehen kann zwischen dem, was von der Lehrkraft und dem, was von Schülerinnen und Schülern als interessant erachtet wird (Hofstein et al., 2011). Stuckey et al. (2013) versuchen, den Relevanzbegriff zu schärfen und beschreiben, zwischen welchen Dimensionen unterschieden werden kann. So kann Relevanz auf einer individuellen, gesellschaftlichen oder beruflichen Ebene erzeugt werden, wobei zwischen gegenwärtigen oder zukünftigen Zielen und extrinsischen oder intrinsischen Motiven unterschieden werden kann. Während das reine Befriedigen der eigenen Neugier auf individueller Ebene einen gegenwärtigen und intrinsischen Charakter hat, kann der verantwortungsvolle und nachhaltige Umgang mit natürlichen Ressourcen auf gesellschaftlicher Ebene als zukunftsbezogen und extrinsisch angesehen werden. Nach diesem Modell kann ein Kontext entsprechend klassifiziert werden, in welcher Hinsicht er als relevant erachtet werden kann und damit den Lernenden aufzeigt, warum es sinnvoll ist, diesen Inhalt zu lernen (*need-to-know*, vgl. Pilot und Bulte, 2006; Gilbert et al., 2011). Durch das wiederholte Aufzeigen der persönlichen und gesellschaftlichen Bedeutsamkeit der behandelten Inhalte kann sich schließlich ein individuelles Interesse am Gegenstand ausbilden und die Motivation im Lernprozess gesteigert werden (Hidi und Renninger, 2006). Neben den Grundbedürfnissen nach sozialer Eingebundenheit, Kompetenz- und Autonomieerleben können auch weitere Unterrichtsmerkmale wie Realitätsbezug oder Systematik die Motivation beeinflussen (Deci und Ryan, 1993; Prenzel, 1993). Parchmann und Kuhn (2018) nennen neben den drei Grundbedürfnissen die Inhaltliche Relevanz, welche vor allem durch Kontexte beeinflusst werden kann, und die Instruktionsqualität, um ein motiviertes Lernen zu erreichen (s. Abb. 2.2.1).

Das zweite Ziel kontextorientierten Unterrichts besteht in der Steigerung der Lernwirksamkeit. Werden Inhalte von den Lernenden als bedeutsam wahrgenommen und erleben positive Gefühle während der Auseinandersetzung mit dem Gegenstand, kann aus diesem situationalen Interesse und motiviertem Lernzustand eine erhöhte Aktivierung zu einem besseren Lernergebnis führen (vgl. Krapp und Prenzel, 1992). Neben dem direkten Effekt von Interesse auf das Lernen wird auch aufgrund der Theorie der Situierung von einer gesteigerten Lernwirksamkeit kontextorientierten Unterrichtsmaterial ausgegangen. Als situiertes Lernen wird unter konstruktivistischer Perspektive verstanden, dass das Wissen, welches vom Lernenden aufgebaut wird, mit dem Kontext der Lernsituation verbunden ist (Lave & Wenger, 1991). Der Kontext kann sich sowohl auf die Lernprozessgestaltung durch Einzel- oder Gruppenarbeit oder auch auf

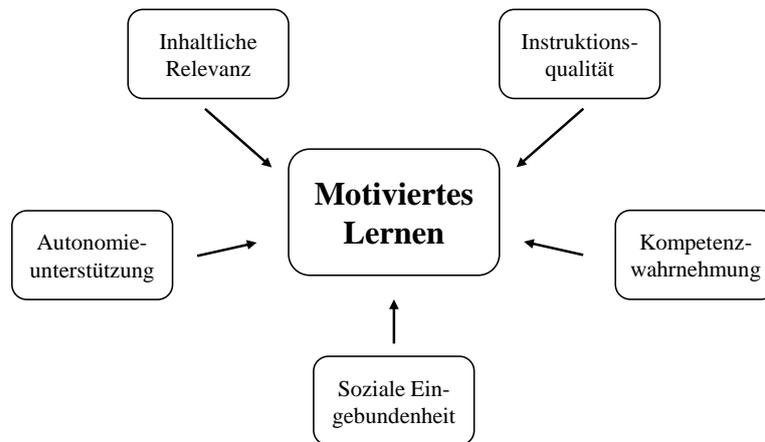


Abbildung 2.2.1. Einflüsse auf das motivierte Lernen nach Parchmann und Kuhn (2018).

die Rahmung der Inhalte durch beispielsweise einen konkreten Berufsbezug beziehen (Parchmann & Kuhn, 2018). Aufgrund der starken Situierung des gelernten Wissens sollten als Folge Lernsituationen den späteren Anwendungssituationen ähneln, damit den Lernenden ein Transfer leichter fallen kann. Auch aus Perspektive der *Knowledge-in-Pieces*-Theorie nach diSessa (2018) lassen sich auf kognitiver Ebene Einflüsse der Kontextorientierung erwarten. Demzufolge verfügen Experten zu ihrem Themengebiet über ein breit vernetztes Wissen, wohingegen Novizen meist unverknüpfte Wissensfragmente aufweisen. Kontexte können dann helfen, durch Aktivierung unterschiedlicher Fragmente eine breitere Vernetzung zu erzielen (Parchmann & Kuhn, 2018).

2.2.2 Empirische Studienlage

Zur Kontextorientierung und der Erreichung gewünschter Effekte wurde eine Vielzahl von Studien durchgeführt, von denen im Folgenden bedeutsame und auch aktuelle Befunde vorgestellt werden sollen. Während anfänglich vor allem der Vergleich mit traditionellen, fachsystematischen Unterrichtsformen im Vordergrund stand, wurden in jüngster Zeit vermehrt Versuche unternommen, den kontextorientierten Unterricht durch eine geeignete Auswahl und einen lernwirksamen Einsatz effektiver zu gestalten. In einer Metaanalyse untersuchten Bennett et al. (2007) anhand von 17 Studien, inwiefern kontextorientierte STS-Ansätze im Vergleich zum traditionellen Unterricht das Interesse der Lernenden und den Lernerfolg beeinflussen können. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem die Einstellungen der Schülerinnen und Schüler zu den Naturwissenschaften gesteigert und diesbezüglich zwischen Mädchen und Jungen weniger starke

Unterschiede als im traditionellen Unterricht gefunden werden können. Das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte ist in den meisten Studien auf ähnlichem Niveau, lediglich zwei Studien berichten von einem höheren Konzeptwissen beim Besuch eines STS-Unterrichts. Taasoobshirazi und Carr (2008) fokussieren sich in ihrer Metaanalyse auf den kontextorientierten Physikunterricht und stellen auch hier fest, dass im Vergleich zu traditionellen Unterrichtsansätzen eine Steigerung in der Motivation festzustellen ist. In Bezug auf die Lernwirksamkeit kritisieren die Autoren, dass nur wenige Studien diesen Aspekt untersuchen, gleichzeitig aber auch methodische Mängel aufweisen. Insgesamt fordern sie vermehrt systematische Untersuchungen mit stärker methodischer Kontrolle der Interventionen. Zum kontextbasierten Chemieunterricht stützt die Metaanalyse von Ültay und Çalık (2012) die oben genannten Ergebnisse. Die Autoren berichten von gesteigerter Motivation, einem höheren Enthusiasmus und positivere Einstellungen zum Fach Chemie. Vereinzelt zeigen die Studien positive Effekte auf den Lernerfolg, allerdings ist auch hier die Studienlage nicht eindeutig.

Bezüglich der Frage, welche Kontexte besonders für Schülerinnen und Schüler geeignet sind, konnte für den Chemieunterricht gezeigt werden, dass lebensweltliche Kontexte gegenüber Laborkontexten stärker das situationale Interesse und die Motivation beim Bearbeiten von Aufgaben in diesen Kontexten fördern können (Fechner, 2009; Kölbach und Sumfleth, 2013; Watzka und Girwidz, 2015). Um diese lebensweltliche Kontexte genauer zu spezifizieren, schlagen van Vorst et al. (2015) ein Modell zur Charakterisierung vor, in dem zwischen Authentizität und Bekanntheit sowohl auf Seiten der Person als auch des Kontexts unterschieden wird. So muss ein authentischer Kontext für die Schülerin oder den Schüler glaubwürdig erscheinen, was auf Ebene des Kontexts durch die Darstellungsform oder die Komplexität beeinflusst werden kann. Kontexte können darüber hinaus zum alltäglichen Leben gehören oder als besonders gelten, wenn sie nur selten erlebt werden. Zusätzlich kann auch die Aktualität einen Einfluss auf die Bekanntheit haben (van Vorst et al., 2015). Befragungen zum Interesse an Kontexten, welche über einen kurzen Text beschrieben und in diesen Dimensionen variiert wurden, ergaben, dass besondere Kontexte vor allem die emotionale Komponente des Interesses steigern, wohingegen die Aktualität keinen Einfluss zeigt (van Vorst, 2013). Werden besondere gegenüber alltäglichen Kontexten hinsichtlich ihres Einflusses auf das situationale Interesse beim Bearbeiten von Aufgaben, die in diesen Kontexten eingebettet sind, verglichen, zeigt sich, dass vor allem leistungsstarke und am Fach interessierte Schülerinnen und Schüler von besonderen Kontexten profitieren (Habig, van Vorst und Sumfleth, 2018; van Vorst und Aydogmus, 2021). Leistungsschwache Lernende können stärker von alltäglichen Kontexten profitieren, benötigen gleichzeitig aber auch eine ex-

plizitere Dekontextualisierung, um ihr Wissen auf neue Kontexte anwenden zu können (Habig, van Vorst und Sumfleth, 2018; Kehne, n. d.). Um die Transferfähigkeit zu steigern, konnten Podschuweit und Bernholt (2018) zeigen, dass diesbezüglich der Einsatz heterogener Kontexte geeignet ist. Sie verglichen eine Lernsituation, in der lediglich technische Kontexte zur Anwendung des gelernten Konzepts genutzt werden mit dem Einsatz von Kontexten aus unterschiedlichen Domänen (Biologie, Chemie, Technik). Lernende, die ihr Wissen auf Kontexte unterschiedlicher Domänen angewendet haben, konnten auch in neuen Situationen das Wissen besser anwenden. Gleichzeitig schnitten sie in abstrakten Aufgaben schlechter ab, sodass insgesamt kein größerer Lernerfolg in einer der beiden Gruppen festgestellt werden konnte. Auch zeigt der Vergleich unterschiedlicher Lernmaterialien, dass manche Phasen des differenzierten Problemlöseprozesses wie das Problemverständnis durch eine kontextorientierte Form der Instruktion und andere Phasen wie das Identifizieren der Variablen durch eine abstraktere Form stärker gefördert werden (Löffler & Kauertz, 2020).

Bezüglich der Art des Einsatzes von Kontexten wurden viele Ansätze entwickelt, um eine besonders authentische Einbettung fachlicher Inhalte zu ermöglichen, wie die *Anchored-Instruction* (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1990; Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1993). Die Idee war dabei, durch eine 15-20 minütige Videosequenz das Interesse der Lernenden zu verankern, sodass sie danach möglichst eigenständig komplexe Problemstellungen, die sich aus dem Video ergaben, lösen (Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1997). Aufgrund der positiven Evaluation des Ansatzes (vgl. Blumschein, 2003), wurde der Ansatz in modifizierter Form aufgegriffen, sodass statt einer Videosequenz ein Zeitungsartikel als verankerndes Element gewählt wurde (Kuhn, 2008). Im Vergleich zum einfachen einleitenden Text zeigt diese Darstellungsform deutlich positive Effekte auf die Motivation beim Lernen und auch auf die Lernleistung, wobei die Effekte lang- bzw. mittelfristig erhalten bleiben. Um die Autonomie und damit die Motivation während des Lernprozesses zu erhöhen wird aktuell erforscht, wie Lernende die Möglichkeit wahrnehmen, sich selbst einen Kontext auszusuchen, um innerhalb diesem die Inhalte zu bearbeiten (van Vorst und Aydogmus, 2021; Güth und van Vorst, 2021).

3 Interesse

Interessenförderung wird sowohl im Zusammenhang des fächerübergreifenden Unterrichts als auch der Kontextorientierung als ein zentrales Ziel genannt. Bereits Anfang des 19. Jahrhunderts wurden Bemühungen unternommen, den Interessenbegriff innerhalb der Psychologie als eindeutiges wissenschaftliches Konstrukt zu definieren (Herbart, 1806). Nachdem es zunächst nicht gelang, den wissenschaftlichen Begriff von der alltäglichen Bedeutung abzugrenzen, wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts vermehrt auf motivationale und emotionale Faktoren zurückgegriffen (Krapp, 1992). Erst seit den 1980er Jahren haben die Unzulänglichkeiten der Motivationstheorie dazu geführt, den Interessenbegriff in dem Maße auszuschärfen, wie er heute in der interessenbezogenen Forschung genutzt wird.

3.1 Interesse als Person-Gegenstands-Beziehung

Entsprechend der heutigen Auffassung wird Interesse als Person-Gegenstands-Beziehung verstanden (Krapp, 2002). Im Gegensatz zu anderen motivationalen Faktoren wie Zielorientierungen, Motiven oder Grundbedürfnissen unterscheidet sich das Interesse dadurch, dass es immer auf einen bestimmten Lerngegenstand gerichtet ist (Schiefele, 2009b). Krapp (2002) charakterisiert diese interessenbezogene Auseinandersetzung eines Individuums mit einem Gegenstand auf kognitiver, emotionaler und wertbezogener Ebene. Zunächst nennt er auf kognitiver Ebene ein breites und differenziertes Wissen über den Interessengegenstand. Gleichzeitig ist das Individuum mit seinem derzeitigen Wissensstand unzufrieden und strebt nach weiterem Wissen und Fähigkeiten zum Interessengegenstand, sodass eine hohe Bereitschaft zur Beschäftigung besteht (Krapp, 2002). Hier zeigen sich Parallelen des Interessenkonstrukts zum Konzept der Neugier, welches in dieser Hinsicht ebenfalls einen epistemischen Charakter aufweist (Berlyne, 1978). Ein differenziertes Wissen über ein Themengebiet kann dementsprechend als Folge von hohem Interesse entstehen, gleichzeitig kann es aber auch als Indikator für ein hohes Interesse beispielsweise bei jungen Kindern dienen, deren Handlungen stärker interessen geleitet sind (Krapp, 2002). Weiterhin erfährt das Individuum Während der

3.1 Interesse als Person-Gegenstands-Beziehung

Auseinandersetzung mit dem Gegenstand positive Gefühle (emotionale Ebene) und schätzt die Relevanz und persönliche Bedeutung des Gegenstands aus gesellschaftlicher oder auch individueller Perspektive als besonders hoch ein (wertbezogene Ebene). Durch das Erwecken positiver Emotionen können lernförderliche Faktoren verstärkt werden, wie eine hohe Aktivierung oder sogar das Erleben eines *flow*-Zustands (Nakamura & Csikszentmihalyi, 2014). Krapp (2002) betont, dass auch das Ansprechen der Grundbedürfnisse der Selbstbestimmungstheorie nach Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit diese emotionale Ebene beeinflussen können (Ryan, 1995). Die wertbezogene Komponente bezieht sich dagegen stärker auf die verhältnismäßig stabilen internen Wertvorstellungen einer Person. Ist der Interessengegenstand mit den bereits vorhandenen Wertvorstellungen verträglich, so gliedert sich dieser dort ebenfalls ein und wird für relevant erachtet (Schiefele, 2009b). Schließlich führen die oben genannten Aspekte zu einer besonders intrinsischen Auseinandersetzung der Person mit dem Gegenstand, sodass das Individuum vor allem durch die Aktivität selbst zur Beschäftigung ermutigt wird und weniger durch mögliche Folgen wie gute Noten oder Anerkennung bestärkt wird (Krapp, 2002).

Eine wesentliche Unterscheidung innerhalb des Konstrukts sind das individuelle Interesse und das situationale Interesse (Schiefele, 2009b). Das Konzept des individuellen Interesses kann als Personenmerkmal begriffen werden, welches als zeitlich relativ stabil angesehen werden kann. Dieses individuelle Interesse beschreibt, mit welcher Vorliebe sich eine Person mit einem spezifischen Gegenstand auseinandersetzt. Unter Lerngegenstände können Wissens- oder Erfahrungsgebiete, Objekte, Ideen oder auch bestimmte Aktivitäten bzw. Aufgaben fallen (Krapp, 2002). Neben dem zeitlich stabileren individuellen Interesse kann Interesse situationsspezifisch in Form von situationalem Interesse auftreten. Dieses wird durch die Eigenschaften der Lernsituation beeinflusst (Interessantheit). Dabei können Textmerkmale, Abbildungen oder Kontexte dazu dienen, das situationale Interesse zu erhöhen. Das situationale Interesse ist durch die affektive Reaktion einer Person auf Stimuli der erlebten Lernsituation geprägt und kann dementsprechend schnell wieder abklingen (Hidi und Renninger, 2006).

Krapp (1992) betont, dass sowohl das situationale als auch das individuelle Interesse keine in sich abgeschlossenen Konzepte darstellen, sondern als Aspekte eines komplexen Interessenkonstrukts aufgefasst werden müssen, die in Relation zueinander stehen. Abbildung 3.1.1 skizziert die Interaktion der einzelnen Facetten des Interessenkonstrukts innerhalb der Person-Gegenstands-Theorie. Sowohl individuelles Interesse als Disposition, als auch die Interessantheit der Lernumgebung stehen in Beziehung zueinander und beeinflussen den psychischen Interessenzustand einer Person (Hidi, 2000). Dieser Zu-

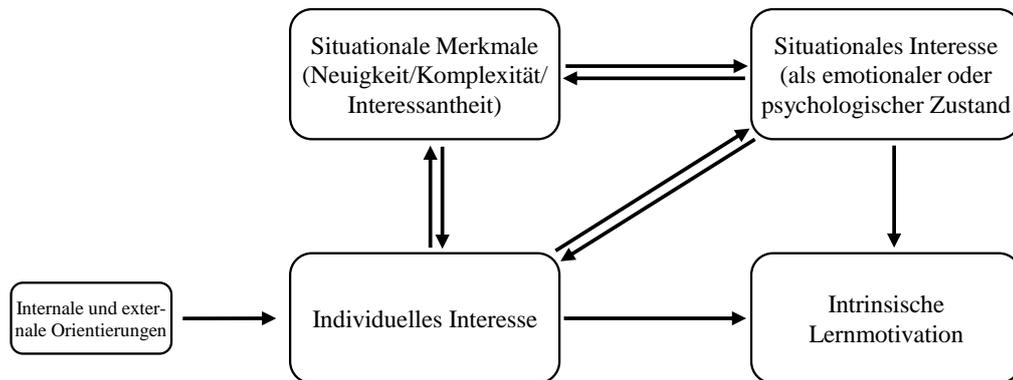


Abbildung 3.1.1. Konzeptualisierung von individuellem Interesse und situationalem Interesse in Abhängigkeit der Interessantheit der Lernumgebung nach Schiefele (2009b).

stand kann bereits als situationales Interesse bezeichnet werden (Schiefele, 2009b). Er kann zum einen durch das Aktivieren von bereits vorhandenen individuellen Interessen beeinflusst sein (aktualisiertes individuelles Interesse) oder durch die Interessantheit der Lernumgebung verursacht sein, die affektive Reaktionen hervorrufen (situationales Interesse; Schiefele, 2009b). Das situationale Interesse bestimmt den Interessenzustand einer Person hierbei vor allem dann, wenn sich noch kein individuelles Interesse ausgebildet hat (Krapp, 1992; Alexander et al., 1995).

Innerhalb der IPN-Interessenstudie für das Fach Physik wird die Person-Gegenstands-Theorie aufgegriffen und aus fachdidaktischer Perspektive erweitert (Hoffmann et al., 1998; Häussler und Hoffmann, 2000). Anknüpfend an die oben beschriebene Konzeption mit der Trennung von situationalem und individuellem Interesse, wird eine Unterscheidung innerhalb des individuellen Interesses zwischen dem physikalischen Themenbereich, dem Kontext, in dem der Lerngegenstand eingebettet ist und der auszuführenden Tätigkeit getroffen (Häussler & Hoffmann, 2000). Das so definierte topologische Interesse wurde in einer großen Studie empirisch untersucht, sodass gezeigt werden konnte, dass nicht allein die fachlichen Inhalte ausschlaggebend für das Interesse an einer bestimmten Lernaktivität sind (Hoffmann et al., 1998).

Neben der oben erwähnten Konzeptualisierung des Interessenkonstrukts existieren in der Literatur viele weitere Interpretationen und Operationalisierungen (Renninger & Hidi, 2011). Nennenswert ist ebenfalls die Konzeption des Interesses im RIASEC-Modell nach Holland (1997). Mit diesem Modell sollen sowohl innerschulische als auch außerschulische Interessen beschrieben und erklärt werden, indem einzelne Persönlichkeitstypen unterschieden werden (Blankenburg & Scheersoi, 2018). Die anfänglich für Berufswahlmotive entwickelten Typen sollen Personen bestimmten Fähigkeits- bzw. In-

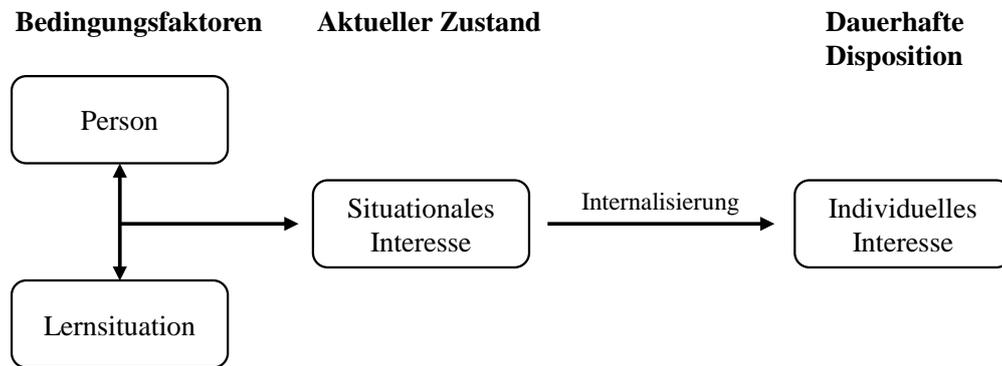


Abbildung 3.2.1. Entwicklung individueller Interessen nach Krapp (1998).

teressengebieten zuteilen und umfassen den realistischen, investigativen/forschenden, künstlerischen (*artistic*), sozialen, unternehmerischen (*enterprising*) und konventionellen (*conventional*) Typen. So ist beispielsweise der unternehmerische Typ vor allem an leitenden Aufgaben interessiert, wohingegen eine Person, die eher dem forschenden Typen zugeordnet wird, besonders analytisch bei der Bewältigung von Problemen vorgeht (Blankenburg & Scheersoi, 2018). Das Modell wurde weiterentwickelt und in der RIASEC+N Variante um eine kollaborative Netzwerk-Facette erweitert (Dierks et al., 2014; Dierks et al., 2016).

3.2 Interessenförderung

Die Entwicklung von stabilen Interessen stellt neben der Förderung inhalts- und prozessbezogener Kompetenzen ein wesentliches Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts dar (Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung, 1997; Krapp und Prenzel, 2011; Fortus et al., 2022). Hierbei gilt es zunächst, das situationale Interesse von Schülerinnen und Schüler anzusprechen, woraus sich im Anschluss ein stabiles individuelles Interesse entwickeln kann (Krapp, 1998; Abb. 3.2.1).

Mitchell (1993) zeigt innerhalb des Mathematikunterrichts, dass beispielsweise bestimmte Arbeitsmethoden oder Lernmaterialien geeignet sind, das situationale Interesse zu steigern. Insbesondere wird in der Studie deutlich, dass manche Maßnahmen das situationale Interesse punktuell und kurzfristig hervorrufen, während andere Maßnahmen in der Lage waren, das situationale Interesse länger aufrecht zu erhalten. So sorgen beispielsweise geeignete Sozialformen während der Arbeitsphase für ein kurzfristiges situationales Interesse (*catch*-Facette), während die Verdeutlichung der Relevanz

des Lerngegenstands oder das persönliche Einbinden der Lernenden das situationale Interesse über einen längeren Zeitraum steigern kann (*hold*-Facette).

Aufbauend unter anderem auf diesen Erkenntnissen schlagen Hidi und Renninger (2006) zur Beschreibung der Entwicklung von Interesse ein Vier-Phasen-Modell vor, demzufolge am Anfang das Erwecken von situationalem Interesse als psychischem Zustand insbesondere durch emotionale Reize der Lernumgebung, zum Beispiel durch Textmerkmale, Neuigkeitseffekte oder Lernmethoden geschieht (Hidi und Renninger, 2006; Renninger und Hidi, 2011). Als zweite Phase des Modells wird im Sinne der *hold*-Facette nach Mitchell (1993) das Aufrechterhalten des situationalen Interesses verstanden. Diese Phase kann ähnlich der vorangegangenen Phase typischerweise durch externe Faktoren erreicht werden und besteht über die einmalige Lernsituation hinaus (Hidi & Renninger, 2006). Verschiedene Handlungsweisen, wie das Verdeutlichen der persönlichen Bedeutsamkeit des Lerngegenstands, können helfen, dass das Interesse der Lernenden verstärkt bleibt (Krapp, 2007).

Durch das gefestigte situationale Interesse kann sich in der dritten Phase der Interessenentwicklung ein aufkeimendes individuelles Interesse entwickeln, welches sich durch positive Gefühle zum Lerngegenstand, aber auch durch bereits internalisierte kognitive Strukturen und Werte auszeichnet (Hidi und Renninger, 2006). Die Ausbildung des *emerging individual interest* führt zu einer Wertschätzung von Lernumgebungen zum Interessengegenstand seitens des oder der Lernenden, sodass eine häufigere selbstmotivierte Auseinandersetzung mit dem Thema wahrscheinlicher wird (vgl. Renninger und Hidi, 2002). Gleichzeitig erscheint die Beschäftigung mit dem Gegenstand weniger anstrengend, sodass die Resilienz bei anspruchsvollen Aufgaben steigt (vgl. Lipstein und Renninger, 2006).

Die letzte Phase bildet das ausgebildete und zeitlich stabile individuelle Interesse (*well-developed individual interest*; Hidi und Renninger, 2006). Dem Lerngegenstand gegenüber herrschen positive Gefühle vor und die Bedeutsamkeit wird als besonders hoch angesehen. Über die vorherige Phase hinaus ist das Wissen über den Lerngegenstand gestiegen (Hidi & Renninger, 2006). Die Person ist eher bereit, Ressourcen zur Beschäftigung mit dem Lerngegenstand aufzuwenden und tendiert dazu, diese Anstrengung nicht als belastend wahrzunehmen (Renninger und Hidi, 2002; Lipstein und Renninger, 2006). Hierdurch können wiederum verschiedene Problemlösestrategien erarbeitet und ein tiefergehendes Verständnis des Lerngegenstands ausgebildet werden (vgl. Alexander und Murphy, 1998; Hidi und Renninger, 2006). Innerhalb des Vier-Phasen-Modells kann jede Phase durch unterschiedliche kognitive, emotionale und wertbezogene Zustände charakterisiert werden, sodass am Anfang lediglich die emotionale Komponente

stark angesprochen wird, während zum Erreichen einer späteren Interessenphase auch ein hohes Wissen und eine hohe persönliche Wertvorstellungen zum Interessengegenstand vorliegen müssen (Renninger & Hidi, 2011).

3.3 Empirischer Forschungsstand

In zahlreichen Studien wurde das individuelle Interesse von Personen verschiedener Altersgruppen erforscht, wobei generell zwischen Berufsinteressen und Freizeitinteressen unterschieden werden kann. Im Folgenden werden Studien vorgestellt, die vor allem individuelle Interessen von Schülerinnen und Schülern an Schulfächern oder schulbezogenen Themen untersucht haben und im Hinblick auf das Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit von besonderer Relevanz sind.

Daniels (2008) betrachtet die Entwicklung individueller Interessen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I an den schulischen Fächern Biologie, Physik, Mathematik, Englisch und Deutsch im Rahmen der BIJU-Studie (Bildungsprozesse und psychosoziale Entwicklung im Jugendalter). In einem Längsschnitt wurden Daten zu Beginn, in der Mitte und am Ende der 7. Klasse im Schuljahr 1991/1992 und am Ende der 10. Klasse aufgenommen. Der Vergleich zwischen den einzelnen Fächern wird erschwert, da die Interessen zu den einzelnen Messzeitpunkten zum Teil mit verschiedenen Skalen abgefragt wurden. Trotzdem können einzelne Ergebnisse aus den Daten gezogen werden. So ist das Interesse an Mathematik und Englisch zu Beginn der 7. Klasse auf hohem Niveau, allerdings sinkt insbesondere das Interesse an Mathematik bis zur 10. Klasse. Das Interesse am Fach Physik ist gegenüber allen anderen untersuchten Fächern am geringsten ausgeprägt, während Englisch, Biologie und Mathematik am interessantesten wahrgenommen werden. Darüber hinaus zeigen die Befunde, dass innerhalb der 7. Jahrgangsstufe das Interesse an allen untersuchten Fächern sehr stark abnimmt und bis zum Ende der 10. Klasse auf einem niedrigeren Niveau bleibt. In den Fächern Englisch und Deutsch fällt diese Abnahme geringer aus als in den mathematisch-naturwissenschaftlichen Fächern. Große geschlechtsspezifische Unterschiede können bezüglich der Interessen an Mathematik und Physik festgestellt werden. Hier weisen Jungen ein höheres Interesse als Mädchen auf. Im Fach Physik ist dieser Unterschied besonders ausgeprägt, wobei das Interesse der Jungen stärker abnimmt als das der Mädchen, sodass sich die Interessenniveaus angleichen. Zur Erklärung der Interessenabnahme können entwicklungspsychologische Prozesse und eine Ausdifferenzierung der Interessen genannt werden, aber auch eine schlechte Passung des Unterrichts auf die Bedürfnisse von Schülerinnen und Schüler kann zu einer Reduzie-

rung des Interesses führen. Aus unterrichtspraktischer Perspektive können Lehrkräfte vor allem den letztgenannten Aspekt beeinflussen, sodass hier Maßnahmen getroffen werden sollten, um einem Interessenrückgang entgegen zu wirken. Auch Merzlyn (2008) weist auf das geringe Interesse vor allem an den naturwissenschaftlichen Fächern Physik und Chemie hin. Als Begründung nennt er auf der einen Seite ebenfalls das fehlende Eingehen auf persönlich relevante Phänomene und darüber hinaus die hohe Stofffülle, welche schnell zur Resignation seitens der Schülerinnen und Schüler führen kann.

Speziell für den Physikunterricht untersucht die IPN-Interessenstudie, an welchen Themengebieten (z. B. Optik, Mechanik), Tätigkeiten (z. B. rezeptiv, praktisch) und Kontexten (z. B. Beruf, Wissenschaft, Gesellschaft) Schülerinnen und Schüler interessiert sind (Hoffmann et al., 1998). Innerhalb der Studie wurden die Schülerinnen und Schüler nach ihrem Interesse an einer Kombination der drei Aspekte gefragt (z. B. „Ein einfaches optisches Gerät (z. B. Mikroskop, Fernrohr o. Fotoapparat) aus Glaslinsen und schwarzer Pappe selbst bauen“; Hoffmann et al., 1998, S. 142). Ein zentrales Ergebnis der Studie ist die Unterteilung in drei verschiedene Interessentypen, welche sich vor allem in Ihrem Interesse für die wissenschaftliche Perspektive der Physik, ihren Anwendungscharakter oder den Bezug zur Gesellschaft unterscheiden (Rost et al., 1999). Darüber hinaus gibt die Analyse der Antworten auf die gefragten Themengebiete Aufschluss, woran Schülerinnen und Schüler besonders interessiert sind. Es zeigen sich hierbei ebenfalls starke geschlechtsspezifische Unterschiede. So sind Mädchen eher als Jungen an physikalischen und technischen Anwendungen in der Medizin interessiert. Aber auch an Naturphänomenen wie dem Wetter oder der Entstehung der Farben am Himmel sind sie interessiert. Jungen sind im Mittel interessierter als Mädchen. Besonders große Unterschiede zeigen sich bei technischen Anwendungen beispielsweise im militärischen Kontext oder im Bereich der Elektrizitätslehre (Hoffmann et al., 1998). Auch die ROSE-Studie (*Relevance of Science Education*) untersucht die Interessen von Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I an verschiedenen naturwissenschaftlichen Fragestellungen (Schreiner und Sjøberg, 2004; Sjøberg und Schreiner, 2010). Aufgrund der internationalen Durchführung der Studie konnten neben geschlechtsspezifischen auch länderspezifische Unterschiede analysiert werden. Als zentrales Ergebnis der Studie konnte festgestellt werden, dass über Ländergrenzen hinweg gegenüber den Naturwissenschaften eine positive Einstellung der Schülerinnen und Schüler zum Ende der Sekundarstufe I besteht. Allerdings lassen sich vereinzelt ein Skeptizismus und ein verringerter Enthusiasmus gegenüber den Naturwissenschaften in den stärker entwickelten Staaten finden. Bezüglich einzelner naturwissenschaftlicher Themen lassen sich genderspezifische Unterschiede finden, sodass Jungen stärker als Mädchen an techni-

schen, mechanischen oder elektrischen Themen interessiert sind, während Mädchen stärker an den Bereichen wie Gesundheit und Medizin, Schönheit und der menschliche Körper oder übermenschlichen Dingen interessiert sind. Besonders starke Unterschiede zwischen den Geschlechtern zeigen sich bei den Themen der Funktionsweise eines Verbrennungsmotors (Jungen) und der gesunden Ernährung (Mädchen). Aus den insgesamt 108 Items der Rose-Studie konnten Holstermann und Bögeholz (2007) für deutsche Schülerinnen und Schüler mittels Hauptkomponentenanalyse Interessensfaktoren identifizieren, die ebenfalls von den Jungen und Mädchen als zum Teil unterschiedlich interessant wahrgenommen werden. Es zeigt sich, dass Mädchen stärker als Jungen an den Gebieten Krankheiten und Epidemien, Körperfunktionen und -bewusstsein und Übersinnliches interessiert sind, Jungen hingegen besonders Physik und Technik, sowie gefährliche Anwendungen interessant finden.

Innerhalb der jüngsten PISA-Studie mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt konnten die oben berichteten geschlechtsbezogenen Ergebnisse bestätigt werden. So gehört Deutschland im Vergleich zu den übrigen Teilnehmerstaaten zu den Ländern mit dem größten festgestellten Unterschied im Interesse an den Naturwissenschaften zwischen Jungen und Mädchen (OECD, 2016). Innerhalb des OECD-Durchschnitts zeigt sich darüber hinaus, dass Jungen stärker als Mädchen an den Themenfeldern Bewegungen und Kräfte, sowie Energie und ihre Umwandlung interessiert sind, Mädchen sich hingegen stärker dafür interessieren, wie Naturwissenschaften helfen können, Krankheiten zu verhindern (OECD, 2016).

Im Gegensatz zu individuellem Interesse ist situationales Interesse als psychischer Zustand zu verstehen, welcher sowohl durch bereits bestehendes individuelles Interesse, als auch die Interessanztheit der Lernumgebung beeinflusst wird. Es handelt sich hierbei also um ein situationsspezifisches und situatives Konstrukt, welches durch äußere Einflüsse manipuliert werden kann (Knogler et al., 2015). In empirischen Studien ließen sich Faktoren identifizieren, welche in Bezug auf das Vier-Phasen-Modell der Interessenentwicklung nach Hidi und Renninger (2006) dieses situationale Interesse fördern. So können beispielsweise Lesegeschichten im Chemieunterricht gegenüber reinen Sachtexten das situationale Interesse insbesondere von Mädchen steigern, sodass diese sich länger mit dem Gegenstand beschäftigen und einen höheren Lernerfolg zeigen (Reschke et al., 2020). Im Rahmen des naturwissenschaftlichen Unterricht können Unstimmigkeiten im Sinne von kognitiven Konflikten oder auch Überraschungseffekte situationales Interesse auslösen, während zur Aufrechterhaltung kooperative Arbeitsphasen mit Diskussionen und hohen eigenverantwortlichen Anteilen dienen können (Palmer et al., 2017). Insbesondere kognitive Konflikte können durch das Verdeutlichen der Defizite

im eigenen Wissen den Willen hervorrufen, mehr über den Lerngegenstand zu erfahren (epistemischer Charakter; Rotgans und Schmidt, 2011; 2014). Im Zusammenhang des naturwissenschaftlichen Unterrichts konnten Schüttler et al. (2021) zeigen, dass der Einsatz von authentischen Laborgeräten ebenfalls das epistemische situationale Interesse steigern kann und das Lernen an einem authentischen Lernort die Relevanz des Inhalt verdeutlichen kann. Eine hohe Wertschätzung des Lerngegenstands kann dabei schließlich zur Aufrechterhaltung des situationalen Interesses führen (Mitchell, 1993; Harackiewicz et al., 2008; Linnenbrink-Garcia et al., 2010; Renninger et al., 2019).

Die Berücksichtigung der Grundbedürfnisse nach Deci und Ryan (2002) kann ebenfalls das situationale Interesse fördern, wobei die Unterstützung der sozialen Eingebundenheit vor allem die *catch*-Facette anspricht und das Kompetenzerleben eher eine Erhöhung der *hold*-Facette bewirkt (Lewalter & Geyer, 2009). Die wahrgenommene inhaltliche Relevanz des Lerngegenstands hat hierbei einen starken Effekt auf beide Facetten (ebd.). Der letztgenannte Aspekt kann vor allem dann zur Aufrechterhaltung des situationalen Interesses dienen, wenn die Lernenden in der Lage sind, auf bereits vorhandenes Wissen zurückzugreifen und dieses anzuwenden (Renninger et al., 2019). Die Autoren weisen allerdings ferner darauf hin, dass es sich bei der Interessenentwicklung um einen komplexen Prozess handelt, der durch ein Zusammenspiel vieler Faktoren gelingen oder auch misslingen kann. In empirischen Studien ließen sich Faktoren identifizieren, welche in Bezug auf das Vier-Phasen-Modell der Interessenentwicklung nach Hidi und Renninger (2006) eher situationales Interesse auslösen (Phase 1) oder situationales Interesse erhalten (Phase 2).

3.4 Interesse und Selbstkonzept

Als Selbstkonzept ist die Wahrnehmung der eigenen Person zu verstehen, welche durch die Erfahrungen mit der Umwelt entwickelt und durch diese beeinflusst werden (Shavelson et al., 1976). Strukturell ist das Selbstkonzept in mehreren Dimensionen organisiert, wobei grundsätzlich das akademische Selbstkonzept, welches aus verschiedenen wissenschaftlichen Teilgebieten besteht, vom nicht-akademische Selbstkonzept unterschieden werden kann (Abb. 3.4.1). Letztes kann beispielsweise soziale Gebiete, wie die Eingebundenheit in Peergruppen oder physische Domänen, wie Sport oder äußere Merkmale umfassen. Das Selbstkonzept gilt als stabil und ist hierarchisch organisiert, sodass sich Teilgebiete wiederum in Unterthemen aufgliedern, wobei Selbstkonzepte von Kategorien unterer Ebenen als leichter veränderbar gelten. Die Struktur kann sich im Laufe des Lebens wandeln und differenziert sich dabei immer stärker aus, sodass vor allem

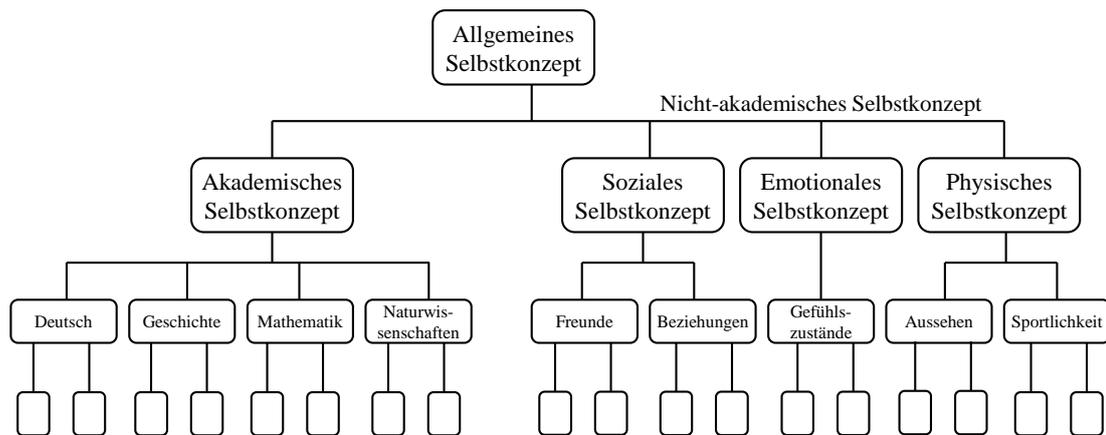


Abbildung 3.4.1. Hierarchische Struktur des Selbstkonzepts in verschiedenen Dimensionen (nach Shavelson et al., 1976).

sehr junge Kinder ein eher globales Selbstkonzept aufweisen (Shavelson et al., 1976). Bezüglich des akademischen Selbstkonzepts fanden Marsh et al. (1988) mit dem mathematischen und dem verbalen Selbstkonzept zwei übergeordnete Facetten, welche auf die Selbstkonzepte der verschiedenen Wissensgebiete wirken. In der vorliegenden Arbeit wird unter schulischem Selbstkonzept die fähigkeitsbezogene Selbsteinschätzung in den verschiedenen Schulfächern im Sinne des akademischen Selbstkonzepts verstanden (vgl. Möller und Köller, 2004; Daniels, 2008).

Aus theoretischer Perspektive lässt sich durch die Selbstbestimmungstheorie ein Einfluss des Selbstkonzepts, was einem Kompetenzerleben nahe kommt, auf das Interesse begründen (vgl. Deci und Ryan, 2000). Auch empirisch lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem individuellen Interesse und dem Selbstkonzept finden (Häussler und Hoffmann, 2000; Cheung, 2018). Längsschnittliche Untersuchungen deuten dabei auf einen kausalen Zusammenhang des Selbstkonzepts auf das Interesse hin (Wigfield und Eccles, 2002; Marsh et al., 2005), wobei die Studienlage diesbezüglich nicht eindeutig ist (z. B. Jack et al., 2014). Darüber hinaus kann beobachtet werden, dass Schülerinnen und Schüler mit einem höheren Selbstkonzept einen geringeren Interessenabfall als solche mit einem niedrigen Selbstkonzept aufweisen (Daniels, 2008). Bezüglich den Naturwissenschaften und Technik zeigen Jungen ein höheres Selbstkonzept als Mädchen (Rüschpöhler und Markic, 2019). Neben dem Effekt auf das individuelle Interesse lässt sich in konkreten Lernsituationen auch ein Einfluss des Selbstkonzepts auf das situationale Interesse feststellen (Fryer et al., 2016).

3.5 Interesse und Lernen

Als wesentliche Schülerfaktoren, welche das Lernen beeinflussen, werden in der Literatur die kognitiven Voraussetzungen (z. B. Intelligenz), motivationale Faktoren wie das Leistungsmotiv und die Interessen, also die Vorlieben für bestimmte Lerninhalte oder Tätigkeiten gesehen (Schiefele et al., 1993). Um eine gesteigerte Lernleistung durch ein hohes Interesse theoretisch zu begründen, unterscheidet Krapp (1992) in einem Modell zunächst zwischen Effekten auf die interpersonellen kognitiven Wissensrepräsentationen und auf Leistungen in objektiven Tests oder Noten. Die beiden Komponenten können divergieren, wenn der oder die Lernende andere Kriterien an das persönliche Verständnis des Themengebiets legt als die Lehrkraft. Als Erklärung für einen positiven Einfluss auf diese Variablen nennt Krapp zwei Wirkebenen. Auf der oberen Ebene beeinflusst das Interesse allgemeinere Orientierungen, mit denen das Lernverhalten organisiert und überwacht wird. Untergeordnet führt Interesse zu einer Anpassung des konkreten Lernverhaltens, wie der Aktivierung, Aufmerksamkeit oder dem Flow-Erleben (Krapp, 1992).

Auch empirisch wurde der Einfluss des Interesses auf die Lernleistung untersucht. So konnten Schiefele et al. (1993) in einer Metaanalyse eine Korrelation zwischen dem Interesse und der schulischen Leistung von $r = 0.30$ feststellen, wobei der Zusammenhang zwischen den beiden Variablen bei Jungen stärker ausgeprägt war als bei Mädchen. Darüber hinaus ist die Korrelation in Physik im Vergleich mit anderen Fächern besonders hoch. Die Ergebnisse der IPN-Interessenstudie für Physik zeigten mit $r = -0.38$ eine ähnliche Korrelation zwischen dem Fachinteresse und der Schulnote (Hoffmann et al., 1998). Auch die Ergebnisse der PISA-Studie innerhalb der OECD-Länder zeigen, dass ein hohes Interesse mit einer höheren erreichten Punktzahl korreliert ($r = 0.28$; OECD, 2016). Die kausalen Zusammenhänge zwischen dem Interesse und der Lernleistung sind dabei nicht abschließend geklärt. Beispielsweise fanden Rotgans und Schmidt (2017) lediglich einen kausalen Effekt der Lernleistung auf das individuelle Interesse, während Höft und Bernholt (2019), eine gegenseitige positive Beeinflussung der Variablen Interesse und Konzeptwissen nachweisen konnten.

Krapp und Prenzel (2011) betonen, dass die Bedeutung der Interessenförderung in den Naturwissenschaften nicht ausschließlich in einem starken Zusammenhang zwischen Interesse und dem Abschneiden in Leistungstests liegt, sondern vielmehr durch den Einfluss für lebenslanges Lernen und der Entscheidung für naturwissenschaftliche Laufbahnen gegeben ist. Diesem Gedanken folgend untersuchten Taskinen et al. (2013), inwiefern affektive Schülerfaktoren die Wahl für naturwissenschaftliche Karrie-

3.5 Interesse und Lernen

ren beeinflussen. Sie konnten zeigen, dass sowohl ein hohes Interesse als auch ein hohes Selbstkonzept durch Schulfaktoren wie zusätzliche Lerngelegenheiten oder die Verdeutlichung der Relevanz fachlicher Inhalte für das Alltagsleben im Unterricht beeinflusst werden können und ihrerseits die Einstellung gegenüber der Wahl naturwissenschaftlicher Berufe steigern können.

4 Zielsetzung und Forschungsfragen der Arbeit

In den vorherigen Kapiteln wurden theoretische Überlegungen und empirische Befunde zum fächerübergreifenden Unterricht dargestellt. Es zeigt sich, dass vor allem die empirische Studienlage diesbezüglich nur gering ist und wenige Ergebnisse zur Effektivität des fächerübergreifenden Unterrichts vorliegen. Die Interpretation der Feldstudien gestaltet sich schwierig, da unklar ist, in welcher Weise inhaltlicher Fächerübergreif in den Naturwissenschaften an den Schulen tatsächlich stattfindet. Durch die Lehrpläne und Kerncurricula wird auf Ebene der Stundentafel die Unterrichtsorganisation festgelegt und bestimmt, ob der Unterricht in einem integrierten Fach stattfindet. Auch die Inhalte werden vorgegeben, indem in den meisten Bundesländern fächerübergreifende Themengebiete benannt werden, in denen Konzepte der verschiedenen Domänen im Sinne fächerverknüpfenden Unterrichts behandelt werden sollen. Solche Themengebiete können zum Beispiel durch „Wasser und seine Erscheinungsformen“ (5/6) oder „Mobilität“ (7/8) gegeben sein (Niedersächsisches Kultusministerium, 2020b). Es stellt sich die Frage, inwiefern bei diesem additiven Ansatz Inhalte der einzelnen Domänen systematisch miteinander vernetzt werden, indem Konzepte mehrerer Disziplinen aufeinander bezogen oder gemeinsam zur Lösung eines Problems herangezogen werden. Um dieser Frage nachzugehen, soll in der vorliegenden Arbeit in einer ersten Studie anhand einer Analyse der Sachstruktur der naturwissenschaftliche Unterricht hinsichtlich des Fächerübergreifens untersucht werden und dabei das integrierte Fach mit den ausdifferenzierten Fächern empirisch verglichen werden. Die Sachstruktur soll dabei aus Texten von Schulbüchern automatisiert mittels *Natural-Language-Processing*-Techniken (NLP) extrahiert werden. Naturwissenschaftliche Termini stellen in der Sachstruktur die zentralen Knotenpunkte dar, deren gemeinsames Auftreten und damit der Bezug zueinander festgestellt werden soll. Aus diesem Grund sollen zunächst durch Nutzung computerlinguistischer Methoden bildungssprachliche Wörter, sowie naturwissenschaftliche Termini und deren Zuordnung zu den drei Fachdisziplinen Biologie, Chemie und Physik bestimmt werden. Da es sich hierbei nicht um eine etablierte Technik der naturwissen-

schaftsdidaktischen Forschung handelt, stellt sich folgende erste Forschungsfrage.

F1.1 Inwiefern lassen sich bildungssprachliche und naturwissenschaftliche Termini automatisiert aus naturwissenschaftlichen Schulbüchern der Sekundarstufe I extrahieren und den einzelnen Disziplinen Biologie, Chemie und Physik zuordnen?

Ein Vergleich zwischen menschlichem Rater und dem entwickelten *Machine-Learning*-Algorithmus zur Kodierung dient der Beantwortung der Forschungsfrage. Nach positiver Evaluation der ersten Forschungsfrage kann der Algorithmus angewendet werden, um die in den naturwissenschaftlichen Schulbüchern auftretenden Wörter zu kodieren und in einer deskriptiven Analyse die einzelnen Fachdomänen und Unterrichtsarten zu kontrastieren. Dementsprechend lässt sich folgende Forschungsfrage formulieren:

F1.2 Inwiefern unterscheidet sich die Nutzung bildungs- und fachsprachlichen Vokabulars in Schulbüchern zwischen den Disziplinen Biologie, Chemie und Physik, den einzelnen Schuljahrgängen, sowie zwischen fächergetrenntem und integriertem naturwissenschaftlichen Unterricht?

Durch die Beantwortung dieser Forschungsfrage lassen sich die einzelnen naturwissenschaftlichen Disziplinen charakterisieren, um Ergebnisse der anschließenden Analyse fundierter einordnen zu können.

Schließlich soll der Fächerübergreif in den Schulbüchern analysiert werden.

F1.3 Inwiefern unterscheidet sich der Fächerübergreif in Schulbüchern des gefächerten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts hinsichtlich des gemeinsamen Auftretens naturwissenschaftlicher Termini, auch im Hinblick auf zentrale physikalische Konzepte?

Zur Analyse des Fächerübergreif wird das gemeinsame Auftreten von naturwissenschaftlichen Termini unter Berücksichtigung ihrer vorher kodierten Fächerzugehörigkeit gemessen, wobei zwischen dem gemeinsamen Auftreten auf Satz- und Seitenebene unterschieden wird. Entsprechend der in den Argumenten für fachsystematischen Unterricht angeführten stärkeren Logik der Abfolge von Fachinhalten kann davon ausgegangen werden, dass sich diese klar strukturierte Abfolge auch in den Schulbüchern des fächergetrennten Unterrichts wiederfindet. Da allerdings auch in fächergetrennten Schulbüchern nach der fachsystematischen Einführung von Konzepten Exkurse beispielsweise zur Anwendung dieser Konzepte in anderen Kontexten vorgenommen werden, kann nicht zwingend angenommen werden, dass in diesen Schulbüchern kein

Fächerübergreifend stattfindet. Dennoch kann erwartet werden, dass in den Schulbüchern des integrierten Fachs durch die curriculare Vorgabe der übergreifenden Themeneinheiten ein stärkerer Fächerübergreifend und somit ein häufigeres gemeinsames Auftreten von Termini unterschiedlicher Disziplinen zu beobachten sein wird.

Die geringe Studienlage zur Wirksamkeit fächerübergreifenden Unterrichts ist auch auf die erschwerte Kontrolle der äußeren Bedingungen wie Schulform, Lerngruppe oder Lehrkräfte zurückzuführen, sodass wenige Untersuchungen vorliegen (Labudde, 2014). Zwar fordern viele Studien bereits seit langer Zeit vor allem die Nutzung biologischer Inhalte im Physikunterricht zur Berücksichtigung der Interessen von Mädchen, systematische Interventionen zum Vergleich mit „traditionellen“ Kontexten stehen allerdings noch aus. Aus diesem Grund soll in der vorliegenden Arbeit durch eine zweite Studie diesem Desiderat nachgegangen werden. Im Sinne der Kontextorientierung sollen Lernumgebungen verglichen werden, in denen Inhalte der Physik auf Kontexte der Biologie und Technik angewendet werden. So kann eine Fachüberschreitung nach Labudde und Schecker (2021) erreicht werden, die systematisch variiert und analysiert werden kann. Als zentrale abhängige Variable wird das situationale Interesse als psychischer Zustand erhoben, welcher durch eine Veränderung der Interessanztheit der Lernumgebung durch die Domäne des Kontexts beeinflusst werden soll.

F2.1 Inwiefern lässt sich das situationale Interesse von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Lernaufgaben durch den Einsatz von Mikrokontexten aus verschiedenen Domänen (Biologie und Technik) beeinflussen?

Aufgrund vergleichbarer Interventionen, die in den vorherigen Kapiteln aufgeführt wurden, kann davon ausgegangen werden, dass sich hier zwischen den Geschlechtern unterschiedliche Effekte zeigen werden und Mädchen interessierter bei der Bearbeitung von Aufgaben im biologischen Kontext sind, während Jungen den technischen Kontext bevorzugen. Denkbar ist ebenfalls, dass der biologische Kontext über die Gesamtheit der Schülerinnen und Schüler als interessanter wahrgenommen wird, da Mädchen an technischen Kontexten ein starkes Desinteresse zeigen, Jungen aber keinen großen Unterschied zwischen den beiden Domänen zeigen (Müller, 2006; Holstermann und Bögeholz, 2007).

Im Zusammenhang dieser Studie sollen weitere unabhängige Variablen erhoben werden, um das situationale Interesse genauer erklären zu können. Neben der Kontextdomäne (Biologie oder Physik) und dem Geschlecht sollen individuelles Interesse an und Selbstkonzept in Physik, Biologie und Technik, sowie die Physikleistung durch die aktuelle Physiknote erfragt werden.

F2.2 Welchen Einfluss haben hierbei individuelle Faktoren (individuelles Interesse, Selbstkonzept, Physikleistung) auf das situationale Interesse?

Entsprechend theoretischer Auffassungen und empirischen Befunden kann erwartet werden, dass das individuelle Interesse an Physik einen besonders hohen Einfluss auf das situationale Interesse zeigt (vgl. Schiefele, [2009b](#)). Unklar ist, in welchem Maße das individuelle Interesse an der Kontextdomäne ebenfalls das situationale Interesse beeinflussen kann und ob diese Effekte sogar einen ähnlichen Beitrag leisten wie das individuelle Interesse an Physik. Darüber hinaus konnte in empirischen Studien ein Einfluss des Selbstkonzepts auf das individuelle Interesse, aber auch das situationale Interesse gezeigt werden, sodass angenommen werden kann, dass diese Variable ebenfalls signifikant zur Erklärung beiträgt.

Teil II Horizontale Vernetzung in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts

Ziel der vorliegenden Studie ist es, einen Einblick in die Praxis des naturwissenschaftlichen Unterrichts der Sekundarstufe I zu erhalten und diesen bezüglich des Fächerübergriﬀs zu analysieren. Als Untersuchungsmaterial dienen die textlichen Inhalte von Schulbüchern der Sekundarstufe I, deren Sachstrukturen zunächst automatisiert extrahiert werden. Hierbei steht im Vordergrund, inwiefern naturwissenschaftliche Konzepte unter Betrachtung der jeweiligen Fachzugehörigkeit miteinander in Bezug gesetzt werden. Auf Grundlage der gewonnenen Daten werden dann Schulbücher des integrierten Fachs Naturwissenschaften mit Schulbüchern des gefächerten Unterrichts hinsichtlich der horizontalen Vernetzung zwischen den Disziplinen verglichen.

5 Schulbücher und ihre Sachstrukturen

Da sich das Forschungsinteresse der vorliegenden Studie auf die gesamte Sekundarstufe I bezieht, sollen Schulbücher als Annäherung an den durchgeführten Unterricht dienen. Diese bilden die gesamten, durch Lehrpläne und Kerncurricula geforderten Inhalte ab, während gleichzeitig das Wissen in größeren Kontexten eingeführt und angewendet wird. Schulbücher werden in den vergangenen Jahren immer häufiger als Forschungsobjekt betrachtet, wobei häufig die behandelten Inhalte im Zentrum des Interesses stehen (Vojír & Rusek, 2019). Neben den durch Lehrpläne formulierten Leistungszielen und Abschlussprüfungen können sie als Steuerungsinstrument des Unterrichts aufgefasst werden (Oelkers und Reusser, 2008; Bierema et al., 2017). Neben dem schülerbezogenen Einsatz nutzen Lehrkräfte in den Naturwissenschaften Schulbücher vor allem zur Vorbereitung ihres eigenen Unterrichts (Merzyn, 1994; Härtig et al., 2012; Devetak und Vogrinc, 2013).

Die Messung unterrichtlicher Sachstrukturen wurde in Deutschland durch das unbefriedigende Abschneiden deutscher Schülerinnen und Schüler in den internationalen Schulleistungsstudien TIMSS und PISA, insbesondere im Bereich des tieferen Ver-

ständnisses physikalischer Konzepte und Begriffe, angestoßen. Vom IPN wurde daraufhin eine Videostudie durchgeführt, um die Lehr- und Lernprozesse im Physikunterricht genauer zu analysieren (Prenzel et al., 2002). Neben weiteren Forschungsschwerpunkten wurden Sachstrukturen der videografierten Unterrichtsstunden genauer betrachtet und untersucht. Müller und Duit (2004) haben hierfür die Sachstrukturen in Form von Flussdiagrammen dargestellt, in denen die Inhalte des Unterrichts und deren Beziehungen zueinander abgebildet wurden. Als Inhalte werden dabei „Begriffe, Prinzipien [und] Anwendungskontexte“ verstanden (S. 150). Pfeile visualisierten dabei die Beziehung zwischen inhaltlichen Blöcken, wobei diese chronologisch aufeinander folgen, in wechselseitiger Beziehung stehen oder sachlogisch aufeinander aufbauen können. Auf diese Weise wurde in Abgrenzung zur wissenschaftlichen Sachstruktur der Fachdisziplin Physik die unterrichtliche Sachstruktur in Form eines Skripts der Unterrichtsstunde nachgebildet. Diesem Forschungsansatz folgen auch weitere Studien, welche sich mit videografiertem Unterrichtsmaterial auseinandergesetzt haben (vgl. Brückmann, 2009; Liepertz, 2017). Die Analysen zeigen, dass eine starke Verknüpfung unterrichtlicher Elemente und das Einbeziehen des Vorwissens der Schülerinnen und Schüler ein Qualitätsmerkmal von Unterricht darstellen und mit dem Lernerfolg korrelieren (Müller und Duit, 2004; Liepertz, 2017). In anderen Ausgliederungen der IPN-Videostudie wurde stärker die vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen innerhalb des Chemie- und Physikunterrichts fokussiert. Für das Maß an vertikaler Vernetzung schlagen Fischer et al. (2007) ein Modell vor, welches zwischen dem Behandeln von Fakten, Zusammenhängen oder übergeordneten Konzepten unterscheidet. Schülerinnen und Schüler, welche von Lehrkräften unterrichtet wurden, die in den videografierten Unterrichtsstunden ein hohes Vernetzungsniveau aufwiesen, zeigten auch stärker vernetzte Wissensstrukturen, die sich durch Concept Maps messen ließen (Neumann et al., 2008). Im Rahmen des Projekts *Quality of Instruction in Physics* analysierten Helaakoski und Viiri (2014) Sachstrukturen videografierten Unterrichtsstunden in der Schweiz, Deutschland und Finnland. Sachstrukturen wurden dabei im Sinne von Concept Maps erhoben, in denen Knotenpunkte durch fachliche Konzepte oder Objekte gebildet werden, die durch Propositionen bzw. Sätze miteinander verknüpft sind. Es zeigte sich, dass die Anzahl verschiedener Konzepte und die Anzahl an verbundener Konzepte besonders stark mit dem Lernerfolg der Schülerinnen und Schüler korreliert. Auch in anderen Studien wurden Sachstrukturen im Sinne von Concept Maps erhoben, wobei nicht nur videografierten Unterricht, sondern auch Lehrpläne und Schulbücher als Quelle dienten (Neumann et al., 2006; Härtig, 2010). An diese Arbeiten anschließend, sollen in der vorliegenden Arbeit ebenfalls Sachstrukturen in Form von Concept Maps erstellt werden. Knoten

werden dabei durch solche Termini gebildet, welche „in einem bestimmten, fachlich dominierten Inhalt [...] verwendet“ werden und innerhalb dieses Inhalts eindeutig definiert sind (Härtig, 2010, S. 8). Darüber hinaus sollen die Termini den Kategorien Biologie, Chemie, Physik oder einer Kombination dieser Domänen zugeordnet werden. Zwei Termini sind genau dann über eine Relation miteinander verbunden, wenn sie innerhalb einer festgelegten Weite aufeinander bezogen werden. Dies können beispielsweise Sätze oder auch Absätze sein. Im Sinne eines Kantengewichts kann dann gemessen, wie häufig Termini gemeinsam auftreten.

6 Methodologie: Automatisierte Verarbeitung von Schulbuchtexten

In der vorliegenden Studie soll das gemeinsame Auftreten naturwissenschaftlicher Termini in Schulbüchern automatisiert analysiert werden, um so Sachstrukturen des naturwissenschaftlichen Unterrichts der Sekundarstufe I zu rekonstruieren. Hierbei kommen computerlinguistische Methoden zum Einsatz, um zunächst ein fachspezifisches Vokabular zu bestimmen. Aufgrund der erst anfänglichen Etablierung dieser Methoden, soll im Folgenden kurz auf wesentliche Grundlagen und Anwendungen der automatisierten Textanalyse eingegangen werden.

6.1 Computerlinguistik und Kookkurrenzanalyse

Durch die steigenden Verfügbarkeit digitaler Textressourcen durch digitale Medien und der Digitalisierung bestehender gedruckter Texte, verbunden mit steigenden Rechenleistungen und neuen Auswertungsmethoden zur Analyse dieser Daten, wächst die Bedeutung automatisierter Textverarbeitung (Lemke & Wiedemann, 2016). Unter den Begriffen Text Mining und Natural Language Processing (NLP) werden in der Computerlinguistik solche Methoden verstanden, welche zur Informationsgewinnung aus unstrukturierten Texten strukturierte Daten erzeugen (Heyer et al., 2012; Hirschberg und Manning, 2015). Hierunter fallen solche Aufgaben wie die Sentimentanalyse in sozialen Netzwerken (z. B. Twitter), um Stimmungen zu einzelnen Themen zu bestimmen, das Finden relevanter Textstellen für Suchmaschinen im Internet oder auch die Verarbeitung gesprochener Sprache zu Text (Hirschberg & Manning, 2015). Auch in die Bildungsforschung haben Methoden der Computerlinguistik insbesondere im Bereich der Naturwissenschaften bereits Einzug gefunden (Litman, 2016; Ferreira-Mello et al., 2019; GDCCP-Schwerpunkttagung 2021: *Maschinelles Lernen und computerbasierte Textanalysen*, Kubsch, Wulff und Buschhüter, 2022). Ein großes Themenfeld bildet das automatisierte Analysieren freier Aufgaben- bzw. Antwortformaten bei Schüler- und Studierendenbefragungen (z. B. Dikli, 2006 Härtig, 2014, Wilson und Czik, 2016). Ne-

ben der forschungsbasierten Anwendung können solche Mechanismen genutzt werden, um auf ökonomische Weise individuelles Feedback beispielsweise zu selbstreflektierenden Texten zu erzeugen (z. B. Ullmann, 2019; Wilson und Roscoe, 2020; Wulff et al., 2021).

Durch die Verfügbarkeit von Schulbüchern liegen hier eine große Menge schriftlicher Datensätze und damit ein großes sogenanntes Textkorpus vor, sodass diese ebenfalls Gegenstand automatisierter Textanalysen sind. So kann mittels NLP-Verfahren die Sprachkomplexität von Schulbuchtexten analysiert und hinsichtlich ihrer Passung für die Zielgruppe beurteilt werden. Berendes et al. (2018) untersuchen beispielsweise deutsche Schulbücher des Fachs Erdkunde und analysieren anhand einer Vielzahl linguistischer Merkmale wie der lexikalischen Vielfalt oder der Art der Satzkonstruktionen die sprachliche Komplexität der Texte entlang der Sekundarstufe I. Die Befunde zeigen, dass die meisten Merkmale auf demselben Niveau blieben, während sich nur wenige in ihrer Komplexität über die Jahrgänge steigern (vgl. Green, 2019). Auch auf inhaltlicher Ebene konnten NLP-Methoden sinnstiftend auf Schulbücher angewendet werden, um beispielsweise die Repräsentation verschiedener ethnischer Gruppen (Lucy et al., 2020), die Übereinstimmung der Schulbuchinhalte mit Themen aktueller Forschung (Bierema et al., 2017) oder die Analyse fachspezifischer Begriffe und der Aufbau von Begriffsnetzwerken (Fitzgerald, Elmore et al., 2020; Sun und Dang, 2020; Monakhov et al., 2022) zu untersuchen.

6.2 NLP-Methoden zur Bestimmung fachspezifischen Vokabulars

Im Fall der Analyse fachspezifischer Begriffe muss zunächst das fachspezifische Vokabular bestimmt werden, wofür verschiedene Methoden Anwendung finden, die im Folgenden vorgestellt werden sollen. Das manuelle Kodieren durch Experten stellt dabei sowohl eine subjektive als auch sehr zeitaufwändige Methode zur Bestimmung themenspezifischer Fachbegriffe dar. Aus diesem Grund werden bereits seit längerer Zeit Ansätze diskutiert, um diese fachlichen Termini automatisiert aus großen Datenmengen zu extrahieren (Castellví et al., 2001). Hier existieren verschiedene methodische Realisierungen um dabei Probleme, wie beispielsweise das Auffinden von Termini, die aus mehreren Wörtern bestehen, zu lösen (Heylen & De Hertog, 2017). Auf der einen Seite werden statistische Ansätze genutzt, welche die Auftretenshäufigkeiten der möglichen Termini mit Referenzkorpora vergleichen. Daneben werden aber auch stärker

linguistisch geprägte Ansätze genutzt, welche die grammatikalischen Strukturen der Sätze durch POS-Tagger (*Part-Of-Speech*) bestimmten und diese bei der Klassifikation berücksichtigen (Heylen & De Hertog, 2017). In jüngerer Zeit werden auch vermehrt Algorithmen genutzt, die dem maschinellen Lernen (ML) zugeordnet werden können, sowie die Bestimmung semantischer Vektoren. Zwei Methodische Ansätze, die zur Analyse von Schulbüchern genutzt worden sind, sollen im Folgenden kurz beschrieben werden.

Die Studie von Fitzgerald, Relyea et al. (2020) verfolgt das Ziel, den Anteil bildungssprachlicher Wörter in Lesegeschichten des Englischunterrichts zu bestimmen. Dabei wird zunächst ein zufällig ausgewählter Datensatz von 1800 Wörtern eines Referenzkorpus (Schulbücher der ersten bis 12. Klasse) manuell kodiert und den Kategorien Bildungssprache, Naturwissenschaften, Gesellschaftswissenschaften und Mathematik zugeordnet. Dieser kodierte Datensatz dient einem ML-Klassifikator, in diesem Fall einem Random Forest (Breiman, 2001), zum Trainieren. Random Forest bestehen vereinfacht aus einer großen Anzahl von Entscheidungsbäumen, welche während des Lernprozess durch eine spezifische Randomisierung unkorreliert voneinander wachsen. Die Entscheidungsbäume geben jeweils auf Grundlage von Prädiktorvariablen eine Vorhersage ab, wobei der Random Forest am Ende die Vorhersage ausgibt, welche von den meisten Entscheidungsbäumen vorgeschlagen wird (Breiman, 2001). Als Prädiktoren für den Algorithmus dienen in der Studie von Fitzgerald, Relyea et al. (2020) 14 Kennwerte, die den Wörtern durch statistische Auswertung zugeordnet werden können. Dazu gehören Auftretenshäufigkeiten in weiteren Referenzkorpora wie Schulbücher der oben genannten Fächer in verschiedenen Jahrgangsstufen oder einem Korpus gesprochener Sprache, sowie ein Maß für die Abstraktheit der Wörter (vgl. Brysbaert et al., 2014). Ähnliche Maße werden auch in anderen Projekten zur Bestimmung akademischen Vokabulars verwendet (z. B. Gardner und Davies, 2014).

Um speziell Vokabular verschiedener Fächer zu bestimmen, verwenden Monakhov et al. (2022) einen Ansatz, in dem Worteinbettungen zur Analyse semantischer Ähnlichkeiten genutzt werden. Methoden, die Worteinbettungen bestimmen, gehen von der Annahme aus, dass die Bedeutung eines Wortes von seinen umgebenden Wörtern bestimmt ist. So werden bei der latenten semantischen Analyse (LSA) zunächst Term-Dokument-Matrizen (TDM) aufgestellt, die anschließend durch Singulärwertzerlegung in ihrer Dimension reduziert werden (Dumais, 2004). Im folgenden Beispiel in Abbildung 6.2.1 wird die Häufigkeit von fünf Begriffen in sechs verschiedenen Dokumenten betrachtet, wobei die Elemente der TDM die Auftretenshäufigkeiten des Worts im jeweiligen Dokument angibt. Durch Singulärwertzerlegung werden in dem folgenden

Beispiel den Wörtern zweidimensionale Vektoren zugeordnet, deren semantische Ähnlichkeit sich durch Berechnung der Kosinus-Distanz miteinander vergleichen lassen. Gleichzeitig lassen sich auch die verschiedenen Dokumente typisieren.

$$\begin{array}{c}
 \text{TDM} = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \text{dok1} & \text{dok2} & \text{dok3} & \text{dok4} & \text{dok5} & \text{dok6} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 3 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 1 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 3 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 3 & 1 \end{bmatrix} \end{array} \begin{array}{l} \text{elektrisch} \\ \text{transformator} \\ \text{stromstärke} \\ \text{chromosom} \\ \text{erbgang} \end{array} = \mathbf{U} \times \mathbf{S} \times \mathbf{V}^T = \\
 \\
 \begin{array}{c} \text{elektrisch} \\ \text{transformator} \\ \text{stromstärke} \\ \text{chromosom} \\ \text{erbgang} \end{array} \begin{bmatrix} 0.58 & 0 \\ 0.58 & 0 \\ 0.58 & 0 \\ 0 & 0.71 \\ 0 & 0.71 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 8.83 & 0 \\ 0 & 7.21 \end{bmatrix} \times \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \text{dok1} & \text{dok2} & \text{dok3} & \text{dok4} & \text{dok5} & \text{dok6} \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.59 & 0.20 & 0.78 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.78 & 0.20 & 0.59 \end{bmatrix} \end{array}
 \end{array}$$

Abbildung 6.2.1. Singulärwertzerlegung im Kontext latenter semantischer Analyse.

Als Dokumente können Textdokumente wie Bücher oder Nachrichtenartikel, aber auch kleinere Einheiten wie Absätze oder Sätze definiert werden. Typischerweise sind TDM sehr groß, da ihre Zeilenanzahl durch die Anzahl verschiedener Wörter im gesamten Korpus bestimmt ist. Da hierdurch ein großer Aufwand an Arbeitsspeicher erforderlich ist, wurden Deep-Learning Algorithmen wie Word2Vec und GloVe entwickelt, in denen das Korpus mit einem Fenster festgelegter Wortlänge durchgegangen wird und in jedem Schritt das Modell weiter angelernt wird (Mikolov et al., 2013; Pennington et al., 2014). Besonders bei mittleren bis großen Korpora mit mehr als 10 Millionen Wörtern können diese Algorithmen ein genaueres Modell erzeugen als LSA (Altszyler et al., 2016; Naili et al., 2017). In der Studie von Monakhov et al. (2022) werden die in diesen Wortvektoren gespeicherten Daten genutzt, um auf Basis einer Clusteranalyse zu entscheiden, ob ein Begriff dem Fachvokabular zugeordnet werden kann.

7 Methodisches Vorgehen

Wie oben beschrieben, gilt es für die Extraktion der Sachstrukturen in Form von Kookkurrenzen der Fachbegriffe, zunächst ein Fachvokabular an biologischen, chemischen und physikalischen Fachbegriffen zu definieren. Darüber hinaus soll auch festgestellt werden, ob ein Wort über dem naturwissenschaftlichen Fachvokabular hinaus als allgemein bildungssprachlich angesehen werden kann. Dies soll in Anlehnung an die beiden genannten Studien in einer Kombination aus ML-Klassifikator (Random Forest) und geeigneten Prädiktorvariablen automatisiert erfolgen. Diese werden sowohl durch die Wortvektoren, welche durch einen word2vec-Algorithmus bestimmt werden, als auch durch die Auftretenshäufigkeit der Wörter in den einzelnen Dokumenten des Referenzkorpus gebildet (Abb. 7.0.1). Im Anschluss daran werden die fachlichen Termini in ihrem Auftreten analysiert und ihre Kookkurrenzen untereinander im Hinblick auf Fächerübergreifung untersucht.

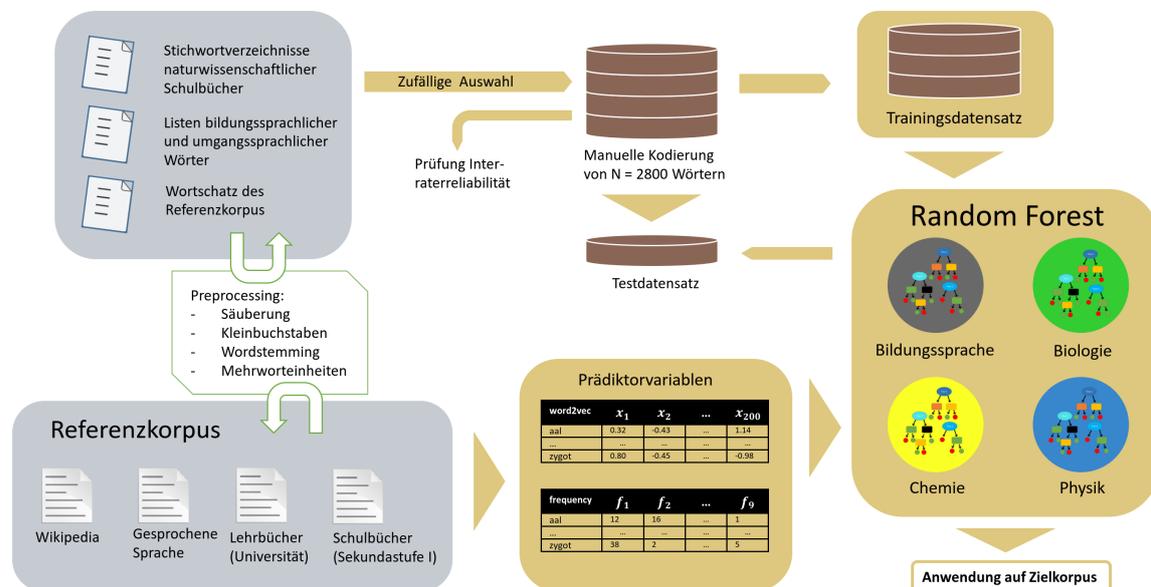


Abbildung 7.0.1. Ablauf der Schulbuchanalyse. Zunächst werden die fachspezifischen Termini bestimmt, bevor ihre Kookkurrenzen in naturwissenschaftlichen Schulbüchern der Sekundarstufe I untersucht werden.

7.1 Stichprobe und Referenzkorpus

Für die in der vorliegenden Studie genutzte Stichprobe wurden Schulbuchreihen ausgewählt, welche für die gesamte Sekundarstufe I des Gymnasiums bzw. integrierten Gesamtschule zugelassen sind (Stand Schuljahr 2018/2019). Dabei wurden Meinungen von Lehrkräften, Fachleiterinnen und Fachleitern eingeholt, um besonders gängige Schulbuchreihen für die Untersuchung zu nutzen. Tabelle 7.1.1 zeigt die untersuchten Schulbücher für den gefächerten Unterricht am Gymnasium bzw. das Fach Naturwissenschaften an integrierten Gesamtschulen. Die Schulbücher wurden eingescannt und die Textpassagen über die OCR-Texterkennung des Programms Abbyy-Finereader digitalisiert. Aufgrund der hohen Präzision der Texterkennung wurde nach der Begutachtung der digitalen Texte auf eine weitere manuelle Säuberung verzichtet.

Zur Bestimmung der Prädiktorvariablen des Random Forest Klassifikators wurde ein Referenzkorpus erstellt, auf dessen Grundlage die Worteinbettungen und Auftretenshäufigkeiten berechnet wurden. Das Referenzkorpus besteht aus der deutschsprachigen Wikipedia (Stand 17.02.2021, 2.24 Mio. Artikel), sowie dem OpenSubtitle-Korpus für

Tabelle 7.1.1. Stichprobe: Auswahl der in Niedersachsen zugelassenen Schulbücher für die naturwissenschaftlichen Fächer an Gymnasium und iGS (für detaillierte Ansicht der Auflage s. Tabellen A.1 und A.2 im Anhang).

Fach	Schulbuchreihe	Verlag
Biologie	Biologie heute	Westermann
	Bioskop	Westermann
	Natura	Klett
Chemie	Chemie heute	Schroedel
	Elemente Chemie	Klett
	Fokus Chemie	Cornelsen
Physik	Dorn/Bader	Westermann
	Fokus Physik	Cornelsen
	Impulse Physik	Klett
	Universum Physik	Cornelsen
Naturwissenschaften	Erlebnis Naturwissenschaften	Schroedel
	Natur bewusst	Westermann
	Prisma Naturwissenschaften	Klett

7.1 Stichprobe und Referenzkorpus



Abbildung 7.1.1. Vorbereitung des Korpus (Beispieltext aus *PRISMA Naturwissenschaften 3*, vgl. Tab. A.2).

gesprochene Sprache (v2018, Lison und Tiedemann, 2016). Da vor allem naturwissenschaftliche Fachbegriffe in ausreichendem Maße zum Training der Worteinbettungen vorhanden sein sollen, wurde das Referenzkorpus um die oben genannten Schulbücher und Lehrbücher auf Universitätsniveau für die Disziplinen Biologie, Chemie und Physik erweitert (vgl. Tab. A.3). Bei den Universitätslehrbüchern handelt es sich um eine Gelegenheitsstichprobe, welche über den Springer-Verlag dem Autoren digital zugänglich waren und ein breites Spektrum der jeweiligen Disziplinen abdecken soll.

Zur Anwendung des Word2Vec-Algorithmus auf das zuvor zusammengestellte Korpus muss dieser noch bearbeitet werden. Hierzu gehört die Umwandlung des Text in Kleinbuchstaben und die Reduktion der Wörter auf den Wortstamm. Für die Wortstammreduktion wurde der Porter-Stemmer-Algorithmus über die Statistiksoftware R bzw. das Paket *tm* angewendet (Porter, 1980; R Core Team, 2021). Zusätzlich werden weitere automatisierte Säuberungsarbeiten über das Paket *stringr* vorgenommen wie die Entfernung von Bindestrichen und Zeichenkombinationen, die nicht ausschließlich aus Buchstaben bestehen (z. B. Zahlen, Abbildungsbeschriftungen, Werte mit Einheiten). In der Fachsprache treten darüber hinaus Termini auf, die aus mehreren Wörtern bestehen (z. B. *elektrischer Strom*), sodass in der Textverarbeitung dieser Umstand berücksichtigt werden muss (Heylen und De Hertog, 2017). Da in der vorliegenden Studie insbesondere schulische Fachbegriffe der naturwissenschaftlichen Disziplinen im Zentrum des Interesses stehen, wurden für diesen Zweck die Stichwortverzeichnisse der im naturwissenschaftlichen Schulbücher (Tab. A.1 und A.2) digitalisiert und die dort zu findenden Mehrworteinheiten gesammelt (insg. 1670 Begriffe). Diese Begriffe wurden anschließend automatisiert im gesamten Referenzkorpus gesucht und die Leerzeichen innerhalb dieser entfernt, sodass sie für die weitere Auswertung als einzelnes Wort er-

7.2 Bestimmung naturwissenschaftlicher Termini

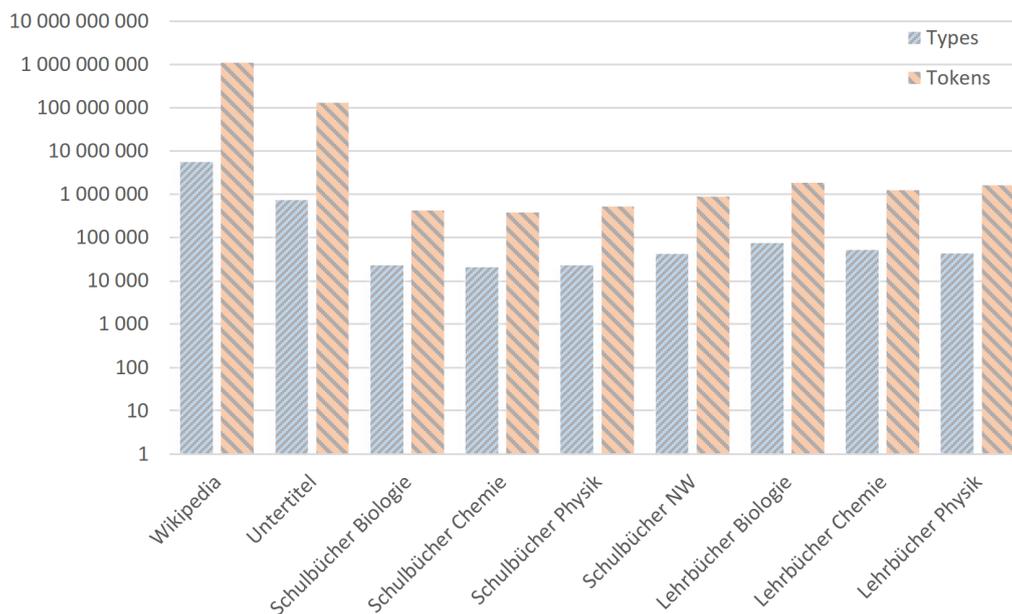


Abbildung 7.1.2. Größe der Teilkorpora des Referenzkorpus.

fasst werden (vgl. Abbildung 7.1.1).

Nach der beschriebenen Vorverarbeitung des Referenzkorpus hatte dieses eine Größe von insgesamt 1.22 Mrd. Wörtern (Tokens), wobei 6.1 Mio. verschiedene Wörter (Types) auftreten. Abbildung 7.1.2 zeigt die Größen der einzelnen Teilkorpora.

7.2 Bestimmung naturwissenschaftlicher Termini

Die Bestimmung der fachspezifischen Termini orientiert sich an der Studie von Fitzgerald, Relyea et al. (2020), sodass Random Forest Klassifikatoren die Einordnung der Wörter (Types) jeweils in die Kategorien Bildungssprache, Biologie, Chemie und Physik vornehmen. Hierfür dienen zum einen die Auftretenshäufigkeiten der Worttypen in den einzelnen Teilkorpora (Abb. 7.1.2). Um die Genauigkeit der Klassifikatoren zu steigern werden darüber hinaus in Anlehnung an Monakhov et al. (2022) auch die Worteinbettungen anhand des gesamten Referenzkorpus über einen word2vec-Algorithmus bestimmt, sodass die Koordinaten der Wortvektoren ebenfalls den Random Forest Klassifikatoren zur Bestimmung dienen. Um den ML-Klassifikator zu trainieren wird ein Trainingssatz an Wörtern menschlich kodiert und durch einen zweiten Rater geprüft. Da bei zufälligem Ziehen von Wörtern für den Trainingsdatensatz aus dem Referenzkorpus die Wahrscheinlichkeit zu gering ist, eine ausreichende Anzahl physikalischer, chemischer und biologischer Fachbegriffe zu erhalten, wird ein Teil des Trainingsdaten-

satzes aus dem Stichwortverzeichnis der naturwissenschaftlichen Schulbücher genommen. Um in Anlehnung an Fitzgerald, Relyea et al. (2020) auch weitere bildungssprachliche Begriffe bzw. Begriffe anderer wissenschaftlichen Disziplinen durch den ML-Klassifikator von umgangssprachlichen Wörtern unterscheiden zu können, werden weitere Begriffe aus den Disziplinen Politik/Wirtschaft und Geschichte, sowie einige allgemein bildungssprachliche Begriffe dem Trainingsdatensatz hinzugefügt. Quelle dieser zusätzlich hinzugefügten Wörter waren Wortlisten frei zugänglicher Internetseiten (z. B. Wikipedia, Bildungssprache.net), sodass auch aus weiteren wissenschaftlichen Disziplinen beispielsweise politik- oder geschichtswissenschaftliche Termini, aber auch allgemein bildungssprachliche Termini im Trainingsdatensatz abgebildet waren. Schließlich wurden weitere zufällig aus dem Korpus gezogene Wörter hinzugefügt. Insgesamt ergab sich eine Liste von 2700 Wörtern, welche den Kategorien nicht bildungssprachlich, bildungssprachlich, naturwissenschaftlich, biologisch, chemisch und physikalisch zugeordnet werden sollten. Begriffe, die mindestens einer der drei Naturwissenschaften zugeordnet werden können, sind gleichzeitig auch als naturwissenschaftlich und bildungssprachlich zu bewerten. Begriffe, welche anderen wissenschaftlichen Disziplinen zuzuordnen oder als allgemein bildungssprachlich zu bewerten sind, werden als bildungssprachlich eingeordnet. Die Regeln zur Zuordnung der Wörter des Trainingsdatensatzes wurden in einem Kodiermanual festgehalten (s. Anhang B, nach Fitzgerald, Relyea et al., 2020), mit dem durch einen zweiten Rater 200 zufällig gezogene Wörter des Trainingsdatensatzes erneut kodiert wurden. Der Vergleich zeigt eine sehr hohe Interraterreliabilität, sodass davon ausgegangen werden kann, dass sich die Wörter präzise den Kategorien zuordnen lassen (s. Tabelle 7.2.1).

Zur automatischen Kodierung der Wörter wurden zunächst die Worteinbettungen auf Grundlage des gesamten Korpus berechnet, wofür der Word2Vec-Algorithmus der Gensim-Bibliothek in Python mit der Bag-of-Words Implementation genutzt wurde (Rehurek & Sojka, 2011). Die Dimensionalität der Wortvektoren wurde auf 200 und die Fenstergröße beim Durchlaufen des Textes auf 10 Wörter gesetzt. Wörter, die seltener als fünf mal im Referenzkorpus vorkommen, wurden aufgrund der dadurch entstehenden Ungenauigkeit nicht in dem Modell berücksichtigt. Die Auftretenshäufigkeiten der Worttypen in den Teilkorpora wurde ebenfalls mit Hilfe der Gensim-Bibliothek bestimmt. Im Anschluss wurden vier Random Forest Klassifikatoren antrainiert für die Kategorien bildungssprachlich, biologisch, chemisch und physikalisch. Dabei wurde 75 % des Trainingsdatensatz zum eigentlichen Lernen und die übrigen 25 % zum Testen der Übereinstimmung zwischen dem Random Forest und dem manuellen Kodierer genutzt wurden. Die Unterteilung des ursprünglichen Trainingsdatensatz erfolgte zu-

Tabelle 7.2.1. Interraterreliabilität (IRR) der manuellen Kodierung (mK) durch zwei menschliche Rater und der automatisierten Klassifikation durch einen Random Forest (RF). Für die Reliabilität zwischen zwei menschlichen Ratern wurden 200 zufällige Wörter des Trainingsdatensatzes doppelt kodiert. Zur Bestimmung der IRR zwischen menschlicher und automatisierter Kodierung wurden 25 % des Trainingsdatensatz vom Lernprozess ausgeschlossen und zur Bestimmung der IRR genutzt. Mit diesem Testdatensatz wurde auch die AUC-ROC bestimmt.

Kategorie	κ_{mK}	κ_{RF}	AUC-ROC
Bildungssprachlich	0.95	0.89	0.980
Biologisch	0.86	0.85	0.990
Chemisch	0.98	0.77	0.986
Physikalisch	0.94	0.82	0.990

fällig. Die Random Forests wurden mit der Statistiksoftware R unter der Einbindung des Pakets *randomForest* bestimmt (Liaw & Wiener, 2002). In Tabelle 7.2.1 ist die Interraterreliabilität zwischen Random Forest Klassifikator und menschlichem Kodierer abgebildet, sodass sie mit der zweier menschlicher Kodierer verglichen werden kann. Es zeigt sich, dass der Algorithmus zwar niedrige Werte erzielt als der Vergleich zweier menschlicher Kodierer, dennoch sind die Werte größtenteils sehr gut und mindestens als substantiell zu betrachten (Landis & Koch, 1977). Bei der Interpretation der Kennwerte muss darüber hinaus berücksichtigt werden, dass die Daten im Testdatensatz eine Ungleichverteilung aufwiesen, sodass beispielsweise laut manueller Kodierung ein Großteil der Wörter der jeweiligen Kategorie zugeordnet werden können, während nur wenige Wörter die Kategorie nicht erfüllen. Dies führt zu einem stark verringerten Cohens κ (Jeni et al., 2013). Aufgrund dieser starken Abhängigkeit des Cohens κ von der Gleichverteilung im Testdatensatz schlagen Jeni et al. (2013) für die Beurteilung der Güte eines binären Klassifikators die Bestimmung der AUC-ROC (*Area under the Receiver Operating Characteristic Curve*) vor. Die Werte wurden mittels des R-Pakets *pROC* berechnet und zeigen ebenfalls eine hohe Güte des Klassifikators (Tab. 7.2.1).

7.3 Kookkurrenzanalyse

Für die Kookkurrenzanalyse wurde ebenfalls das Statistikprogramm R genutzt, wobei im Speziellen die Pakete *dplyr*, *tidystringdist*, *tidytext*, *tidyverse* und *tm* verwendet wurden. Zur Festlegung des Fensters, innerhalb dessen das Auftreten zweier fachlicher Termini als Kookkurrenz gewertet werden kann, wurde zwischen zwei angrenzenden

Satz	Terminus
1	elektrenergi
1	energi
1	energi
2	generator
2	ausgangsspann
4	bewegungsenergi
5	fallbeschleun
5	gewichtskraft
6	bewegungsenergi



Terminus 1	Terminus 2	Anzahl
bewegungsenergi	fallbeschleun	2
bewegungsenergi	gewichtskraft	2
ausgangsspann	elektrenergi	1
ausgangsspann	energi	1
elektrenergi	energi	1
ausgangsspann	generator	1
elektrenergi	generator	1
energi	generator	1
fallbeschleun	gewichtskraft	1

Abbildung 7.3.1. Bestimmung der Kookkurrenzen auf Satzebene.

Sätzen (Satzebene) und einer Doppelseite im Schulbuch (Seitenebene) unterschieden, sodass für beide Perspektiven die Kookkurrenz der naturwissenschaftlichen Termini untersucht wird.

Durch die Betrachtung auf Satzebene sollen direkte Bezüge bzw. Propositionen der Termini untereinander abgebildet werden (vgl. Härtig, 2010). Hierbei werden die Schulbuchtexte in ihre Sätze aufgeteilt und für jeden Satz die vorher im Register kodierten naturwissenschaftlichen Termini extrahiert. Alle Termini, die dann in zwei aufeinander folgenden Sätzen auftreten, werden als einfache Kookkurrenz gewertet, wobei Kookkurrenzen mit demselben Terminus, sowie das mehrfache Auftreten eines Terminus in diesem Fenster nicht berücksichtigt werden (Abb. 7.3.1). Anschließend wird die Art der Kookkurrenz bestimmt, indem die Fächerzugehörigkeit der beiden Termini mit dem vorher automatisch kodierten Register abgeglichen wird. Entstammen beide Termini derselben Fachdisziplin, handelt es sich um eine innerfachliche Kookkurrenz (*Biologie*, *Chemie* oder *Physik*). Fächerübergreifende Kookkurrenzen bezeichnen Kookkurrenzen, bei denen entweder die beiden Termini unterschiedlichen Fachdisziplinen zugeordnet werden oder mindestens einer der beiden Termini mehr als einer naturwissenschaftlichen Disziplin zugeordnet wurde. Wurde beispielsweise ein Terminus sowohl der Chemie als auch der Physik zugeordnet und der zweite Terminus nur der Physik, wird die Art der Kookkurrenz als *Chemie/Physik* festgelegt.

Zum Vergleich des fächergetrennten Unterrichts mit dem integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht werden die Schulbücher dieser Unterrichtsarten gegenübergestellt. Da beim fächergetrennten Unterricht allerdings für jedes der drei naturwissenschaftlichen Fächer eine Schulbuchreihe vorliegt, werden diese zum Vergleich mit den Schulbüchern des integrierten Fachs kombiniert. Aufgrund der vorliegenden Stichprobe

von jeweils drei Schulbuchreihen der Fächer Biologie und Chemie, sowie vier Schulbuchreihen des Fachs Physik, ergeben sich 36 mögliche Kombinationen, deren Kookkurrenzen mit denen der drei Schulbücher für das integrierte Fach verglichen werden. Neben dem Vergleich der Kookkurrenzen auf globaler Ebene, sollen auch die Kookkurrenzen zentraler physikalischer Termini untersucht werden. Für diese Analyse wird das Verhältnis der Fachzugehörigkeiten aller mit dem zentralen Begriff kookkurrierenden Termini gebildet. Termini, die mehreren Disziplinen zugeordnet wurden, werden dabei jeweils anteilig berücksichtigt.

Da Doppelseiten in Schulbüchern meist thematisch zusammenhängende Einheiten bilden, wird auch die Seitenebene in der Kookkurrenzanalyse berücksichtigt. In dieser Analyse wird zunächst für jede Doppelseite das Verhältnis der Anzahl biologischer (P_B), chemischer (P_C) bzw. physikalischer (P_P) Termini zur Anzahl insgesamt auftretender naturwissenschaftlicher Termini gebildet. Auch hierbei werden Termini, die mehreren Fächern zugeordnet wurden, jeweils anteilig in die Rechnung aufgenommen. Aus diesen drei Kennwerten wird die Entropie als Maß für die Gleichverteilung der Anzahl von Termini unterschiedlicher Disziplinen berechnet, um einen Rückschluss auf den Fächerübergreif zu ziehen.

$$H(X) = - \sum_{i=B,C,P} P_i \log P_i$$

Eine minimale Entropie spricht dabei dafür, dass nur Termini einer Disziplin auf der betrachteten Doppelseite verwendet werden, während ein hoher Wert für eine gleichmäßige Verteilung von Termini der drei Naturwissenschaften spricht. Für eine differenziertere Betrachtung werden alle Doppelseiten einer der drei Disziplinen zugeordnet, wobei ausschlaggebend ist, welche Disziplin die meisten Termini auf dieser Doppelseite stellt. Da die Doppelseiten innerhalb der Schulbücher auch im Fall des integrierten Unterrichts meist einer Fachdomäne zugeordnet werden können, ist so ein Vergleich des Fächerübergreif unter Perspektive der Disziplin möglich.

8 Ergebnisse

8.1 Naturwissenschaftliche Fachsprache in der Sekundarstufe I

Mittels der Worteinbettungen und Auftretenshäufigkeiten, welche auf Grundlage des Referenzkorpus bestimmt wurden, und des manuell kodierten Trainingsdatensatz konnten für die Kategorien bildungssprachlich, biologisch, chemisch und physikalisch jeweils ein binärer Random Forest Klassifikator angelernt werden. Diese Klassifikatoren können nun auf die in den naturwissenschaftlichen Schulbüchern der Sekundarstufe I auftretenden Worttypen angewendet werden, sodass auf Grundlage der oben genannten Prädiktorvariablen die Zugehörigkeit zu den jeweiligen Kategorien bestimmt wird. Das Korpus naturwissenschaftlicher Schulbücher besteht nach Säuberung und Wortstammreduzierung insgesamt aus 2.2 Mio. Tokens, wobei 68 776 verschiedene Types auftreten. Von diesen konnten 50 981 Types semantische Vektoren zugeordnet werden, die über

Tabelle 8.1.1. Zuordnung der Types und Tokens des Korpus naturwissenschaftlicher Schulbücher zu den entsprechenden Kategorien mittels der Random Forest Klassifikatoren.

Kategorie	Anzahl Types	Anzahl Tokens
keine Bildungssprache	4 089	1 607 968
Bildungssprache	46 892	576 300
Biologie	6 535	103 116
Chemie	2 085	52 097
Physik	4 294	78 913
Biologie/Chemie	11	730
Biologie/Physik	7	50
Chemie/Physik	198	10 132
Biol./Chem./Phys.	6	7 268

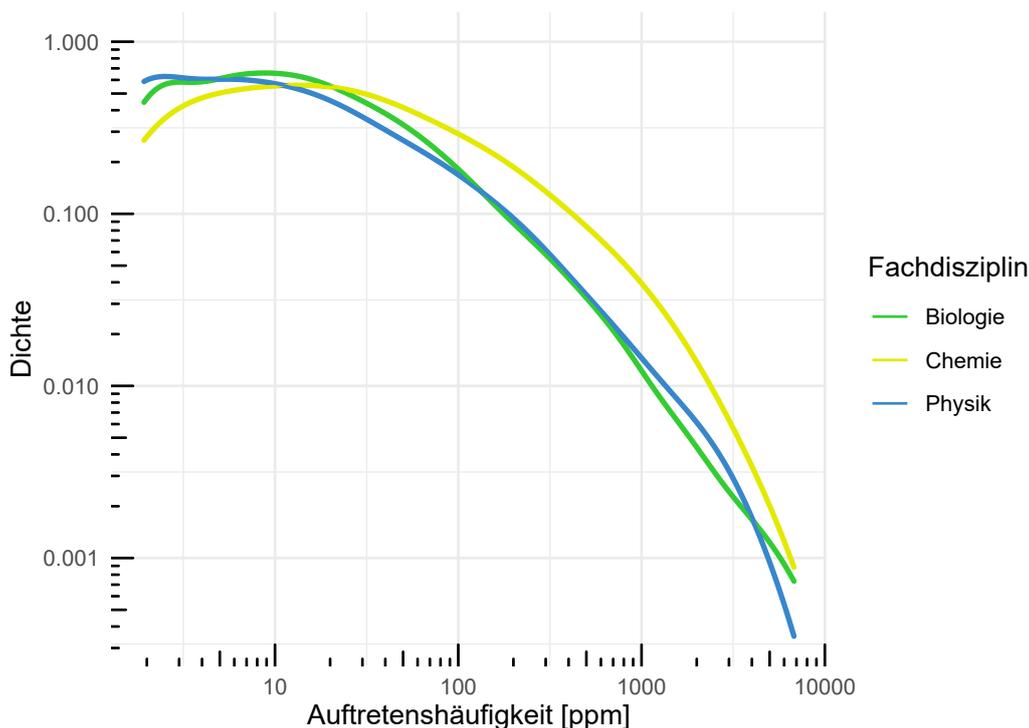


Abbildung 8.1.1. Dichteverteilung der Auftretenshäufigkeiten naturwissenschaftlicher Termini im Schulbuchkorpus.

99 % der Tokens in den naturwissenschaftlichen Schulbüchern darstellen. Tabelle 8.1.1 zeigt, wie viele Tokens bzw. Types den jeweiligen Kategorien zugeordnet wurden. Dabei wurden Types, die nicht der Kategorie Bildungssprache zugeordnet wurden, automatisch als nicht bildungssprachlich aufgefasst. Zu beachten ist weiterhin, dass die naturwissenschaftlichen Termini eine Teilmenge der bildungssprachlichen Wörter bilden.

Es zeigt sich erwartungskonform, dass die nicht bildungssprachliche Kategorie aus wenigen Begriffen gebildet wird, die dagegen häufig auftreten und knapp drei Viertel aller Tokens im Schulbuchkorpus darstellen. Darüber hinaus lässt sich im Hinblick auf die Anzahl naturwissenschaftlicher Termini feststellen, dass die Disziplin Biologie eine höhere Anzahl an unterschiedlichen Fachbegriffen aufweist als die Physik und am wenigsten Fachbegriffe der Chemie zugeordnet werden können. Eine sehr geringe Menge an Termini lassen sich sowohl der Kategorie Biologie als auch Physik zuordnen (z. B. „*bionik*“, 15 Tokens). Etwa ebenso wenige Types lassen sich den beiden Kategorien Biologie und Chemie zuordnen, allerdings treten diese sehr häufig im Schulbuchkorpus auf (z. B. „*enzym*“, 331 Tokens; „*aminosaur*“, 138 Tokens; „*fettsaur*“, 112 Tokens). Eine besonders große Menge an Types bzw. Tokens lassen sich den Kategorien Chemie und Physik zuordnen (z. B. „*elektron*“, 2016 Tokens; „*ion*“, 761 Tokens). Schließlich

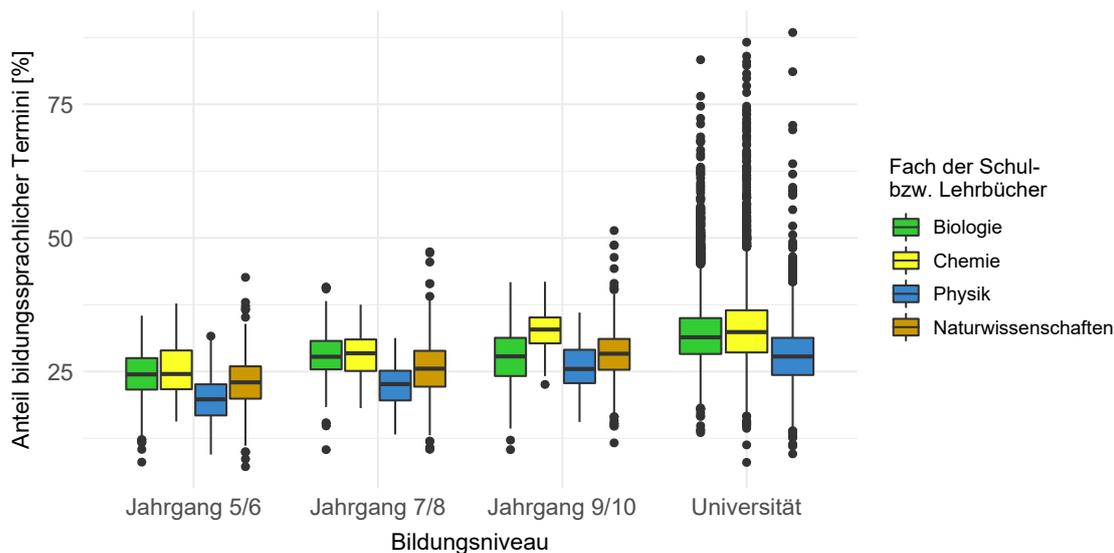


Abbildung 8.1.2. Anteil bildungssprachlicher Wörter pro Doppelseite.

lassen sich sechs Termini allen drei Naturwissenschaften zuordnen. Hierbei handelt es sich um den Worttypen „*energi*“ (4 499 Tokens) und vier weiteren energiebezogenen Termini, sowie „*temperatur*“ mit 2 659-fachem Auftreten.

Betrachtet man die Auftretenshäufigkeiten der Termini, die sich genau einer Naturwissenschaft zuordnen lassen, fällt auf, dass eine große Anzahl biologischer Fachbegriffe nur selten genannt werden, während vor allem viele chemische Fachbegriffe häufiger genutzt werden. Konkret lassen sich 3 328 biologische Fachbegriffe mit höchstens zehnmalem Auftreten pro 1 000 000 Tokens in den Biologieschulbüchern des Schulbuchkorpus finden, während hierunter entsprechend nur 2 514 physikalische bzw. 741 chemische Fachbegriffe fallen. Abbildung 8.1.1 stellt diesen Sachverhalt in einem doppelt logarithmisch skalierten Dichtediagramm dar. Im Vergleich zu biologischen und physikalischen Fachbegriffen werden chemische Fachbegriffe tendenziell häufiger verwendet.

Durch die automatische Kodierung aller Wörter des Schulbuchkorpus lässt sich der durchschnittliche Anteil der Bildungssprache in den einzelnen Fächern bestimmen, um so das (fach-)sprachliche Anforderungsniveau zu untersuchen. Abbildung 8.1.2 zeigt, wie viel Prozent der Wörter einer Doppelseite der Bildungssprache zugeordnet werden. Zum Vergleich wurden hier auch Lehrbücher auf Universitätsniveau hinzugefügt, welche eine Vielzahl an Ausreißern aufweisen. Diese sind größtenteils bedingt durch Abbildungen und deren Beschriftungen, welche vollständige Seiten in Anspruch nehmen (z. B. Periodensystem, Nuklidkarte, biosystematische Abbildungen). Durch lineare Regressionen lassen sich die Steigungen des bildungssprachlichen Anteils über die Doppeljahrgänge für die Fächer Biologie ($m = 1.7\%/Doppeljahrgang$, $p < 0.001$), Chemie ($m =$

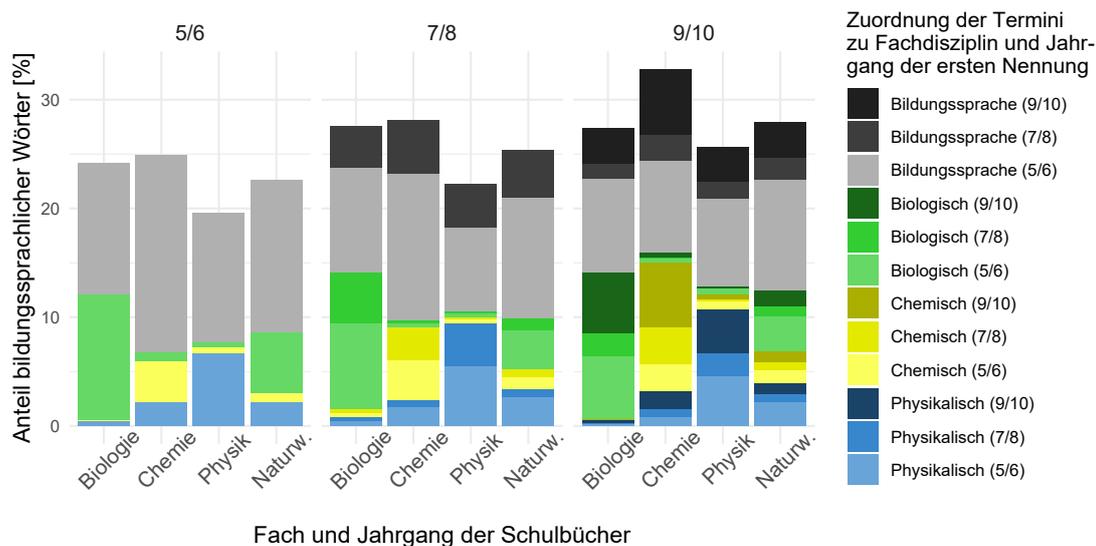


Abbildung 8.1.3. Anteil bildungssprachlicher Wörter pro Jahrgang und Kategorie.

3.7%/Doppeljahrgang, $p < 0.001$) und Physik ($m = 3.0\%$ /Doppeljahrgang, $p < 0.001$) bestimmen. Auch für das integrierte Fach Naturwissenschaften lässt sich ein Anstieg des bildungssprachlichen Anteils feststellen ($m = 2.7\%$ /Doppeljahrgang, $p < 0.001$). Zwischen den Fächern lassen sich durch Varianzanalysen sowohl im Jahrgang 5/6 ($F(3, 1150) = 54.24$, $p < 0.001$), als auch in den Jahrgängen 7/8 ($F(3, 1076) = 56.36$, $p < 0.001$) und 9/10 ($F(3, 1127) = 53.71$, $p < 0.001$) Unterschiede feststellen. Dabei zeigen die Post-hoc-Vergleiche, dass keine Unterschiede zwischen den Fächern Biologie und Chemie in den ersten beiden Doppeljahrgängen bestehen und im Jahrgang 9/10 Biologieschulbücher und Schulbücher des integrierten Fachs Naturwissenschaften den gleichen Anteil bildungssprachlicher Wörter aufweisen. Ein Vergleich des bildungssprachlichen Anteils zwischen Jahrgang 9/10 und den Lehrwerken auf Universitätsniveau ergibt, dass sich in dieser Hinsicht die Chemiebücher nicht unterscheiden ($t(128) = -1.16$, $p = 0.75$).

Um die Nutzung fachspezifischen Vokabulars in den Schulbüchern genauer zu untersuchen, ist in Abbildung 8.1.3 aufgeschlüsselt, welche Fächerzugehörigkeit die als bildungssprachlich kodierten Wörter aufweisen. Zusätzlich sind die Termini nach dem Jahrgang ihrer ersten Nennung im Schulbuchkorpus getrennt. In der Betrachtung fällt auf, dass in den Biologieschulbüchern des 5. und 6. Jahrgangs ein hoher Anteil des insgesamt genutzten bildungssprachlichen Anteils bereits der Fachdisziplin Biologie zuzuordnen ist, während vor allem bei den Chemieschulbüchern noch wenig fachspezifisches Vokabular genutzt wird. Der große Anstieg des bildungssprachlichen Anteils in den Chemiebüchern über die drei Doppeljahrgänge kann auf einen starken Anstieg

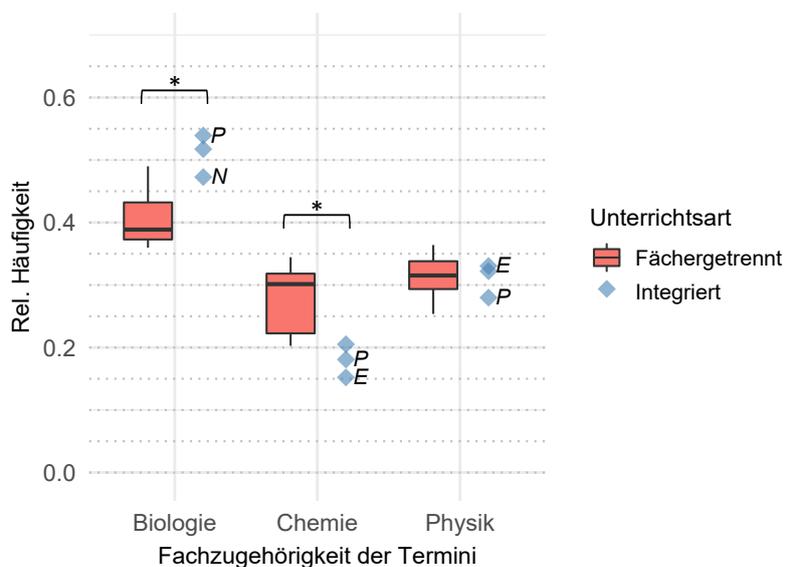


Abbildung 8.1.4. Anteile naturwissenschaftlicher Termini in Schulbüchern des fächergetrennten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts (*Erlebnis Naturwissenschaften*, *Natur bewusst*, *PRISMA Naturwissenschaften*).

des chemiespezifischen Vokabulars zurückgeführt werden. In den Schulbüchern des integrierten Fachs lässt sich insbesondere im Jahrgang 5/6 ein hoher Anteil biologischer Termini feststellen im Gegensatz zu physikalischen und chemischen Termini.

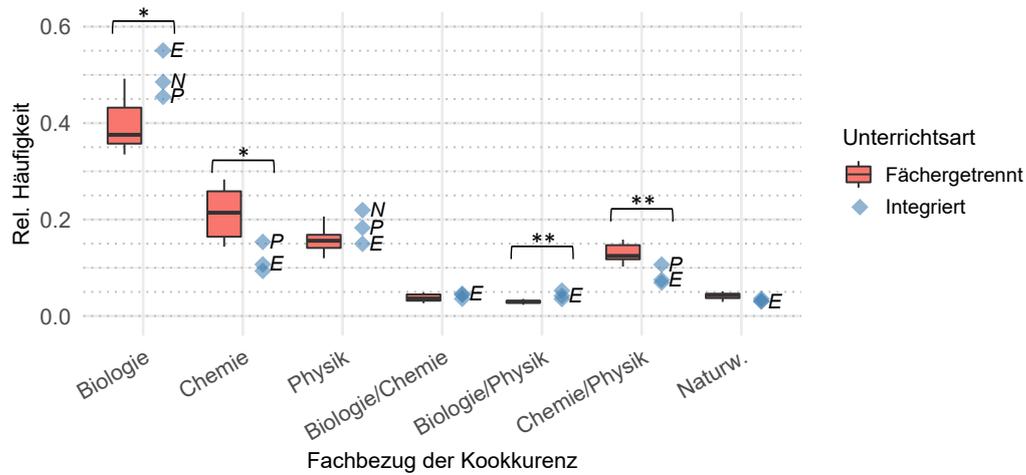
Ein Rückschluss darauf, ob in fächergetrennten Schulbüchern und solchen für das integrierte Fach ein ähnliches Verhältnis zwischen den Termini der einzelnen Naturwissenschaften vorzufinden ist, lässt sich aus Abbildung 8.1.4 ableiten. Für diesen Vergleich wurden die Schulbücher der einzelnen Fächer des differenzierten Unterrichts kombiniert und für jede dieser Kombinationen, sowie für die drei Schulbücher des integrierten Unterrichts die Anteile der Termini der einzelnen Disziplinen an der Gesamtzahl naturwissenschaftlicher Termini berechnet, wobei die Anzahl der Tokens ausschlaggebend ist. Paarweise Vergleiche zeigen unter Bonferroni-Holm-Korrektur einen Unterschied zwischen fächergetrennten und integrierten Schulbüchern hinsichtlich der Anteile biologischer ($W = 2$, $n = 39$, $p < 0.05$) und chemischer Termini ($W = 113$, $n = 39$, $p < 0.05$). In den Schulbüchern des integrierten Fachs ist dementsprechend ein höherer Anteil biologischer Fachbegriffe und ein geringerer Anteil chemischer Fachbegriffe zu finden.

8.2 Horizontale Vernetzung der naturwissenschaftlichen Disziplinen

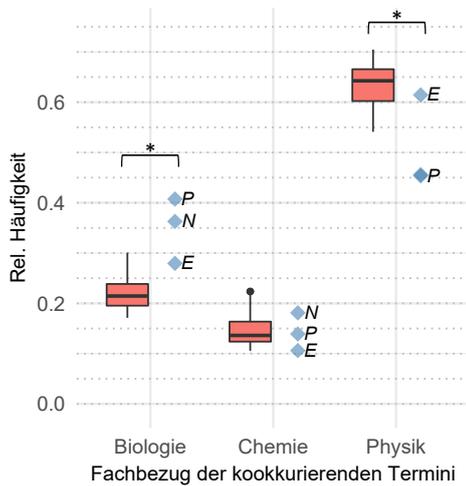
Um die Schulbücher hinsichtlich ihres Fächerübergreifens zu analysieren, sollen in diesem Kapitel Kookkurrenzen der naturwissenschaftlichen Termini unter Berücksichtigung ihrer Fächerzugehörigkeit sowohl auf Satz- als auch auf Seitenebene untersucht werden. Unter einer Kookkurrenz auf Satzebene wird dabei das gemeinsame Auftreten von zwei Termini in einem Fenster von zwei aufeinander folgenden Sätzen verstanden. Durch die Messung der Kookkurrenzen aller Termini können Concepts Maps als Abbildung der Sachstruktur der Schulbücher generiert werden (Abb. C.1). Für die Auswertung soll eine Kookkurrenz als fachspezifisch aufgefasst werden, wenn beide Termini derselben Naturwissenschaft zugeordnet sind bzw. fächerübergreifend, wenn die beiden Termini unterschiedlichen Naturwissenschaften zugeordnet sind oder mindestens ein Terminus mehr als einer Naturwissenschaft zugeordnet ist. Abbildung 8.2.1 (a) zeigt den Vergleich der Auftretenshäufigkeiten der Kookkurrenzen für fächergetrennte und integrierte Schulbücher in Abhängigkeit des Fachbezugs der Kookkurrenz. In den integrierten Schulbüchern scheint ein höherer Anteil innerbiologischer Kookkurrenzen aufzutreten, während der Anteil fächerübergreifender chemisch-physikalischer, sowie innerfachlicher chemischer Kookkurrenzen geringer ausfällt. Bei paarweiser Testung unter Bonferroni-Holm-Korrektur zeigen sich in dieser Hinsicht signifikante Unterschiede (vgl. 8.2.1, a).

Über die globale Analyse der gesamten Schulbücher hinaus soll der Fächerübergreifendehinblick hinsichtlich einiger zentraler physikalischer Konzepte geprüft werden und ob diese in den Schulbüchern des integrierten Fachs stärker fächerübergreifend eingebettet sind. Hierfür wurden die vier zentralen Konzepte Energie, Kraft, Elektron und Molekül ausgewählt und die Kookkurrenzen mit den entsprechenden auf den Wortstamm reduzierten Worttypen *energi*, *kraft*, *elektron* und *molekul* extrahiert. Bei dieser Analyse ist die Fächerzugehörigkeit des zentralen Begriffs nicht berücksichtigt, sondern ausschließlich die der kookkurrierenden naturwissenschaftlichen Termini. Die Abbildungen 8.2.1 (b)–(e) zeigen den Anteil der Fächerzugehörigkeit der mit den vier zentralen Begriffen kookkurrierenden Termini. Bezüglich der Kookkurrenzen mit dem Konzept Energie zeigen die Schulbücher des integrierten Fachs einen höheren Anteil biologischer kookkurrierender Termini und dementsprechend einen verringerten Anteil physikalischer Termini. Gruppenvergleiche zwischen fächergetrennten und integrierten Schulbüchern zeigen signifikante Unterschiede. Eine genauere Betrachtung der Kookkurrenzen zeigt, dass in Schulbüchern des integrierten Fachs häufiger Begriffe mit „*energi*“ auftreten, die dem Bereich Stoffwechsel sowohl von Pflanzen („*pflanz*“, „*sauerstoff*“, „*sonne*“)

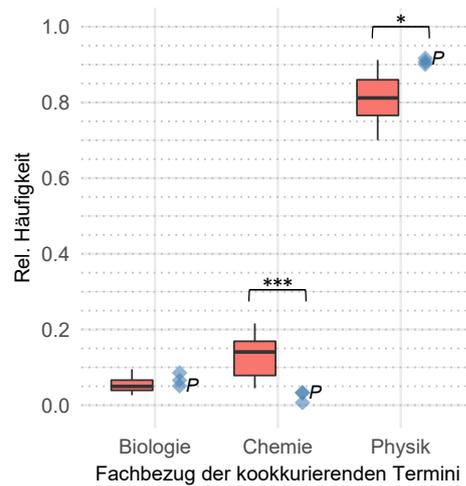
8.2 Horizontale Vernetzung der naturwissenschaftlichen Disziplinen



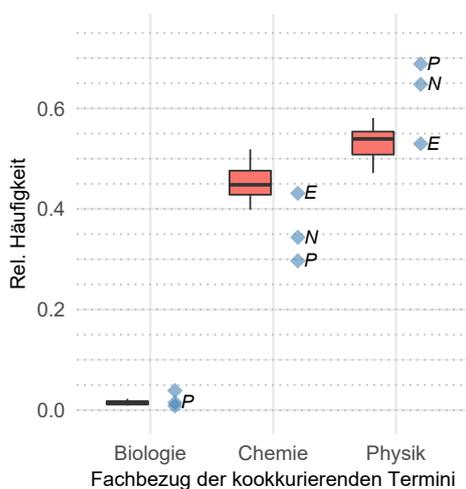
(a) Verteilung des Fachbezugs aller auftretenden Kookkurrenzen



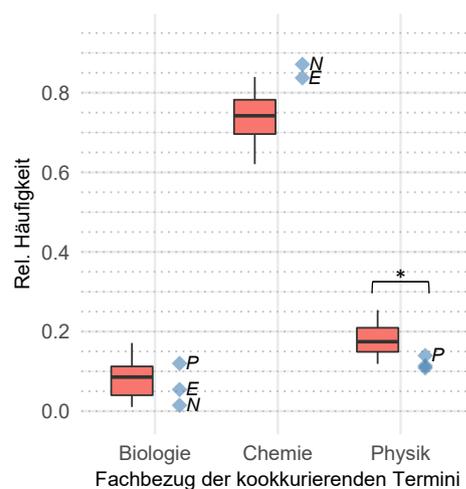
(b) Kookkurrenzen mit „energi“



(c) Kookkurrenzen mit „kraft“



(d) Kookkurrenzen mit „elektron“



(e) Kookkurrenzen mit „molekul“

Abbildung 8.2.1. Kookkurrenzanalyse der Schulbücher des integrierten und fächergetrennten naturwissenschaftlichen Unterrichts auf Satzebene.

als auch von Tieren und Menschen („*fett*“, „*mensch*“, „*nahrstoff*“, „*tier*“, „*verbenn*“) zugeordnet werden können. Darüber hinaus treten Begriffe aus dem Bereich von Energieträgern („*brennstoff*“, „*energieträg*“, „*erdgas*“) häufiger in Schulbüchern des integrierten Fachs mit Energie auf. Zwar tritt der Energiebegriff in diesen Schulbüchern häufiger mit elektrischer Energie („*elektrenergi*“) auf, allerdings konnte in den fächergetrennten Schulbüchern diesbezüglich ein häufigeres gemeinsames Auftreten von Energie mit differenzierteren Begriffen der Elektrizitätslehre gefunden werden („*elektron*“, „*stromkreis*“, „*stromstark*“). Zu den Worttypes die im Schulbuch des gefächerten Unterrichts häufiger mit Energie auftreten als im integrierten Fach zählen unter anderem „*innenergi*“ (innere Energie), „*temperatur*“, „*kraft*“, „*mass*“ und „*leistung*“. Anders als beim Energiebegriff verhalten sich die Kookkurrenzen mit dem Kraft-Begriff. Hier tritt der Terminus seltener mit chemischen und häufiger mit physikalischen Termini in integrierten Schulbüchern auf, sodass in diesen Schulbüchern der Fachbegriff noch stärker auf den physikalischen Kontext beschränkt ist. Hinsichtlich der Kookkurrenzen mit dem Begriff Elektron scheinen zwei Schulbuchreihen des integrierten Fachs eine Tendenz der häufigeren physikalischen Kookkurrenz aufzuweisen, während in fächergetrennten Schulbüchern zwischen dem Anteil chemischer und physikalischer Kookkurrenzen nur ein geringer Unterschied abzulesen ist. Der Gruppenvergleich zwischen den beiden Unterrichtsarten zeigt allerdings keine signifikanten Unterschiede. Schließlich lässt sich bei den Kookkurrenzen mit dem Konzept Molekül ein Unterschied im Anteil der physikalischen Kookkurrenzen feststellen, der in Schulbüchern des integrierten Unterrichts geringer ausfällt. Zur Berücksichtigung des häufigen Testens wurde jeweils die Bonferroni-Holm-Methode zur Korrektur der p-Werte angewendet.

Da Schulbücher grundsätzlich in Doppelseiten aufgegliedert sind und diese thematische Untereinheiten bilden, soll auch auf dieser Ebene analysiert werden, ob ein Fächerübergreif in Schulbüchern des integrierten Fachs vorliegt. Für diese Analyse wurde für jede Doppelseite der fächergetrennten und integrierten Schulbücher jeweils das Verhältnis zwischen biologischen, chemischen und physikalischen Fachbegriffen gebildet. Die aus diesen drei Verhältnissen berechnete Entropie wird als Maß für den Fächerübergreif der Doppelseite zwischen integriertem und gefächertem Schulbuch verglichen. Abbildung 8.2.2 (links) zeigt in einem Dichtediagramm zwischen integrierten und fächerübergreifenden Schulbüchern eine ähnliche Verteilung von Doppelseiten mit hoher bzw. niedriger Entropie, sodass hier zunächst kein Unterschied im Fächerübergreif zu erkennen ist. Um zu überprüfen, ob möglicherweise eine der drei naturwissenschaftlichen Disziplinen stärker in einen fächerübergreifenden Kontext gerückt wird, werden die Doppelseiten je nach stärkster auftretender Fachdomäne getrennt voneinander be-

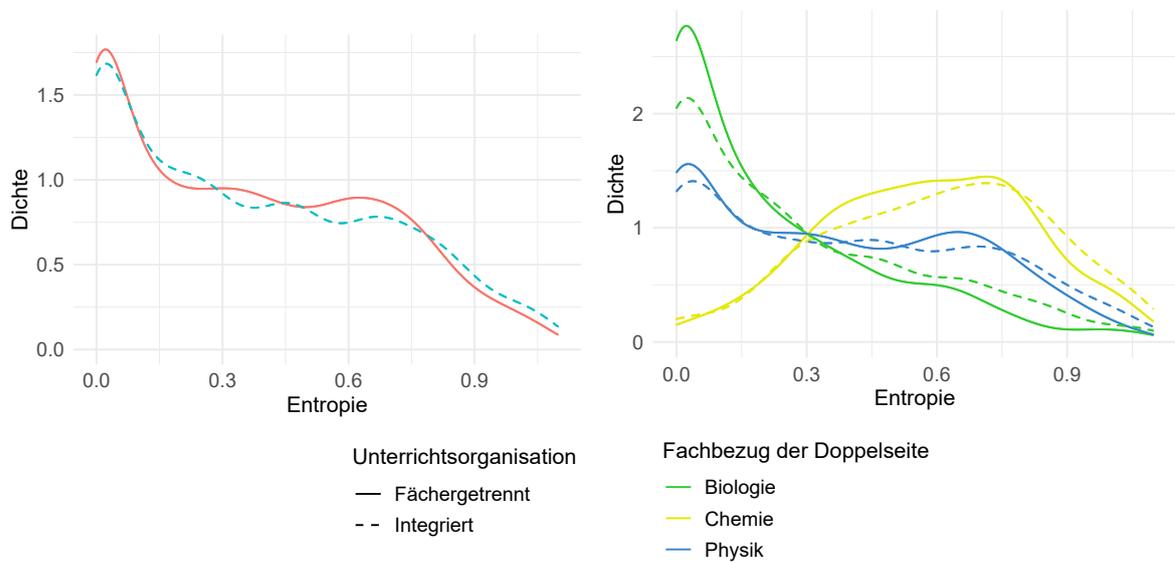


Abbildung 8.2.2. Analyse des Fächerübergreifens der Schulbücher des integrierten und fächergetrennten naturwissenschaftlichen Unterrichts auf Seitenebene mit differenzierter Betrachtung von Doppelseiten der drei Einzeldisziplinen (rechts). Als Maß für den Fächerübergreif wurde die Entropie der Verteilung naturwissenschaftlicher Termini pro Doppelseite berechnet.

trachtet (Abb. 8.2.2, rechts). Es zeigt sich, dass die biologisch geprägten Doppelseiten des integrierten Fachs vermehrt eine höhere Entropie als die des fächergetrennten Unterrichts aufweisen ($W = 412\,689$, $n = 1728$, $p < 0.001$ (Bonferroni-Holm-Korrektur), $r = 0.09$). Die Effektstärke fällt hier allerdings sehr klein aus.

9 Diskussion

Im Folgenden sollen kurz die oben präsentierten Ergebnisse als Antworten auf die in Kapitel 4 aufgestellten Forschungsfragen zusammengefasst und diskutiert werden.

Zunächst bezieht sich die erste Forschungsfrage auf die automatisierte Kodierung von Worttypes zu den Kategorien Bildungssprache, Biologie, Chemie und Physik. Zu diesem Zweck wurden auf der Basis eines umfassenden Referenzkorpus semantische Vektoren durch einen word2vec-Algorithmus und Auftretenshäufigkeiten in verschiedenen Teilkorpora aller Wörter bestimmt, auf dessen Grundlage mit einem Trainingsdatensatz vier Random Forest Klassifikatoren trainiert wurden. Zu diesem Zweck wurden die Wörter eines Trainingsdatensatzes vom Autor anhand eines Kodiermanuals (B) zugeordnet und zum Teil von einer zweiten Person doppelt kodiert, sodass die Interraterreliabilität des menschlichen Kodierens bestimmt werden konnte. Zum Training der Random Forests wurde ein Viertel des Trainingsdatensatz vom Lernprozess ausgeschlossen und zur Testung verwendet. Aus der Einordnung dieses Testdatensatzes durch den automatischen Klassifikator und der Übereinstimmung mit der manuellen Kodierung wurden ebenfalls Werte für Cohens κ bestimmt, die mit der menschlichen Kodierung vergleichbar sind. Darüber hinaus zeigen die AUC-ROC Werte ebenfalls eine hohe Güte des Klassifikators, sodass als Antwort auf die Forschungsfrage von einer hinreichend genauen Einordnung der Random Forests zur automatischen Klassifikation des Wortschatzes der Schulbücher ausgegangen werden kann (Tab. 7.2.1). Die Methode ist dennoch nicht unkritisch zu sehen, da Types mit Termini gleichgesetzt werden. So wird beispielsweise der im physikalischen Kontext als Terminus zu wertende Type „*arbeit*“ auch in der Umgangssprache verwendet, wodurch zwangsläufig eine der beiden Verwendungen falsch kodiert wird. Neben solchen eindeutig kritischen Fällen, können weitere einzelne Unstimmigkeiten gefunden werden. So wird der Worttype „*atom*“ durch die Klassifikatoren zwar der Bildungssprache, aber weder der Chemie noch der Physik zugeordnet. Schließlich darf bei der Interpretation weiterer Ergebnisse nicht vernachlässigt werden, dass Konzepte nicht mit Termini gleichzusetzen sind. Im Gegensatz zum rein sprachlichen Objekt umfassen Konzepte als Bedeutungseinheiten auch mentale Repräsentationen die entsprechend aktiviert werden.

Die zweite Forschungsfrage zielt auf die Charakterisierung des bildungs- und fachsprachlichen Wortschatzes der naturwissenschaftlichen Disziplinen innerhalb der Schulbücher der Unterrichtsvarianten des fächerübergreifenden und integrierten Unterrichts ab. Hier ist zunächst zu erwähnen, dass in der Analyse Schulbücher des Erdkundeunterrichts nicht berücksichtigt werden, da dieser im schulischen Kontext zur Gesellschaftslehre gezählt wird. Zwischen den drei naturwissenschaftlichen Disziplinen zeigen sich deutliche Unterschiede bezüglich der Anzahl unterschiedlicher fachspezifischer Termini. Eine Vielzahl naturwissenschaftlicher Termini lassen sich der Biologie zuordnen, während ein Großteil dieser Termini im Schulbuchkorpus nur selten genannt wird. Dagegen stellt die Chemie einen vom Umfang geringeren fachspezifischen Wortschatz, dessen Fachtermini dagegen häufiger genannt werden (Abb. 8.1.1). Diese Befunde decken sich mit den Ergebnissen von Muspratt und Freebody (2013), welche für Schulbücher in englische Sprache ebenfalls für biologische Kapitel eine hohe Diversität bezüglich des Wortschatzes und für chemische Kapitel eine häufige Wiederholung der Termini finden. Bezüglich des Anteils bildungssprachlicher Wörter, zu denen auch die naturwissenschaftlichen Termini zählen, verzeichnen die Schulbücher aller Unterrichtsfächer einen wachsenden Trend, während in der Chemie das Wachstum am größten ausfällt (Abb. 8.1.2). Das starke Wachstum kann vor allem durch den geringen Anteil chemischer Termini im Anfangsunterricht und einem dagegen sehr hohen Anteil im 9. und 10. Jahrgang erklärt werden (Abb. 8.1.3). Einschränkend muss hier ergänzt werden, dass die Stichprobe bezüglich dieser Auswertung aus nur einem Chemiebuch bestand, da die übrigen Chemiebücher für die gesamte Sekundarstufe I konzipiert waren und nicht getrennt nach Doppeljahrgängen vorlagen. Im Gegensatz hierzu stehen die Biologie-schulbücher, welche bereits in frühen Jahrgängen einen hohen Anteil fachspezifischen Vokabulars aufweisen. Dies könnte einerseits durch einen hohen Anteil biologischer Inhalte im Vergleich zu physikalischen und chemischen Inhalten im Sachunterricht der Grundschule zu erklären sein, sodass hier möglicherweise mehr Fachbegriffe für Schülerinnen und Schüler bereits bekannt sind (Ahlgrim, 2017). Andererseits erlaubt die eingesetzte Methodik keine Aussage über die Komplexität der Termini bzw. der zugrundeliegenden Konzepte. So kann angenommen werden, dass Fachbegriffe, welche bereits aus dem Alltag bekannt sind oder die durch die Sinne direkt erfahrbar bzw. wenig abstrakt sind, schneller ins Gedächtnis gerufen werden können (vgl. Paivio, 2013). Auch dass kein starker Anstieg der Dichte bildungssprachlicher Begriffe zwischen Schulbüchern des Jahrgangs 9/10 und den Universitätslehrbüchern zu beobachten ist, kann hierauf zurückzuführen sein. So könnten die in den Lehrbüchern genutzten Fachbegriffe ein wesentlich größeres Konzeptwissen als die Fachbegriffe in jüngeren Jahrgängen

verlangen. Schließlich konnte gezeigt werden, dass in den Schulbüchern des integrierten Fachs Naturwissenschaften gegenüber den fächergetrennten Schulbüchern ein erhöhter Anteil biologischer und ein verminderter Anteil chemischer Termini zu finden ist, sodass sich in dieser Hinsicht der Fachschwerpunkt zugunsten der Biologie verschoben hat. Limitierend ist der Analyse hinzuzufügen, dass nur Schulbücher aus Niedersachsen verwendet wurden und sich die beiden Schulformen zwischen den Unterrichtsvarianten unterscheiden, da die Schulbücher des fächergetrennten Unterrichts am Gymnasium und die Schulbücher des integrierten Fachs an der integrierten Gesamtschule verwendet werden. Ebenfalls ist die statistische Power durch lediglich drei Messwerte auf der Seite des integrierten Unterrichts sehr gering (de Winter, 2013).

Um den Fächerübergreif in den Schulbüchern zu untersuchen, wurde zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage in einer Kookkurrenzanalyse das gemeinsame Auftreten naturwissenschaftlicher Termini geprüft. Hierbei wurde zunächst eine Kookkurrenz als das gemeinsame Auftreten zweier Termini innerhalb zweier angrenzender Sätze definiert. Werden alle Kookkurrenzen gezählt und nach der Fächerzugehörigkeit der beteiligten Termini gruppiert, lässt sich entsprechend der vorherigen Ergebnisse feststellen, dass in den Schulbüchern des integrierten Fachs ein erhöhter Anteil biologischer und ein verminderter Anteil chemischer innerfachlicher Kookkurrenzen auftritt. Bezüglich der fächerübergreifenden Kookkurrenzen treten seltener chemisch-physikalische und häufiger biologisch-physikalische Kookkurrenzen in Schulbüchern des integrierten Fachs auf, wobei letztere in ihrem Anteil insgesamt sehr gering sind (Abb. 8.2.1, a). Bei genauerer Betrachtung einzelner physikalischer Termini lassen sich hingegen einige Unterschiede in der Fächerzugehörigkeit der mit ihnen kookkurrierenden Termini feststellen. Beispielsweise tritt der Terminus „*kraft*“ in integrierten Schulbüchern verhältnismäßig häufiger mit physikalischen Termini auf, während er in Schulbüchern des fächergetrennten Unterrichts zu einem kleinen Anteil auch mit chemischen Termini kookkurriert. Der Terminus „*energi*“ nimmt eine Sonderrolle ein, da im Gegensatz zu den anderen betrachteten zentralen Termini von jeder der drei naturwissenschaftlichen Domänen ein substantieller Anteil der Kookkurrenzen gestellt wird. Dies unterstreicht den interdisziplinären Charakter des Energiekonzepts. In Schulbüchern des integrierten Fachs tritt im Vergleich zum fächergetrennten Schulbuch der Begriff häufiger mit biologischen und seltener mit physikalischen Termini auf, sodass dort eine weniger starke physikalische Einbettung des Begriffs vorliegt. Über die Satzebene hinaus wurde der Fächerübergreif auf Seitenebene betrachtet, wobei das anteilige Auftreten von Termini der drei Naturwissenschaften pro Doppelseite untersucht wurde. Auf diese Weise wurde geprüft, ob die Doppelseiten, welche meist eine thematische Einheit bilden, in Schulbüchern des

integrierten Fachs häufiger mehr als eine Disziplin zur Behandlung des Themas heranziehen. Es zeigt sich, dass auf Doppelseiten der integrierten Schulbücher, welche einen biologischen Schwerpunkt haben, häufiger auch Termini der anderen beiden Disziplinen auftreten. Für Doppelseiten mit physikalischem oder chemischem Schwerpunkt zeigt sich diesbezüglich kein Unterschied.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss berücksichtigt werden, dass die Messung von Kookkurrenzen fachlicher Termini eher ein Oberflächenmerkmal darstellt und die Frage, in welchem Umfang Fächerübergreif stattfindet, auch von weiteren Aspekten abhängt. Dennoch kann das gemeinsame Auftreten von Termini unterschiedlicher Disziplinen als notwendige Bedingung hierfür angesehen werden. Hinsichtlich des Einsatzes der angewendeten Methoden innerhalb der Fachdidaktik kann somit festgestellt werden, dass sie durchaus einen Beitrag leisten können, fachdidaktische Fragen zu beantworten. Um die Genauigkeiten der Analyse zu steigern, kann es allerdings sinnvoll sein, auch qualitative Daten beispielsweise durch Expertenratings zu ergänzen.

Teil III Situationales Interesse von Schülerinnen und Schülern an biologischen und technischen Kontexten

10 Entwicklung und Design der Intervention

Die in Kapitel 4 gestellten Forschungsfragen bezüglich des Einflusses biologischer und technischer Kontexte auf das situationale Interesse von Schülerinnen und Schülern sollen durch den Einsatz einer Interventionsstudie beantwortet werden. Aufbauend auf Studien, welche das Interesse an naturwissenschaftlichen Fragestellungen und Themenbereichen erfragt haben, soll so untersucht werden, welche Wirkung Kontexte aus diesen Themenbereichen zeigen, wenn sie als einbettende Elemente für physikalische Lernaufgaben genutzt werden (vgl. Hoffmann et al., 1998; Holstermann und Bögeholz, 2007). In der vorliegenden Studie werden vor dem Hintergrund des fächerübergrei-

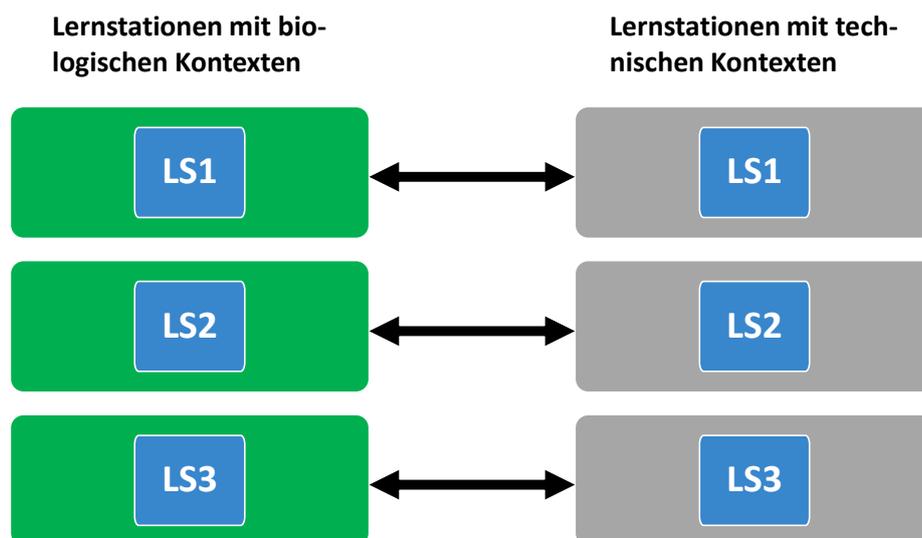


Abbildung 10.0.1. Design der Intervention. Es werden drei Lernstationen (LS) entwickelt, in denen physikalische Inhalte jeweils anhand eines biologischen bzw. technischen Kontexts behandelt werden.

fenden Unterrichts biologische Kontexte als fachüberschreitende Kontexte betrachtet und ihnen technische Kontexte, welche als innerfachlich physikalische Kontexte interpretiert werden, gegenübergestellt (Labudde, 2003, 2021). Da neben der Zuordnung zu einer Fachdomäne weitere Merkmale den Kontext charakterisieren und Interesse wecken können (vgl. van Vorst et al., 2015), sollen zur Steigerung der Aussagekraft der Studie insgesamt drei Lernstationen entwickelt werden, anhand derer die Wirkung fächerübergreifender Kontexte mit der innerfachlicher Kontexte verglichen werden können. Zu diesem Zweck werden für die einzelnen Lernstationen jeweils zwei Versionen entwickelt, welche dieselben physikalischen Inhalte behandeln und sich bezüglich des einbettenden Kontexts unterscheiden (Abbildung 10.0.1).

10.1 Auswahl des Lerninhalts: Das Basiskonzept Energie

Der Energiebegriff hat eine lange Entwicklungsgeschichte. Zunächst aus philosophischer Motivation von Aristoteles eingeführt, sollte er „die Wirklichkeit und Wirksamkeit eines Dinges im Momente des Auswirkens“ beschreiben (Eisler, 1900, S. 198). Wesentlich später erst wurde der Begriff von Thomas Young zum ersten Mal in einem physikalischen Kontext genannt (Young, 1807). Um das Konzept zu charakterisieren, beschreiben Feynman et al. (2015) Energie als eine numerische Größe, welche sich berechnen lässt und über alle Prozesse hinweg, die in der Welt ablaufen, erhalten bleibt. Diese Formulierung zeigt die Abstraktheit des Konzepts, da es auch aus wissenschaftlicher Perspektive unklar ist, was genau Energie als Entität bezeichnet (Feynman et al., 2015). Aus physikdidaktischer Sicht werden die Eigenschaften von Energie genutzt, um bei Schülerinnen und Schülern ein Verständnis des Konzepts zu verdeutlichen. Hierunter fallen das Auftreten in verschiedenen Formen und die Umwandlung zwischen diesen, sowie die Entwertung und die oben genannte Erhaltung von Energie (Duit, 1984, 2014). Die Abstraktheit bedeutet für Schülerinnen und Schüler allerdings große Lernschwierigkeiten, die es zu bewältigen gilt. Zusätzlich sorgt der alltägliche Gebrauch des Begriffs in umgangssprachlichen Formulierungen für eine Vielzahl inadäquater Vorstellungen, mit denen Lernende in den Unterricht kommen (Schecker et al., 2018). Zu diesen gehören stoffliche bzw. mengenartige Vorstellungen, wie die Vorstellung von Energie als universeller Treibstoff oder die Vermischung von Träger- und Energiefluss beispielsweise beim elektrischen Strom (Schecker et al., 2018). Auch die in Medien gebräuchliche For-

mulierung des „Energieverbrauchs“, welche den Verbrauch des Energieträgers mit dem der Energie zusammenwirft, führt zu Verständnisschwierigkeiten bei der Energieerhaltung (Schecker et al., 2018). Als Resultat fällt es Lernenden schwer, die elementaren Eigenschaften des Energiekonzepts zu verstehen, die Fachsprache in Verbindung mit Energie zur Erklärung von Phänomenen anzuwenden oder überhaupt das wissenschaftliche Energiekonzept zur Erklärung von Alltagsphänomenen zu nutzen (Duit, 2014). Werden die Lernprogressionen betrachtet, so entwickelt sich das Konzeptverständnis zunächst von Energieformen und -quellen über die Umwandlung und Entwertung, bis erst Ende der 10. Jahrgangsstufen die Energieerhaltung als schwierigster Aspekt durchdrungen wird (Liu und McKeough, 2005; Viering, 2012; Neumann et al., 2013). Um das Konzeptverständnis stärker zu fördern, wurden neben der oben genannten Energiequadriga weitere vielversprechende Unterrichtsansätze entwickelt. Hierbei werden weniger stark Energieformen thematisieren, da vor allem dieser Aspekt Schülervorstellungen begünstigen kann, sondern vor allem die Energieumwandlungen zwischen diesen Formen behandelt (Nordine et al., 2011; Papadouris und Constantinou, 2016). Ebenfalls hat sich in dieser Hinsicht der System-Transfer-Ansatz als lernwirksam herausgestellt, in dem die Identifikation von Systemen, die an der Energieumwandlung beteiligt sind, im Vordergrund steht und die Betrachtung von Feldern auf qualitativer Ebene auch von jüngeren Schülerinnen und Schülern vorgenommen werden kann (Nordine et al., 2018; Fortus et al., 2019).

Die Besonderheit des Energiekonzepts in Abgrenzung zu anderen wesentlichen physikalischen Konzepten findet sich darin, dass es auch außerhalb der Physik eine zentrale Stellung einnimmt, sodass es ebenfalls in anderen wissenschaftlichen Disziplinen wie der Biologie und Chemie zur Erklärung und Vorhersage von Phänomenen genutzt wird (Eisenkraft et al., 2014). Entsprechend findet sich in den Bildungsstandards der drei naturwissenschaftlichen Fächer Energie in der Beschreibung der Basiskonzept wieder (KMK, 2005a, 2005b, 2005c). Im Unterricht können allerdings unterschiedliche Eigenschaften des Energiekonzepts im Fokus stehen. So wird einerseits im Physikunterricht besonderer Wert auf die Erhaltung der Energie gelegt, aber andererseits werden bei der Behandlung der Nahrungskette im Biologieunterricht vordergründig Energieübertragungen zwischen den verschiedenen Konsumenten betrachtet. Gleichzeitig wird im Chemieunterricht neben Energieumwandlungen häufig gespeicherte Energie in chemischen Bindungen thematisiert (Eisenkraft et al., 2014). Die Studienlage hinsichtlich des Verständnisses des Energiekonzepts jeweils im Kontext der drei naturwissenschaftlichen Disziplinen ist nicht eindeutig. Während quantitative Studien ein übergeordnetes Energieverständnis nahelegen (Park und Liu, 2016; Opitz, Neumann et al., 2017), deuten

vor allem Interviews mit Schülerinnen und Schülern auf unterschiedliche Argumentationsmuster in interdisziplinären Kontexten gegenüber disziplinären Kontexten (Lancor, 2015; Opitz, Blankenstein und Harms, 2017). Dies kann unter anderem auf sprachliche Unterschiede in den Disziplinen zurückgeführt werden, wenn beispielsweise vom „Verbrennen“ oder „Energieverlust“ im biologischen Kontext gesprochen wird (Burger, 2001; Opitz, 2016). Auch eine seltene Thematisierung der Aspekte Entwertung und Erhaltung im biologischen Kontext könnte hierzu beitragen (Wernecke et al., 2016).

10.2 Auswahl der Kontexte und Entwicklung der Lernstationen

Ziel der vorliegenden Studie ist es, das situationale Interesse von Schülerinnen und Schülern bei der Bearbeitung von Lernaufgaben in biologischen und technischen Kontexten zu kontrastieren. Hierfür gilt es, stark parallelisierte Lernaufgaben zu erstellen, die sich möglichst ausschließlich hinsichtlich des einbettenden Kontexts unterscheiden, während die geförderten inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen identisch sind. Aufgrund der oben beschriebenen Zentralität und Interdisziplinarität des Energiekonzepts eignet sich dieses besonders gut, um in Kontexten dieser beiden Domänen eingebettet zu werden, sodass es als Lerngegenstand gewählt wurde. Um nicht nur zwei Kontexte miteinander zu vergleichen und eine stärkere Aussage hinsichtlich der Kontextdomänen zu ermöglichen, sollen insgesamt drei Lernstationen in jeweils zwei Versionen entwickelt werden. Die beiden Versionen unterscheiden sich ausschließlich durch den einbettenden Kontext, welcher in einer Version durch einen biologischen und in der anderen Version durch einen technischen Kontext gegeben ist. Als Zielgruppe der Lernstationen wurde die 10. Klasse des Gymnasiums festgelegt, da sich an dieser Stelle der Schullaufbahn die Interessen der Lernenden stärker ausgebildet haben als im Anfangsunterricht, sodass Effekte auch auf besonders uninteressierte Schülerinnen und Schüler untersucht werden können. Gleichzeitig liegt in dieser Jahrgangsstufe bereits Vorwissen zum Energiekonzept vor, auf welches zurückgegriffen werden kann. Dies gestattet es, trotz der Einschränkung durch die Wahl der beiden Kontexte, flexibler den Lerninhalt auszuwählen. Die schließlich entwickelten Lernumgebungen bauen nicht aufeinander auf, sondern können allein stehend bearbeitet werden.

Zu Beginn der Entwicklung des Lernmaterials stand die Suche nach geeigneten Kontextpaaren, welche jeweils als Einbettung einer Lernstation dienen. Wesentliche Voraussetzung hierfür war, dass in beiden Kontexten des Paares derselbe inhaltliche Aspekt

des Energiekonzepts sinnstiftend behandelt werden konnte. Dabei sollten die Kontexte nicht nur „vorgeblich“ bzw. „Motivationskleister“ sein, sondern jeweils authentische Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Energiekonzept aufwerfen, die in den Lernstationen behandelt werden (Müller, 2006, S. 6). Bei der Orientierung des jeweils thematisierten Inhalts wurden sowohl fachdidaktische Elementarisierungen wie die Energiequadriga, als auch die Lehrplanvorgaben zum Themenbereich Energie aus dem niedersächsischem Kerncurriculum berücksichtigt (Niedersächsisches Kultusministerium, 2015). Dabei sollen die Aufgaben in erster Linie Übungen zur Vertiefung darstellen, weshalb ein gewisses Vorwissen vorausgesetzt wird.

Für die erste Lernstation wurde als inhaltsbezogenes Lernziel Energieträger und die Bestimmung ihrer Energiedichte bzw. ihres Brennwertes mit Hilfe eines Kalorimeters anhand der spezifischen Wärmekapazität von Wasser ausgewählt. Diese Thematik lässt sich sowohl im biologischen Kontext anhand von Nährstoffen behandeln, als auch im technischen Kontext am Beispiel von Treibstoffen des Verbrennungsmotors. Sowohl im Bereich Ernährung als auch zum Verbrennungsmotor liegen Ergebnisse aus Interessensstudien vor. An der Frage wie Verbrennungsmotoren funktionieren, sind mehr als 50 % der Jungen interessiert, aber nur 20 % der Mädchen (Sjøberg und Schreiner, 2010). Anders verhält sich der Bereich Ernährung. Beispielsweise interessieren sich knapp 80 % der Mädchen für die Frage, was man essen muss, um gesund und fit zu bleiben, wohingegen knapp 60 % der Jungen Interesse zeigt (Sjøberg und Schreiner, 2010). Während Jungen also an beiden Kontexten ähnliches Interesse aufweisen, divergiert dieses in besonderem Maße bei Mädchen.

In der zweiten Lernstation steht als inhaltsbezogenes Lernziel die Bestimmung der Strahlungsleistung der Sonne anhand eines einfachen Experiments im Vordergrund. Als biologischer Kontext wurde die Umwandlung der Strahlungsenergie in chemische Energie bei der Fotosynthese gewählt und als technischer Kontext die Umwandlung in elektrische Energie durch Solarzellen. Beide Kontexte werden vor dem Hintergrund erneuerbarer Energien vorgestellt, wobei schließlich auch auf den Wirkungsgrad eingegangen werden soll. Pflanzen stellen grundsätzlich einen für Schülerinnen und Schüler uninteressanten Themenbereich dar. Fragen danach, wie Pflanzen wachsen und sich fortpflanzen oder welche Pflanzen in meiner Umgebung zu Hause sind, stoßen auf wenig Interesse (Holstermann & Bögeholz, 2007). Unklar ist, inwiefern der Bezug zu erneuerbaren Energien und lediglich der kontextuelle Bezug zur Fotosynthese das resultierende situationale Interesse beeinflusst. Speziell zum Interesse an Solarzellen liegen keine Ergebnisse vor. Allerdings zeigen am Themenbereich „Verstehen von Physik und Technik“, zu dem beispielsweise die Frage nach Elektrizität, wie sie erzeugt und im

Tabelle 10.2.1. Übersicht der erstellten Lernstationen mit einbettenden Kontexten und physikbezogenen Aufgaben (vgl. Lewing et al., [in Vorb.](#)).

Kontextdomäne	Biologie	Technik
Lernstation 1	Stoffwechsel & Ernährung	Verbrennungsmotor
	1) Aufstellen einer Energieumwandlungskette (Beschreibung der im Informationstext genannten Energieumwandlungen) 2) Kalorimeter (Experimenteller Aufbau, Bestimmung der Brennwerte von Nähr- bzw. Treibstoffen, Rückbezug zum Kontext) 3) Energiebilanz beim Rad- bzw. Motorrollerfahren (Bestimmung der Arbeit, Wirkungsgrad, Argumentation zu Energieverlusten)	
Lernstation 2	Fotosynthese	Solarzellen
	1) Aufstellen einer Energieumwandlungskette (Beschreibung der im Informationstext genannten Energieumwandlungen) 2) Strahlungsleistung der Sonne (Bestimmung der Strahlungsleistung durch experimentellen Aufbau, Diskussion der Messwerte und des Aufbaus) 3) Wirkungsgradbestimmung bei der Energieumwandlung durch Fotosynthese bzw. Solarzellen	
Lernstation 3	Wärmehaushalt von Tieren	Hausdämmung im Winter
	1) Wärmeleitung im Teilchenmodell (Erläuterung der Wärmeleitung, Wärmeleitung in verschiedenen Aggregatzuständen, Rückbezug zum Kontext) 2) Modellexperiment zur Wärmeleitung bei unterschiedlicher Umgebungstemperatur (Beschreibung des Modellcharakters des Experiments, Deutung experimenteller Daten)	

Haushalt genutzt wird, gehört, vor allem Jungen Interesse (Holstermann & Bögeholz, 2007).

Die dritte Station behandelt auf inhaltsbezogener Ebene den Energiestrom zwischen zwei Körpern mit unterschiedlicher Temperatur, wobei das Teilchenmodell zur Erklärung der Wärmeleitung herangezogen wird. Als Kontexte dient zum einen das Fell von Tieren, während aus technischer Perspektive die Dämmung eines Wohnhauses diskutiert wird. Das Interesse am Themenbereich Tiere, zu dem beispielsweise untergeordnete Fragen nach Tieren in der Umgebung, gefährliche oder bedrohte Tiere und deren Schutz gehören, ist auf einem mittleren Niveau bei Mädchen und Jungen ähnlich stark ausgeprägt. Daten zum Interesse an Techniken zur Wärmedämmung oder dem Bau von

Wohnhäusern liegen nicht vor. Die Studienzahlen im Bauingenieurwesen deuten allerdings mit 30 % Frauenanteil einen leichten Geschlechtereffekt zugunsten der Männer in diesem Themenbereich hin (Kraus, 2022).

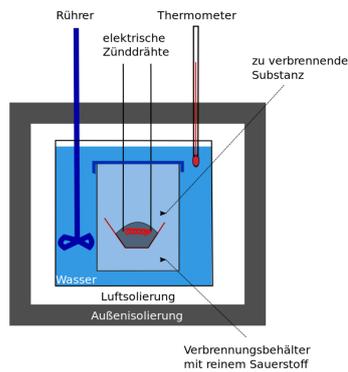
Um den Kontext einzuführen, wird zu Beginn jeder Lernstation ein kurzer Einleitungstext mit einer kontextspezifischen Abbildung präsentiert. Im Anschluss daran werden zwei bis drei Leitfragen im Sinne eines Advance Organizer gestellt, welche anhand der Aufgaben der Lernstation beantwortet werden sollen. Diese Lernfragen sind innerhalb einer Lernstation inhaltlich identisch mit Ausnahme kontextspezifischer Formulierungen. Zur weiteren Verankerung soll dann ein ausführlicherer Informationstext zum Kontext von den Lernenden gelesen werden, bevor die jeweiligen Aufgaben bearbeitet werden. Für die Länge des Informationstexts wurde ein Richtwert von etwa 200 Wörtern angesetzt. Tabelle 10.2.1 gibt einen Überblick über die drei Lernstationen, die jeweiligen Kontexte und die zu bearbeitenden Aufgaben. Im Folgenden werden die konkreten Inhalte der Lernstationen vorgestellt.

Nach einem kurzen Einleitungstext zur Bedeutung der Themen des Verbrennungsmotors und der Ernährung im Alltag, werden drei Leitfragen formuliert, die in der ersten Lernstation beantwortet werden sollen:

1. Welche Energieumwandlungen laufen bei unserer Ernährung/beim Verbrennungsmotor ab?
2. Welchen Brennwert besitzen die verschiedenen Nährstoffe/Treibstoffe und wie können wir diesen experimentell bestimmen?
3. Welchen Wirkungsgrad hat unser Körper/ein Verbrennungsmotor?

Im Informationstext der ersten Lernstation wird im technischen Kontext die Energieumwandlung während des Betriebs eines Verbrennungsmotors beschrieben. Dies umfasst den Treibstoff als Träger der chemischen Energie, die Umwandlung durch Verbrennung in Bewegungsenergie des Zylinderkolbens und schließlich die Übertragung dieser Bewegungsenergie über die Kurbelwelle an die Reifen des Fahrzeugs. Im Informationstext des biologischen Kontexts der Ernährung wird eine ähnliche Umwandlungskette beschrieben. In den Nährstoffen der Nahrung ist chemische Energie gespeichert, welche im Verlauf der Verdauung genutzt wird, um den Stoff ATP zu synthetisieren, in dem anschließend die chemische Energie gespeichert ist. Muskelzellen wandeln schließlich diese chemische Energie in Bewegungsenergie um. In beiden Versionen werden noch zusätzliche Informationen geboten, wie die Beschreibung des Arbeitstakts des Zylinders oder die einzelnen Stationen der Verdauung im Körper. Die erste Aufgabe dient

10.2 Auswahl der Kontexte und Entwicklung der Lernstationen



2b) Es wurden jeweils ein Gramm verschiedener Nährstoffe (Treibstoffe) im Kalorimeter verbrannt (s. Tabelle 1). Berechne die jeweiligen Brennwerte.

Substanz	T _{Wasser (vorher)}	T _{Wasser (nachher)}	Temperaturdifferenz ΔT	Wärmemenge ΔQ (Brennwert)
Kohlenhydrate	20,0 °C	24,1 °C	4,1 °C	
Substanz	T _{Wasser (vorher)}	T _{Wasser (nachher)}	Temperaturdifferenz ΔT	Wärmemenge ΔQ (Brennwert)
Diesel	20,0 °C	28,9 °C	8,9 °C	

Abbildung 10.2.1. Auszug der Aufgabe zur Brennwertbestimmung mittels Kalorimeter in biologischem und technischem Kontext (Abbildung nach Lanzi, 2019).

der Verarbeitung des Informationstexts, indem zunächst eine Energieumwandlungskette anhand der Angaben erstellt werden soll. Zur Beantwortung der zweiten Leitfrage wird zu Beginn der folgenden Aufgabe der Aufbau und die Funktionsweise eines Kalorimeters erklärt. Die erste Teilaufgabe dient dabei der Sicherung des Verständnisses des Experiments, indem die Aufgabe der Isolierung und des Rührers von den Lernenden erläutert werden soll. Erst danach sollen Messwerte des Experiments genutzt werden, um mit Hilfe der Formel für die spezifische Wärmekapazität von Wasser die Energie der Nährstoffe bzw. Treibstoffe rechnerisch zu bestimmen (Abb. 10.2.1). Um einen Rückbezug von der Mathematisierung zum Kontext zu schaffen, sollten die Brennwerte in der dritten Teilaufgabe eingeordnet werden. Um weiter einen sinnstiftenden Alltagsbezug herzustellen, weist diese Aufgabe zwischen den beiden Kontextversionen Unterschiede auf. Im biologischen Kontext soll mit den berechneten Brennwerten und gegebenen Nährwerttabellen abgeschätzt werden, welche Lebensmittel den höchsten Energiegehalt haben. Auf der anderen Seite soll im technischen Kontext der Energiegehalt von fossilen Treibstoffen mit dem von Wasserstoff in verschiedenen Aggregatzuständen verglichen werden und daraus folgende Herausforderungen von Fahrzeugen auf Basis von Brennstoffzellen genannt werden. Auf andere Unterschiede der beiden Technologien, beispielsweise hinsichtlich des Wirkungsgrads wird an dieser Stelle nicht eingegangen, um den strukturellen Unterschied zwischen den Versionen gering zu halten. Schließlich soll in der dritten Aufgabe untersucht werden, welcher Anteil der in den Nähr- bzw. Treibstoffen für Bewegung genutzt wird und in welcher Weise bzw. welche Form die übrige Energie umgewandelt wird. Zur Beantwortung wird in einem Beispiel mittels der Formel für die mechanische Arbeit die Energie berechnet, die zur Bewältigung einer gewissen Strecke beim Fahrradfahren bzw. Motorrollerfahren erforderlich ist. Diese Energie wird dann ins Verhältnis der insgesamt umgesetzten Energie gestellt, um den

10.2 Auswahl der Kontexte und Entwicklung der Lernstationen

Energieumwandlung durch Fotosynthese

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle der Erde. Mit Hilfe der Fotosynthese können Pflanzen in der Natur einen Teil der auf der Erde eintreffenden Sonnenstrahlung nutzbar machen. So dient sie dem Aufbau organischer Substanzen, die für das Leben der Pflanzen essenziell sind.



Abbildung 1: Blätter in der Sonne (Inhaber, 2014)

An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- Welche Energieumwandlungen laufen bei der Fotosynthese ab?
- Wie viel Lichtenergie ist durch die Sonneneinstrahlung auf der Erde verfügbar?
- Welchen Wirkungsgrad hat die Umwandlung der Lichtenergie durch die Fotosynthese?

Information

Energieumwandlung durch Fotosynthese: Die Energie, welche die Pflanzen bei der Fotosynthese umwandeln, kommt von der Sonne. Durch die Größe der Sonne und ihre hohe Temperatur wird eine große Menge Lichtenergie freigesetzt, welche die Erde erreicht. Pflanzen nutzen diese, um organische Substanzen aufzubauen, in denen die Lichtenergie der Sonne in Form von chemischer Energie gespeichert ist. Die Umwandlung der Lichtenergie findet dabei in den Chloroplasten der Blätter statt. Unter „Zufuhr“ von Lichtenergie werden hier Wasser und Kohlenstoffdioxid zu dem energiereichen Stoff Glucose umgesetzt, wobei als Nebenprodukt Sauerstoff entsteht, welcher über die Spaltöffnungen abgegeben wird. Glucose wird auch als Traubenzucker bezeichnet und dient der Pflanze als sofortiger Energielieferant. Um jederzeit, z.B. auch bei Dunkelheit, Glucose zur Verfügung zu haben, können mehrere Glucose-Moleküle zu dem Mehrfachzucker Stärke verknüpft werden. Stärke dient der Pflanze also als längerfristiger Energiespeicher. Pflanzen benötigen Kohlenhydrate für alle Lebensvorgänge, so zum Beispiel für Stoffwechsel oder Wachstum. Das gesamte von Pflanzen hergestellte Material wird als pflanzliche Biomasse bezeichnet. Diese pflanzliche Biomasse ist wiederum die Ernährungsgrundlage und damit Energielieferant vieler weiterer Lebewesen auf der Erde.

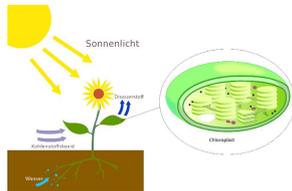


Abbildung 2: Ablauf der Fotosynthese (Wattelle & A009g, 2016; Kalvicki, 2021)

Energieumwandlung durch Solarzellen

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle der Erde. Mit Hilfe technischer Erfindungen wie Solarzellen können wir einen Teil der auf der Erde eintreffenden Sonnenstrahlung nutzbar machen. So können mit dem erzeugten elektrischen Strom Alltagsgeräte angetrieben werden.



Abbildung 1: Photovoltaikanlage auf einem Hausdach

An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- Welche Energieumwandlungen laufen bei einer Solarzelle ab?
- Wie viel Lichtenergie ist durch die Sonneneinstrahlung auf der Erde verfügbar?
- Welchen Wirkungsgrad hat die Umwandlung der Lichtenergie durch die Solarzellen?

Information

Energieumwandlung durch Solarzellen: Die Energie, welche die Solaranlagen umwandeln, kommt von der Sonne. Durch die Größe der Sonne und ihre hohe Temperatur wird eine große Menge Strahlungsenergie freigesetzt, welche die Erde erreicht. Solarzellen wandeln diese Strahlungsenergie in elektrische Energie um. Dies geschieht in den einzelnen Solarzellen einer Solaranlage. Solarzellen bestehen aus zwei verschiedenen Materialien, die übereinander geschichtet sind. Aufgrund der Eigenschaften der beiden Materialien ergibt sich an der Grenze zwischen diesen Materialien ein Bereich, in dem sich ein elektrisches Feld mit einem negativen und positiven Pol befindet. Dieser Bereich wird Raumladungzone genannt. Wenn nun in diesem Bereich einem Elektron durch energiereiche Sonnenstrahlung Energie zugeführt wird, kann es sich frei bewegen und wandert in Richtung des positiven Pols des elektrischen Feldes (nach oben in Abbildung 2). Durch die Energiezufuhr fließt ein Strom (I) zwischen oberem und unterem Metallkontakt. Eine einzelne Solarzelle erzeugt allerdings nur eine geringe Spannung (U) (z.B. 0,5 V) sowie einen geringen Strom. In Solarmodulen, die auf vielen Dächern zu finden sind, werden einzelne Solarzellen sowohl in Reihe als auch parallel geschaltet, um Stromstärke, Spannung und dementsprechend auch die Leistung ($P = U \cdot I$) zu erhöhen.

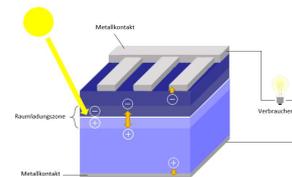


Abbildung 2: Aufbau einer Solarzelle (eigene Zeichnung nach Kothé, 2021)

Abbildung 10.2.2. Einleitungstext, Leitfragen und Informationstext der zweiten Lernstation zur Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne durch Fotosynthese bzw. Solarzellen.

Wirkungsgrad zu bestimmen und den Anteil ungenutzter Energie zu erklären. Als prozessbezogene Kompetenzen stehen in dieser Lernstation vor allem Facetten der experimentellen Kompetenz, aber auch der Mathematisierungskompetenz im Vordergrund (vgl. Niedersächsisches Kultusministerium, 2015).

In der zweiten Lernstation sollen folgende Leitfragen beantwortet werden:

1. Welche Energieumwandlungen laufen bei der Fotosynthese/einer Solarzelle ab?
2. Wie viel Lichtenergie ist durch die Sonneneinstrahlung auf der Erde verfügbar?
3. Welchen Wirkungsgrad hat die Umwandlung der Lichtenergie durch die Fotosynthese/Solarzellen?

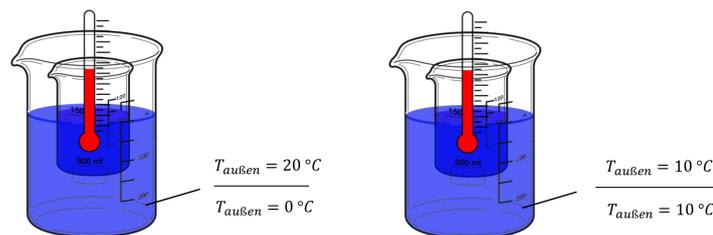
Ähnlich der ersten Lernstation sollen hier zunächst die Angaben des Informationstexts (Abb. 10.2.2) geordnet werden, indem die genannten Energieumwandlungen in einer

Energieübertragungskette sortiert werden. Sowohl im biologischen als auch technischen Kontext betrifft dies zunächst die durch die Sonne emittierte Strahlungsenergie, die dann in den Blättern von Pflanzen in chemische Energie bzw. in den Solarzellen in elektrische Energie umgewandelt wird. Diese Aufgabe stellt wie in der ersten Lernstation sicher, dass der Text verarbeitet und somit der Kontext verankert wird. Der Fokus der zweiten Lernstation besteht anschließend darin, die Strahlungsleistung der Sonne anhand von Messwerten eines einfachen Experiments zu bestimmen. Hierbei wird ein Aluminiumwürfel, der an fünf Seiten von Styropor umgeben und auf der sechsten Seite geschwärzt ist, von der Sonne erwärmt, wobei in festen Zeitintervallen die aktuelle Temperatur des Würfels gemessen wird. Nachdem schrittweise über die spezifische Wärmekapazität die Leistung als Energie pro Zeit berechnet wird, sollen die Ergebnisse und das Experiment hinsichtlich weiterer Einflussfaktoren bestimmt werden. Um nach dieser Aufgabe wieder einen Rückbezug zum Kontext zu schaffen, soll in der dritten Aufgabe bestimmt werden, welchen Wirkungsgrad die Umwandlung der Strahlungsenergie der Sonne durch Fotosynthese in chemische Energie der Biomasse bzw. durch Solarzellen in elektrische Energie bietet. Auch in dieser Lernstation stehen durch die Reflexion des experimentellen Aufbaus und der Auswertung inklusive einiger Berechnungen sowohl die Experimentier- als auch die Mathematisierungskompetenz im Vordergrund (vgl. Niedersächsisches Kultusministerium, 2015).

Nach einer kurzen kontextspezifischen Einleitung zur Körpertemperatur von Tieren bzw. Raumtemperatur von Wohnhäusern im Winter werden auch in der dritten Lernstation zunächst Leitfragen gestellt, welche im Verlauf der Aufgaben beantwortet werden.

1. Wie kann man das Phänomen der Wärmeleitung erklären?
2. Wie schnell wird Wärme durch Wärmeleitung abgegeben und welchen Einfluss hat die Temperatur des kalten Mediums?

Ein anschließender Informationstext verankert den Kontext, indem in beiden Versionen erläutert wird, dass einerseits zum Erreichen einer konstanten Temperatur eine Wärmedämmung ein wichtiges Element darstellt, gleichzeitig aber auch „geheizt“ werden muss, da immer ein Teil der Wärmeenergie an die Umgebung abgegeben wird. Weitere Informationen betreffen die Umwandlung chemischer Energie in Wärmeenergie durch braunes Fettgewebe oder Muskelzittern bzw. Verbrennung von Energieträgern wie Holz oder Erdgas, sowie das Fell von Tieren bzw. Dämmungsmaterial im Wohnhaus. In der ersten Aufgabe gilt es, das Teilchenmodell in Bezug auf die Wärmeleitung zu aktivieren, um dieses anschließend auf den Kontext zu übertragen und zu begründen, warum



- a) Mit dem Modellversuch wollen wir die Wärmeübertragung von Lebewesen genauer betrachten. Erläutere, was mit dem Versuchsaufbau gezeigt werden soll und wofür die einzelnen Bechergläser im Realexperiment stehen.

- a) Mit dem Modellversuch wollen wir die Wärmeübertragung bei einem Haus genauer betrachten. Erläutere, was mit dem Versuchsaufbau gezeigt werden soll und wofür die einzelnen Bechergläser im Realexperiment stehen.

Abbildung 10.2.3. Einstieg in die Aufgabe zum Modellexperiment. Im Anschluss werden grafisch visualisierte Messwerte interpretiert und der Heizaufwand anhand der Steigung gedeutet.

die eingeschlossene Luft als schlechter Wärmeleiter fungiert. In der zweiten Aufgabe wird ein Modellexperiment präsentiert, in welchem der Temperaturverlauf eines warmen Wasserreservoirs gemessen wird, welches in thermischem Kontakt mit einem kalten Reservoir ist (Abbildung 10.2.3). Die Temperatur des kalten Reservoirs wird variiert, sodass in der Auftragung der Messwerte zu erkennen ist, dass bei kälterer Außentemperatur die Temperatur des warmen Reservoirs schneller sinkt. Nachdem die Lernenden zunächst die Modellierung des Kontexts durch das Experiment nachvollziehen, sollen sie anschließend die Messwerte interpretieren und die Steigung der Messkurve als Maß für den Heizaufwand zur Aufrechterhaltung der Temperatur deuten. Die dritte Lernstation weist im Unterschied zu den ersten beiden Lernstationen einen geringeren Mathematisierungsgrad auf, sodass besonders die Modellierungskompetenz durch das Argumentieren anhand des Teilchenmodells und der Interpretation des Messmodells im Vordergrund steht, aber auch die physikalische Argumentationskompetenz durch die Diskussion des Messwertdiagramms gefördert wird (vgl. Niedersächsisches Kultusministerium, 2015).

Aufgrund der Coronapandemie und des damit verbundenen Homeschoolings wurden die Aufgaben in LimeSurvey implementiert, sodass sie über einen Link zugänglich waren und am PC oder mobilen Endgerät bearbeitet werden konnten. Nach der Entwicklung der Aufgaben wurden diese in einer Studie lauten Denkens mit sieben Schülerinnen und Schülern der 10. und 11. Jahrgangsstufe pilotiert. Hierbei wurden Schwierigkeiten bei der Bearbeitung, insbesondere bei mathematischen Berechnungen, aufgedeckt, welche

durch den Einsatz gestufter Hilfen gelöst werden konnten. Da es sich um Übungsaufgaben handeln sollte, waren auch die Rechenergebnisse über ein Pop-Up-Fenster abrufbar und konnten so in Eigenverantwortung mit dem eigenen Resultat abgeglichen werden. In der Pilotierung konnte die Oberfläche von LimeSurvey intuitiv von den Schülerinnen und Schülern bedient werden, sodass bei der Hauptstudie in dieser Hinsicht keine Schwierigkeiten zu erwarten sind.

11 Methodisches Vorgehen

11.1 Beschreibung der Stichprobe

Die Zielgruppe der Intervention wird aus Schülerinnen und Schülern der 10. Jahrgangsstufe des Gymnasiums gebildet. Zu diesem Zweck wurden Lehrkräfte der entsprechenden Schulform angeschrieben und um Teilnahme an der Studie gebeten. Die Akquise beschränkte sich aufgrund der Orientierung der Aufgaben am niedersächsischen Kerncurriculum auf Schulen in diesem Bundesland, wobei auch eine Lehrkraft aus Nordrhein-Westfalen angeschrieben wurde und sich zur Teilnahme bereit erklärt hat. Insgesamt haben 15 Lehrkräfte zugestimmt, an der Studie teilzunehmen und das Interventionsmaterial an ihre Klasse und zum Teil auch an weitere Klassen ihrer Schule weiterzuleiten. Insgesamt wurde die Studie von 309 Schülerinnen und Schülern vollständig bearbeitet, sodass dieser Datensatz für die Auswertung genutzt wurde. Hierbei wurden bereits sechs Datensätze mit einer Bearbeitungszeit von weniger als 10 Minuten abgeschlossen. Die Anzahl an Schülerinnen und Schülern, welche die Vorerhebung begonnen haben, liegt mit 591 wesentlich höher und zeigt, dass ein großer Teil der Probanden während der Bearbeitung die Studie abgebrochen hat. Die genaue Zahl, wie viele Schülerinnen und Schüler insgesamt angeschrieben und zur Teilnahme aufgefordert wurden, liegt nicht vor. Im Mittel sind die Schülerinnen und Schüler des vollständigen Datensatzes 15,6 Jahre alt ($SD = 0.8$) mit einer Physiknote von 2.4 ($SD = 1.0$). Während an niedersächsischen Gymnasien Mädchen zu etwa 54,7% vertreten sind, ist dieser Anteil in der vorliegenden Studie mit etwa 64% ($N_M = 197$) signifikant verschoben ($p < 0.01$, zweiseitig, Niedersächsisches Kultusministerium, 2020a).

11.2 Instrumente

In der vorliegenden Interventionsstudie basiert die Messung der abhängigen und unabhängigen Variablen auf bereits ausgearbeiteten bzw. validierten Messinstrumenten, welche in geringem Maße angepasst oder erweitert wurden. Bei der Zusammenstellung der Messinstrumente wurde darauf geachtet, auf reliable und gleichzeitig ökonomische

Fragebögen zurückzugreifen, um die Bearbeitungszeit für die Schülerinnen und Schüler möglichst gering zu halten. Zum einen werden die Fragebögen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept in den Domänen Physik, Biologie und Technik vorgestellt, welche vor der Bearbeitung der Lernstationen ausgefüllt wurden und zum anderen wird der Fragebogen zum situationalen Interesse und zur kognitiven Belastung beschrieben, der im Anschluss an die Bearbeitung einer Lernstation von den Schülerinnen und Schülern beantwortet wird. Die einzelnen Items sind dabei als Aussagen formuliert und bieten jeweils ein 6-stufiges Antwortformat, das von „trifft überhaupt nicht zu“ (1) bis „trifft voll und ganz zu“ (6) reicht. Negativ gepolte Items wurden für die folgende Analyse bereits umkodiert, sodass ein hoher Messwert für ein hohes Interesse bzw. Selbstkonzept steht.

11.2.1 Fragebögen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept

Anhand der theoretischen Modellierung des Interessenkonstrukts ist davon auszugehen, dass das individuelle Interesse einen besonders starken Einfluss auf das situationale Interesse in einer konkreten Lernsituation hat (Schiefele, 2009b). Aus diesem Grund soll sowohl das individuelle Interesse an Physik, als auch an den Domänen Biologie und Technik erfragt werden. Für das Interesse an Physik werden sowohl das Sach- als auch das Fachinteresse erfragt, da die Interventionsstudie im Rahmen des Fachs Physik durchgeführt wird. Zu den Domänen Biologie und Technik wird ausschließlich das Sachinteresse erfragt und aus ökonomischen Gründen auf Fragen zum Fachinteresse verzichtet. Allerdings kann auch für das Fach- und Sachinteresse an Physik aufgrund der Ergebnisse vorheriger Studien vermutet werden, dass sich nur schwer die beiden Dimensionen im Antwortverhalten durch eine Faktorenanalyse unterscheiden lassen (vgl. Habig, 2017). Die Skalen zum Fach- und Sachinteresse bestehen jeweils aus 4 Items und wurden aus der BIJU-Studie übernommen (Daniels, 2008). Darüber hinaus wird auch das Selbstkonzept erfragt, um einen Einfluss auf das situationale Interesse zu untersuchen. Hierbei wurde ebenfalls die Skala aus der BIJU-Studie übernommen, wobei fünf Fragen zur Wahrnehmung der eigenen aktuellen Fähigkeiten in der entsprechenden Domäne gestellt werden (Daniels, 2008). Um die Dimension des Selbstkonzepts zu erweitern, wurden zwei weitere Items hinzugefügt, welche die Wahrnehmung der anderen Lernenden hinsichtlich der eigenen Leistung und die Einschätzung zukünftiger Leistung betrifft (vgl. Kuhn, 2008). Individuelles Interesse und Selbstkonzept werden bezüglich der drei Domänen Physik, Biologie und Technik erfragt, sodass diese unabhängige Va-

riablen nicht nur für den inhaltlichen Kompetenzbereich (Physik), sondern auch für die Kontextdomänen vorliegen. Da im Unterschied zu Physik und Biologie Technik am Gymnasium nicht als eigenständiges Fach unterrichtet wird, leitet ein kurzer Text in diesen Fragebogen ein, der erklärt, was unter Technik zu verstehen sein soll (Andreitz et al., 2013, S. 59):

„Mit Technik meinen wir im Folgenden alles, was im weitesten Sinne damit zu tun hat:

1. Technik kann dir im Unterricht begegnen, z.B. in Physik, Chemie, Mathematik, etc.
2. Es können auch konkrete Handlungen außerhalb der Schule sein (wie z.B. basteln und herumschrauben an elektrischen Geräten und Maschinen).
3. Oder die ‚theoretische‘ Beschäftigung mit bestimmten Fragen (z.B.: Wie funktioniert eine Maschine? Welche Prinzipien stehen dahinter?).“

Um zu überprüfen, inwiefern sich die verschiedenen Konstrukte in den drei Fragebögen zu den fachlichen Domänen trennen lassen, soll für jeden Fragebogen eine explorative Faktorenanalyse durchgeführt werden. Zunächst wurde hierfür die Eignung der Daten geprüft. Als erstes Kriterium wurden die Determinanten der Korrelationsmatrizen der Items für die drei Fragebögen bestimmt. Da diese hinreichend stark von null abweichen, kann davon ausgegangen werden, dass bei keinem der Fragebögen Multikollinearität vorliegt (Field et al., 2012). Weiter zeigt der Bartlett-Test auf Sphärizität signifikante Abweichung der Korrelationsmatrizen von der Einheitsmatrix, sodass einzelne Items ausreichend stark miteinander korrelieren. Auch die Kennwerte des Kaiser-Meyer-Olkin-Kriteriums deuten auf eine sehr gute Passung der Daten hin, um eine

Tabelle 11.2.1. Prüfung der Voraussetzungen für eine explorative Faktorenanalyse der Fragebögen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept in den Domänen Physik, Biologie und Technik ($N = 309$).

	Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium		Bartlett-Test			Faktoren
	KMO	MSA_j	χ^2	df	p	n
Physik	.94	.90 < MSA < .97	3198	105	<0.001	2
Biologie	.89	.70 < MSA < .93	2325	55	<0.001	2
Technik	.89	.77 < MSA < .91	2077	55	<0.001	2

Faktorenanalyse durchzuführen (s. Tab. 11.2.1). Die Anzahl der Faktoren wurde für die drei Fragebögen jeweils durch Anwendung des Kaiser-Kriteriums bestimmt, sodass nur Faktoren, deren Eigenwert größer als 1 ist, behalten werden.

Da die Voraussetzungen gegeben waren, wurde für die drei Fragebögen jeweils eine explorative Faktorenanalyse mit Varimax-Rotation berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11.2.2 dargestellt. Es zeigt sich für den Physikfragebogen, dass sich die Skalen zum Fach- und Sachinteresse nicht trennen lassen und sie somit zu einem Faktor zusammengefasst werden. Des Weiteren lassen sich die beiden Items, die zur Messung des Selbstkonzepts vorgesehen waren und zu den ursprünglichen Items aus der BIJU-Studie ergänzt wurden, nicht eindeutig einem der beiden Faktoren zuordnen. Insbesondere die Frage danach, ob die eigenen Leistungen in der entsprechenden Domäne in Zukunft gut sein werden, kann zum Teil dem gleichen Faktor zugeordnet werden wie die Items zum individuellen Interesse. Aufgrund der Diskrepanz der zwischen abgezieltem Messkonstrukt und Faktorladung werden die beiden Items SK.6 und SK.7 in der Auswertung

Tabelle 11.2.2. Explorative Faktorenanalyse der Items zum individuellen Interesse und Selbstkonzept jeweils in den Domänen Physik, Biologie und Technik. Die Daten werden jeweils in zwei Dimensionen am besten abgebildet ($N = 309$).

Item	Physik		Biologie		Technik	
	F1	F2	F1	F2	F1	F2
FInt.1	0.76					
FInt.2	0.75					
FInt.3	0.69					
FInt.4	0.70					
SInt.1	0.77		0.84		0.80	
SInt.2	0.79		0.88		0.88	
SInt.3	0.72		0.85		0.82	
SInt.4	0.77		0.83		0.80	
SK.1		0.51		0.49		0.50
SK.2		0.82		0.83		0.77
SK.3		0.79		0.79		0.79
SK.4		0.68		0.64		0.70
SK.5		0.78		0.76	0.40	0.73
SK.6		0.49	0.49	0.41	0.47	
SK.7	0.40	0.40	0.62		0.71	

nicht berücksichtigt. Für die weiterführende Itemanalyse zeigt Tabelle 11.2.3 die Mittelwerte, Standardabweichung und Trennschärfe der einzelnen Items der drei Fragebögen nach Ausschluss aufgrund der Faktorladungen. Die Werte für die Trennschärfe liegen

Tabelle 11.2.3. Itemmittelwerte der Skalen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept bezüglich der Domänen Physik, Biologie und Technik mit Standardabweichung und Trennschärfe ($N = 309$).

Item	Physik			Biologie			Technik		
	\bar{x}	SD	r	\bar{x}	SD	r	\bar{x}	SD	r
FInt.1	3.62	1.37	0.82						
FInt.2	2.45	1.49	0.81						
FInt.3	2.47	1.42	0.74						
FInt.4	3.78	1.37	0.71						
SInt.1	3.05	1.43	0.76	3.91	1.47	0.85	3.65	1.46	0.75
SInt.2	2.91	1.42	0.84	3.80	1.53	0.87	3.51	1.46	0.84
SInt.3	2.88	1.44	0.76	3.62	1.57	0.83	3.35	1.57	0.79
SInt.4	2.41	1.39	0.77	3.28	1.58	0.83	3.05	1.53	0.77
SK.1	3.43	1.56	0.48	4.11	1.55	0.39	3.96	1.40	0.41
SK.2	4.44	1.46	0.74	4.81	1.23	0.77	4.44	1.26	0.72
SK.3	4.10	1.56	0.73	4.96	1.19	0.70	4.35	1.38	0.75
SK.4	4.41	1.58	0.65	4.94	1.34	0.61	4.60	1.35	0.66
SK.5	3.94	1.59	0.78	4.81	1.20	0.71	4.22	1.35	0.72

Tabelle 11.2.4. Korrelationen der Skalen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept bezüglich der Domänen Physik, Biologie und Technik mit Angabe zur Skalenreliabilität.

		Physik		Biologie		Technik	
		Interesse	SK	Interesse	SK	Interesse	SK
Physik	Int.	1.00	0.57***	0.21***	0.16**	0.44***	0.32***
	SK		1.00	0.04	0.32***	0.16**	0.53***
Biologie	Int.			1.00	0.44***	-0.01	-0.05
	SK				1.00	-0.08	0.28***
Technik	Int.					1.00	0.42***
	SK						1.00
Cronbach's α		.94	.86	.93	.82	.91	.84

im sehr guten Bereich. Lediglich Item SK.1 weist hier geringere Werte auf, die aber noch nicht den Wert von $r = 0.3$ unterschreiten, sodass das Item nicht ausgeschlossen wird. Die ausformulierten Items sind im Anhang D aufgelistet. Darüber hinaus sind für die resultierenden Skalen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept in den drei Domänen Reliabilitäten und Korrelationen zwischen den einzelnen Skalen in Tabelle 11.2.4 aufgeführt. Es zeigen sich hohe Korrelationen zwischen den Skalen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept innerhalb der einzelnen Domänen ($0.42 < r < 0.57$). Ebenfalls besonders hoch fallen die Korrelationen zwischen den Domänen Technik und Physik aus, wohingegen zwischen Technik und Biologie nur geringe Korrelationen auftreten. Cronbachs α zeigt für alle sechs Skalen hohe Werte, sodass die Reliabilitäten als gut bis exzellent interpretiert werden können.

11.2.2 Fragebogen zum situationalen Interesse und zur kognitiven Belastung

Im Anschluss an die Bearbeitung einer Lernstation soll mit dem situationalen Interesse die abhängige Variable der Interventionsstudie gemessen werden. Hierbei wurde auf Skalen zurückgegriffen, die vor allem in der Chemiedidaktik im Bereich der Forschung zur Kontextorientierung genutzt werden. So nutzte Fechner (2009) Items von Engeln (2004) und Laukenmann et al. (2003) und führte sie zu einzelnen Skalen zusammen, die unterschiedliche Facetten des situationalen Interesses abbilden sollten, wie dem themenorientierten situationalen Interesse oder der aktivitätsorientierten intrinsischen Motivation (vgl. auch Haugwitz, 2009). Die Items wurden auch in späteren Arbeiten genutzt, wobei sich vor allem eine emotionale und eine wertbezogene Komponente des situationalen Interesses identifizieren ließen und jeweils innerhalb einer Skala gemessen wurden (van Vorst, 2013; Habig, 2017). Zum Teil wurde auch eine epistemische Komponente des situationalen Interesses ergänzt, welche den Wunsch abbilden soll, mehr über den Lerngegenstand erfahren zu wollen (z. B. Engeln, 2004; Simon, 2019; Schüttler et al., 2021). Da insbesondere neuere theoretische Arbeiten zum Interesseskonstrukt diese Facette nicht näher betrachten, wird sie in der vorliegenden Studie nicht erfasst (vgl. Silvia, 2008; Alexander und Grossnickle, 2016). Die genutzten Items entstammen der Studie von Habig (2017), in der sie in einer experimentellen Lernumgebung eingesetzt wurden. Da hier keine Experimente seitens der Schülerinnen und Schüler durchgeführt werden, sind die Items entsprechend angepasst und umformuliert worden. Insgesamt wurden 16 Items übernommen, wovon zuvor 9 Items der Skala zur emotionalen und 7 Items der wertbezogenen Komponente zugeordnet wurden. Dabei sind drei Items im

engeren Sinne der emotionalen (EMO) bzw. wertbezogenen Komponente (WER) zuzuordnen. Sechs Items zielen auf die aktivitätsbezogene intrinsische Motivation (AIM) ab und wurden in vorherigen Studien ebenfalls der emotionalen Komponente zugeordnet, während vier Items, die nach dem themenbezogenen Interesse (TIN) fragen, der wertbezogenen Komponente zugeordnet wurden (Habig, 2017). Aufgrund der Anpassung der Items an das Interventionsmaterial der vorliegenden sollen die Skalen erneut in einer Faktorenanalyse geprüft werden.

Als Voraussetzung wurde zunächst die Determinante der Korrelationsmatrix bestimmt, welche ausreichend stark von null abweicht, sodass keine Multikollinearität vorliegt (Field et al., 2012). Der Bartlett-Test auf Sphärizität zeigt gleichzeitig, dass ausreichende Korrelation zwischen einzelnen Items vorliegt ($\chi^2 = 8014$, $df = 120$, $p < 0.001$). Eine Prüfung des Kaiser-Meyer-Olkin-Kriteriums ergibt schließlich eine sehr gute Passung des Datensatzes für eine Faktorenanalyse ($KMO = 0.94$, $0.86 < MSA_j < 0.97$). Da die Voraussetzungen gegeben waren, wurde eine Faktorenanalyse mit Varimax-Rotation

Tabelle 11.2.5. Explorative Faktorenanalyse der Items zum situationalen Interesse mit zwei Dimensionen ($N = 815$).

Item	Situationales Interesse	
	Faktor 1	Faktor 2
AIM.4	0.80	
EMO.2	0.77	
AIM.3	0.75	
AIM.1	0.62	0.42
EMO.1	0.57	0.50
AIM.5	0.49	
EMO.3	0.44	0.43
AIM.6	0.43	
AIM.2		
TIN.4		0.81
TIN.1		0.79
TIN.2		0.77
WER.3		0.71
TIN.3		0.70
WER.2		0.68
WER.1		0.48

berechnet (Tab. 815). Eine erste Analyse der Eigenwerte der Korrelationsmatrix ergab nach dem Kaiser-Kriterium drei Faktoren. Da allerdings der dritte Eigenwert nur sehr knapp dieses Kriterium erfüllt und die Items auf diese Weise nicht sinnvoll interpretiert werden konnten, wurde eine explorative Faktorenanalyse mit zwei Faktoren und Varimax-Rotation berechnet (s. Tab. 11.2.5). Es zeigen sich innerhalb der Items Doppelladungen und auch Nullladungen, sodass einzelne Items ausgeschlossen werden müssen. Hierfür wurde das Fürntratt-Kriterium für zwei Faktoren genutzt, wonach Items, deren Kommunalität auf dem zugewiesenen Faktor nicht mindestens um 25 Prozentpunkte höher ist als auf dem anderen Faktor, ausgeschlossen werden (Fürntratt, 1969). Nach Anwendung dieses Kriteriums wurden die Items EMO.1, EMO.3, WER.1, AIM.2 und AIM.5 nicht in der weiteren Auswertung berücksichtigt. Zur Untersuchung der Qualität der zweidimensionalen Struktur durch die beiden resultierenden Skalen mit 5 Items für die emotionale Komponente und 6 Items für die wertbezogene Komponente wurde eine konfirmatorische Faktorenanalyse berechnet. Die Ergebnisse zeigen nach Aichholzer (2017) eine akzeptable Passung ($\chi^2(53, N = 780) = 304.7$, CFI = 0.95, RMSEA = 0.09; SRMR = 0.05).

Schließlich wurde nach der Bearbeitung einer Lernstation auch die kognitive Belastung der Lernenden gemessen. Da diese Variable nicht im Fokus der Forschungsfrage stand, sondern vielmehr zur Kontrolle der Interventionsbedingungen dienen soll, wurden für einen sparsamen Fragebogen lediglich zwei Items aufgenommen. Hierbei dient ein Item der Einschätzung des eingesetzten kognitiven Aufwands („Beim Bearbeiten und Verstehen der Aufgaben war meine geistige Denkanstrengung...“), während das zweite die wahrgenommene Aufgabenschwierigkeit messen soll („Wie leicht oder schwer waren die Aufgaben insgesamt zu verstehen?“). Die Items entstammen den Untersuchungen von Paas (1992), sowie Kalyuga et al. (1999) und wurden in übersetzter Form bereits in

Tabelle 11.2.6. Skalen zur emotionalen und wertbezogenen Komponente des situationalen Interesses ($N = 815$).

Situationales Interesse	Beispielitem	α	Trennschärfe
Emotionale Komponente	„Ich freue mich auf die nächsten Aufgaben.“	0.85	$0.71 < r_i < 0.82$
Wertbezogene Komponente	„Das Thema der Aufgabe fand ich gut, weil ich es auch außerhalb der Schule gebrauchen kann.“	0.92	$0.47 < r_i < 0.75$

Habig (2017) eingesetzt, wobei in der vorliegenden Studie wie bei den Items der übrigen Skalen ein sechsstufiges Antwortformat gewählt wurde. Eine Reliabilitätsanalyse, welche die Zusammenfassung der beiden Items zu einer Skala prüfen soll, ergab mit einem Spearman-Koeffizienten von $\rho = 0.45$ einen sehr geringen Wert (Eisinga et al., 2013). Aus diesem Grund werden die beiden Items in der Auswertung einzeln betrachtet und analysiert.

11.3 Durchführung der Intervention

Zur Beantwortung der Forschungsfrage, inwiefern das situationale Interesse durch den Einsatz biologischer und technischer Kontexte beim Bearbeiten physikalischer Lernaufgaben beeinflusst wird, wurden drei Lernstationen entwickelt, die jeweils in Kontexte beider Domänen eingebettet wurden. Hierbei sind sowohl die Aufgaben, als auch die Fragebögen in LimeSurvey integriert, sodass sie online per Link abrufbar waren. Trotz des Homeschoolings während der Coronapandemie konnte auf diese Weise die Intervention durchgeführt werden. Die Lehrkräfte, welche sich zur Teilnahme an der Studie bereit erklärt haben, stellten ihren Schülerinnen und Schülern über die schulinternen Kommunikationswege den Link zur Studie zur Verfügung und baten um Teilnahme an dieser. Aufgrund der anonymen Teilnahme konnte im Gegensatz zu Studien in Präsenz nicht sichergestellt werden, dass alle Schülerinnen und Schüler einer Klasse an der Studie teilnehmen.

Die Studie beginnt mit einer Vorerhebung, in der das individuelle Interesse und das Selbstkonzept bezüglich der Domänen Physik, Biologie und Technik erfragt wird (Abb. 11.3.1). Hierbei handelt es sich um einen Fragebogen mit insgesamt 37 Items. Im Anschluss folgt die Bearbeitung von insgesamt zwei Lernstationen. Die zufällige Zuordnung der Reihenfolge und Auswahl der Lernstationen erfolgt direkt über LimeSurvey, wobei die Bearbeitung derselben Lernstation in den beiden verschiedenen Kontexten aufgrund der Vergleichbarkeit der Aufgaben nicht möglich ist. Gleichzeitig werden genau eine Lernstation im biologischen und eine im technischen Kontext ausgewählt. Nachfolgend zu jeder Lernstation werden der Fragebogen zum situationalen Interesse, sowie die beiden Items zur kognitiven Belastung beantwortet. An dieser Stelle haben die Lernenden zusätzlich die Möglichkeit in einem Freitextfeld anzugeben, was sie an der Aufgabe besonders interessant oder uninteressant fanden. Nach der Bearbeitung der zweiten Lernstation werden schließlich Alter und Geschlecht, sowie die letzte Physiknote abgefragt. Insgesamt ist eine Bearbeitungszeit von weniger als 90 Minuten vorgesehen, da dies dem Zeitumfang einer Doppelstunde entspricht und bei steigender

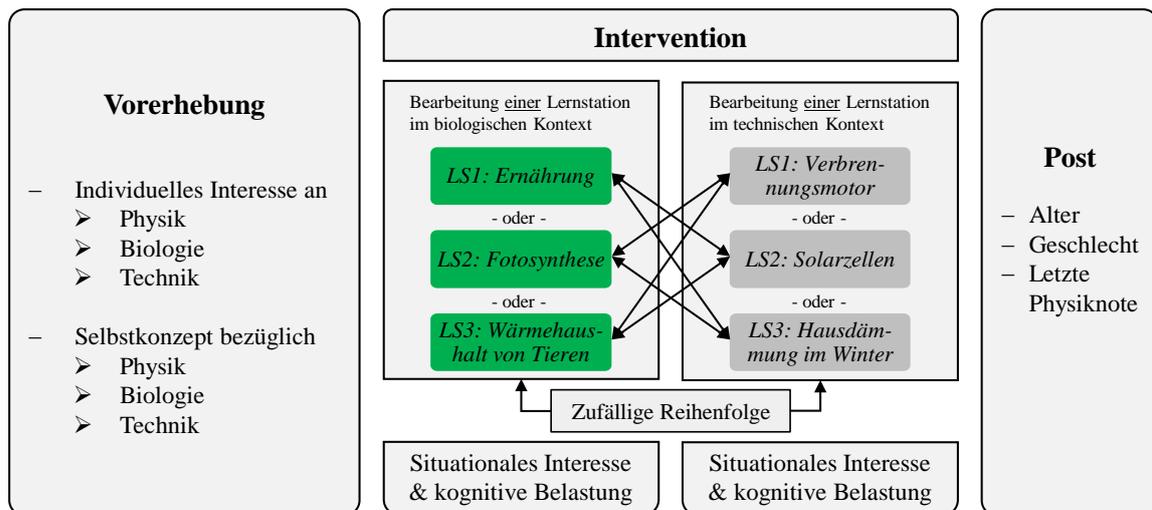


Abbildung 11.3.1. Ablauf der Intervention. Nach einer Vorerhebung bearbeiten die Lernenden jeweils zwei Lernstationen, von denen eine im biologischen und die andere im technischen Kontext eingebettet ist. Hierbei ist die Bearbeitung beider Versionen einer Lernstation (biologisch und technisch) ausgeschlossen.

Arbeitszeit die Konzentration sowie die Bereitschaft zur Teilnahme sinken könnten.

11.4 Statistische Analyse

Aufgrund des oben beschriebenen Untersuchungsdesigns ergeben sich statistische Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Messungen des situationalen Interesses einer Person. Dieser Umstand soll in der statistischen Auswertung durch die Modellierung mittels Mehrebenenregression berücksichtigt werden. Hierbei wird zwischen zwei verschiedenen Ebenen unterschieden, wobei die übergeordnete Ebene durch die teilnehmende Person und die entsprechend untergeordnete Ebene durch die Messung (erste oder zweite Messung) gegeben ist. Entsprechend können die unabhängigen Variablen diesen beiden Ebenen zugeordnet werden (Tab. 11.4.1). Mathematisch lässt sich die Mehrebenenregression durch folgende Formel beschreiben:

$$\text{Level 1: } Y_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j} \mathbf{X}_{ij} + r_{ij}$$

$$\text{Level 2: } \beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01} \mathbf{W}_j + u_{0j}$$

$$\beta_{1j} = \gamma_{10}$$

$$i = \text{Messung}, j = \text{SchülerIn}$$

Im Fall der vorliegenden Studie wird durch einen Random Intercept berücksichtigt, dass Schülerinnen und Schüler ein unterschiedliches Antwortverhalten zeigen, was mathematisch mit dem Parameter u_{0j} individuell für jeden Probanden in die Berechnung einfließt. Da jeweils lediglich zwei Messungen vorgenommen werden, ist davon auszugehen, dass dieser Parameter bereits einen hohen Anteil der Varianz aufklärt. Darüber hinaus werden Cross-Level-Interaktionen zwischen der Kontextdomäne und dem Geschlecht betrachtet, sodass die Regression anhand folgender Formel bestimmt wird.

$$Y_{ij} = \gamma_{00} + u_{0j} + \gamma_{01}\mathbf{W}_j + \gamma_{10}\mathbf{X}_{ij} + \gamma_{11}\mathbf{W}_j\mathbf{X}_{ij} + r_{ij}$$

$i = \text{Messung}, j = \text{SchülerIn}$

Als abhängige Variable Y wird aufgrund der zweidimensionalen Struktur des situationalen Interesses die emotionale Komponente, wie auch die wertbezogene Komponente betrachtet. Die Werte dieser beiden Skalen werden ebenso wie die der weiteren kontinuierlichen Variablen der Untersuchung als arithmetisches Mittel aus den Scores der jeweils zugehörigen Items berechnet und für die Mehrebenenanalyse um den gruppenübergreifenden Mittelwert z-standardisiert. Kategoriale Variablen werden hingegen als 0-1-Kodierung in die Regression aufgenommen. Hinsichtlich des individuellen Interesses und des Selbstkonzepts bezüglich Biologie und Technik wird angenommen, dass dieses vor allem Einfluss auf das situationale Interesse zeigt, wenn die Bearbeitung einer Aufgabe in einem Kontext der entsprechenden Domäne stattfindet. Aus diesem Grund werden die Skalen zusammengeführt zu einem individuellen Interesse an bzw. Selbstkonzept in der Kontextdomäne. Wird die Aufgabe in einem biologischen Kontext bearbeitet, dient so das Interesse bzw. Selbstkonzept hinsichtlich Biologie als Prädiktor für das situationale Interesse. Eine Bestimmung der Intraklassenkorrelation für die beiden abhängigen Variablen zeigt, dass ein großer Anteil der Varianz durch die Grup-

Tabelle 11.4.1. Übersicht über die Variablen der Mehrebenenmodellierung.

Ebene 1 (Messung)	Kontextdomäne (Biologie oder Technik) Zeitpunkt (erste oder zweite Lernstation) Situationales Interesse
Ebene 2 (Person)	Individuelles Interesse an Physik, Biologie, Technik Selbstkonzept in Physik, Biologie, Technik Geschlecht Letzte Physiknote

penunterschiede auf Individualebene erklärt werden kann und somit die Nutzung einer Mehrebenenanalyse angezeigt ist ($ICC_{\text{emo}} = 0.49$, $ICC_{\text{wert}} = 0.59$, Field et al., 2012). Für die Auswertung wurde das Statistikprogramm R genutzt unter Einbindung der Pakete `cAIC4`, `effsize`, `lme4`, `misty`, `MuMIn`, `psych`, `r2glmm`, `rstatix`, `tidyverse` (R Core Team, 2021). Um die Wirkung der unabhängigen Variablen auf das situationale Interesse zu untersuchen, werden nacheinander Variablen in die Mehrebenenmodelle aufgenommen, sodass über den Vergleich der Modellgüte (AIC-Wert, Field et al., 2012) die beste Modellierung gefunden werden kann. Zum Teil werden Effekte innerhalb der Modelle und auch zwischen ihnen verglichen, wofür ein z-Test nach Paternoster et al. (1998) genutzt wird.

12 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Daten der Interventionsstudie aufbereitet, sodass zunächst deskriptive Ergebnisse als Beschreibung der Stichprobe präsentiert werden, bevor zur Beantwortung der Forschungsfragen Mehrebenenanalysen durchgeführt werden. Zum Schluss werden weiterführende Auswertungen betrachtet, um die Ergebnisse in der Diskussion besser einordnen zu können. Hierzu gehören die genauere Analyse, welche Probanden die Studie abgebrochen haben und die Betrachtung von Freitextantworten zum Interesse an den Lernstationen.

12.1 Deskriptive Ergebnisse: Individuelles Interesse und Selbstkonzept

Um die Ergebnisse der Studie zunächst deskriptiv zu untersuchen, wird das individuelle Interesse der Probanden betrachtet. Eine zweifaktorielle Anova zeigt Unterschiede bezüglich dem Interesse an den drei unterschiedlichen Themenbereichen ($F(2, 921) = 24.84, p < 0.001, \eta^2 = 0.051$). Auch die Interaktion zwischen dem Geschlecht und

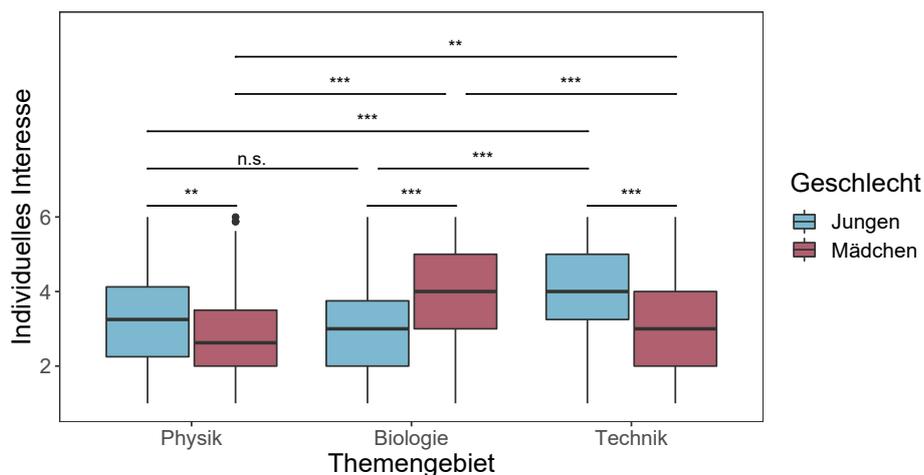


Abbildung 12.1.1. Individuelles Interesse der Probanden an den Bereichen Physik, Biologie und Technik ($N = 309$).

dem Themenbereich wird dabei signifikant ($F(2, 921) = 37.31, p < 0.001, \eta^2 = 0.075$), sodass paarweise Post-hoc-Vergleiche durchgeführt wurden und in Abbildung 12.1.1 dargestellt sind. Die p -Werte wurden mittels Bonferroni-Holm-Methode korrigiert.

Jungen weisen demnach ein höheres Interesse an Physik ($d = 0.37$) und Technik ($d = 0.68$) als Mädchen auf, während Mädchen stärker als Jungen an Biologie interessiert sind ($d = 0.66$). Innerhalb der Gruppe der Jungen zeigen sich ebenfalls Unterschiede, sodass diese stärker an Technik als an Biologie ($d = 0.51$) und Physik ($d = 0.54$) interessiert sind. Bezüglich des Interesses an Physik und Biologie zeigen sich bei Jungen keine Unterschiede, während Mädchen stärker an Biologie interessiert sind ($d = 0.79$). Auch an Technik zeigen Mädchen ein geringeres Interesse als an Biologie ($d = 0.50$), während von ihnen Technik noch als interessanter als Physik wahrgenommen wird ($d = 0.22$).

Auch das Selbstkonzept in den drei Fachgebieten soll auf diese Weise deskriptiv analysiert werden. Die Modellierung der Daten mittels zweifaktorieller Anova zeigt, dass sowohl zwischen den Fachgebieten ($F(2, 920) = 29.335, p < 0.001, \eta^2 = 0.060$), als auch den Geschlechtern ($F(1, 920) = 12.75, p < 0.001, \eta^2 = 0.014$) Unterschiede im Selbstkonzept zu beobachten sind. Auch der Interaktionsterm zwischen Geschlecht und Fachgebiet wird signifikant ($F(2, 920) = 10.63, p < 0.001, \eta^2 = 0.023$). Paarweise Post-hoc-Tests mit Bonferroni-Holm-Korrektur sind in Abbildung 12.1.2 dargestellt. Hierfür sind die negativ gepolten Items bereits invertiert, sodass auffällt, dass Schülerinnen und Schüler insgesamt ihre Fähigkeiten hoch einschätzen. Darüber hinaus lassen sich Unterschiede bezüglich des Themengebiets Technik feststellen, in dem Jungen ein höheres

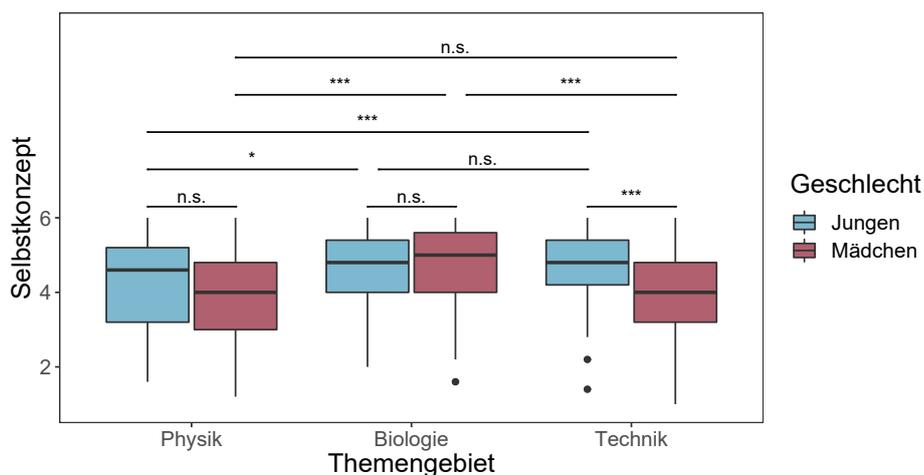


Abbildung 12.1.2. Selbstkonzept der Probanden in den Bereichen Physik, Biologie und Technik ($N = 309$).

Selbstkonzept angeben als Mädchen ($d = 0.68$). Innerhalb der Gruppe der Jungen wird das Selbstkonzept in Biologie ($d = 0.29$) und Technik ($d = 0.45$) höher angegeben als das in Physik. Mädchen geben hingegen ein höheres Selbstkonzept in Biologie an als in Physik ($d = 0.62$) und Technik ($d = 0.59$).

Zur Kontrolle des inhaltlichen Niveaus der einzelnen Lernstationen der Intervention wurde die kognitive Belastung mit zwei Items jeweils zur wahrgenommenen Aufgabenschwierigkeit und zur aufgewendeten geistigen Anstrengung gemessen. Hierbei zeigen die paarweisen t-Tests der Lernstationen jeweils zwischen den beiden Kontextdomänen unter Bonferroni-Holm-Korrektur keine signifikanten Unterschiede, sodass von einer ähnlichen kognitiven Belastung zwischen den beiden Kontextvarianten ausgegangen werden kann.

12.2 Analyse des situationalen Interesses

In diesem Kapitel wird dem Forschungsinteresse nachgegangen, inwiefern das situationale Interesse durch die Variation der Kontextdomäne beeinflusst werden kann. Wie im Methodenteil bereits beschrieben, werden mit der emotionalen und wertbezogenen Komponente die zwei Dimensionen des situationalen Interesses in der Auswertung getrennt betrachtet. Hierfür werden Mehrebenenmodelle aufgestellt, in denen der Einfluss

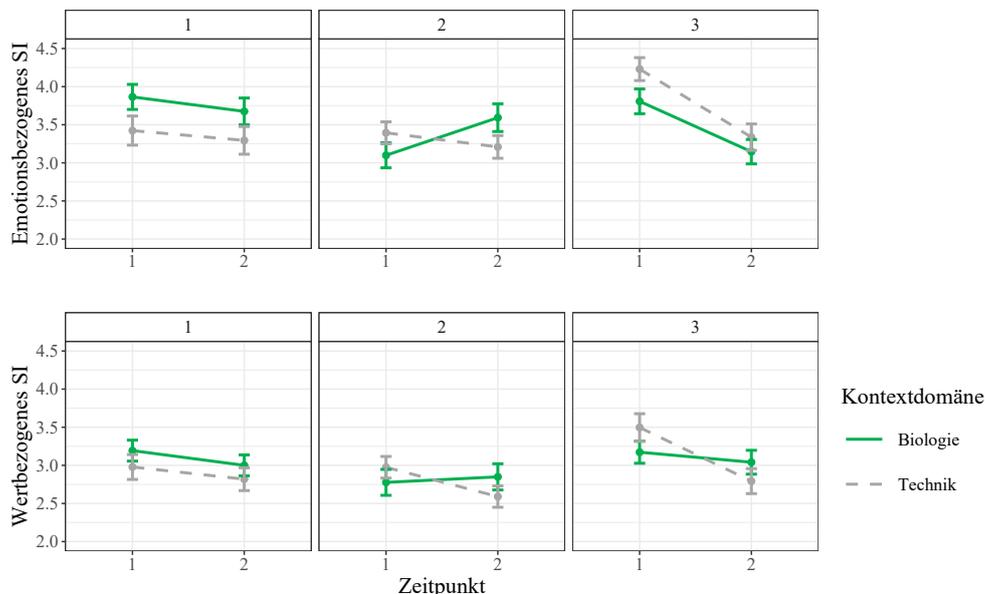


Abbildung 12.2.1. Emotionale und wertbezogene Komponente des situationalen Interesses in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Bearbeitung getrennt nach Kontextdomäne und Lernstation ($N = 309$).

der einzelnen Variablen getrennt ermittelt werden kann.

Als Kontrollvariablen werden auch die *Lernstation* sowie der *Zeitpunkt* der Bearbeitung (erste oder zweite Lernstation) in die Regression aufgenommen. Abbildung 12.2.1 zeigt die Ausprägung des situationalen Interesses in Abhängigkeit vom Zeitpunkt für alle drei Lernstationen. Es fällt auf, dass bei der zweiten Bearbeitung einer Lernstation meist ein geringeres situationales Interesse angegeben wird. Lediglich Lernstation 2 im biologischen Kontext zeigt eine entgegengesetzte Ausprägung. Auch scheint sich die Höhe des situationalen Interesses zwischen den Lernstationen zu unterscheiden, sodass beispielsweise die wertbezogene Komponente für Lernstation 3 höher als die der anderen Lernstationen erscheint. Eine Aufnahme dieser beiden Kontrollvariablen in die Mehrebenenregression kann also als sinnvoll erachtet werden.

Hinsichtlich der gestellten Forschungsfragen zeigt Abbildung 12.2.2 das situationale Interesse innerhalb einer Lernstation in Abhängigkeit der Kontextdomäne. Hierbei werden Jungen und Mädchen getrennt betrachtet. Anhand der Diagramme kann von einer Interaktion zwischen Kontextdomäne und Geschlecht ausgegangen werden. Um die genaue Abhängigkeit des situationalen Interesses von den unabhängigen Variablen zu untersuchen, werden Mehrebenenmodelle gerechnet, die sukzessive um Variablen bzw. Interaktionsterme erweitert werden. Modell 1 in Tabelle 12.2.1 beschreibt den Einfluss der Kontextdomäne auf die Grundgesamtheit der Probanden unter Kon-

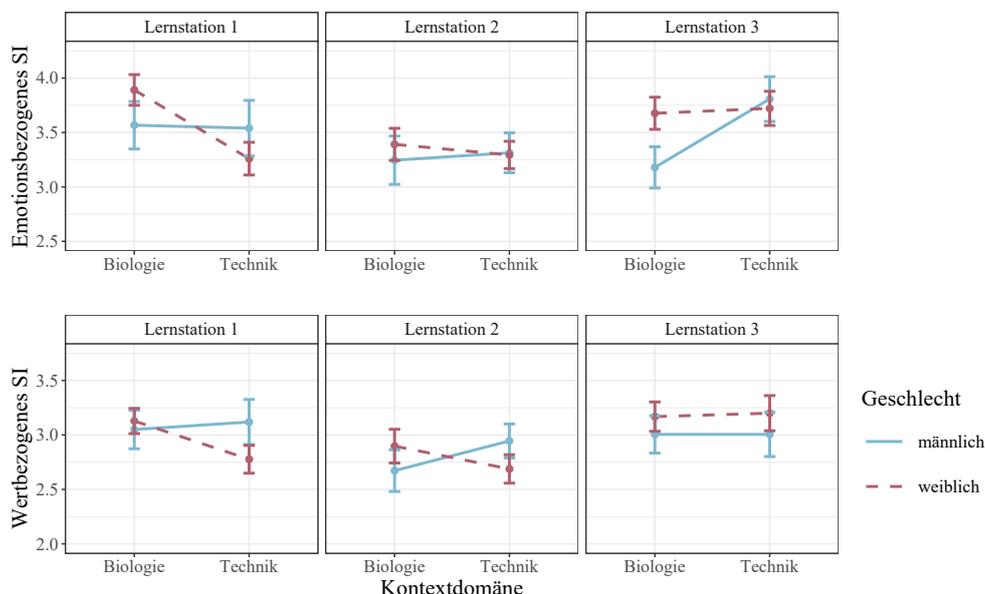


Abbildung 12.2.2. Emotionale und wertbezogene Komponente des situationalen Interesses in Abhängigkeit der Kontextdomäne, sowie des Geschlechts und der Lernstation ($N = 309$).

trolle der Lernstation und des Zeitpunkts der Bearbeitung. Hier zeigt sich, dass weder die emotionale, noch die wertbezogene Komponente des situationalen Interesses allein durch die Kontextdomäne beeinflusst wird. Die Aufnahme des Geschlechts in die Modellierung (Modell 2) führt zu der in Abbildung 12.2.2 dargestellten Interaktion zwischen dieser Variable und der Kontextdomäne sowohl bezüglich der emotionalen ($\beta = -0.35, p < 0.001$), als auch der wertbezogenen Komponente des situationalen Interesses ($\beta = -0.24, p < 0.05$).

In biologischen Kontexten zeigen Mädchen demnach ein höheres emotionales situationales Interesse als Jungen ($\beta = 0.25(0.12), p < 0.05$), während die wertbezogene Komponente in dieser Hinsicht keinen signifikanten Effekt zeigt. In technischen Kontexten ist hinsichtlich der beiden Facetten kein signifikanter Effekt zwischen den beiden Geschlechtern festzustellen. Hingegen zeigen Mädchen in biologischen Kontexten ein höheres situationales Interesse als Jungen sowohl bezüglich der emotionalen ($\beta = 0.18, p < 0.05$), als auch der wertbezogenen Komponente ($\beta = 0.15, p < 0.05$). Jungen zeigen in dieser Richtung keinen signifikanten Effekt.

Zur weiteren Varianzaufklärung wurde in Modell 3 mit den individuellen Interessen an den Themenbereichen Physik, Biologie und Technik und der letzten Physiknote weitere Prädiktorvariablen aufgenommen. Hier ist zu erkennen, dass Mädchen bezüglich beider Facetten ein höheres situationales Interesse angeben als Jungen ($\beta_{EK} = 0.23, p < 0.05$; $\beta_{WK} = 0.23, p < 0.05$), während sowohl die Kontextdomäne als auch die Interaktion zwischen Kontextdomäne und Geschlecht keinen signifikanten Effekt zeigen. Hingegen zeigt das individuelle Interesse an Physik auf beide Facetten des situationalen Interesses einen signifikanten Effekt ($\beta_{EK} = 0.26, p < 0.001$; $\beta_{WK} = 0.48, p < 0.001$), wobei der Effekt auf die wertbezogene Komponente stärker ist als auf die emotionale Komponente ($z = 2.82, p < 0.01$). Gleichzeitig trägt das individuelle Interesse an der Domäne des jeweiligen Aufgabenkontexts ebenfalls signifikant zum situationalen Interesse bei ($\beta_{EK} = 0.18, p < 0.001$; $\beta_{WK} = 0.10, p < 0.001$). Hierbei verhält es sich entgegengesetzt zum individuellen Interesse an Physik, sodass in der Tendenz stärker die emotionale als die wertbezogene Komponente von dieser Variable beeinflusst wird ($z = 1.60, p = 0.055$). Die Physiknote zeigt in diesem Modell keinen signifikanten Effekt auf das situationale Interesse. Bezüglich der Modellgüte kann ein kleiner AIC-Wert für eine bessere Passung des Modells interpretiert werden, sodass Modell 3 hier zu bevorzugen ist. Die absolute Varianzaufklärung bleibt über alle drei Modelle vor allem aufgrund des Random Intercepts auf konstantem Niveau, wobei in Modell drei ein wesentlicher Anteil durch die Fixed Effects erklärt wird (marg. R^2).

Tabelle 12.2.1. Mehrebenenmodelle zur emotionalen Komponente (EK) und wertbezogenen Komponente (WK) des situationalen Interesses.

Modell	Modell 1		Modell 2		Modell 3	
	EK	WK	EK	WK	EK	WK
<i>Fixed Effects</i>						
Intercept γ_{00}	0.16* (0.08)	0.18* (0.07)	0.00 (0.11)	0.10 (0.10)	0.04 (0.10)	0.04 (0.09)
Lernstation 2	-0.15* (0.07)	-0.16* (0.07)	-0.15* (0.07)	-0.16* (0.07)	-0.17* (0.07)	-0.16* (0.07)
Lernstation 3	0.07 (0.07)	0.06 (0.07)	0.06 (0.07)	0.05 (0.07)	0.01 (0.07)	0.03 (0.07)
Zeitpunkt	-0.21*** (0.06)	-0.22*** (0.05)	-0.20*** (0.06)	-0.22*** (0.05)	-0.22*** (0.05)	-0.22*** (0.05)
Kontextdomäne (Technik)	-0.05 (0.06)	-0.06 (0.05)	0.17 (0.09)	0.09 (0.08)	0.00 (0.09)	0.00 (0.09)
Geschlecht (weiblich)			0.25* (0.12)	0.12 (0.12)	0.23* (0.11)	0.23* (0.10)
Geschlecht (w) * Kontextdomäne (T)			-0.35*** (0.11)	-0.24* (0.10)	-0.08 (0.12)	-0.09 (0.11)
Physiknote					0.01 (0.06)	0.07 (0.05)
Physiknote * Kontextdomäne (T)					0.03 (0.06)	-0.05 (0.05)
Interesse Physik					0.26*** (0.06)	0.48*** (0.05)
Interesse Physik * Kontextdomäne (T)					0.10 (0.06)	0.05 (0.06)
Interesse Kontextdomäne					0.18*** (0.04)	0.10*** (0.03)
<i>Random Effects</i>						
Intercept u_0 (SD)	0.69 [0.64,0.74]	0.61 [0.56,0.66]	0.68 [0.63,0.73]	0.61 [0.56,0.66]	0.66 [0.61,0.71]	0.60 [0.56,0.65]
<i>Parameter zur Modellgüte</i>						
R^2 (marg. R^2)	0.52 (0.02)	0.62 (0.02)	0.54 (0.03)	0.63 (0.03)	0.56 (0.18)	0.63 (0.30)
conditional AIC	1482.97	1365.25	1470.95	1359.44	1426.42	1318.2

Anmerkung: Als Referenz wurde Lernstation 1 mit technischem Kontext gewählt. Ab Modell 2 wird das Geschlecht aufgenommen, wobei ein männlicher Proband die Referenz ist. Ordinalskalierte Variablen wurden z-standardisiert und kategoriale Variablen in 0-1-Kodierung aufgenommen. Für den Random Intercept wird die Standardabweichung angegeben. Die Varianzaufklärung wird durch R^2 angegeben, wobei das marginale R^2 den Anteil der aufgeklärten Varianz durch die Fixed Effects anzeigt. In den Klammern sind die Standardfehler der geschätzten β -Werte angegeben. $N = 309$; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$

12.2 Analyse des situationalen Interesses

Tabelle 12.2.2. Erweiterung der Mehrebenenmodelle zur emotionalen Komponente (EK) und wertbezogenen Komponente (WK) des situationalen Interesses unter Berücksichtigung des Selbstkonzepts.

Modell	Modell 4		Modell 5	
	EK	WK	EK	WK
<i>Fixed Effects</i>				
Intercept γ_{00}	0.04 (0.11)	0.08 (0.1)	0.05 (0.1)	0.04 (0.09)
Lernstation 2	-0.17* (0.07)	-0.16** (0.07)	-0.17* (0.07)	-0.16* (0.07)
Lernstation 3	0.03 (0.07)	0.03 (0.07)	0.01 (0.07)	0.02 (0.07)
Zeitpunkt	-0.22*** (0.05)	-0.22*** (0.05)	-0.22*** (0.05)	-0.22*** (0.05)
Kontextdomäne (Technik)	0.11 (0.09)	0.05 (0.08)	0.00 (0.10)	-0.01 (0.09)
Geschlecht (weiblich)	0.23 (0.12)	0.17 (0.11)	0.22* (0.11)	0.23* (0.1)
Geschl. (w) * KD (T)	-0.24* (0.12)	-0.18 (0.11)	-0.08 (0.12)	-0.08 (0.11)
Physiknote	-0.09 (0.06)	0.00 (0.06)	-0.02 (0.06)	0.09 (0.06)
Physiknote * KD (T)	0.05 (0.06)	-0.05 (0.06)	0.04 (0.06)	-0.05 (0.06)
Interesse Physik			0.32*** (0.07)	0.46*** (0.06)
Interesse Physik * KD (T)			0.08 (0.07)	0.04 (0.06)
Interesse KD			0.16*** (0.04)	0.10** (0.04)
Selbstkonzept Physik	0.00 (0.06)	0.26*** (0.06)	-0.13 (0.07)	0.05 (0.06)
Selbstkonzept Physik * KD (T)	0.08 (0.06)	0.03 (0.06)	0.04 (0.07)	0.01 (0.06)
Selbstkonzept KD	0.11** (0.04)	0.06 (0.04)	0.03 (0.04)	0.02 (0.04)
<i>Random Effects</i>				
Intercept u_0 (SD)	0.66 [0.61,0.72]	0.60 [0.56,0.65]	0.66 [0.61,0.71]	0.60 [0.56,0.65]
<i>Parameter zur Modellgüte</i>				
R^2 (marg. R^2)	0.56 (0.06)	0.64 (0.12)	0.56 (0.19)	0.63 (0.30)
conditional AIC	1450.85	1346.86	1423.94	1320.45

Anmerkung: Als Referenz wurde Lernstation 1 mit technischem Kontext und männlichem Probanden gewählt. Ordinalskalierte Variablen wurden z-standardisiert und kategoriale Variablen in 0-1-Kodierung aufgenommen. Für den Random Intercept wird die Standardabweichung angegeben. Die Varianzaufklärung wird durch R^2 angegeben, wobei das marginale R^2 den Anteil der aufgeklärten Varianz durch die Fixed Effects anzeigt. In den Klammern sind die Standardfehler der geschätzten β -Werte angegeben. $N = 308$; *** $p < 0.001$; ** $p < 0.01$; * $p < 0.05$; KD = Kontextdomäne

Vor der Intervention wurde ebenfalls das Selbstkonzept in den Bereichen Physik, Biologie und Technik erfragt, sodass diese Variablen ebenfalls in die Mehrebenenmodellierung aufgenommen werden (Tab. 12.2.2). In Modell 4 wurde das Selbstkonzept anstelle der individuellen Interessen zu Vorhersage des situationalen Interesses genutzt. Hierbei zeigt sich eine ähnliche Wirkung wie bei den individuellen Interessen, sodass ein hohes Selbstkonzept in Physik insbesondere zu einer hohen wertbezogenen Komponente des situationalen Interesses führt. Dagegen zeigt das Selbstkonzept in der Domäne des einbettenden Kontexts lediglich auf die emotionale Komponente des situationalen Interesses einen signifikanten Effekt. Werden in Modell 5 Variablen sowohl zum Selbstkonzept als auch zum Interesse aufgenommen, sind die Effekte des Selbstkonzepts nicht mehr signifikant.

Hinsichtlich der Modellgüte ist Modell 3, welches die Variablen zum individuellen Interesse enthält, dem Modell 4 vorzuziehen. Auch der Anteil der erklärten Varianz durch die Fixed Effects ist in diesem Modell höher. In diesem Punkt bietet Modell 5

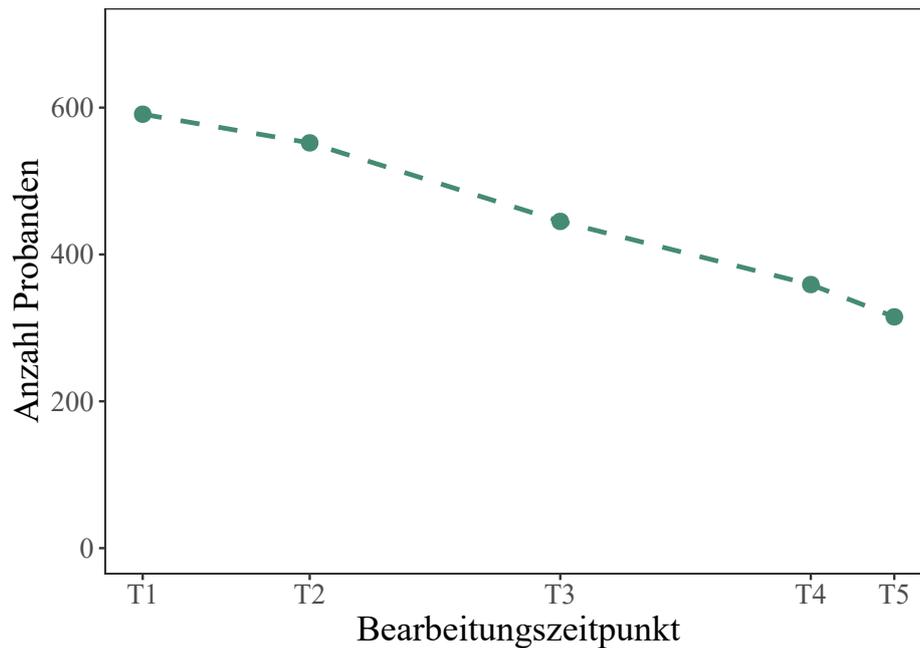


Abbildung 12.3.1. Anzahl Teilnehmende an der Studie zu verschiedenen Zeitpunkten während der Bearbeitung: Bearbeitung der Vorerhebung begonnen (T1), Bearbeitung der Vorerhebung vollständig abgeschlossen (T2), Bearbeitung der ersten Lernstation vollständig abgeschlossen (T3), Bearbeitung der zweiten Lernstation vollständig abgeschlossen (T4), Bearbeitung der Fragen zum Post-Zeitpunkt vollständig abgeschlossen (T5).

nur geringe Verbesserungen im Vergleich zu Modell 3, sodass dieser Wert bezüglich der emotionalen Komponente leicht gestiegen ist. Ein Vergleich der Modellgüte bzw. des AIC-Werts zwischen Modell 3 und 5 liefert kein eindeutiges Ergebnis, da hinsichtlich der emotionalen Komponente Modell 5 und hinsichtlich der wertbezogenen Komponente Modell 3 vorzuziehen ist.

12.3 Weitere Auswertungen

12.3.1 Abbruch

Es konnte beobachtet werden, dass viele Schülerinnen und Schüler die Studie nicht bis zum Schluss bearbeitet haben, weshalb sie von der Auswertung ausgeschlossen wurden. Um die Ergebnisse besser einordnen zu können, soll dieser Abbruch untersucht werden. Abbildung 12.3.1 zeigt, wie viele der Teilnehmenden, die mit dem Ausfüllen der ersten Fragen begonnen haben, im Verlauf der Studie abgebrochen haben. Eine

Tabelle 12.3.1. Logistische Regression zur Vorhersage des Abbruchs der Studie.

	b (SE)	p	OR
<i>Prädiktoren</i>			
Intercept	-0.63*** (0.09)	< 0.001	0.53 [0.45,0.64]
Individuelles Interesse Physik	0.04 (0.12)	0.75	1.04 [0.82,1.32]
Selbstkonzept Physik	-0.03 (0.13)	0.79	0.97 [0.75,1.24]
Individuelles Interesse Biologie	0.09 (0.10)	0.40	1.09 [0.89,1.34]
Selbstkonzept Biologie	0.06 (0.11)	0.60	1.06 [0.85,1.33]
Individuelles Interesse Technik	0.24* (0.11)	0.03	1.27 [1.02,1.58]
Selbstkonzept Technik	-0.07 (0.12)	0.58	0.94 [0.74,1.19]

$N = 551$, $R_{\text{Nagelkerke}}^2 = 0.021$, $\chi^2(6) = 8.42$, $p = 0.21$

Angabe darüber, an wie viele Schülerinnen und Schüler die Lehrkräfte den Link zur Studie weitergeleitet haben, liegt nicht vor. Es wurden verschiedene Zeitpunkte unterschieden, wobei zur vollständigen Bearbeitung einer Lernstation die Beantwortung des entsprechenden Fragebogens zum situationalen Interesse zählt. Um den Abbruch genauer beschreiben zu können, soll dieser durch eine logistische Regression vorhergesagt werden. Als Abbruch wird hierbei definiert, dass Zeitpunkt T4 bzw. T5 nicht erreicht wurde. Als unabhängige Variablen wurden die in der Vorerhebung erfragten individuellen Interessen und Selbstkonzepte bezüglich Physik, Biologie und Technik aufgenommen. Dementsprechend wurden nur die Probanden berücksichtigt, welche mindestens den Zeitpunkt T2 erreicht haben.

Das in Tabelle 12.3.1 berechnete Modell kann nur einen marginalen Teil der Varianz aufklären. Zu beobachten ist, dass lediglich der Faktor zum individuellen Interesse an Technik signifikant wird und ein hohes Interesse zu einer höheren Wahrscheinlichkeit eines Abbruchs führt.

Darüber hinaus kann untersucht werden, inwiefern eine der beiden Kontextdomänen in besonderer Weise zum Abbruch geführt hat. Von 178 Probanden, die während der Bearbeitung einer Lernstation die Untersuchung abgebrochen haben, bearbeiteten 85 Personen zu dem Zeitpunkt des Abbruchs eine Lernstation im technischen Kontext und entsprechend 93 eine Lernstation im biologischen Kontext. Ein Binomialtest zeigt anhand der vorliegenden relativen Häufigkeiten keine signifikante Abweichung von einer angenommenen Gleichverteilung der Abbruchstendenz ($p = 0.60$, zweiseitig).

12.3.2 Freitextantworten zum Interesse

Im Anschluss an jede Lernstation wurde nach Beantwortung des Fragebogens zum situationalen Interesse den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit gegeben, sich

kurz zu äußern, was sie an der Station besonders interessiert hat bzw. nicht interessiert hat. Insgesamt liegen 301 Aussagen vor, wobei 188 Antworten auf die Frage nach besonders interessanten und entsprechend 113 Antworten auf die Frage nach besonders uninteressanten Aspekten gegeben wurden. In einem induktiven Vorgehen konnten 9 Kategorien gefunden werden, denen sich ein Großteil der Aussagen zuordnen ließen. Die Kategorien mit der jeweiligen Anzahl an Antworten, die dieser Kategorie zugeordnet werden konnten, sind in Tabelle 12.3.2 abgebildet. Bei den interessenförderlichen Aspekten wurde am häufigsten der Inhalt des Kontexts thematisiert, worunter beispielsweise das Eingehen auf Solarzellen oder Fotosynthese im Zusammenhang mit der zweiten Lernstation fällt. Das Nennen des physikalischen Inhalts, welcher jeweils in den beiden parallelen Versionen einer Lernstation identisch war, stellt die zweithäufigste Kategorie dar. Der Nutzen des Kontexts für den Alltag wurde insgesamt in 24 Freitextantworten thematisiert, während 14 Antworten das Durchführen von Rechnungen als interessiert identifizierten. Demgegenüber konnten die Schülerinnen und Schüler angeben, woran sie in Bezug auf die zuvor bearbeitete Lernstation nicht interessiert sind. Hier stellt die Mathematisierungskompetenz die am häufigsten genannte Kategorie dar, wobei neben Rechenwegen auch die Auseinandersetzung mit Diagrammen als

Tabelle 12.3.2. Freitextantworten zum besonderen Interesse und Desinteresse.

Kategorie	Anzahl Nennungen
<i>Besonderes Interesse</i>	
Kontextbezogener Inhalt	83
Physikalischer Inhalt	43
Alltagsbezug	24
Mathematisierungskompetenz	14
<i>Desinteresse</i>	
Mathematisierungskompetenz	35
Aufgaben	20
Physikalischer Inhalt	12
Kontextbezogener Inhalt	12
Texte	9

Anmerkung: Antworten können mehreren Kategorien oder auch keiner Kategorie zugeordnet sein.

12.3 Weitere Auswertungen

uninteressantes Merkmal genannt wird. Außerdem wurden verschiedene Merkmale der Aufgaben aufgeführt, welche als uninteressant wahrgenommen wurden, wie der Schwierigkeitsgrad, welcher sowohl als zu hoch als auch zum Teil zu niedrig empfunden wurde. Seltener wurden konkrete physik- oder kontextbezogene Inhalte, sowie das Lesen der Informationstexte in dieser Hinsicht thematisiert.

13 Diskussion

In der vorliegenden Online-Studie wurde der Einfluss unterschiedlicher Kontextualisierungen auf das situationale Interesse untersucht. Hierbei wurden biologische und technische Kontexte gegenübergestellt und das situationale Interesse beim Bearbeiten von Lernaufgaben, welche in Kontexte dieser beiden Domänen eingebettet sind, verglichen. Damit reiht sich die Studie in weitere aktuelle Arbeiten ein, die den Einfluss der Kontextualisierung auf das situationale Interesse untersuchen (z.B. van Vorst et al., 2015; Habig, Blankenburg et al., 2018; Schüttler et al., 2021) und richtet sich durch die Kontrastierung der gewählten Kontextdomänen an den fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht, um einen Beitrag zur Aufklärung der Effektivität dieser Unterrichtsform zu leisten (Labudde, 2014). Im Verlauf der Studie wurden darüber hinaus das individuelle Interesse und Selbstkonzept bezüglich Physik, Biologie und Technik erhoben, sowie das Geschlecht, Alter und die letzte Physiknote als Maß für die schulische Leistung in Physik erfragt. Als Intervention wurden drei Lernstationen zum Energiekonzept entworfen, welche jeweils sowohl in einen biologischen als auch in einen technischen Kontext eingebettet wurden. Hierbei sind die physikalischen Kompetenzen in beiden Versionen einer Lernstation weitgehend identisch, sodass von einer systematischen Variation des Kontexts ausgegangen werden kann. Als Stichprobe dienten Schülerinnen und Schüler der 10. Klasse, welche die Lernstationen und die entsprechenden Fragebögen in einer Online-Umgebung von LimeSurvey bearbeitet haben, sodass die Studie während der Coronapandemie im Homeschooling durchgeführt werden konnte.

Die deskriptive Analyse der aufgenommenen Daten zeigt hinsichtlich der individuellen Interessen, dass Jungen ein besonders hohes Interesse an Technik zeigen, während Mädchen im Besonderen an Biologie interessiert sind. In Bezug auf Physik zeigen Jungen ein höheres Interesse als Mädchen (Abb. 12.1.1). Diese Ergebnisse decken sich dabei mit Ergebnissen früherer Interessenstudien. So zeigten bereits Ergebnisse im Rahmen der IPN-Interessenstudie, dass Jungen ein höheres Interesse an Physik und Technik haben als Mädchen (Hoffmann und Lehrke, 1986). Auch innerhalb der ROSE-Studie konnte diese Unterschiede beobachtet werden (Sjøberg und Schreiner, 2010). Darüber hin-

aus zeigten in dieser Studie Mädchen ein höheres Interesse als Jungen an biologischen Themen (Holstermann und Bögeholz, 2007). Somit stützen die Ergebnisse zum individuellen Interesse der vorliegenden Studie die bisherigen Ergebnisse und zeigen, dass sich die Interessen von Jungen und Mädchen bezüglich Physik, Biologie und Technik in den letzten Jahrzehnten nicht fundamental geändert haben. Die Ergebnisse zum Selbstkonzept zeigen, dass Jungen ein geringeres Selbstkonzept in Physik als in Biologie und Technik haben. Mädchen haben hingegen ein größeres Selbstkonzept in Biologie als in den beiden anderen Domänen (Abb. 12.1.2). Im Fach Physik konnte kein signifikanter Unterschied zwischen dem Selbstkonzept von Jungen und Mädchen gefunden werden. Diese Beobachtung steht im Widerspruch zu bisherigen Studien, in denen Jungen ein deutlich höheres Selbstkonzept in diesem Fach gezeigt haben (Häussler und Hoffmann, 2000; Jansen, Schroeders und Lüdtker, 2014). Die Daten in Abbildung 12.1.2 zeigen zwar einen Trend zugunsten der Jungen, allerdings wird aufgrund der angewandten Bonferroni-Holm Korrektur der Test nicht signifikant. Nichtsdestotrotz finden Jansen, Schroeders, Lüdtker und Pant (2014) mit $d \approx 0.7$ einen sehr großen Effekt, der hier deutlich schwächer ausfällt. Dass sich das Selbstkonzept in Biologie zwischen Mädchen und Jungen nicht signifikant unterscheidet, ist mit den Ergebnissen von Jansen, Schroeders und Lüdtker (2014) vereinbar. Ein Trend zugunsten der Mädchen kann hier vermutet werden, der möglicherweise aufgrund der Stichprobengröße nicht nachgewiesen werden konnte. Das hier beobachtete höhere technikbezogene Selbstkonzept deckt sich ebenfalls mit Ergebnissen anderer Studien (z. B. Janneck et al., 2012).

Im Folgenden wurde das situationale Interesse der Schülerinnen und Schüler unter Berücksichtigung der Kontrollvariablen des Zeitpunkts und der Lernstation ausgewertet, wobei durch eine explorative Faktorenanalyse die zweidimensionale Struktur des situationalen Interesses bestätigt wurde, sodass die emotionale und wertbezogene Komponente getrennt voneinander ausgewertet werden. Da aufgrund des Untersuchungsdesigns pro teilnehmender Person zwei Messwerte aufgenommen wurden und diese somit nicht als statistisch unabhängig zu werten sind, wurden die Daten in einer Mehrebenenregression mit Random Intercept modelliert. Eine Analyse des situationalen Interesse in Abhängigkeit der Kontextdomäne ergab keinen signifikanten Effekt des Kontexts (12.2.1, Modell 1). An dieser Stelle hätte bereits ein höheres situationales Interesse bei der Bearbeitung von Aufgaben in biologischen Kontexten erwartet werden können, da Jungen sowohl an biologischen als auch technischen Fragestellungen Interesse haben, Mädchen dagegen vor allem den biologischen Themenbereich deutlich bevorzugen (Hoffmann et al., 1998; Müller, 2006). Dieser Umstand zeigt sich in der vorliegenden Studie allerdings nicht, sodass nicht von einer Bevorzugung von ei-

nem der beiden Kontextdomänen über die Grundgesamtheit der teilnehmenden Probanden gesprochen werden kann. Werden weiter die beiden unabhängigen Variablen Geschlecht und Kontextdomäne (Biologie oder Technik) in die Modellierung aufgenommen, ergibt sich erwartungskonform ein signifikanter Interaktionsterm zwischen den beiden Variablen (Abb. 12.2.2 und Tab. 12.2.1, Modell 2), sodass Jungen ein höheres situationales Interesse bei der Bearbeitung physikalischer Lernaufgaben in technischen Kontexten zeigen, während Mädchen hingegen ein höheres situationales Interesse in biologischen Kontexten aufweisen. Abbildung 12.2.2 ist zu entnehmen, dass zwischen den einzelnen Lernstationen unterschiedliche Wirkungsrichtungen angenommen werden können. Post-Hoc-Analysen bestätigen diese Vermutung, sodass bezüglich der emotionalen Komponente Mädchen ein höheres situationales Interesse am biologischen als am technischen Kontexten bei Lernstation 1 zeigen ($t(134.32) = 3.07, p < 0.01, g = 0.52[0.18, 0.86]$), während sich das situationale Interesse von Jungen in beiden Kontexten nicht signifikant unterscheidet. Demgegenüber zeigen Mädchen bei Lernstation 3 in beiden Kontexten ein ähnlich hohes emotionales situationales Interesse, während Jungen am biologischen Kontext ein geringeres Interesse zeigen ($t(72.68) = -2.25, p < 0.05, g = -0.51[-0.98, -0.05]$). Dies verdeutlicht den Einfluss weiterer Kontextmerkmale, welche in der vorliegenden Studie nicht berücksichtigt wurden. Hierunter können beispielsweise die Alltäglichkeit oder Authentizität fallen (vgl. van Vorst et al., 2015; Schüttler et al., 2021). Aber auch weitere Aspekte können einen Kontext abseits seiner fachlichen Domäne ansprechender gestalten. So kann die dritte Lernstation im technischen Kontexten im Vergleich zum biologischen Kontext im Zusammenhang mit Bildung nachhaltiger Entwicklung verstanden werden, indem der eigene Heizaufwand oder der Bau modernerer Wohnhäuser hinsichtlich Nachhaltigkeit reflektiert wird. Insbesondere die aktuelle Schülergeneration, welche mit der Fridays-for-Future-Bewegung aufwächst, setzt sich zunehmend für mehr Nachhaltigkeit ein, sodass diesbezüglich ein hohes individuelles Interesse anzunehmen ist (Sjøberg und Schreiner, 2010; Wyness und Dalton, 2018). In der zweiten Lernstation werden sowohl im biologischen (Biomasse als regenerative Energiequelle) als auch technischen Kontext (Solarzellen) Aspekte der Nachhaltigkeit thematisiert. Dies könnte dazu führen, dass die Geschlechtereffekte in dieser Lernstation weniger stark ausfallen, als in den anderen beiden Lernstationen, da das Interesse an der Kontextdomäne hierdurch an Gewicht verliert. Bezüglich der wertbezogenen Komponente zeigen die Effekte in dieselbe Richtung, werden zum Teil allerdings nicht signifikant, sodass vermutet werden kann, dass der Geschlechtereffekt auf diese Facette weniger stark ist als auf die emotionale Komponente.

Das Modell wurde anschließend um die gemessenen Variablen zum individuellen Interesse erweitert, wobei das Geschlecht in Interaktion mit der Kontextdomäne keinen signifikanten Einfluss mehr auf das situationale Interesse zeigt (Tab. 12.2.1, Modell 3). Der signifikante Beitrag des Interesses an der Kontextdomäne deutet dabei auf einen Mediationseffekt dieser Variable hin. Das Geschlecht als alleinstehender Faktor wird signifikant in der Hinsicht, dass Mädchen unter Kontrolle der übrigen Variablen ein höheres situationales Interesse zeigen als Jungen. Dieser Befund stimmt mit der Beobachtung überein, dass Mädchen im Allgemeinen eine höhere schulbezogene intrinsische Motivation und auch Selbstbeherrschung aufweisen als Jungen (Spinath et al., 2014). Darüber hinaus hat das individuelle Interesse an Physik einen besonders hohen Effekt auf die wertbezogene Komponente des situationalen Interesses, wohingegen das Interesse an der Kontextdomäne stärker auf die emotionale Komponente wirkt. Auch in anderen Studien konnte gezeigt werden, dass situative Faktoren stärker die emotionale Komponente beeinflussen können, da die wertbezogene Komponente stärker auf bereits verinnerlichte und stabilen Wertzuschreibungen zurückzuführen ist (Schiefele, 2009b; Habig, Blankenburg et al., 2018). Zu betonen ist, dass insbesondere die wertbezogene Komponente des situationalen Interesses zur langfristigen Interessenförderung als *hold*-Facette beitragen kann und die Ergebnisse zeigen, dass diese Komponente durch die Wahl eines geeigneten Kontexts durchaus beeinflusst werden kann (Mitchell, 1993; Schiefele, 2009a).

Bezüglich der schulischen Leistung zeigten Habig, Blankenburg et al. (2018) eine Interaktion mit dem eingesetzten Kontext. Eine solche Wirkung konnte in der vorliegenden Studie nicht nachgewiesen werden, da sowohl die Note als auch der Interaktionsterm mit der Kontextdomäne nicht signifikant zur Vorhersage des situationalen Interesses beitragen. Da andere Studien bereits einen Einfluss des Selbstkonzepts auf das Interesse nachweisen konnten (Wigfield und Eccles, 2002; Marsh et al., 2005), wurde diese Variable ebenfalls in Modell 4 bzw. 5 aufgenommen (Tab. 12.2.2). Dies brachte allerdings keine wesentliche Verbesserung der Modellgüte oder eine Erhöhung des Anteils der erklärten Varianz, was auch auf die hohen Korrelation zwischen individuellem Interesse und Selbstkonzept insbesondere bezüglich Physik zurückzuführen sein kann (Tab. 11.2.4). Dennoch stehen diese Ergebnisse im Widerspruch zu Fryer et al. (2016), welche auch unter Kontrolle des individuellen Interesses einen Effekt des Selbstkonzepts auf das situationale Interesse finden konnten.

Als limitierender Faktor der vorliegenden Studie kann die Durchführung im Online-Format genannt werden. Hierdurch war es nicht möglich, die Bearbeitungszeit zu kontrollieren und auch die Schülerinnen und Schüler dazu zu bewegen, sich konsequent

mit den Aufgaben auseinanderzusetzen. Dies führte in der Folge zu einer hohen Abbruchrate, wobei angenommen wurde, dass insbesondere Schülerinnen und Schüler mit geringem Interesse an Physik dazu neigen, mit der Bearbeitung abzubrechen. Die ergänzende Auswertung kann diesbezüglich die Aussagekraft der Studie etwas steigern, da der angenommene Trend nicht bestätigt wurde und kein Zusammenhang zwischen einem geringen Interesse und einer höheren Abbruchneigung gefunden wurde. Die Auswertung umfasst allerdings lediglich die Probanden, welche die Vorerhebung ausgefüllt haben, sodass es dennoch nicht ausgeschlossen ist, dass Schülerinnen und Schüler mit sehr geringem Interesse an Physik die Studie gar nicht erst begonnen haben.

Insgesamt können die Modelle über die Fixed Effects 18 % bzw. 30 % der Varianz des situationalen Interesses erklären, sodass davon auszugehen ist, dass neben den oben aufgeführten Kontextmerkmalen noch weitere unabhängige Variablen das situationale Interesse beeinflussen. Beispielsweise könnte das topologische Interesse speziell am Energiekonzept, welches in der vorliegenden Studie nicht erhoben wurde, ebenfalls als erklärende Variable in das Modell einfließen.

Teil IV Abschluss

14 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Beitrag zur Erforschung des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts geleistet. Das folgende Fazit fasst die theoriebasierten Forschungsfragen, Methoden sowie Ergebnisse der beiden durchgeführten Studien zusammen und nennt Implikationen für die Schulpraxis. Ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen wird schließlich ein Ausblick gegeben, dem in zukünftigen Vorhaben nachgegangen werden kann.

14.1 Zusammenfassung und Implikationen

Die Förderung fächerübergreifenden Unterrichts durch die Einführung eines integrierten Fachs Naturwissenschaften wird bereits seit vielen Jahrzehnten innerhalb der Fachdidaktiken diskutiert (z. B. Frey und Häußler, 1973; Rehm und Stäudel, 2017). Während für ein fachsystematisches Vorgehen insbesondere die geordnete Struktur der fachlichen Inhalte spricht, durch die Umwege im Lernen vermieden und ein hohes Niveau gesichert werden soll, ist der Unterricht meist wenig schülergerecht gestaltet (Merzlyn, 2013). Fächerübergreifender Unterricht bietet dagegen die Möglichkeit, stärker auf lebensweltliche Situationen und Alltagserfahrungen der Schülerinnen und Schüler eingehen zu können, da die genutzten Kontexte nicht domänenspezifisch ausgelegt sein müssen (Gebhard et al., 2017). So können Lernsituationen geschaffen werden, die als relevant erachtet werden, was aus Perspektive des moderaten Konstruktivismus eine essenzielle Voraussetzung für erfolgreiches Lernen darstellt (Labudde, 2003). Ein weiteres Argument für fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht betrifft die Interessenförderung. Vor allem an den Fächern Chemie und Physik zeigen Schüler und besonders Schülerinnen nur ein geringes Interesse, sodass Bezüge beispielsweise zum Fach Biologie, welches häufig beliebter ist, die Chance bieten, das Interesse zu erhöhen und auch Unterschiede zwischen den Geschlechtern zu verringern (Labudde, 2014). Um fächerübergreifenden Unterricht zu beschreiben, unterscheiden Labudde und Schecker (2021) zwischen der Ebene der Stundentafel und der Ebene der Inhalte. Auf der ersten Ebene kann Fächerübergreif in den Einzelfächern, als fächerergänzendes An-

gebot oder in einem Integrationsfach stattfinden. Auf Ebene der Inhalte wird dagegen unterschieden, inwiefern die Fachinhalte der einzelnen Domänen miteinander vernetzt sind. So kann ein Unterricht, der beispielsweise Kontexte aus anderen Disziplinen wählt, als fachüberschreitend bezeichnet werden, während die gleichzeitige Behandlung eines übergeordneten Themas aus der Perspektive mehrerer Fächer als fächerverbindend bezeichnet werden kann. Ein fächerkoordinierender Unterricht stellt schließlich ein Problem ins Zentrum, welches durch Kompetenzen unterschiedlicher Disziplinen zu bewältigen ist (Labudde und Schecker, 2021). In den vergangenen Jahren hat sich an deutschen Schulen ein integriertes Fach Naturwissenschaften vermehrt etabliert. Dies betrifft vor allem den Anfangsunterricht an Gymnasien und die Sekundarstufe I an Schulen mit mittlerem Schulabschluss bzw. integrierten Gesamtschulen (Hoffmann, 2021).

Das erste Forschungsinteresse der vorliegenden Arbeit betrifft im Speziellen das integrierte Fach Naturwissenschaften. Da hier auf Ebene der Studententafel ein Fächerübergreifend stattfindet, wurde untersucht, inwiefern auch auf inhaltlicher Ebene die naturwissenschaftlichen Disziplinen vernetzt werden. Als Forschungsgegenstand wurden Schulbücher und ihre Texte gewählt, da sich diese an den Lehrplänen orientieren und somit die Inhalte der Sekundarstufe I abbilden. Neben dem schülerorientierten Einsatz dienen sie Lehrkräften zur Vorbereitung ihres eigenen Unterrichts, wobei insbesondere bei fachfremden Inhalten auf das Schulbuch zurückgegriffen wird (Härtig et al., 2012; Devetak und Vogrinc, 2013). Um die inhaltliche Vernetzung zu messen, wurden die Sachstrukturen der Schulbücher als Concept Maps automatisiert extrahiert und analysiert. Hierbei dienen naturwissenschaftliche Termini als Knoten, die zunächst bestimmt werden müssen. An dieser Stelle betrifft die erste Forschungsfrage das methodische Vorgehen zur Bestimmung naturwissenschaftlicher Termini, da die automatisierte Textverarbeitung innerhalb der Fachdidaktik noch kein etabliertes Instrument darstellt.

F1.1 Inwiefern lassen sich bildungssprachliche und naturwissenschaftliche Termini automatisiert aus naturwissenschaftlichen Schulbüchern der Sekundarstufe I extrahieren und den einzelnen Disziplinen Biologie, Chemie und Physik zuordnen?

Nach dem Digitalisieren und Vorbereiten des Korpus wurden Random Forest Klassifikatoren anhand eines Trainingsdatensatzes trainiert, sodass auf Grundlage von Worteinbettungen und Auftretenshäufigkeiten in den Referenzkorpora alle Wörter (Types) der Schulbücher den vier Kategorien Biologie, Chemie, Physik und Bildungssprache zugeordnet wurden. Hierbei wurden die Worteinbettungen mittels eines word2vec-Algorithmus bestimmt und als Referenzkorpus Universitätslehrbücher, die Artikel der

deutschsprachigen Wikipedia und ein Korpus zur gesprochenen Sprache gewählt. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden bezüglich eines Trainingsdatensatzes Werte der Interraterreliabilität zwischen zwei Ratern bzw. zwischen einem Rater und den Random Forest Klassifikatoren bestimmt und miteinander verglichen. Es zeigt sich, dass die Reliabilität der automatisierten Zuordnung zu den vier Kategorien zwar niedriger ausfällt als das Kodieren per Hand, aber dennoch im guten Bereich liegt (Tab. 7.2.1), sodass die Methode als hinreichend genau angesehen werden kann, um mit der weiteren Analyse fortzufahren.

Mithilfe des automatisiert bestimmten Vokabulars wurden zunächst die einzelnen Disziplinen hinsichtlich bildungs- und fachsprachlicher Unterschiede analysiert. Ebenfalls wurde untersucht, ob diesbezüglich ein Unterschied zwischen fächergetrennten Schulbüchern und solchen für das integrierte Fach Naturwissenschaften besteht.

F1.2 Inwiefern unterscheidet sich die Nutzung bildungs- und fachsprachlichen Vokabulars in Schulbüchern zwischen den Disziplinen Biologie, Chemie und Physik, den einzelnen Schuljahrgängen, sowie zwischen fächergetrenntem und integriertem naturwissenschaftlichen Unterricht?

Innerhalb des gesamten Schulbuchkorpus zeigt sich zunächst, dass im Vergleich der naturwissenschaftlichen Kategorien Biologie die höchste Anzahl an unterschiedlichen Fachtermini umfasst, während Chemie die geringste Anzahl aufweist (Tab. 8.1.1). Einige Types werden von den Random Forest Klassifikatoren mehr als einer naturwissenschaftlichen Disziplin zugeordnet, wobei insbesondere die Types häufig auftreten, die den Kategorien Chemie und Physik bzw. allen drei Disziplinen angehören. Eine Analyse der Auftretenshäufigkeiten der eindeutig bestimmten Fachtermini in den Schulbüchern des entsprechenden Fachs zeigt, dass ein Großteil der biologischen Fachbegriffe nur selten benutzt wird, wohingegen viele chemische Fachbegriffe häufig genutzt werden (Abb. 8.1.1).

Wird der Anteil bildungssprachlicher Wörter (Tokens) pro Doppelseite der Schulbücher betrachtet, zeigt sich, dass dieser Anteil im Verlauf der Sekundarstufe I wächst (Abb. 8.1.2). In den Jahrgängen 5 bis 8 weisen die Fächer Biologie und Chemie diesbezüglich einen höheren Wert auf als Physik. Für die Klassen 9 und 10 zeigen Chemieschulbücher den höchsten Anteil bildungssprachlicher Tokens, der vor allem durch einen stark gestiegenen Anteil chemiespezifischer Fachtermini zu begründen ist (Ab. 8.1.3).

Im Vergleich von integrierten und fächergetrennten Schulbüchern zeigt sich kein Unterschied bezüglich der Anzahl bildungssprachlicher Tokens pro Doppelseite. Allerdings weisen Schulbücher für das integrierte Fach einen signifikant höheren Anteil an biolo-

gischen und einen geringeren Anteil chemischer Tokens auf als Schulbücher des fächergetrennten Unterrichts auf (8.1.4).

Nachdem das fachsprachliche Vokabular bestimmt und hinsichtlich der Verwendung in naturwissenschaftlichen Schulbüchern analysiert wurde, wurde der inhaltliche Fächerübergreif untersucht.

F1.3 Inwiefern unterscheidet sich der Fächerübergreif in Schulbüchern des gefächerten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts hinsichtlich des gemeinsamen Auftretens naturwissenschaftlicher Termini, auch im Hinblick auf zentrale physikalische Konzepte?

Zur Bestimmung des Fächerübergreif wurde die Sachstruktur der Schulbücher als Concept Map operationalisiert, wobei die Kanten zwischen zwei Termini durch ein gemeinsames Auftreten innerhalb eines definierten Fensters gebildet werden. Als Fenster für eine gemeinsame Kookkurrenz wurden zwei angrenzende Sätze festgelegt. Das Gewicht einer Kante wird durch die Häufigkeit der gemeinsamen Kookkurrenz der beiden Termini gebildet. Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurden zunächst alle in den Schulbüchern auftretenden Kookkurrenzen hinsichtlich ihrer Fächerzugehörigkeit geordnet und in jedem Schulbuch die Anzahl dieser Kookkurrenzen bestimmt (Abb. 8.2.1). Zur Vergleichbarkeit der beiden Unterrichtsformen wurde ein Schulbuch des gefächerten Unterrichts durch jeweils ein Schulbuch der drei Einzeldisziplinen zusammengesetzt. Es zeigt sich, dass in Schulbüchern des integrierten Fachs ein höherer Anteil innerfachlicher biologischer und geringerer Anteil innerfachlicher chemischer Kookkurrenzen auftritt. Hinsichtlich fächerübergreifender Kookkurrenzen zeigt sich ein häufigeres gemeinsames Auftreten von chemischen und physikalischen Termini in Schulbüchern des fächergetrennten Unterrichts. Im integrierten Schulbuch zeigen sich signifikant mehr biophysikalische Kookkurrenzen, wobei der absolute Anteil in beiden Unterrichtsarten sehr gering ist. Hinsichtlich zentraler Konzepte zeigt sich, dass der Terminus Energie im integrierten Fach mehr biologische und weniger physikalische Kookkurrenzen im Schulbuch des integrierten Fach aufweist und somit gleichmäßiger mit Termini der drei Disziplinen auftritt. Diese Tendenz zeigt sich hingegen bei den weiteren betrachteten zentralen Termini Kraft, Elektron und Molekül nicht.

Über die Satzebene hinaus wurde der Fächerübergreif auf Seitenebene untersucht, da diese in Schulbüchern meist eine Sinneinheit darstellen. Hierbei wurde für jede Doppelseite aus der gesamten Anzahl naturwissenschaftlicher Termini der Anteil biologischer, chemischer und physikalischer Termini bestimmt. Als Maß für die Gleichverteilung naturwissenschaftlicher Termini über die drei Disziplinen wurde die Entropie berechnet

und zwischen integrierten und fächergetrennten Schulbüchern verglichen. Die Dichteverteilung der Entropie zeigt hier keinen Unterschied zwischen den beiden Unterrichtsvarianten. Lediglich bezüglich biologisch geprägter Doppelseiten zeigt sich eine höhere Entropie bzw. Gleichverteilung der Termini im integrierten Schulbuch.

Aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung kann hinsichtlich der angewendeten Operationalisierung nicht von einer stärkeren horizontalen Vernetzung fachlicher Inhalte in Schulbüchern des integrierten Fachs Naturwissenschaften gesprochen werden. Durch den modularen Aufbau der Schulbücher für das integrierte Fach und der Zusammenfassung von Inhalten mehrerer Disziplinen unter ein übergeordnetes Kapitel (z. B. „Mobilität“) kann zwar bereits von einer fächerverbindenden Struktur gesprochen werden (Labudde und Schecker, 2021), dennoch zeigen die Ergebnisse der Studie auf Ebene der Doppelseiten bzw. auf Satzebene keinen höheren Fächerübergreif im Sinne eines gemeinsamen Auftretens von Fachtermini unterschiedlicher Disziplinen. Der Befund deutet darauf hin, dass diese Untereinheiten im integrierten Schulbuch ähnlich disziplinspezifisch wie im fächergetrennten Schulbuch angelegt sind. Der gefundene höhere biologische Anteil an Fachtermini im Schulbuch für das integrierte Fach macht gleichzeitig darauf aufmerksam, dass der fächerübergreifende Unterricht dafür Sorge zu tragen hat, dass keine Naturwissenschaft im Vergleich zum fächergetrennten Unterricht in ihrem Umfang gekürzt wird. Insgesamt besteht für die Konzeption der Schulbücher also weiterhin Potential, die naturwissenschaftlichen Disziplinen stärker miteinander zu vernetzen, denn insbesondere wenn Methoden des einen Fachs unmittelbar zur Lösung eines Problems eines anderen Fachs angewendet werden, kann vermutet werden, dass die wahrgenommene Relevanz der Inhalte auf Seiten der Schülerinnen und Schüler steigt.

Mit dem zweiten Forschungsinteresse möchte die vorliegende Arbeit hier anknüpfen und die Wirkung eines fächerübergreifenden Unterrichts auf das Interesse von Schülerinnen und Schülern untersuchen. Das Interessenkonstrukt unterscheidet nach der Person-Gegenstands-Theorie das individuelle Interesse, welches eine relativ dauerhafte Disposition darstellt, und das situationale Interesse als psychischen Zustand der Interessiertheit einer Person (Krapp, 2002). Das situationale Interesse kann wiederum in eine emotionale und eine wertbezogene Facette unterteilt werden (Schiefele, 2009b). Nach dem Vier-Phasen-Modell zur Förderung langfristiger individuellen Interessen gilt es, dieses situationale Interesse in konkreten Lernsituationen zunächst zu aktivieren (*catch*) und anschließend zu halten (*hold*; Mitchell, 1993; Hidi und Renninger, 2006). Dabei kann durch Merkmale der Lernumgebung und ihrer Interessantheit Einfluss auf das situationale Interesse genommen werden (Schiefele, 2009b). Wird das situationa-

le Interesse über längere Zeit aufrechterhalten, wofür sich insbesondere das Aufzeigen inhaltlicher Relevanz oder persönlicher Bedeutsamkeit eignet, kann sich schließlich individuelles Interesse entwickeln (Mitchell, 1993; Hidi und Renninger, 2006; Krapp, 2007). Zur Förderung von Interessen hat sich in der Vergangenheit kontextorientierter Unterricht gegenüber traditionellen Unterrichtsansätzen als effektiv herausgestellt, sodass ein Gegenstand aktueller Forschung darin besteht, besonders geeignete Kontexte zu finden und hinsichtlich bestimmter Merkmale sowie ihrer Wirkung auf Schülerinnen und Schüler zu beschreiben (Bennett et al., 2007; van Vorst et al., 2015).

An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit mit einer Interventionsstudie ein, um die interessenfördernde Wirkung fächerübergreifender Kontexte zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden Lernstationen zu physikalischen Inhalten des interdisziplinären Energiekonzepts jeweils in zwei Versionen entwickelt, welche sich durch die Einbettung in einen physikalischen bzw. einen biologischen Kontext unterscheiden. Durch diese systematische Variation des Kontexts kann die Wirkung technischer im Vergleich zu fachüberschreitenden biologischen Kontexten verglichen werden.

F2.1 Inwiefern lässt sich das situationale Interesse von Schülerinnen und Schülern beim Bearbeiten physikalischer Lernaufgaben durch den Einsatz von Mikrokontexten aus verschiedenen Domänen (Biologie und Technik) beeinflussen?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde auf Grundlage der Lernstationen eine Onlinestudie konzipiert, die während der Coronapandemie im Homeschooling durchgeführt wurde. Zur Auswertung wurden die aufgenommenen Daten durch eine Mehrebenenregression mit Random Intercept modelliert. Da vor allem Mädchen wesentlich stärker an biologischen als an technischen Themen interessiert sind, Jungen dagegen an beiden Kontextdomänen ein ähnliches Interesse zeigen, wurde durch den Einsatz biologischer Kontexte bereits ein höheres situationales Interesse hinsichtlich der Grundgesamtheit der Schülerinnen und Schüler erwartet. Diesbezüglich zeigen die Ergebnisse allerdings keine generelle Bevorzugung der biologischen Kontexte (Modell 1, Tab. 12.2.1). Trotzdem zeigt sich erwartungsgemäß, dass bei der Bearbeitung von Lernstationen in biologischen Kontexten Mädchen ein höheres situationales Interesse angeben, wohingegen Jungen technische Kontexte bevorzugen (Modell 2, Tab. 12.2.1). Es lassen sich auf beide Komponenten des situationalen Interesses diesbezüglich Effekte finden, wobei diese auf die emotionale Facette höher ausfallen als auf die wertbezogene Facette. Darüber hinaus zeigt insbesondere die Betrachtung der emotionalen Komponente des situationalen Interesses in den einzelnen Lernstationen, dass die Wirkung der systematischen Variation zwischen biologischem und technischem Kontext unterschiedlich

ausfallen kann (Abb. 12.2.2). Während zwischen den beiden Kontextversionen der ersten Lernstation Jungen keinen Unterschied diesbezüglich zeigen und Mädchen dagegen sehr stark zwischen den beiden Varianten differenzieren, verhält sich dieser Sachverhalt in der dritten Lernstation umgekehrt. Im Folgenden sollte der Einfluss weiterer Variablen auf das situationale Interesse untersucht werden.

F2.2 Welchen Einfluss haben hierbei individuelle Faktoren (individuelles Interesse, Selbstkonzept, Physikleistung) auf das situationale Interesse?

Es zeigt sich erwartungsgemäß ein großer Einfluss des individuellen Interesses an Physik auf das situationale Interesse, wobei dieser stärker auf die wertbezogene als die emotionale Komponente ausfällt (Modell 3, Tab. 12.2.1). Auch das Interesse an der Kontextdomäne (Biologie der Technik) zeigt einen Effekt, welcher insgesamt schwächer als der des Interesses an Physik ausfällt und stärker auf die emotionale als die wertbezogene Komponente des situationalen Interesses wirkt. Unter Einbindung der individuellen Interessen in das Modell ist die Interaktion zwischen Kontext und Geschlecht nicht mehr signifikant. Im Gegensatz zur vorherigen Studien zeigt die Leistung in Physik, welche durch Angabe der letzten Physiknote gemessen wurde, in keinem Modell einen signifikanten Beitrag zur Erklärung des situationalen Interesses. Auch das Selbstkonzept zeigt bei gleichzeitiger Einbeziehung der individuellen Interessen keinen signifikanten Effekt (Modell 5, Tab. 12.2.2).

Als Implikation für die Schulpraxis geben die Ergebnisse Grund zur Annahme, dass das Interesse von Mädchen durchaus durch biologische Kontexte gefördert werden kann, da sie in diesen ein höheres situationales Interesse zeigen. Gleichzeitig ist aber nicht davon auszugehen, dass hiervon auch die Jungen profitieren können. Entsprechend sollten die in der Schule verwendeten Kontexte nicht zu stark auf nur eine Domäne beschränkt sein, denn durch eine gezielte Variation der Anwendungskontexte können die individuellen Interessen aller Schülerinnen und Schüler berücksichtigt werden. Bearbeiten die Lernenden Anwendungsaufgaben in Kontexten aus Themenbereichen, die sie als interessant wahrnehmen, steigt nicht nur das emotionale situationale Interesse. Es werden ebenfalls ihre internen Wertvorstellungen aktiviert, sodass sie den Inhalt der Aufgaben als relevant erachten, was eine wichtige Voraussetzung zur Entwicklung stabiler Interessen darstellt.

14.2 Ausblick

Ausgehend von den in der vorliegenden Arbeit präsentierten Ergebnissen, stellen sich weitere Forschungsfragen, um sowohl die Umsetzung als auch die Wirkung fächerübergreifenden Unterrichts zu untersuchen.

Lehrpläne und Schulbücher des integrierten Fachs Naturwissenschaften organisieren den Unterricht derart, dass innerhalb von Unterrichtssequenzen fächerverbindende Themen behandelt werden, welche Anlässe zur Behandlung der Inhalte verschiedener naturwissenschaftlicher Disziplinen bietet. Allerdings deuten die Ergebnisse der Schulbuchanalyse darauf hin, dass diese Inhalte im Vergleich zum fächergetrennten Unterricht nicht stärker zwischen den Disziplinen vernetzt werden. Aufgrund der Bedeutung der Schulbücher für Lehrkräfte zur Vorbereitung kann demnach die Hypothese formuliert werden, dass auch im Unterricht Inhalte der verschiedenen Disziplinen nur selten direkt miteinander verknüpft werden und der Fächerübergreifend lediglich durch die zeitliche Nähe der Behandlung von Inhalten verschiedener Disziplinen gegeben ist. Hier gilt es, Lehrerinnen und Lehrern mit Best Practice Beispielen bei der Planung ihres Unterrichts zu unterstützen. Es existieren zwar bereits eine Vielzahl solcher Unterrichtsgänge, allerdings muss darauf geachtet werden, dass sie mit den Anforderungen der jeweiligen Lehrpläne kompatibel sind.

Über die Analyse der Art des inhaltlichen Fächerübergreifens im Unterricht hinaus stellt sich die Frage, inwiefern sich die Wirkungen fachüberschreitenden, fächerverbindenden und fächerkoordinierenden Unterrichts unterscheiden. In der vorliegenden Studie wurden die Lernstationen in Mikrokontexte eingebettet, sodass eine Fachüberschreitung erzielt wurde. Durch eine stärkere Problemorientierung durch Makrokontexte, bei der Inhalte mehrerer Fächer zur Lösung herangezogen werden müssen, könnte ein fächerkoordinierender bzw. themenzentrierter Unterricht erreicht werden, in dem die Bedeutung des Kontexts vermutlich verstärkt wird. Dementsprechend bietet sich der Vergleich des Einflusses auf das Interesse mit der in dieser Arbeit erfolgten Einbettung in Mikrokontexte an. So könnten die gefundenen Effekte auf das situationale Interesse noch höher ausfallen, wobei insbesondere der Effekt auf die wertbezogene Komponente für eine langfristige Interessenförderung von Bedeutung ist. Gleichzeitig können weitere motivationale Faktoren der einzelnen Schülerinnen und Schüler wie Zielorientierungen oder persönliches Engagement zur Erklärung der Interessen aufgegriffen werden (vgl. Kubsch, Fortus et al., 2022). Neben der Förderung von Interessen wird auch das Argument der Lernwirksamkeit fächerübergreifenden Unterrichts häufig genannt, wobei auch hier eine empirische Prüfung weiter aussteht.

Kritiken am fächerübergreifenden Unterricht beziehen sich auch auf die Gefahr des „Verschwimmens“ zentraler Konzepte (DPG, 2016). In Bezug auf das Energiekonzept konnte gezeigt werden, dass es im integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht stärker fächerübergreifend angewandt wird. Gleichzeitig handelt es sich hierbei um ein physikalisches Konzept, welches in diesem Kontext zu definieren und charakterisieren ist. Dementsprechend kann in anschließenden Untersuchungen die hinreichende Einführung des Konzepts unter didaktischen Aspekten wie der Elementarisierung in die Energiequadrige oder experimentellen Veranschaulichungen geprüft werden.

Schließlich bietet die in der Schulbuchanalyse angewendete Methodik Anknüpfungspotential im Bereich der automatisierten Textanalyse. So werden beispielsweise zur Untersuchung von Textverständlichkeit verschiedene Merkmale eines Sachtexts untersucht. Dabei kann angenommen werden, dass die Anzahl an bildungs- und fachsprachlicher Wörter einen wesentlichen Einfluss auf die Textverständlichkeit nimmt, sodass mit der vorgestellten Methode dieses Merkmal erfasst werden kann. Durch eine Erweiterung um die Abstraktheit oder Komplexität der einzelnen Wörter kann die Methode noch weiter elaboriert werden, um die Schwierigkeit der zu den Termini gehörenden Konzepte und schließlich die Verständlichkeit eines Sachtextes zu beschreiben.

15 Verzeichnisse

15.1 Literatur

- Ahlgrim, T. (2017). *Schulbücher im Sachunterricht - welche Themenauswahl bieten sie? Eine inhaltsanalytische Studie zu ausgesuchten Lehrwerken* (Bd. 13). Universitätsverlag Hildesheim.
- Aichholzer, J. (2017). *Einführung in lineare Strukturgleichungsmodelle mit Stata*. Springer VS.
- Aikenhead, G. S. (2003). Chemistry and physics instruction: Integration, ideologies, and choices. *Chemistry Education Research and Practice*, 4(2), 115–130.
- Alexander, P. A., & Grossnickle, E. M. (2016). Positioning interest and curiosity within a model of academic development. *Handbook of Motivation at School*, 2, 188–208.
- Alexander, P. A., Jetton, T. L., & Kulikowich, J. M. (1995). Interrelationship of knowledge, interest, and recall: Assessing a model of domain learning. *Journal of Educational Psychology*, 87(4), 559.
- Alexander, P. A., & Murphy, P. K. (1998). Profiling the differences in students' knowledge, interest, and strategic processing. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 435.
- Altszyler, E., Sigman, M., Ribeiro, S., & Slezak, D. F. (2016). Comparative study of LSA vs Word2vec embeddings in small corpora: a case study in dreams database. *arXiv preprint arXiv:1610.01520*.
- Andreitz, I., Müller, F. H., Kramer, D., & Krainer, K. (2013). Wer studiert Technik? Eine Befragung österreichischer SchülerInnen und Studierender. *Wissenschaftliche Beiträge aus dem Institut für Unterrichts-und Schulentwicklung*, 7.
- Åström, M. (2008). *Defining integrated science education and putting it to test* (Bd. 26). Swedish National Graduate School in Science and Technology Education, FontD; Department of Social and Welfare Studies, Linköping University.

- Åström, M., & Karlsson, K.-G. (2007). Using hierarchical linear models to test differences in Swedish results from OECD's PISA 2003: Integrated and subject-specific science education. *Nordic Studies in Science Education*, 3(2), 121–131.
- Baumert, J. (1997). *TIMSS – Mathematisch-naturwissenschaftlicher Unterricht im internationalen Vergleich: Deskriptive Befunde*. VS Verlag für Sozialwissenschaften GmbH.
- Baumert, J., Artelt, C., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Tillmann, K.-J., & Weiß, M. (2002). *PISA 2000 – Die Länder der Bundesrepublik Deutschland im Vergleich*. Springer-Verlag.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., Stanat, P., Tillmann, K.-J., & Weiß, M. (2001). *PISA 2000: Basiskompetenzen von Schülerinnen und Schülern im internationalen Vergleich*. VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Bennett, J. (2003). *Teaching and learning science: A guide to recent research and its applications*. continuum.
- Bennett, J., & Holman, J. (2003). Context-Based Approaches to the Teaching of Chemistry: What are They and What Are Their Effects? In J. K. Gilbert, O. Jong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Driel (Hrsg.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (S. 165–184, Bd. 17). Kluwer Academic Publishers.
- Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2007). Bringing science to life: A synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science education*, 91(3), 347–370.
- Berendes, K., Vajjala, S., Meurers, D., Bryant, D., Wagner, W., Chinkina, M., & Trautwein, U. (2018). Reading demands in secondary school: Does the linguistic complexity of textbooks increase with grade level and the academic orientation of the school track? *Journal of Educational Psychology*, 110(4), 518–543.
- Berlyne, D. E. (1978). Curiosity and learning. *Motivation and Emotion*, 2(2), 97–175.
- Bierema, A. M.-K., Schwartz, R. S., & Gill, S. A. (2017). To what extent does current scientific research and textbook content align? A methodology and case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(8), 1097–1118.
- Blankenburg, J., & Scheersoi, A. (2018). Interesse und Interessenentwicklung. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 245–259). Springer Berlin Heidelberg.
- Blumschein, P. (2003). *Eine Metaanalyse zur Effektivität multimedialen Lernens am Beispiel der anchored instruction* [Diss., Breisgau].
- Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine learning*, 45(1), 5–32.

- Brovelli, D. (2014). Integrierte naturwissenschaftliche Lehrerbildung – Entwicklung professioneller Kompetenz bei Lehramtsstudierenden. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 21–32.
- Brovelli, D., Bölsterli, K., Rehm, M., & Wilhelm, M. (2013). Erfassen professioneller Kompetenzen für den naturwissenschaftlichen Unterricht: Ein Vignettentest mit authentisch komplexen Unterrichtssituationen und offenem Antwortformat. *Unterrichtswissenschaft*, 41(4).
- Brovelli, D., Kauertz, A., Rehm, M., & Wilhelm, M. (2011). Professionelle Kompetenz und Berufsidentität in integrierten und disziplinären Lehramtsstudiengängen der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 57–87.
- Brückmann, M. (2009). *Sachstrukturen im Physikunterricht: Ergebnisse einer Videostudie* [Diss.]. Berlin.
- Brysbart, M., Warriner, A. B., & Kuperman, V. (2014). Concreteness ratings for 40 thousand generally known English word lemmas. *Behavior research methods*, 46(3), 904–911.
- Bund-Länder-Kommission für Bildungsplanung und Forschungsförderung. (1997). *Gutachten zur Vorbereitung des Programms 'Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts'*.
- Burger, J. (2001). *Schülervorstellungen zu Energie im biologischen Kontext* [Diss.]. Bielefeld.
- Busch, M. (2016). *Empirische Studien zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht* [Diss.]. Jena.
- Busch, M., & Woest, V. (2016). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht: Empirische Befunde zu Potenzial und Grenzen aus Lehrerperspektive. *MNU Journal*, 69(4), 269–277.
- Bybee, R. W. (1991). Science-technology-society in science curriculum: The policy-practice gap. *Theory Into Practice*, 30(4), 294–302.
- Castellví, M. T. C., Bagot, R. E., & Palatresi, J. V. (2001). Automatic term detection: A review of current systems. *Recent advances in computational terminology*, 2, 53–88.
- Cheung, D. (2018). The key factors affecting students' individual interest in school science lessons. *International Journal of Science Education*, 40(1), 1–23.
- Cirkel, J. O., Eggert, S., Bögeholz, S., & Schneider, S. (2017). Zertifikatsstudium Fächerübergreifendes Unterrichten in den Naturwissenschaften. *PhyDid B-Didaktik der Physik-Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.

- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1990). Anchored instruction and its relationship to situated cognition. *Educational Researcher*, 19(6), 2–10.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1993). Anchored instruction and situated cognition revisited. *Educational Technology*, 52–70.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1997). *The Jasper Project: Lessons in curriculum, instruction, assessment, and professional development*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Cuna-Autorengruppe (Hrsg.). (1981). *Unterrichtsbeispiele zu Natur und Technik in der Sekundarstufe I: Ergebnisse aus dem CUNA Programm*.
- Daniels, Z. (2008). *Entwicklung schulischer Interessen im Jugendalter* (Bd. 69). Waxmann.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). The 'what' and 'why' of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. *Psychological inquiry*, 11(4), 227–268.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (Hrsg.). (2002). *The handbook of self-determination research*. University of Rochester.
- Devetak, I., & Vogrinc, J. (2013). The Criteria for Evaluating the Quality of the Science Textbooks. In M. S. Khine (Hrsg.), *Critical analysis of science textbooks* (S. 3–15). Springer.
- de Winter, J. (2013). Using the Student's t-test with extremely small sample sizes.
- Dierks, P. O., Höffler, T. N., Blankenburg, J. S., Peters, H., & Parchmann, I. (2016). Interest in science: a RIASEC-based analysis of students' interests. *International Journal of Science Education*, 38(2), 238–258.
- Dierks, P. O., Höffler, T. N., & Parchmann, I. (2014). Profiling interest of students in science: Learning in school and beyond. *Research in Science & Technological Education*, 32(2), 97–114.
- Dikli, S. (2006). An overview of automated scoring of essays. *The Journal of Technology, Learning and Assessment*, 5(1).
- diSessa, A. A. (2018). A Friendly Introduction to “Knowledge in Pieces”: Modeling Types of Knowledge and Their Roles in Learning. In G. Kaiser, H. Forgasz, M. Graven, A. Kuzniak, E. Simmt & B. Xu (Hrsg.), *Invited Lectures from the 13th International Congress on Mathematical Education* (S. 65–84). Springer International Publishing.
- DPG (Hrsg.). (2016). *Physik in der Schule: Hauptteil mit Anlage Basiskonzepte*. Deutsche Physikalische Gesellschaft e.V.

- Duit, R. (1984). *Der Energiebegriff im Physikunterricht* [Habil.]. Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften. Kiel.
- Duit, R. (2006). Initiativen zur Verbesserung des Physikunterrichts in Deutschland. *PhyDid A - Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2(5), 83–96.
- Duit, R. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept. In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K - 12 Education* (S. 67–85). Springer International Publishing.
- Duit, R., & Mikelskis-Seifert, S. (2007). Kontextorientierter Unterricht: Wie man es einbettet, so wird es gelernt. *Naturwissenschaften im Unterricht. Physik*, 18(98), 4–8.
- Duit, R., & Mikelskis-Seifert, S. (Hrsg.). (2010). *Physik im Kontext: Konzepte, Ideen, Materialien für effizienten Physikunterricht*. Friedrich Verlag.
- Dumais, S. T. (2004). Latent semantic analysis. *Annual Review of Information Science and Technology*, 38(1), 188–230.
- Duranti, A., & Goodwin, C. (Hrsg.). (1992). *Rethinking context: Language as an interactive phenomenon* (Bd. 11). Cambridge University Press.
- Eisenkraft, A., Nordine, J., Chen, R. F., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., & Scheff, A. (2014). Introduction: Why Focus on Energy Instruction? In R. F. Chen, A. Eisenkraft, D. Fortus, J. Krajcik, K. Neumann, J. Nordine & A. Scheff (Hrsg.), *Teaching and Learning of Energy in K - 12 Education* (S. 1–11). Springer International Publishing.
- Eisinga, R., Grotenhuis, M. t., & Pelzer, B. (2013). The reliability of a two-item scale: Pearson, Cronbach, or Spearman-Brown? *International journal of public health*, 58(4), 637–642.
- Eisler, R. (1900). *Wörterbuch der Philosophischen Begriffe: quellenmässig bearbeitet*. ES Mittler und Sohn.
- Engelmann, P. (2019). *Fächerübergreifende Naturwissenschaften in der Lehrerfortbildung: eine Didaktische Rekonstruktion* [Diss., Friedrich-Schiller-Universität Jena].
- Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: Authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken* (Bd. 36). Logos Verlag.
- Fechner, S. (2009). *Effects of context-oriented learning on student interest and achievement in chemistry education* (Bd. 95). Logos Verlag.

- Ferreira-Mello, R., André, M., Pinheiro, A., Costa, E., & Romero, C. (2019). Text mining in education. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 9(6).
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. L. (2015). *Feynman lectures on physics* (New millennium edition). Basic Books.
- Field, A., Miles, J., & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R*. Sage.
- Finkelstein, N. (2005). Learning Physics in Context: A study of student learning about electricity and magnetism. *International Journal of Science Education*, 27(10), 1187–1209.
- Fischer, H. E., Glemnitz, I., Kauertz, A., & Sumfleth, E. (2007). Auf Wissen aufbauen - kumulatives Lernen in Chemie und Physik. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 657–678). Springer Berlin Heidelberg.
- Fischler, H. (1978). Integrierter Unterricht in den Naturwissenschaften. In W. Northemann (Hrsg.), *Politisch-gesellschaftlicher Unterricht in der Bundesrepublik* (S. 287–300). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Fischler, H., Gebhard, U., & Rehm, M. (2018). Naturwissenschaftliche Bildung und Scientific Literacy. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 11–29). Springer Berlin Heidelberg.
- Fitzgerald, J., Elmore, J., Relyea, J. E., & Stenner, A. J. (2020). Domain-specific academic vocabulary network development in elementary grades core disciplinary textbooks. *Journal of Educational Psychology*, 112(5), 855–879.
- Fitzgerald, J., Relyea, J. E., Elmore, J., & Hiebert, E. H. (2020). Has the Presence of First-Grade Core Reading Program Academic Vocabulary Changed Across Six Decades? *Reading Research Quarterly*.
- Fortus, D., Kubsch, M., Bielik, T., Krajcik, J., Lehavi, Y., Neumann, K., Nordine, J., Opitz, S., & Touitou, I. (2019). Systems, transfer, and fields: Evaluating a new approach to energy instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(3), 349.
- Fortus, D., Lin, J., Neumann, K., & Sadler, T. D. (2022). The role of affect in science literacy for all. *International Journal of Science Education*, 1–21.
- Frey, K. (Hrsg.). (1974). *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft der Sekundarstufe I - Projekte und Innovationsstrategien: Bericht über das 5. IPN-Symposium*. Beltz.
- Frey, K., & Häußler, P. (Hrsg.). (1973). *Integriertes Curriculum Naturwissenschaft: Theoretische Grundlagen und Ansätze: Bericht über das 4. IPN-Symposium*. Beltz Verlag.

- Fruböse, C., Illgen, J., Kohm, L., & Wollscheid, R. (2011). Unterricht im integrierten Fach Naturwissenschaften: Erfahrungen aus gymnasialer Sicht. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 64(7), 433–439.
- Fryer, L. K., Ainley, M., & Thompson, A. (2016). Modelling the links between students' interest in a domain, the tasks they experience and their interest in a course: Isn't interest what university is all about? *Learning and Individual Differences*, 50, 157–165.
- Fürntratt, E. (1969). Zur Bestimmung der Anzahl interpretierbarer gemeinsamer Faktoren in Faktorenanalysen psychologischer Daten. *Diagnostica*, 15(2), 62–75.
- Gardner, D., & Davies, M. (2014). A New Academic Vocabulary List. *Applied Linguistics*, 35(3), 305–327.
- Gebhard, U., Höttecke, D., & Rehm, M. (2017). *Pädagogik der Naturwissenschaften: Ein Studienbuch*. Springer VS.
- Gilbert, J. K. (2006). On the Nature of “Context” in Chemical Education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957–976.
- Gilbert, J. K., Bulte, A. M., & Pilot, A. (2011). Concept Development and Transfer in Context-Based Science Education. *International Journal of Science Education*, 33(6), 817–837.
- Grasser, A. (2010). *Integrierte Naturwissenschaft: Entwicklung, Erprobung und Evaluation eines Projektunterrichts* [Diss., Friedrich-Schiller-Universität Jena].
- Green, C. (2019). A multilevel description of textbook linguistic complexity across disciplines: Leveraging NLP to support disciplinary literacy. *Linguistics and Education*, 53, 100748.
- Güth, F., & van Vorst, H. (2021). Interessengestützte Binnendifferenzierung im Chemieunterricht. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020*. Universität Duisburg-Essen.
- Habig, S. (2017). *Systematisch variierte Kontextaufgaben und ihr Einfluss auf kognitive und affektive Schülerfaktoren* (Bd. 223). Logos Verlag.
- Habig, S., Blankenburg, J., van Vorst, H., Fechner, S., Parchmann, I., & Sumfleth, E. (2018). Context characteristics and their effects on students' situational interest in chemistry. *International Journal of Science Education*, 40(10), 1154–1175.
- Habig, S., van Vorst, H., & Sumfleth, E. (2018). Merkmale kontextualisierter Lernaufgaben und ihre Wirkung auf das situationale Interesse und die Lernleistung von Schülerinnen und Schülern. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), 99–114.

- Handtke, K., & Bögeholz, S. (2020). Self-rated content knowledge of biology, chemistry, and physics—Developing a measure and identifying challenges for interdisciplinary science teaching. *Research in Subject-matter Teaching and Learning*, 3, 46–67.
- Harackiewicz, J. M., Durik, A. M., Barron, K. E., Linnenbrink-Garcia, L., & Tauer, J. M. (2008). The role of achievement goals in the development of interest: Reciprocal relations between achievement goals, interest, and performance. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 105–122.
- Härtig, H. (2010). *Sachstrukturen von Physikschulbüchern als Grundlage zur Bestimmung der Inhaltsvalidität eines Tests* (Bd. 101). Logos Verlag.
- Härtig, H. (2014). Software-basierte Evaluation freier Antwortformate. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 115–128.
- Härtig, H., Kauertz, A., & Fischer, H. E. (2012). Das Schulbuch im Physikunterricht: Nutzung von Schulbüchern zur Unterrichtsvorbereitung in Physik. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 65(4), 197–200.
- Haugwitz, M. (2009). *Kontextorientiertes Lernen und Concept Mapping im Fach Biologie* [Diss.]. Duisburg-Essen.
- Häussler, P., & Hoffmann, L. (2000). A curricular frame for physics education: Development, comparison with students' interests, and impact on students' achievement and self-concept. *Science Education*, 84(6), 689–705.
- Helaakoski, J., & Viiri, J. (2014). Content and content structure of physics lessons and students' learning gains. In H. E. Fischer, P. Labudde, K. Neumann & J. Viiri (Hrsg.), *Quality of instruction in physics* (S. 93–110). Waxmann.
- Helms, J. V. (1998). Science - and me: Subject matter and identity in secondary school science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(7), 811–834.
- Herbart, J. F. (1806). *Allgemeine Pädagogik: aus dem Zweck der Erziehung abgeleitet*. Röwer.
- Heyer, G., Quasthoff, U., & Wittig, T. (2012). *Text Mining: Wissensrohstoff Text: Konzepte, Algorithmen, Ergebnisse* (2. Aufl.). W3L-Verl.
- Heylen, K., & De Hertog, D. (2017). Automatic Term Extraction. In H. J. Kockaert & F. Steurs (Hrsg.), *Handbook of terminology*. John Benjamins Publishing Company.
- Heymann, H. W. (2013). *Allgemeinbildung und Mathematik* (2. Aufl.). Beltz.
- Hidi, S. (2000). An interest researcher's perspective. In C. Sansone & J. M. Harackiewicz (Hrsg.), *Intrinsic and Extrinsic Motivation* (S. 309–339). Elsevier.
- Hidi, S., & Renninger, K. A. (2006). The four-phase model of interest development. *Educational psychologist*, 41(2), 111–127.

- Hirschberg, J., & Manning, C. D. (2015). Advances in natural language processing. *Science*, *349*(6245), 261–266.
- Hoffmann, C. (2021). *Studien zum fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht in der universitären Lehrerausbildung: hochschuldidaktisches Veranstaltungskonzept, professionelle Überzeugungen, Natur der Naturwissenschaften* [Diss.]. Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Hoffmann, L., Häußler, P., & Lehrke, M. (1998). *Die IPN-Interessenstudie Physik*. IPN.
- Hoffmann, L., & Lehrke, M. (1986). Eine Untersuchung über Schülerinteressen an Physik und Technik. *Zeitschrift für Pädagogik*, *32*(2), 189–204.
- Hofstein, A., Eilks, I., & Bybee, R. (2011). Societal issues and their importance for contemporary science education—a pedagogical justification and the state-of-the-art in Israel, Germany, and the USA. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *9*(6), 1459–1483.
- Höft, L., & Bernholt, S. (2019). Ich mag, was ich kann oder kann ich, was ich mag? Über das Zusammenspiel von Interesse, Freude und Konzeptwissen im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *18*(4).
- Holland, J. L. (1997). *Making vocational choices: A theory of vocational personalities and work environments*. Psychological Assessment Resources.
- Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *13*, 71–86.
- Huber, L. (1994). Wissenschaftspropädeutik und Fächerübergreifender Unterricht – Eine unerledigte Hausaufgabe der allgemeinen Didaktik. In M. A. Meyer & W. Plöger (Hrsg.), *Allgemeine Didaktik, Fachdidaktik und Fachunterricht*. Beltz.
- Jack, B. M., Lin, H.-s., & Yore, L. D. (2014). The synergistic effect of affective factors on student learning outcomes. *Journal of Research in Science Teaching*, *51*(8), 1084–1101.
- Janneck, M., Vincent-Höper, S., & Othersen, I. (2012). Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zum Technikbezogenen Selbstkonzept (TSK): Eine gendersensitive Studie. *Gruppendynamik und Organisationsberatung*, *43*(3), 289–310.
- Jansen, M., Schroeders, U., & Lüdtke, O. (2014). Academic self-concept in science: Multidimensionality, relations to achievement measures, and gender differences. *Learning and Individual Differences*, *30*, 11–21.
- Jansen, M., Schroeders, U., Lüdtke, O., & Pant, H. A. (2014). Interdisziplinäre Beschulung und die Struktur des akademischen Selbstkonzepts in den naturwis-

- senschaftlichen Fächern. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28(1-2), 43–49.
- Jeni, L. A., Cohn, J. F., & de La Torre, F. (2013). Facing Imbalanced Data Recommendations for the Use of Performance Metrics. *International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and workshops*, 245–251.
- Jürgensen, F. (2005). Das integrierte Fach ‚Naturwissenschaften‘ und seine Beliebtheit bei Lehrern und Schülern. *Chemiedidaktik. Praxishandbuch für die Sekundarstufe I und II*, 197–230.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351–371.
- Kehne, F. (n. d.). *Analyse des Transfers von kontextualisiert erworbenem Wissen im Fach Chemie* (Bd. 271). Logos Verlag.
- Klafki, W. (1985). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: Beiträge zur kritisch-konstruktiven Didaktik*. Beltz.
- Klafki, W. (2007). *Neue Studien zur Bildungstheorie und Didaktik: Zeitgemäße Allgemeinbildung und kritisch-konstruktive Didaktik* (6., neu ausgestattete Aufl.). Beltz.
- Klos, S. (2008). *Kompetenzförderung im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht: Der Einfluss eines integrierten Unterrichtskonzepts* (Bd. 89). Logos Verlag.
- KMK. (2005a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. Luchterhand.
- KMK. (2005b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. Luchterhand.
- KMK. (2005c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss: Beschluss vom 16.12.2004*. Luchterhand.
- Knogler, M., Harackiewicz, J. M., Gegenfurtner, A., & Lewalter, D. (2015). How situational is situational interest? Investigating the longitudinal structure of situational interest. *Contemporary Educational Psychology*, 43, 39–50.
- Kölbach, E., & Sumfleth, E. (2013). Analyse von Kontexteffekten beim Lernen mit Lösungsbeispielen im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 159–188.
- Krapp, A. (1992). Interesse, Lernen und Leistung: Neue Forschungsansätze in der Pädagogischen Psychologie. *Zeitschrift für Pädagogik*.
- Krapp, A. (1998). Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44(3), 185–201.

- Krapp, A. (2002). An educational-psychological theory of interest and its relation to self-determination theory. In E. L. Deci & R. M. Ryan (Hrsg.), *The handbook of self-determination research*. University of Rochester.
- Krapp, A. (2007). An educational–psychological conceptualisation of interest. *International Journal for Educational and Vocational Guidance*, 7(1), 5–21.
- Krapp, A., & Prenzel, M. (Hrsg.). (1992). *Interesse, Lernen, Leistung: Neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (Bd. 26). Aschendorff.
- Krapp, A., & Prenzel, M. (2011). Research on Interest in Science: Theories, methods, and findings. *International Journal of Science Education*, 33(1), 27–50.
- Kraus, P. (2022). *Frauen am Bau: Eine statistische Analyse: Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.*
- Kremer, A., & Stäudel, L. (1997). Zum Stand des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts in der Bundesrepublik Deutschland: Eine vorläufige Bilanz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3(3), 52–66.
- Kubsch, M., Wulff, P., & Buschhüter, D. (2022). Schwerpunkttagung Maschinelles Lernen und computerbasierte Textanalysen: Potentiale und Herausforderungen für die Naturwissenschaftsdidaktik. In S. Habig (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2021*. Universität Duisburg-Essen.
- Kubsch, M., Fortus, D., Neumann, K., Nordine, J., & Krajcik, J. (2022). The interplay between students’ motivational profiles and science learning. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Kuhn, J. (2008). *Authentische Aufgaben im theoretischen Rahmen von Instruktions- und Lehr-Lern-Forschung: Optimierung von Ankermedien für eine neue Aufgabekultur im Physikunterricht* [Habil.]. Koblenz-Landau.
- Kuhn, J., Müller, A., Müller, W., & Vogt, P. (2010). Kontextorientierter Physikunterricht: Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule*, 59(5), 13–25.
- Labudde, P. (2003). Fächer übergreifender Unterricht in und mit Physik: eine zu wenig genutzte Chance. *PhyDid A, Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2(1), 48–66.
- Labudde, P. (Hrsg.). (2008). *Naturwissenschaften vernetzen - Horizonte erweitern: Fächerübergreifender Unterricht konkret* (1. Auflage). Klett/Kallmeyer.
- Labudde, P. (2014). Fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht - Mythen, Definitionen, Fakten. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 20(1), 11–19.

- Labudde, P., Heitzmann, A., Heiniger, P., & Widmer, I. (2005). Dimensionen und Facetten des fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterrichts: ein Modell. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *11*, 103–115.
- Labudde, P., & Schecker, H. (2021). Unterrichtskonzeptionen für fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht. In T. Wilhelm, H. Schecker & M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht* (S. 435–473). Springer Berlin Heidelberg.
- Lancor, R. (2015). An Analysis of Metaphors Used by Students to Describe Energy in an Interdisciplinary General Science Course. *International Journal of Science Education*, *37*(5-6), 876–902.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). An Application of Hierarchical Kappa-type Statistics in the Assessment of Majority Agreement among Multiple Observers. *Biometrics*, *33*(2), 363–374.
- Lanzi. (2019). Einfache Skizze eines Bombenkalorimeters.
- Laukenmann, M., Bleicher, M., Fuß, S., Gläser-Zikuda, M., Mayring, P., & von Rhöneck, C. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, *25*(4), 489–507.
- Lave, J., & Wenger, E. (1991). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. Cambridge University Press.
- Lemke, M., & Wiedemann, G. (2016). Einleitung Text Mining in den Sozialwissenschaften. In M. Lemke & G. Wiedemann (Hrsg.), *Text Mining in den Sozialwissenschaften* (S. 1–13). Springer VS.
- Lewalter, D., & Geyer, C. (2009). Motivationale Aspekte von schulischen Besuchen in naturwissenschaftlich-technischen Museen. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *12*(1), 28–44.
- Lewing, J., Klein, P., & Schneider, S. (in Vorb.). Wirkung biologischer und technischer Kontexte auf das situationale Interesse von Schülerinnen und Schüler beim Bearbeiten physikalischer Lernaufgaben zum Energiekonzept. *tbd*.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2018). Das Schulbuch im fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht: Eine vergleichende empirische Analyse. In V. Nordmeier & H. Grötzebauch (Hrsg.), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Würzburg 2018*.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2019). Sachstrukturen in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts: Kookkurenzanalyse von Fachbegriffen der naturwissenschaftlichen Fächer. In C. Maurer (Hrsg.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didak-*

- tik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018* (S. 723–726). Universität Regensburg.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2021). Design und Pilotierung einer Interessenstudie zu Energie in biologischen und technischen Kontexten. In S. Habig (Hrsg.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020*. Universität Duisburg-Essen.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2022). Interessenstudie - Energie in biologischen und technischen Kontexten. In S. Habig (Hrsg.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2021*. Universität Duisburg-Essen.
- Liaw, A., & Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R news*, 2(3), 18–22.
- Liepertz, S. (2017). *Zusammenhang zwischen dem Professionswissen von Physiklehrkräften, dem sachstrukturellen Angebot des Unterrichts und der Schülerleistung* [Diss.]. Berlin.
- Linnenbrink-Garcia, L., Durik, A. M., Conley, A. M., Barron, K. E., Tauer, J. M., Karabenick, S. A., & Harackiewicz, J. M. (2010). Measuring Situational Interest in Academic Domains. *Educational and Psychological Measurement*, 70(4), 647–671.
- Lipstein, R. L., & Renninger, K. A. (2006). Putting things into words: The development of 12-15-year-old students' interest for writing. In S. Hidi & P. Boscolo (Hrsg.), *Writing and motivation* (S. 113–140). Elsevier.
- Lison, P., & Tiedemann, J. (2016). OpenSubtitles2016: Extracting Large Parallel Corpora from Movie and TV Subtitles. In *Proceedings of the 10th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2016)*.
- Litman, D. (2016). Natural language processing for enhancing teaching and learning. *Thirtieth AAAI conference on artificial intelligence*.
- Liu, X., & McKeough, A. (2005). Developmental growth in students' concept of energy: Analysis of selected items from the TIMSS database. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 493–517.
- Löffler, P., & Kauertz, A. (2020). Kontext und Problemlösen – Eine Prozessanalyse. *Progress in Science Education*, 4(1), 36–45.
- Lucy, L., Demszky, D., Bromley, P., & Jurafsky, D. (2020). Content Analysis of Textbooks via Natural Language Processing: Findings on Gender, Race, and Ethnicity in Texas U.S. History Textbooks. *AERA Open*, 6(3).

- Marsh, H. W., Byrne, B. M., & Shavelson, R. J. (1988). A multifaceted academic self-concept: Its hierarchical structure and its relation to academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, *80*(3), 366.
- Marsh, H. W., Trautwein, U., Lüdtke, O., Köller, O., & Baumert, J. (2005). Academic self-concept, interest, grades, and standardized test scores: Reciprocal effects models of causal ordering. *Child development*, *76*(2), 397–416.
- Merzyn, G. (1994). *Physikschulbücher, Physiklehrer und Physikunterricht: Beiträge auf der Grundlage einer Befragung westdeutscher Physiklehrer* (Bd. 139). IPN.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik – immer unbeliebter?* Schneider Verlag.
- Merzyn, G. (2013). Fachsystematischer Unterricht: Eine umstrittene Konzeption. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, *66*(5), 265–269.
- Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). Efficient estimation of word representations in vector space. *arXiv:1301.3781*.
- Mitchell, M. (1993). Situational interest: Its multifaceted structure in the secondary school mathematics classroom. *Journal of Educational Psychology*, *85*(3), 424–436.
- Möller, J., & Köller, O. (2004). Die Genese akademischer Selbstkonzepte. *Psychologische Rundschau*, *55*(1), 19–27.
- Monakhov, S., Turchanenko, V., Fedjukova, E., & Cherdakov, D. (2022). New Method of Automated Terminology Extraction: Case Study of Russian-Language Textbooks. In K. Arai (Hrsg.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2021, Volume 2* (S. 363–373, Bd. 359). Springer International Publishing.
- Muckenfuß, H. (1995). *Lernen im sinnstiftenden Kontext: Entwurf einer zeitgemäßen Didaktik des Physikunterrichts*. Cornelsen.
- Müller, C. T., & Duit, R. (2004). Die unterrichtliche Sachstruktur als Indikator für Lernerfolg - Analyse von Sachstrukturdiagrammen und ihr Bezug zu Leistungsergebnissen im Physikunterricht. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *10*, 147–161.
- Müller, R. (2006). Kontextorientierung und Alltagsbezug. In H. F. Mikelskis (Hrsg.), *Physikdidaktik* (S. 102–118). Cornelsen Verlag Scriptor.
- Muspratt, S., & Freebody, P. (2013). Understanding the Disciplines of Science: Analysing the Language of Science Textbooks. In M. S. Khine (Hrsg.), *Critical Analysis of Science Textbooks: Evaluating instructional effectiveness* (S. 33–59). Springer Netherlands.

- Naili, M., Chaibi, A. H., & Ben Ghezala, H. H. (2017). Comparative study of word embedding methods in topic segmentation. *Procedia Computer Science*, *112*, 340–349.
- Nakamura, J., & Csikszentmihalyi, M. (2014). The Concept of Flow. In M. Csikszentmihalyi (Hrsg.), *Flow and the Foundations of Positive Psychology: The Collected Works of Mihaly Csikszentmihalyi* (S. 239–263). Springer Netherlands.
- Nentwig, P., & Waddington, D. (Hrsg.). (2005). *Making it relevant: Context based learning of science*. Waxmann.
- Neumann, K., Fischer, H. E., Sumfleth, E., & Lankes, E.-M. (2008). Vertikale Vernetzung und kumulatives Lernen im Chemie- und Physikunterricht. In *Pädagogische Professionalität als Gegenstand empirischer Forschung* (S. 141–151). Waxmann.
- Neumann, K., Trendel, G., & Fischer, H. E. (2006). Vernetzungspotential des Lehrplans Naturwissenschaft in Nordrhein-Westfalen. In A. Pitton (Hrsg.), *Lehren und Lernen mit neuen Medien* (S. 132–134). Lit.
- Neumann, K., Viering, T., Boone, W. J., & Fischer, H. E. (2013). Towards a learning progression of energy. *Journal of Research in Science Teaching*, *50*(2), 162–188.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2015). *Kerncurriculum für das Gymnasium, Schuljahrgänge 5 - 10: Naturwissenschaften*.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2020a). *Die niedersächsischen allgemein bildenden Schulen in Zahlen: Schuljahr 2019/2020*. unidruck GmbH, Hannover.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.). (2020b). *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule, Schuljahrgänge 5 - 10: Naturwissenschaften*.
- Niedersächsisches Kultusministerium. (2021). Die Arbeit in den Schuljahrgängen 5 bis 10 der Integrierten Gesamtschule (IGS): 33.2-81071.
- Nordine, J., Fortus, D., Lehavi, Y., Neumann, K., & Krajcik, J. (2018). Modelling energy transfers between systems to support energy knowledge in use. *Studies in Science Education*, *54*(2), 177–206.
- Nordine, J., Krajcik, J., & Fortus, D. (2011). Transforming energy instruction in middle school to support integrated understanding and future learning. *Science Education*, *95*(4), 670–699.
- OECD. (2016). *PISA 2015 Ergebnisse: Exzellenz und Chancengerechtigkeit in der Bildung: PISA* (Bd. 1). W. Bertelsmann Verlag.
- Oelkers, J., & Reusser, K. (2008). *Qualität entwickeln, Standards sichern, mit Differenz umgehen* (Bd. 27). BMBF.

- Opitz, S. T. (2016). *Students' progressing understanding of the energy concept: An analysis of learning in biological and cross-disciplinary contexts* [Diss.]. Christian-Albrechts Universität Kiel.
- Opitz, S. T., Blankenstein, A., & Harms, U. (2017). Student conceptions about energy in biological contexts. *Journal of Biological Education*, *51*(4), 427–440.
- Opitz, S. T., Neumann, K., Bernholt, S., & Harms, U. (2017). Students' Energy Understanding Across Biology, Chemistry, and Physics Contexts. *Research in Science Education*, *25*(3), 209.
- Paas, F. G. (1992). Training strategies for attaining transfer of problem-solving skill in statistics: a cognitive-load approach. *Journal of Educational Psychology*, *84*(4), 429.
- Paivio, A. (2013). Dual coding theory, word abstractness, and emotion: a critical review of Kousta et al. (2011). *Journal of experimental psychology. General*, *142*(1), 282–287.
- Palmer, D., Dixon, J., & Archer, J. (2017). Using Situational Interest to Enhance Individual Interest and Science-Related Behaviours. *Research in Science Education*, *47*(4), 731–753.
- Papadouris, N., & Constantinou, C. P. (2016). Investigating middle school students' ability to develop energy as a framework for analyzing simple physical phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, *53*(1), 119–145.
- Parchmann, I., Gräsel, C., Baer, A., Nentwig, P., Demuth, R., & Ralle, B. (2006). "Chemie im Kontext": A symbiotic implementation of a context-based teaching and learning approach. *International Journal of Science Education*, *28*(9), 1041–1062.
- Parchmann, I., & Kuhn, J. (2018). Lernen im Kontext. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 193–207). Springer Berlin Heidelberg.
- Park, M., & Liu, X. (2016). Assessing Understanding of the Energy Concept in Different Science Disciplines. *Science Education*, *100*(3), 483–516.
- Paternoster, R., Brame, R., Mazerolle, P., & Piquero, A. (1998). Using the correct statistical test for the equality of regression coefficients. *Criminology*, *36*(4), 859–866.
- Pennington, J., Socher, R., & Manning, C. D. (2014). Glove: Global vectors for word representation. *Proceedings of the 2014 conference on empirical methods in natural language processing (EMNLP)*, 1532–1543.

- Pilot, A., & Bulte, A. M. W. (2006). Why Do You “Need to Know”? Context-based education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 953–956.
- Podschuweit, S., & Bernholt, S. (2018). Composition-Effects of Context-based Learning Opportunities on Students’ Understanding of Energy. *Research in Science Education*, 48(4), 717–752.
- Porter, M. F. (1980). An algorithm for suffix stripping. *Program*, 130–137.
- Potvin, P., & Hasni, A. (2014). Analysis of the Decline in Interest Towards School Science and Technology from Grades 5 Through 11. *Journal of Science Education and Technology*, 23(6), 784–802.
- Prenzel, M. (1993). Autonomie und Motivation im Lernen Erwachsener. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 239–253.
- Prenzel, M., Rost, J., Senkbeil, M., Häußler, P., & Klopp, A. (2001). Naturwissenschaftliche Grundbildung: Testkonzeption und Ergebnisse. In J. Baumert, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, W. Schneider, P. Stanat, K.-J. Tillmann & M. Weiß (Hrsg.), *PISA 2000* (S. 191–248). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Prenzel, M., Seidel, T., Lehrke, M., Rimmele, R., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Müller, C., & Widodo, A. (2002). Lehr-Lernprozesse im Physikunterricht - eine Videostudie. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Beltz Weinheim.
- Projektgruppe Integriertes Naturwissenschaftliches Curriculum (Hrsg.). (1978). *Natur und Produktion im Unterricht: Biologie, Chemie, Physik in d. Sekundarstufe I*. Beltz.
- R Core Team. (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Rehm, M., Bündler, W., Haas, T., Buck, P., Labudde, P., Brovelli, D., Østergaard, E., Rittersbacher, C., Wilhelm, M., Genseberger, R., & Svoboda, G. (2008). Legitimationen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs Science. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 99–124.
- Rehm, M., & Stäudel, L. (2017). Auf dem Weg zum integrierten naturwissenschaftlichen Unterricht: Frühe Ansätze und aktuelle Entwicklungen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 28(161).
- Rehurek, R., & Sojka, P. (2011). Gensim–python framework for vector space modelling. *NLP Centre, Faculty of Informatics, Masaryk University, Brno, Czech Republic*, 3(2), 2.

- Reinhold, P., & Bündler, W. (2001). Stichwort: Fächerübergreifender Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, *4*(3), 333–357.
- Renninger, K. A., Bachrach, J. E., & Hidi, S. E. (2019). Triggering and maintaining interest in early phases of interest development. *Learning, Culture and Social Interaction*, *23*.
- Renninger, K. A., & Hidi, S. (2002). Student Interest and Achievement. In A. Wigfield & J. S. Eccles (Hrsg.), *Development of Achievement Motivation* (S. 173–195). Elsevier.
- Renninger, K. A., & Hidi, S. (2011). Revisiting the Conceptualization, Measurement, and Generation of Interest. *Educational psychologist*, *46*(3), 168–184.
- Reschke, T., Koenen, J., & Sumfleth, E. (2020). Vom situationalen Interesse zum Lernerfolg: Lesegeschichten im Chemieunterricht der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, *26*(1), 191–206.
- Roberts, D. A., & Bybee, R. W. (2014). Scientific literacy, science literacy, and science education. In N. G. Lederman & S. K. Abell (Hrsg.), *Handbook of research on science education* (S. 559–572). Routledge.
- Rost, J., Sievers, K., Häußler, P., Hoffmann, L., & Langeheine, R. (1999). Struktur und Veränderung des Interesses an Physik bei Schülern der 6. bis 10. Klassenstufe. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, *31*(1), 18–31.
- Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2011). Situational interest and academic achievement in the active-learning classroom. *Learning and Instruction*, *21*(1), 58–67.
- Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2014). Situational interest and learning: Thirst for knowledge. *Learning and Instruction*, *32*, 37–50.
- Rotgans, J. I., & Schmidt, H. G. (2017). The relation between individual interest and knowledge acquisition. *British Educational Research Journal*, *43*(2), 350–371.
- Rüschepöhler, L., & Markic, S. (2019). Self-concept research in science and technology education – theoretical foundation, measurement instruments, and main findings. *Studies in Science Education*, *55*(1), 37–68.
- Ryan, R. M. (1995). Psychological needs and the facilitation of integrative processes. *Journal of personality*, *63*(3), 397–427.
- Schecker, H., Wilhelm, T., Hopf, M., & Duit, R. (Hrsg.). (2018). *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis*. Springer Berlin Heidelberg.
- Schiefele, U. (2009a). *Interest, learning, and motivation*. Universität Potsdam.

- Schiefele, U. (2009b). Situational and Individual Interest. *Handbook of Motivation at School*, 197.
- Schiefele, U., Krapp, A., & Schreyer, I. (1993). Metaanalyse des Zusammenhangs von Interesse und schulischer Leistung. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie*, 10(2), 120–148.
- Schreiner, C., & Sjøberg, S. (2004). Sowing the seeds of ROSE: background, rationale, questionnaire development and data collection for ROSE (The Relevance of Science Education): a comparative study of students' views of science and science education. *Acta didactica*, 4.
- Schüttler, T., Watzka, B., Girwidz, R., & Ertl, B. (2021). Die Wirkung der Authentizität von Lernort und Laborgeräten auf das situationale Interesse und die Relevanzwahrnehmung beim Besuch eines naturwissenschaftlichen Schülerlabors. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 27(1).
- Schwartz, A. T. (2006). Contextualized Chemistry Education: The American experience. *International Journal of Science Education*, 28(9), 977–998.
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J., & Stanton, G. C. (1976). Self-Concept: Validation of Construct Interpretations. *Review of Educational Research*, 46(3), 407–441.
- Silvia, P. J. (2008). Interest-The curious emotion. *Current directions in psychological science*, 17(1), 57–60.
- Simon, F. (2019). *Der Einfluss von Betreuung und Betreuenden auf die Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen: Eine Zusammenhangsanalyse von Betreuungsqualität, Betreuermerkmalen und Schülerlaborzielen sowie Replikationsstudie zur Wirksamkeit von Schülerlaborbesuchen* (Bd. 290). Logos Verlag.
- Sjøberg, S., & Schreiner, C. (2010). The ROSE project: An overview and key findings.
- Solomon, J., & Aikenhead, G. (Hrsg.). (1994). *STS education: International perspectives on reform* (1. Aufl.). Teachers College Press.
- Spinath, B., Eckert, C., & Steinmayr, R. (2014). Gender differences in school success: what are the roles of students' intelligence, personality and motivation? *Educational Research*, 56(2), 230–243.
- Stäudel, L., & Rehm, M. (2012). Naturwissenschaftlicher Anfangsunterricht – Wurzel, Konzepte, Perspektiven. 23, 2–12.
- Stübiger, F. (2009). Fächerübergreifender Unterricht. In *Handbuch Schule: Theorie - Organisation - Entwicklung* (S. 313–317). Verlag Julius Klinkhardt.
- Stuckey, M., Hofstein, A., Mamlok-Naaman, R., & Eilks, I. (2013). The meaning of 'relevance' in science education and its implications for the science curriculum. *Studies in Science Education*, 49(1), 1–34.

- Sun, Y., & Dang, T. N. Y. (2020). Vocabulary in high-school EFL textbooks: Texts and learner knowledge. *System*, 93, 102279.
- Taasoobshirazi, G., & Carr, M. (2008). A review and critique of context-based physics instruction and assessment. *Educational Research Review*, 3(2), 155–167.
- Tamassia, L., & Frans, R. (2014). Does integrated science education improve scientific literacy? *Journal of the European Teacher Education Network*, 9, 131–141.
- Taskinen, P. H., Schütte, K., & Prenzel, M. (2013). Adolescents' motivation to select an academic science-related career: the role of school factors, individual interest, and science self-concept. *Educational Research and Evaluation*, 19(8), 717–733.
- Ullmann, T. D. (2019). Automated analysis of reflection in writing: Validating machine learning approaches. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 29(2), 217–257.
- Ültay, N., & Çalık, M. (2012). A thematic review of studies into the effectiveness of context-based chemistry curricula. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 686–701.
- van Vorst, H. (2013). *Kontextmerkmale und ihr Einfluss auf das Schülerinteresse im Fach Chemie* (Bd. 145). Logos Verlag.
- van Vorst, H., & Aydogmus, H. (2021). One context fits all? – analysing students' context choice and their reasons for choosing a context-based task in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 43(8), 1250–1272.
- van Vorst, H., Dorschu, A., Fechner, S., Kauertz, A., Krabbe, H., & Sumfleth, E. (2015). Charakterisierung und Strukturierung von Kontexten im naturwissenschaftlichen Unterricht – Vorschlag einer theoretischen Modellierung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 29–39.
- Viering, T. (2012). *Entwicklung physikalischer Kompetenz in der Sekundarstufe I: Validierung eines Kompetenzentwicklungsmodells für das Energiekonzept im Bereich Fachwissen* (Bd. 138). Logos Verlag.
- Vojíř, K., & Rusek, M. (2019). Science education textbook research trends: a systematic literature review. *International Journal of Science Education*, 41(11), 1496–1516.
- Wagenschein, M. (2013). *Verstehen lehren: Genetisch, sokratisch, exemplarisch* (Nachdr., Bd. 22). Beltz.
- Watzka, B., & Girwidz, R. (2015). Einfluss der Kontextorientierung und des Präsentationsmodus von Aufgaben auf den Wissenserwerb und die Transferleistung physikalischer Inhalte. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 21(1), 187–206.

- Wernecke, U., Schwanewedel, J., Schütte, K., & Harms, U. (2016). Wie wird Energie im Biologieschulbuch dargestellt? – Entwicklung eines Kategoriensystems und exemplarische Anwendung auf eine Schulbuchreihe. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 22(1), 215–229.
- Wigfield, A., & Eccles, J. S. (2002). The Development of Competence Beliefs, Expectancies for Success, and Achievement Values from Childhood through Adolescence. In A. Wigfield & J. S. Eccles (Hrsg.), *Development of Achievement Motivation* (S. 91–120). Elsevier.
- Wilson, J., & Czik, A. (2016). Automated essay evaluation software in English Language Arts classrooms: Effects on teacher feedback, student motivation, and writing quality. *Computers & Education*, 100, 94–109.
- Wilson, J., & Roscoe, R. D. (2020). Automated Writing Evaluation and Feedback: Multiple Metrics of Efficacy. *Journal of Educational Computing Research*, 58(1), 87–125.
- Wulff, P., Buschhüter, D., Westphal, A., Nowak, A., Becker, L., Robalino, H., Stede, M., & Borowski, A. (2021). Computer-Based Classification of Preservice Physics Teachers’ Written Reflections. *Journal of Science Education and Technology*, 30(1), 1–15.
- Wyness, L., & Dalton, F. (2018). The value of problem-based learning in learning for sustainability: Undergraduate accounting student perspectives. *Journal of Accounting Education*, 45, 1–19.
- Young, T. (1807). *A course of lectures on natural philosophy and the mechanical arts*. J. Johnson.

15.2 Abbildungen

2.2.1	Einflüsse auf das motivierte Lernen nach Parchmann und Kuhn (2018).	17
3.1.1	Konzeptualisierung von individuellem Interesse und situationalem Interesse in Abhängigkeit der Interessantheit der Lernumgebung nach Schiefele (2009b).	22
3.2.1	Entwicklung individueller Interessen nach Krapp (1998).	23
3.4.1	Hierarchische Struktur des Selbstkonzepts in verschiedenen Dimensionen (nach Shavelson et al., 1976).	29
6.2.1	Singulärwertzerlegung im Kontext latenter semantischer Analyse.	42

7.0.1	Ablauf der Schulbuchanalyse. Zunächst werden die fachspezifischen Termini bestimmt, bevor ihre Kookkurrenzen in naturwissenschaftlichen Schulbüchern der Sekundarstufe I untersucht werden.	43
7.1.1	Vorbereitung des Korpus (Beispieltext aus <i>PRISMA Naturwissenschaften 3</i> , vgl. Tab. A.2).	45
7.1.2	Größe der Teilkorpora des Referenzkorpus.	46
7.3.1	Bestimmung der Kookkurrenzen auf Satzebene.	49
8.1.1	Dichteverteilung der Auftretenshäufigkeiten naturwissenschaftlicher Termini im Schulbuchkorpus.	52
8.1.2	Anteil bildungssprachlicher Wörter pro Doppelseite.	53
8.1.3	Anteil bildungssprachlicher Wörter pro Jahrgang und Kategorie.	54
8.1.4	Anteile naturwissenschaftlicher Termini in Schulbüchern des fächergetrennten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts (<i>Erlebnis Naturwissenschaften</i> , <i>Natur bewusst</i> , <i>PRISMA Naturwissenschaften</i>).	55
8.2.1	Kookkurrenzanalyse der Schulbücher des integrierten und fächergetrennten naturwissenschaftlichen Unterrichts auf Satzebene.	57
8.2.2	Analyse des Fächerübergreifens der Schulbücher des integrierten und fächergetrennten naturwissenschaftlichen Unterrichts auf Seitenebene mit differenzierter Betrachtung von Doppelseiten der drei Einzeldisziplinen (rechts). Als Maß für den Fächerübergreif wurde die Entropie der Verteilung naturwissenschaftlicher Termini pro Doppelseite berechnet.	59
10.0.1	Design der Intervention. Es werden drei Lernstationen (LS) entwickelt, in denen physikalische Inhalte jeweils anhand eines biologischen bzw. technischen Kontexts behandelt werden.	64
10.2.1	Auszug der Aufgabe zur Brennwertbestimmung mittels Kalorimeter in biologischem und technischem Kontext (Abbildung nach Lanzi, 2019).	71
10.2.2	Einleitungstext, Leitfragen und Informationstext der zweiten Lernstation zur Umwandlung von Strahlungsenergie der Sonne durch Photosynthese bzw. Solarzellen.	72
10.2.3	Einstieg in die Aufgabe zum Modellexperiment. Im Anschluss werden grafisch visualisierte Messwerte interpretiert und der Heizaufwand anhand der Steigung gedeutet.	74

11.3.1	Ablauf der Intervention. Nach einer Vorerhebung bearbeiten die Lernenden jeweils zwei Lernstationen, von denen eine im biologischen und die andere im technischen Kontext eingebettet ist. Hierbei ist die Bearbeitung beider Versionen einer Lernstation (biologisch und technisch) ausgeschlossen.	85
12.1.1	Individuelles Interesse der Probanden an den Bereichen Physik, Biologie und Technik ($N = 309$).	88
12.1.2	Selbstkonzept der Probanden in den Bereichen Physik, Biologie und Technik ($N = 309$).	89
12.2.1	Emotionale und wertbezogene Komponente des situationalen Interesses in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Bearbeitung getrennt nach Kontextdomäne und Lernstation ($N = 309$).	90
12.2.2	Emotionale und wertbezogene Komponente des situationalen Interesses in Abhängigkeit der Kontextdomäne, sowie des Geschlechts und der Lernstation ($N = 309$).	91
12.3.1	Anzahl Teilnehmende an der Studie zu verschiedenen Zeitpunkten während der Bearbeitung: Bearbeitung der Vorerhebung begonnen (T1), Bearbeitung der Vorerhebung vollständig abgeschlossen (T2), Bearbeitung der ersten Lernstation vollständig abgeschlossen (T3), Bearbeitung der zweiten Lernstation vollständig abgeschlossen (T4), Bearbeitung der Fragen zum Post-Zeitpunkt vollständig abgeschlossen (T5).	95
C.1	Concept Map der Schulbuchreihe Impulse Physik für die Sekundarstufe I. Zur besseren Übersicht sind weniger relevante Termini und Kanten nicht dargestellt. Die Visualisierung erfolgte über Gephi mittels kräftebasiertem OpenOrd-Layout.	148

15.3 Tabellen

2.1.1	Organisation des naturwissenschaftlichen Unterrichts in den verschiedenen Schulformen in Niedersachsen (Stand 03/2022).	7
2.1.2	Kategorien zur Einordnung fächerübergreifenden Unterrichts (Labudde, 2003; Labudde und Schecker, 2021).	8
7.1.1	Stichprobe: Auswahl der in Niedersachsen zugelassenen Schulbücher für die naturwissenschaftlichen Fächer an Gymnasium und iGS (für detaillierte Ansicht der Auflage s. Tabellen A.1 und A.2 im Anhang).	44

7.2.1	Interraterreliabilität (IRR) der manuellen Kodierung (mK) durch zwei menschliche Rater und der automatisierten Klassifikation durch einen Random Forest (RF). Für die Reliabilität zwischen zwei menschlichen Ratern wurden 200 zufällige Wörter des Trainingsdatensatzes doppelt kodiert. Zur Bestimmung der IRR zwischen menschlicher und automatisierter Kodierung wurden 25 % des Trainingsdatensatz vom Lernprozess ausgeschlossen und zur Bestimmung der IRR genutzt. Mit diesem Testdatensatz wurde auch die AUC-ROC bestimmt.	48
8.1.1	Zuordnung der Types und Tokens des Korpus naturwissenschaftlicher Schulbücher zu den entsprechenden Kategorien mittels der Random Forest Klassifikatoren.	51
10.2.1	Übersicht der erstellten Lernstationen mit einbettenden Kontexten und physikbezogenen Aufgaben (vgl. Lewing et al., <i>in Vorb.</i>). . . .	69
11.2.1	Prüfung der Voraussetzungen für eine explorative Faktorenanalyse der Fragebögen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept in den Domänen Physik, Biologie und Technik ($N = 309$).	78
11.2.2	Explorative Faktorenanalyse der Items zum individuellen Interesse und Selbstkonzept jeweils in den Domänen Physik, Biologie und Technik. Die Daten werden jeweils in zwei Dimensionen am besten abgebildet ($N = 309$).	79
11.2.3	Itemmittelwerte der Skalen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept bezüglich der Domänen Physik, Biologie und Technik mit Standardabweichung und Trennschärfe ($N = 309$).	80
11.2.4	Korrelationen der Skalen zum individuellen Interesse und Selbstkonzept bezüglich der Domänen Physik, Biologie und Technik mit Angabe zur Skalenreliabilität.	80
11.2.5	Explorative Faktorenanalyse der Items zum situationalen Interesse mit zwei Dimensionen ($N = 815$).	82
11.2.6	Skalen zur emotionalen und wertbezogenen Komponente des situationalen Interesses ($N = 815$).	83
11.4.1	Übersicht über die Variablen der Mehrebenenmodellierung.	86
12.2.1	Mehrebenenmodelle zur emotionalen Komponente (EK) und wertbezogenen Komponente (WK) des situationalen Interesses.	93
12.2.2	Erweiterung der Mehrebenenmodelle zur emotionalen Komponente (EK) und wertbezogenen Komponente (WK) des situationalen Interesses unter Berücksichtigung des Selbstkonzepts.	94

12.3.1	Logistische Regression zur Vorhersage des Abbruchs der Studie. . .	96
12.3.2	Freitextantworten zum besonderen Interesse und Desinteresse. . . .	97
A.1	Untersuchte Schulbücher des gefächerten naturwissenschaftlichen Un- terrichts an niedersächsischen Gymnasien.	139
A.2	Untersuchte Schulbücher des Fachs Naturwissenschaften an inte- grierten Gesamtschulen in Niedersachsen.	141
A.3	Hochschullehrbücher der naturwissenschaftlichen Disziplinen, wel- che zur Erweiterung des Referenzkorpus genutzt wurden.	141

Teil V Anhang

A Literaturangaben zum Korpus

Tabelle A.1. Untersuchte Schulbücher des gefächerten naturwissenschaftlichen Unterrichts an niedersächsischen Gymnasien.

Schulbuchreihe (Verlag)	Jahrgang	Jahr (Druck)	Autoren
Biologie heute (Westermann)	5/6	2014 (A ²)	Walory, M. & Westendorf-Bröring, E. (Eds.); Hector, U., Joußen H., Lange, H., Niehaus, N. Sudholt, E., Walory, M. & Westendorf-Bröring, E.
	7/8	2015	Westendorf-Bröring, E. (Ed.); Gritzan, A., Hoin, M., Lausmann, M., Rollik, J., Walory, M. & Westendorf-Bröring, E.
	9/10	2017 (A ²)	Westendorf-Bröring, E. (Ed.); Gritzan, A., Hoin, M., Joußen, H., Kersch, S. & Westendorf-Bröring, E.
Bioskop (Westermann)	5/6	2017 (A ⁴)	Hausfeld, R. & Schulenberg, W. (Eds.)
	7/8	2017 (A ⁴)	Hausfeld, R. & Schulenberg, W. (Eds.)
	9/10	2017 (A ⁴)	Hausfeld, R. & Schulenberg, W. (Eds.)
Natura (Klett)	5/6	2015	Baack, K., Eckebrecht, D., Sack, G. & Steinert, C.
	7/8	2015	Baack, K. & Steinert, C.
	9/10	2016	Baack, K., Dieckhoff, M. C., Eckebrecht, D. & Steinert, D.
Chemie heute (Schroedel)	Sek I	2013 (A ¹)	Asselborn, W., Jäckel, M., Risch, K. T. & Sieve, B. (Eds.)

A Literaturangaben zum Korpus

Elemente Chemie (Klett)	5/6	2015 (1. Auflage)	Gietz, P., Irmer, E., Schierle, W.
	7/8	2016	Gietz, P., Irmer, E., Schierle, W.
	9/10	2017	Gietz, P., Habekost, E., Irmer, E., Schierle, W.
Fokus Chemie (Cornelsen)	Sek I	2017 (2. Druck)	Jaek, A., Kinzel, C., Kronabel, C. & Peters, J.; Arnold, K. (Ed.)
Dorn/Bader (Westermann)	5/6	2012 (A ¹)	Oberholz, H.-W. (Ed.)
	7/8	2018 (A ³)	Oberholz, H.-W. (Ed.)
	9/10	2017 (A ²)	Müller, R. (Ed.)
Fokus Physik (Cornelsen)	5/6	2017 (2. Druck)	Arnold, K., Boysen, G., Breuer, E., Fösel, A., ..., Welzel, M.
	7–10	2017 (3. Druck)	Boysen, G., Fösel, A., Heise, H., ..., Wilke, H.-J.
Impulse Physik (Klett)	5/6	2015	Bredthauer, W., Bruns, K. G., Burmeister, O., ..., Schlobinski-Voigt, U. (Eds.)
	7/8	2016	Bredthauer, W., Bruns, K. G., Burmeister, O., ..., Schlobinski-Voigt, U. (Eds.)
	9/10	2017	Bredthauer, W., Bruns, K. G., Burmeister, O., Grote, M., Schlobinski-Voigt, U. (Eds.)
Universum Physik (Cornelsen)	5/6	2017	Bengelsdorff, S., Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., ..., Witte, L.
	7/8	2016 (3. Druck)	Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Trumme, T., Witte, L.
	9/10	2017 (3. Druck)	Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Pröhl, I. K., Trumme, T.

Tabelle A.2. Untersuchte Schulbücher des Fachs Naturwissenschaften an integrierten Gesamtschulen in Niedersachsen.

Schulbuchreihe (Verlag)	Jahrgang	Jahr (Druck)	Autoren
Erlebnis Natur- wissenschaften (Schroedel)	5/6	2013 (A ⁴)	Cieplik, D., Dobers, J., Freundner-Huneke, I., Kirks, H.-D., Schulz, S., Tegen, H. & Zeeb, A. (Eds.)
	7/8	2013 (A ⁴)	Cieplik, D., Dobers, J., Freundner-Huneke, I., Kirks, H.-D., Schulz, S., Tegen, H. & Zeeb, A. (Eds.)
	9/10	2015 (A ¹)	Cieplik, D., Freundner-Huneke, I., Kirks, S., Tegen, H. & Zeeb, A. (Eds.)
Natur bewusst (Westermann)	5/6	2010 (A ³)	Sudeik, T. & Vorwerk, B. (Eds.)
	7/8	2013 (A ²)	Sudeik, T. & Vorwerk, B. (Eds.)
	9/10	2010 (A ¹)	Sudeik, T. & Vorwerk, B. (Eds.)
Prisma Natur- wissenschaften (Klett)	5/6	2013	Bergau, M., Boldt, J., Hänsel, M., Hell, K., Hoffmann, L., ... , Willmer-Klumpp, C.
	7/8	2013	Bergau, M., Boldt, J., Geissler, G., Hänsel, M., Hell, K., ..., Tebeck, S.
	9/10	2014	Bergau, M., Geissler, G., Hell, K., Jung, U., Kugel, W., ..., Tebeck, S.

Tabelle A.3. Hochschullehrbücher der naturwissenschaftlichen Disziplinen, welche zur Erweiterung des Referenzkorpus genutzt wurden.

Disziplin	Literaturangabe
Biologie	Reißer, Werner; Dux, Franz-Martin; Möschke, Monika; Hofmeister, Martin (2019): <i>Pflanzenanatomischer Grundkurs. Module für die differenzierte Gestaltung</i> . Unter Mitarbeit von Martin Lay. 2. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- Boujard, Daniel; Anselme, Bruno; Cullin, Christophe; Raguénès-Nicol, Céline (2014): *Zell- und Molekularbiologie im Überblick*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fritsche, Olaf (2015): *Biologie für Einsteiger*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hupke, Klaus-Dieter (2020): *Naturschutz. Eine Kritische Einführung*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg.
- Kappeler, Peter M. (2020): *Verhaltensbiologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kempken, Frank (2020): *Gentechnik bei Pflanzen. Chancen und Risiken*. 5. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Matyssek, Rainer; Herppich, Werner B. (2019): *Experimentelle Pflanzenökologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Müller, Werner A.; Frings, Stephan; Möhrle, Frank (2019): *Tier- und Humanphysiologie. Eine Einführung*. 6. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Sadava, David; Hillis, David M.; Heller, H. Craig; Hacker, Sally D. (2019): *Purves Biologie*. 10. Aufl. 2019. Hg. v. Jürgen Markl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

-
- Chemie
- Kuhn, Norbert; Klapötke, Thomas M. (2014): *Allgemeine und Anorganische Chemie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bechmann, Wolfgang; Bald, Ilko (2020): *Einstieg in die Physikalische Chemie für Naturwissenschaftler*. 7. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Studienbücher Chemie).
- Kurzweil, Peter (2015): *Chemie. Grundlagen, Aufbauwissen, Anwendungen und Experimente*. 10., überarb. Aufl. 2015. Wiesbaden: Springer Vieweg (Springer eBook Collection).
- Latscha, Hans Peter; Klein, Helmut Alfons (2002): *Anorganische Chemie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Latscha, Hans Peter; Kazmaier, Uli; Klein, Helmut Alfons (2002): *Organische Chemie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Latscha, Hans Peter; Linti, Gerald Walter; Klein, Helmut Alfons (2004): *Analytische Chemie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Ritgen, Ulf (2020): *Analytische Chemie I*. 1. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Ritgen, Ulf; Oligschleger, Christina (2020): *Analytische Chemie II*. 1. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Schmidt, Peer (2019): *Allgemeine Chemie*. 1. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Schmidt, Christian; Dietrich, Lars (2014): *Chemie für Biologen. Von Studierenden für Studierende erklärt*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Wollrab, Adalbert (2014): *Organische Chemie. Eine Einführung für Lehramts- und Nebenfachstudenten*. 4. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

Zülicke, Lutz (2015): *Molekulare Theoretische Chemie. Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer Spektrum (Springer eBook Collection).

Physik

Demtröder, Wolfgang (2018): *Experimentalphysik 1. Mechanik und Wärme*. 8. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (SpringerLink Bücher).

Demtröder, Wolfgang (2013): *Experimentalphysik 2. Elektrizität und Optik*. 6. Aufl. 2013. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-Lehrbuch).

Demtröder, Wolfgang (2000): *Experimentalphysik 3*. Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg (Springer eBook Collection Life Science and Basic Disciplines).

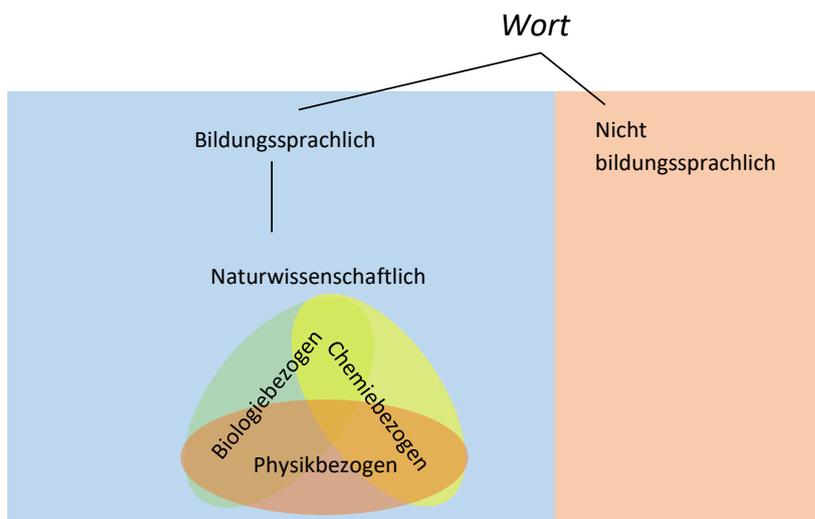
Demtröder, Wolfgang (2014): *Experimentalphysik 4. Kern-, Teilchen- und Astrophysik*. 4. Aufl. 2014. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum (Springer eBook Collection).

- Dohlus, Rainer (2018): *Physik. Basiswissen für Studierende technischer Fachrichtungen*. 2. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg (Springer eBook Collection).
- Fritsche, Olaf (2020): *Physik für Chemiker I. Physikalische Grundlagen, Mechanik, Thermodynamik*. 1. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Fritsche, Olaf (2020): *Physik für Chemiker II. Elektrizität, Magnetismus, Optik, Quanten- und Atomphysik*. 1. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kommer, Christoph; Tugendhat, Tim; Wahl, Niklas (2019): *Tutorium Physik fürs Nebenfach. Übersetzt aus dem Unverständlichen*. 2. Aufl. 2019. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kumrić, Helga; Roser, Felix (2020): *Experimentalphysik: Mechanik. Grundlagen und Aufgaben zu Massenpunkten, Newton, Fluiden & Co*. 1. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Rufa, Gerhard (2020): *Physik für Studierende der Biowissenschaften, Chemie und Medizin*. 1. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Slama, Sebastian (2020): *Experimentalphysik kompakt für Naturwissenschaftler. Mechanik, Thermodynamik, Elektrodynamik, Optik & Quantenphysik*. 2. Aufl. 2020. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Tipler, Paul A.; Mosca, Gene (2019): *Physik. Für Studierende der Naturwissenschaften und Technik*. 8. Aufl. 2019. Hg. v. Peter Kersten und Jenny Wagner. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
-

B Anleitung zur manuellen Kodierung des Trainingsdatensatzes

KODIERANLEITUNG: BESTIMMUNG VON BILDUNGSSPRACHLICHEN UND DOMÄNENSPEZIFISCHEN WÖRTERN

Ziel: Mithilfe dieses Manuals sollst du die Zugehörigkeit einzelner Wörter zu den Kategorien *nicht bildungssprachlich*, *bildungssprachlich*, *naturwissenschaftlich* und *Domänenspezifisch (Biologie/Chemie/Physik)* bestimmen. Die folgende Grafik soll verdeutlichen, wie die Kategorien zueinander stehen. Du sollst jedes Wort einer Kategorie (einer Farbe) zuordnen, wobei einige Kategorien Teilmengen einer anderen Kategorie sind.



Definition: Bildungssprache besteht aus Wörtern und Ausdrücken, die hauptsächlich im akademischen Umfeld bzw. in wissenschaftlichen Disziplinen wie Naturwissenschaften, Gesellschaftswissenschaften, Geisteswissenschaften oder Mathematik verwendet werden. Es sind Wörter und Ausdrücke, die in Artikeln und Diskussionen ihrer entsprechenden Disziplin häufiger verwendet werden als in informellen Gesprächen oder Belletristik.

- Bildungssprachliche Wörter sind beispielsweise *Konzept*, *Alternative*, *Lizenz*, *Paradigma*, oder *berufen*, die sich entweder gehäuft in einzelnen fachlichen Disziplinen finden lassen oder aber ohne besondere Zuordnung zu einem wissenschaftlichen Themenfeld zur Bildungssprache zählen lassen. Diese Wörter werden sehr selten in der Umgangssprache oder in belletristischen Texten genutzt und werden durch diese vermutlich nicht gelernt werden.
- Naturwissenschaftliche Wörter sind bildungssprachliche Wörter, die sich mindestens einer der drei Naturwissenschaften Biologie, Chemie und Physik zuordnen lassen. Beispiele sind *Temperatur*, *experimentieren*, *Batterie*, *kristallisieren*, *Neutron*
- Naturwissenschaftliche Wörter können mehr als einer Domäne zugeordnet werden.

Weitere Anmerkungen:

Hat ein Wort **mehrere Bedeutungen**, kann es zwei verschiedenen Kategorien zugeordnet werden. Zum Beispiel unterscheidet sich der physikalische Fachbegriff *Kraft* von der alltäglichen Bedeutung, sodass dieser Begriff sowohl in die Kategorie physikbezogen als auch nicht bildungssprachlich eingeordnet werden kann. Der Begriff *Äquivalenz* wird zwar in verschiedenen Disziplinen in verschiedenen Kontexten angewendet, hat aber nur eine zugrundeliegende Bedeutung und wird dementsprechend als bildungssprachlich eingeordnet.

Für unsere Studie beziehen sich "bildungssprachliche Wörter" auf Wörter in Texten, die den Schülern in der Alltagssprache oder in belletristischen Texten wahrscheinlich nicht begegnen. Es handelt sich um Wörter, die die Schüler lernen müssen, um in den akademischen Disziplinen arbeiten zu können.

Wir unterscheiden zwischen *Ontologie* und *Verwendung* und konzentrieren uns auf die *Verwendung*. Eine ontologische Position ist, dass ein Wort bildungssprachlich ist, unabhängig davon, ob es mehr oder weniger in Alltagssprache/Literatur oder belletristischen Texten. Ontologisch gesehen ist „acht“ ein domänenspezifisches Wort der Mathematik. Unsere Verwendungs-Betrachtung sieht allerdings so aus: Ein Wort kann nur dann als "bildungssprachlich" eingestuft werden, wenn ein Schüler das Wort wahrscheinlich lernen müsste durch die Lektüre von Fachtexten oder durch Diskussionen oder Unterricht im Klassenzimmer (im Gegensatz zur Alltagssprache oder belletristischer Lektüre). Aus der Sicht des Sprachgebrauchs ist es wahrscheinlich, dass „acht“ aus dem alltäglichen Sprachgebrauch gelernt wird, und daher ist „acht“ in unserer Studie kein akademisches Wort.

Unter informellen Gesprächen werden die Gespräche außerhalb der Schule verstanden. Gespräche während des Schulunterrichts werden als formale Sprache bzw. als informelle Konversation verstanden.

Namen von Ländern, Staaten, Städten und Personen sind nicht bildungssprachlich, da sie wahrscheinlich in informellen Umgebungen genauso oder fast genauso häufig verwendet werden wie in formellen Umgebungen

Abkürzungen gehören nicht zur Bildungssprache

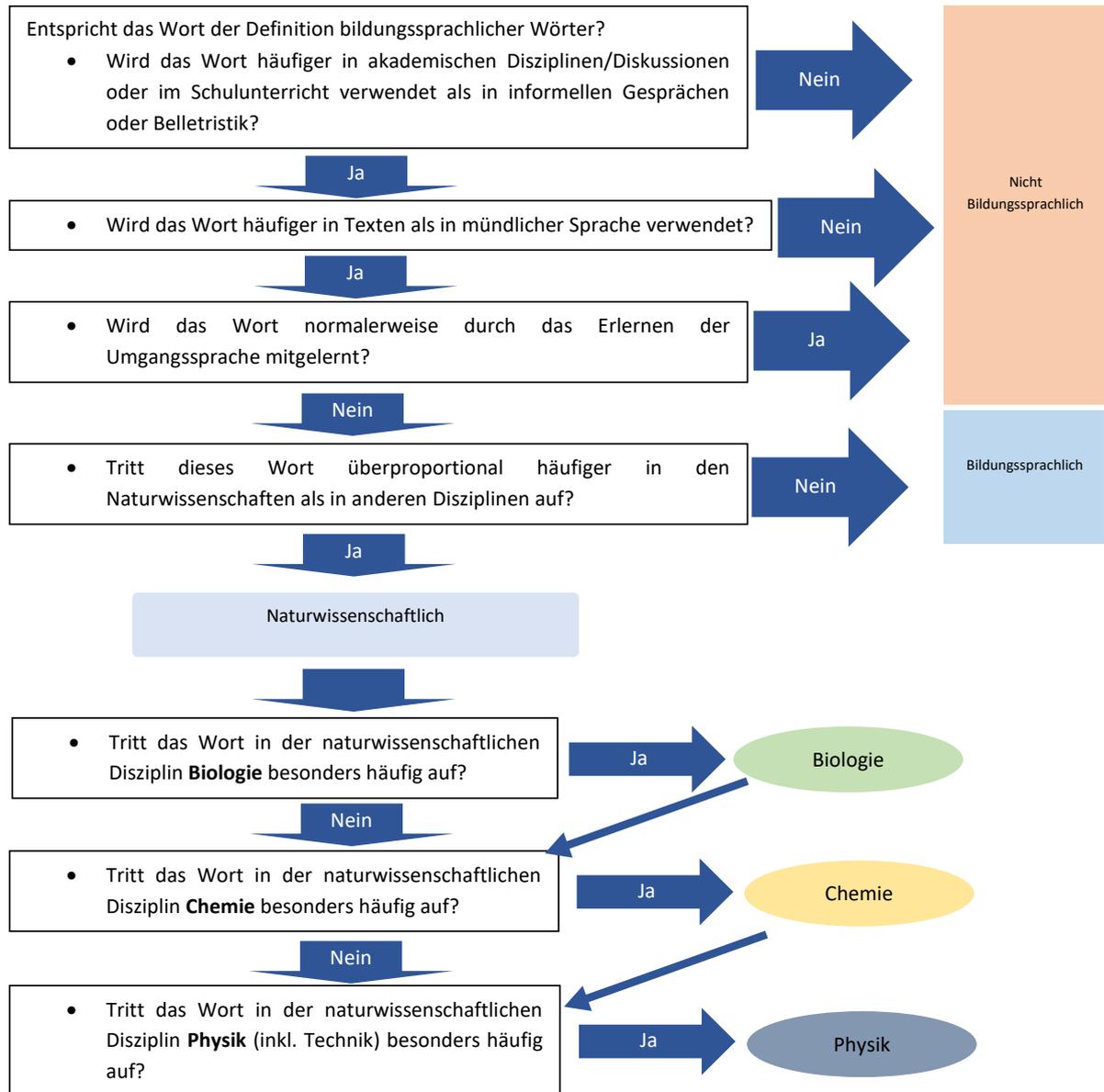
Wörter, die eindeutig in einer anderen Sprache geschrieben sind, sind keine deutschen bildungssprachlichen Wörter. Z. B. ist "escuela" kein deutsches bildungssprachliches Wort. Spanische und lateinische Wörter sind ausgeschlossen. Einige "Lehnwörter", die im Deutschen gebräuchlich sind, aber aus einer anderen Sprache abgeleitet wurden, können als deutsche bildungssprachliche Wörter betrachtet werden. Z.B., Guillotine.

Wörter können den einzelnen Disziplinen Biologie, Chemie oder Physik zugeordnet werden, wenn sie in diesen Bereichen verhältnismäßig wesentlich häufiger vorkommen oder zum Verständnis diesen Konzepts vor allem Konzepte aus der betreffenden Disziplin nötig sind. So können die Disziplinbereiche ggf. erweitert werden:

Physik: Umfasst auch Wörter aus dem Bereich Technik

Biologie: Umfasst auch Wörter aus dem Bereich Medizin, Ernährung, z.T. Psychologie

B Anleitung zur manuellen Kodierung des Trainingsdatensatzes



C Beispiel einer Concept Map

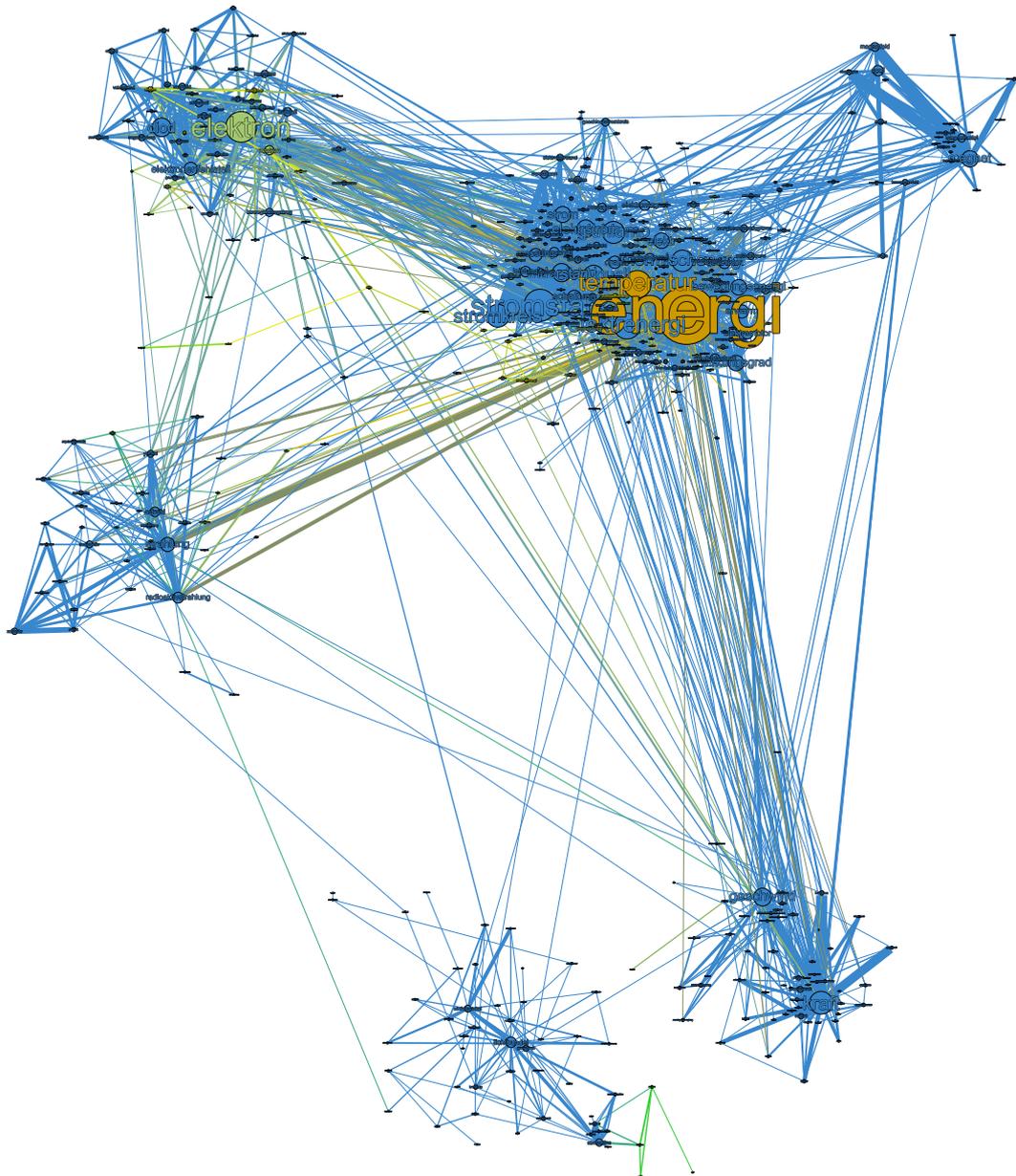


Abbildung C.1. Concept Map der Schulbuchreihe Impulse Physik für die Sekundarstufe I. Zur besseren Übersicht sind weniger relevante Termini und Kanten nicht dargestellt. Die Visualisierung erfolgte über Gephi mittels kräftebasiertem OpenOrd-Layout.

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

vielen Dank für deine Teilnahme an der Studie. Wir möchten dir zunächst erklären, wie du bei der Bearbeitung der folgenden Aufgaben vorgehen sollst.

Bevor die eigentlichen Aufgaben zum Thema Energie erscheinen, möchten wir dich bitten, zunächst die Fragen zu deinen schulischen Interessen zu beantworten.

Anschließend bearbeitest du zwei Aufgabenblöcke mit Übungsaufgaben zum Energiekonzept bitte in folgender Weise:

- Lies den Einleitungstext, der dich in den Kontext der Übungsaufgaben einführt.
- Bearbeite die Übungsaufgaben, die dein Verständnis von Energie in diesem Kontext vertiefen.
- Beantworte die Fragen nach deinem Interesse an diesen Aufgaben. Hier gibt es keine richtigen oder falschen Antworten, sodass wir dich bitten, ehrlich und spontan auf die Fragen zu antworten.

Zur Bearbeitung der Aufgaben wirst du Papier und Stift, sowie einen Taschenrechner benötigen. Auf dem Papier kannst du Rechnungen durchführen und die Ergebnisse anschließend in die Felder eintragen. Beachte auch die Hilfestellungen und gestuften Hilfen, die immer unten auf der Seite zu finden sind. Wenn du trotz Hilfen bei einer Aufgabe nicht weiter kommst, kannst du deine bisherigen Überlegungen in das Ergebnisfeld schreiben und zur nächsten Aufgabe wechseln. Um zwischen den Aufgaben zu wechseln, nutze die Navigationstasten ("Zurück" und "Weiter").

Am Ende der Umfrage kannst du sowohl die Aufgabenstellungen, als auch deine Antworten und die Musterlösungen zum Vergleichen im PDF-Format herunterladen.

Alle Antworten die du hier gibst, sind komplett anonymisiert und weder wir, noch dein Lehrer oder deine Lehrerin wissen, wie deine persönlichen Antworten lauten.

Wir wünschen dir viel Spaß beim Bearbeiten der Aufgaben, du kannst jetzt unten rechts auf "Weiter" klicken.

Prof. Dr. Susanne Schneider

Johannes Lewing

Abteilung Didaktik der Physik

Georg-August-Universität Göttingen

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Liebe Schülerin, lieber Schüler

mit dem folgenden Fragebogen möchten wir etwas über dein Interesse an verschiedenen Themen erfahren. Dabei geht es darum, dass du deine persönliche Meinung angibst. Es gibt also keine richtigen oder falschen Antworten. Du wirst gebeten, die folgenden Aussagen zu bewerten, indem du die jeweils für dich am besten passende Antwort auswählst. Wenn du das Kästchen ganz links ankreuzt, bedeutet das, dass die Aussage überhaupt nicht auf dich zutrifft, während das Kästchen auf der rechten Seite für volle Zustimmung steht.

Beispiel:	Trifft überhaupt nicht zu				Trifft voll und ganz zu	
Ich gehe gerne zur Schule	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Lies dir zunächst die Aussage durch. Je nachdem, ob du gerne zur Schule gehst oder nicht, kreuzt du ein Kästchen an.

- Wenn du gar nicht gerne zur Schule gehst, dann kreuzt du das 1. Kästchen „Trifft überhaupt nicht zu“ an.
- Wenn du etwas lieber als „überhaupt nicht“ gern zur Schule gehst, dann kreuzt du das 2. oder 3. Kästchen an.
- Wenn du gerne zur Schule gehst, aber nicht immer, dann kreuzt du das 4. oder 5. Kästchen an.
- Wenn du immer sehr gerne zur Schule gehst, kreuzt du das 6. Kästchen „Trifft voll und ganz zu“ an.

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Jetzt bist du an der Reihe, sag uns deine Meinung!

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Mir liegt persönlich viel daran, im Fach Physik viel zu wissen. FInt.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich die Wahl hätte, dann würde ich gerne noch mehr Stunden in Physik haben als bisher. FInt.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nach einem langen Wochenende oder den Ferien freue ich mich auf eine Stunde Physik. FInt.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir liegt viel daran, den Stoff des Faches Physik zu behalten. FInt.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Die Beschäftigung mit physikalischen Themen und Gegenständen ist für mich sehr wichtig unabhängig von der Schule oder anderen Personen. SInt.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auf die Beschäftigung mit Physik würde ich ungerne verzichten, einfach weil sie mir Freude macht. SInt.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mich mit physikalischen Dingen befasse, kann ich darin richtig versunken sein. SInt.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für die Beschäftigung mit physikalischen Dingen bin ich auch bereit, meine Freizeit zu verwenden. SInt.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Physik würde ich viel lieber machen, wenn das Fach nicht so schwer wäre.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SK.1 Obwohl ich mir bestimmt Mühe gebe, fällt mir Physik schwerer als vielen meiner Mitschülerinnen und Mitschüler. SK.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kein Mensch kann alles. – Für Physik habe ich einfach keine Begabung. SK.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei manchen Sachen in Physik, die ich nicht verstanden habe, weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie.“ SK.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Physik liegt mir nicht besonders. SK.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, dass mich die anderen Schülerinnen und Schüler für gut in Physik halten. SK.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich erwarte, dass meine Leistungen in Physik in Zukunft gut sein werden. SK.7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Mit Technik meinen wir im Folgenden alles, was im weitesten Sinne damit zu tun hat:

1. Technik kann dir im Unterricht begegnen, z.B. in Physik, Chemie, Mathematik ...
2. Es können auch konkrete Handlungen außerhalb der Schule sein (wie z.B. basteln und herumschrauben an elektrischen Geräten und Maschinen)
3. Oder die „theoretische“ Beschäftigung mit bestimmten Fragen (z.B.: Wie funktioniert eine Maschine? Welche Prinzipien stehen dahinter?)

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Die Beschäftigung mit technischen Themen und Gegenständen ist für mich sehr wichtig - unabhängig von der Schule oder anderen Personen. SInt.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auf die Beschäftigung mit Technik würde ich ungerne verzichten, einfach weil sie mir Freude macht. SInt.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mich mit technischen Dingen befasse, kann ich darin richtig versunken sein. SInt.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für die Beschäftigung mit technischen Dingen bin ich auch bereit, meine Freizeit zu verwenden. SInt.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Ich würde mich viel mehr mit technischen Dingen beschäftigen, wenn es nicht so schwer wäre. SK.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obwohl ich mir bestimmt Mühe gebe, fällt mir Technik schwerer als vielen meiner Mitschülerinnen und Mitschüler. SK.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kein Mensch kann alles. – Für Technik habe ich einfach keine Begabung. SK.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei manchen technischen Sachen, die ich nicht verstanden habe, weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie.“ SK.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Technik liegt mir nicht besonders. SK.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, dass mich die anderen Schülerinnen und Schüler für gut in technischen Dingen halten. SK.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich erwarte, dass ich mich auch in Zukunft gut mit technischen Sachen auskennen werde. SK.7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Die Beschäftigung mit biologischen Themen und Gegenständen ist für mich sehr wichtig unabhängig von der Schule oder anderen Personen. SInt.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auf die Beschäftigung mit Biologie würde ich ungerne verzichten, einfach weil sie mir Freude macht. SInt.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wenn ich mich mit biologischen Dingen befasse, kann ich darin richtig versunken sein. SInt.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für die Beschäftigung mit biologischen Dingen bin ich auch bereit, meine Freizeit zu verwenden. SInt.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Trifft überhaupt nicht zu					Trifft voll und ganz zu
Biologie würde ich viel lieber machen, wenn das Fach nicht so schwer wäre. SK.1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obwohl ich mir bestimmt Mühe gebe, fällt mir Biologie schwerer als vielen meiner Mitschülerinnen und Mitschüler. SK.2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kein Mensch kann alles. - Für Biologie habe ich einfach keine Begabung. SK.3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bei manchen Sachen in Biologie, die ich nicht verstanden habe, weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie.“ SK.4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Biologie liegt mir nicht besonders. SK.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich glaube, dass mich die anderen Schülerinnen und Schüler für gut in Biologie halten. SK.6	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich erwarte, dass meine Leistungen in Biologie in Zukunft gut sein werden. SK.7	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

D Fragebogen zur Erhebung der individuellen Interessen, Selbstkonzepte und demografischen Daten

Nun möchten wir dich bitten, noch einige Angaben zu deiner Person zu machen.

Geschlecht:

- männlich
- weiblich
- keine Angabe

Wie alt bist du?

_____ Jahre

Wie war deine letzte Zeugnisnote in Physik?

- 1 2 3 4 5 6
-

E Fragebogen zur Erhebung der kognitiven Belastung und des situationalen Interesses

Gib hier bitte an, inwiefern folgende Aussagen auf dich zutreffen.	Stimmt gar nicht					Stimmt völlig
	1	2	3	4	5	6
Die Aufgaben haben mir Spaß gemacht. AIM.3	<input type="checkbox"/>					
Ich freue mich auf die nächsten Aufgaben. AIM.4	<input type="checkbox"/>					
Die Aufgaben waren langweilig. AIM.5	<input type="checkbox"/>					
Das Thema war sehr interessant, weil es einen Bezug zur Lebenswelt außerhalb des Unterrichts hat. TIN.1	<input type="checkbox"/>					
Das Thema heute war wichtig für mich, da ich einen Einblick bekommen habe, wo Physik außerhalb des Unterrichts vorkommt. TIN.2	<input type="checkbox"/>					
Ich habe heute etwas darüber gelernt, was Physik mit meinem Leben zu tun hat. TIN.3	<input type="checkbox"/>					
Das Thema der Aufgabe fand ich gut, weil ich es auch außerhalb der Schule gebrauchen kann. TIN.4	<input type="checkbox"/>					
Beim Bearbeiten der Aufgabe habe ich über nichts anderes nachgedacht. AIM.2	<input type="checkbox"/>					
Beim Bearbeiten der Aufgaben ist die Zeit sehr schnell vergangen. AIM.6	<input type="checkbox"/>					

Optional: Ist dir an den letzten Aufgaben etwas aufgefallen, was sie für dich besonders interessant oder uninteressant gemacht hat? Falls ja, beschreibe bitte kurz(!), was genau dein Interesse geweckt hat oder was für dich uninteressant war.

- Besonders interessant war für mich ...
- Besonders uninteressant war für mich ...

F Lernstationen

Die Rolle der Energie bei unserer Ernährung

Es gibt viele Gründe, warum wir essen. Es schmeckt, es macht satt und wir fühlen uns wohl. Essen ist aber auch lebensnotwendig, denn die in unserer Nahrung enthaltenen Nährstoffe liefern uns Energie, die wir für die Aufrechterhaltung unserer verschiedenen Stoffwechselprozesse benötigen. In unseren Nahrungsmitteln ist diese Energie in Form von chemischer Energie gespeichert.



An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- Welche Energieumwandlungen laufen bei unserer Ernährung ab?
- Welchen Brennwert besitzen die verschiedenen Nährstoffe und wie können wir diesen experimentell bestimmen?
- Welchen Wirkungsgrad hat unser Körper?



Information

Unsere Ernährung: In der Nahrung, die du täglich zu dir nimmst, ist eine große Menge an chemischer Energie gespeichert. Damit die Energie von deinem Körper genutzt werden kann, muss die Nahrung verdaut werden (Abbildung 1). Die Verdauung beginnt bereits im Mund, wo die Nahrung durch unsere Zähne zerkleinert und mit Speichel versetzt wird. Das im Speichel enthaltene Enzym Amylase spaltet hier bereits Stärke in den süßlich schmeckenden Zweifachzucker Maltose auf. Im Magen wird die Nahrung weiter verdaut. An der Verdauung unserer Nahrung sind neben Amylase verschiedene weitere Enzyme beteiligt, die die energiereichen Nährstoffe (Kohlenhydrate, Fette und Proteine) in ihre Grundbausteine aufspalten. Diese Grundbausteine können dann im Dünndarm aufgenommen, über das Blut im Körper verteilt und zu den Zellen transportiert werden. Die in den Grundbausteinen der Nährstoffe enthaltene Energie kann allerdings noch nicht ohne Weiteres umgewandelt werden. Hierfür sind die in unseren Zellen vorhandenen Mitochondrien notwendig: Sie sorgen dafür, dass die chemische Energie, die zuvor

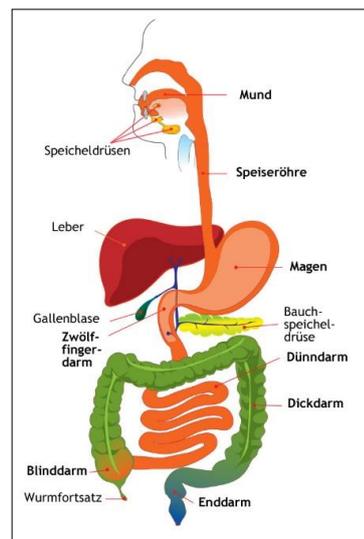


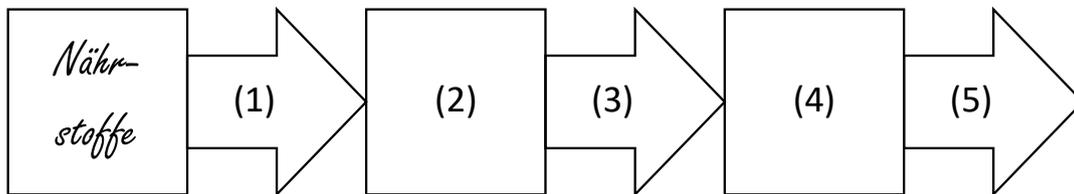
Abbildung 1: Der menschliche Verdauungsapparat (Ruiz, M. 2019)

handenen Mitochondrien notwendig: Sie sorgen dafür, dass die chemische Energie, die zuvor

in Nährstoffen gespeichert ist, nun im Stoff ATP gespeichert wird. Die im Stoff ATP gespeicherte Energie kann beispielsweise von Muskelzellen umgewandelt werden, um unsere Arme zu bewegen.

Aufgabe 1

Beschreibe die oben beschriebenen Energieumwandlungen mit einer Energieumwandlungskette. Schreibe dabei in die Kästen die Energiewandler und in die Pfeile die Energieform. Setze die Begriffe *Mitochondrien*, *Nährstoffe*, *Muskelzellen*, *chemische Energie der Nährstoffe*, *chemische Energie in ATP* und *Bewegungsenergie des Arms* ein.



Aufgabe 2

In Nährstoffen ist in den Bindungen der Atome eine große Menge chemischer Energie gespeichert. Um herauszufinden, wie groß die gespeicherte Energie ist, verwendet man ein Kalorimeter (Abbildung 2). Dort wird in einer kleinen, mit Sauerstoff gefüllten Brennkammer (orange) der Nährstoff über Zünddrähte entzündet, damit er verbrennt. Hierbei werden die Bindungen in der Substanz aufgebrochen, sodass ein neuer Stoff mit geringerer Bindungsenergie entsteht und die chemische Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird. Diese Wärmeenergie wird an das umliegende Wasserreservoir übertragen, sodass sich die Temperatur des Wassers erhöht. Über ein Thermometer wird die neue Temperatur des Wassers gemessen. Mittels der Temperaturdifferenz kann die insgesamt bei der Verbrennung freigeordnete Energie berechnet werden. Die Energiemenge, die bei der Verbrennung von 1 g Nährstoff mit Sauerstoff in Wärmeenergie umgewandelt wird, wird als Brennwert bezeichnet.

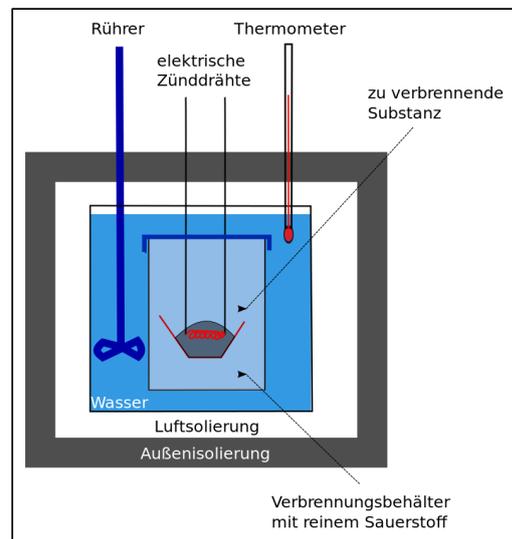


Abbildung 2: Kalorimeter (Lanzi, 2009)

- a) Beschreibe in 2-3 Sätzen die Funktionen von Rührer und Isolierung bei der Messung mit dem Kalorimeter (Abbildung 2).
- b) Es wurden jeweils ein Gramm verschiedener Nährstoffe im Kalorimeter verbrannt (s. Tabelle 1). Berechne die jeweiligen Brennwerte.

Tip: Das Kalorimeter ist mit 1 l Wasser gefüllt (dies entspricht einer Masse von $m = 1$ kg). Um 1 l Wasser um $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ bzw. 1 K (Kelvin) zu erwärmen, wird eine Energie von $4,2\text{ kJ}$ benötigt (spezifische Wärmekapazität c).

Substanz	T_{Wasser} (vorher)	T_{Wasser} (nachher)	Temperatur- differenz ΔT	Wärmemenge ΔQ (Brennwert)
Kohlenhydrate	$20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$24,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$	(1)
Fett	$20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$29,3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$9,3\text{ }^{\circ}\text{C}$	(2)
Proteine	$20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	$5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$	(3)

Grundgleichung der Wärmelehre	$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ <small>Q: Wärmemenge (Brennwert)</small>
Spezifische Wärmekapazität c von Wasser	$c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ $= 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Einheit der Energie (Joule)	$1\text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$

Tabelle 1: Messwerte des Kalorimeters

- c) Der Brennwert von Nährstoffen wird oft auch in Kilokalorien (kcal) angegeben. Der tägliche Energiebedarf des menschlichen Körpers beträgt zwischen 1600 kcal und 2500 kcal (das entspricht $6720\text{ kJ} - 10500\text{ kJ}$). Wenn der Energiebedarf des eigenen Körpers oft überschritten wird, kann dies zu Übergewicht führen, weshalb es ratsam ist, sich über den Energiegehalt von Nahrungsmitteln bewusst zu sein. Unten siehst du die Nährwertangaben von drei Nahrungsmitteln, wie sie auf den jeweiligen Verpackungen zu finden sind. Schätze ab, welche Nahrungsmittel pro 100 g die größte Energiemenge besitzen. Begründe deine Einschätzung anhand der Ergebnisse aus der vorherigen Aufgabe. Du brauchst hier nicht zu rechnen.

Durchschnittswert	100 g	1 Portion (30 g)	%* (30 g)
Fett	52,1 g	15,6 g	22
Davon gesättigte Fettsäuren	7,7 g	2,3 g	12
Kohlenhydrate	11,3 g	3,4 g	1
Eiweiß	25,7 g	7,7 g	15
Salz	0,30 g	0,1 g	< 1

*Referenzmenge für einen durchschnittlichen Erwachsenen

Nährwerttabelle für Erdnüsse

Durchschnittswert	100 g	1 Portion (125 g)	%* (125 g)
Fett	1,9 g	2,4 g	3
davon gesättigte Fettsäuren	0,8 g	1,0 g	5
Kohlenhydrate	70 g	87 g	34
Eiweiß	14 g	17 g	34
Salz	< 0,01 g	< 0,01 g	< 1

*Referenzmenge für einen durchschnittlichen Erwachsenen

Nährwerttabelle für Spaghetti

Durchschnittswert	100 g	1 Portion (19 g)	%* (19 g)
Fett	26 g	4,9 g	7
davon gesättigte Fettsäuren	14 g	2,7 g	14
Kohlenhydrate	58 g	11 g	4
Eiweiß	7 g	1,3 g	3
Salz	0,68 g	0,13 g	2

*Referenzmenge für einen durchschnittlichen Erwachsenen

Nährwerttabelle für Cookies

Aufgabe 3

Die in den Nährstoffen gespeicherte Energie benötigen wir zum Leben: sowohl für körperliche als auch für geistige Arbeit. So wandeln beispielsweise unsere Muskeln Energie um, was wir direkt beobachten können: Sie beschleunigen uns, was zu einer Veränderung der kinetischen Energie führt oder lassen uns auf einen Berg steigen, wodurch unsere potentielle Energie zunimmt. Doch wie viel Energie wird dafür benötigt und wie groß ist der Wirkungsgrad?

- Um mit einem Rennrad konstant eine Geschwindigkeit von 25 km/h beizubehalten, wird aufgrund der Reibungskräfte eine Kraft in Fahrtrichtung von $F = 14,4 \text{ N}$ benötigt. Berechne, welche Energie nötig ist bzw. welche Arbeit verrichtet werden muss, um mit dieser Geschwindigkeit eine Strecke von $s = 15 \text{ km}$ zurückzulegen.
- Der Körper wandelt auf dieser Strecke etwa 1125 kJ um. Es wird also mehr Energie aufgebracht, als zur Bewältigung der Strecke genutzt wird. Berechne den Wirkungsgrad beim Fahrradfahren.
- Stelle eine Vermutung auf, warum mehr Energie umgewandelt wird, als zur Bewältigung der Strecke erforderlich wäre bzw. in welcher Weise die übrige Energie der Nährstoffe umgewandelt wird.

Mechanische Arbeit	$W = \Delta E = F \cdot s$ <i>F: Kraft</i> <i>s: Strecke</i>
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{\text{in beabsichtigte Energieform umgewandelte Energie}}{\text{insgesamt aufgewendete Energie}}$
Einheit Energie	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$

Bei Energieumwandlungen, also Prozessen, bei dem Energie von einer Energieform in eine bestimmte andere Energieform überführt wird, lassen sich Wirkungsgrade berechnen. Der Wirkungsgrad beschreibt, zu welchem Anteil die zugeführte bzw. insgesamt aufgewendete Energie in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Um den Wirkungsgrad zu berechnen, teilt man die Energiemenge der gewünschten Energieform, die nach der Umwandlung verfügbar ist durch die insgesamt bei der Umwandlung aufgewendete Energiemenge. Wenn zum Beispiel ein Elektromotor eine elektrische Energie von 19 J aufwendet, um eine Tafel Schokolade anzuheben und die potentielle Energie um 1 J zu erhöhen, wäre der Wirkungsgrad nach der Formel oben $\eta = \frac{1 \text{ J}}{19 \text{ J}} = 0,05 = 5 \%$.

Abbildungen:

- Verch, M. (2019). *Top view products for healthy nutrition*. CC BY 2.0. <https://foto.wuestenigel.com/top-view-products-for-healthy-nutrition/>
- Ruiz, M. (2019). *Digestive system of man – simplified*. CC BY-SA 4.0. https://klexikon.zum.de/wiki/Verdauung#/media/File:Digestive_system_simplified_german_2.jpg
- Lanzi (2019). *Einfache Skizze eines Bombenkalorimeters*. Public Domain. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drawing_kalorimeter.svg

Die Rolle der Energie beim Verbrennungsmotor

Autos sind aus unserer modernen Welt nicht wegzudenken. Durch ihre Erfindung ist die Menschheit mobiler geworden und kann schnell und ohne körperliche Anstrengung von einem Ort zum nächsten gelangen. Neben einer steigenden Zahl an Autos mit Elektromotoren wird der Großteil der Fahrzeuge durch Verbrennungsmotoren angetrieben, in denen fossile Treibstoffe, z.B. Benzin, verbrannt werden.



An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- Welche Energieumwandlungen laufen beim Verbrennungsmotor ab?
- Welchen Brennwert besitzen die verschiedenen Treibstoffe und wie können wir diesen experimentell bestimmen?
- Welchen Wirkungsgrad hat ein Verbrennungsmotor?



Information

Funktionsweise eines Verbrennungsmotors: In Treibstoffen wie Benzin oder Diesel ist eine große Menge chemischer Energie gespeichert. Um diese chemische Energie zu nutzen wird der Treibstoff entzündet. Er reagiert mit dem Sauerstoff der Luft, wobei ein großes Gasvolumen entsteht. Dieses Phänomen wird in Verbrennungsmotoren genutzt, um zum Beispiel ein Fahrzeug zu bewegen.

Der wichtigste Teil eines Verbrennungsmotors sind die Zylinder. Diese bestehen aus einer Brennkammer, in welcher der Treibstoff entzündet wird und einem Kolben, der sich in der Kammer auf und ab bewegen kann (Abb. 1). Durch die Bewegung des Zylinderkolbens wird die Kurbelwelle in Rotation versetzt, wodurch die Räder und schließlich das Fahrzeug bewegt werden.

Eine Art von Verbrennungsmotoren sind Zweitaktmotoren, die sich oft in Motorrollern befinden. Ihre Funktionsweise lässt sich wie folgt beschreiben: In der Brennkammer befindet sich ein Gemisch aus Kraftstoff und Luft, welches durch die Aufwärtsbewegung des Kolbens verdichtet wird. Gleichzeitig strömt neues Kraftstoff-Luft-Gemisch in die untere Kammer, in der sich die Kurbelwelle befindet. Wenn der

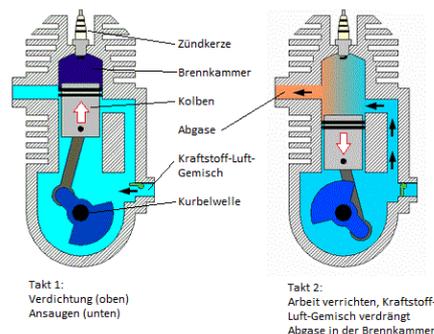
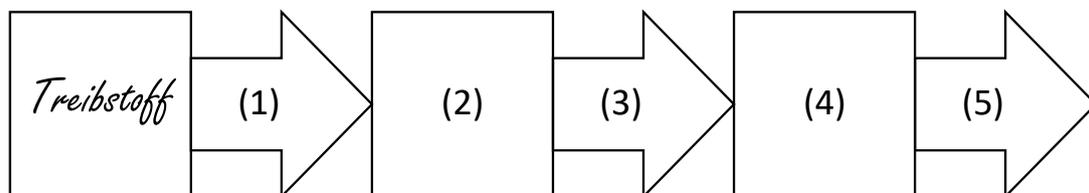


Abbildung 1: Ablauf im Zylinder eines Zweitaktmotors (Schierwagen, 2004)

Kolben seinen höchsten Punkt erreicht, entzündet die Zündkerze das Gemisch in der Brennkammer. Die gasförmigen Reaktionsprodukte dehnen sich explosionsartig aus. Sie üben eine Kraft auf den Kolben aus, der nach unten beschleunigt wird, sodass eine Umwandlung in Bewegungsenergie stattfindet. Hierbei wird die Kurbelwelle angetrieben und gleichzeitig dafür gesorgt, dass das neue Kraftstoff-Luft-Gemisch aus der unteren Kammer in die Brennkammer strömt und dabei die Abgase verdrängt.

Aufgabe 1

Beschreibe alle oben beschriebenen Energieumwandlungen mit einer Energieumwandlungskette. Schreibe dabei in die Kästen die Energiewandler und in die Pfeile die Energieform. Setze die Begriffe *Bewegungsenergie des Motorrollers*, *Zweitaktmotor*, *Treibstoff*, *Bewegungsenergie des Zylinderkolbens*, *chemische Energie des Treibstoffs* und *Kurbelwelle* ein.



Aufgabe 2

In Treibstoffen ist in den Bindungen der Atome eine große Menge chemischer Energie gespeichert. Um herauszufinden, wie groß die gespeicherte Energie ist, verwendet man ein Kalorimeter (Abbildung 2). Dort wird in einer kleinen, mit Sauerstoff gefüllten Brennkammer (orange) der Treibstoff über Zünddrähte entzündet, damit er verbrennt. Hierbei werden die Bindungen in der Substanz aufgebrochen, sodass ein neuer Stoff mit geringerer Bindungsenergie entsteht und die chemische Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird. Diese Wärmeenergie wird an das umliegende Wasserreservoir übertragen, sodass sich die Temperatur des Wassers erhöht. Über ein Thermometer wird die neue Temperatur des Wassers gemessen. Mittels der Temperaturdifferenz kann die insgesamt bei der Verbrennung freigeordnete Energie berechnet werden. Die Energiemenge, die bei der Verbrennung von 1 ml Treibstoff mit Sauerstoff in Wärmeenergie umgewandelt wird, wird als Brennwert bezeichnet.

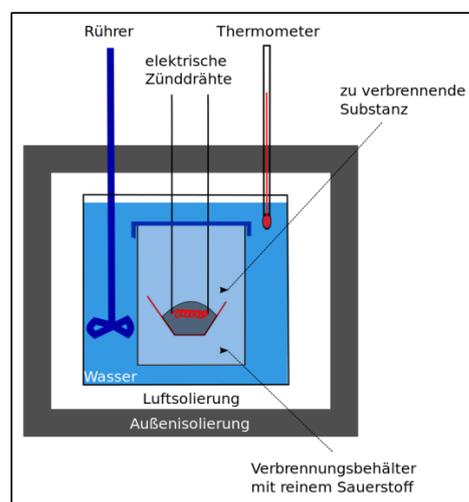


Abbildung 2: Kalorimeter (Lanzi, 2009)

- a) Beschreibe in 2 bis 3 Sätzen die Funktionen von Rührer und Isolierung bei der Messung mit dem Kalorimeter (Abbildung 2).
- b) Es wurden jeweils ein Milliliter verschiedener Treibstoffe im Kalorimeter verbrannt (s. Tabelle 1). Berechne die jeweiligen Brennwerte.
Tipp: Das Kalorimeter ist mit 1 l Wasser gefüllt (das entspricht einer Masse von $m = 1 \text{ kg}$). Um 1 l Wasser um $1 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. 1 K (Kelvin) zu erwärmen, wird eine Energie von $4,2 \text{ kJ}$ benötigt (spezifische Wärmekapazität $c = 4,2 \text{ kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$).

Substanz	T _{Wasser (vorher)}	T _{Wasser (nachher)}	Temperaturdifferenz ΔT	Wärmemenge ΔQ (Brennwert)
Diesel	20,00 °C	28,9 °C	8,9 °C	(1)
Benzin (Super)	20,00 °C	28,3 °C	8,3 °C	(2)
Kerosin	20,00 °C	28,6 °C	8,6 °C	(3)

Grundgleichung der Wärmelehre	$\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ Q: Wärmemenge (Brennwert)
Spezifische Wärmekapazität c von Wasser	$c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ $= 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$
Einheit der Energie (Joule)	$1 \text{ J} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$

Tabelle 1: Messwerte des Kalorimeters

- c) Mit der Forderung nach „sauberen“ Kraftfahrzeugen, die immer weniger CO₂ ausstoßen sollen, geraten verstärkt Alternativen zum Verbrennungsmotor in den Vordergrund, wie Elektromotoren und Motoren mit Brennstoffzellen, in denen Wasserstoff als Treibstoff dient. Während bei Elektromotoren als Energiespeicher eine Batterie im Auto mitgeführt werden muss, müssen bei Autos mit Brennstoffzellen Wasserstofftanks mitgeführt werden. Erläutere anhand der unten stehenden Tabelle, welche Probleme bei der Mitführung von Wasserstoff auftreten und vergleiche dabei die Energiedichte von Wasserstoff mit der von Superbenzin und Diesel.

Stoff	Temperatur	Druck	Aggregatzustand	Energiedichte
Superbenzin	20 °C	1 bar	Flüssig	34 400 kJ/l
Diesel	20 °C	1 bar	Flüssig	37 400 kJ/l
Wasserstoff	20 °C	1 bar	gasförmig	10,8 kJ/l
Wasserstoff	20 °C	200 bar	gasförmig	2 200 kJ/l
Wasserstoff	-253 °C	1 bar	flüssig	8 500 kJ/l

Zur Hilfe: Ein Druck von 1 bar entspricht dem durchschnittlichen Luftdruck auf der Erdoberfläche.

Aufgabe 3

Verbrennungsmotoren sind Energiewandler und können die in den Treibstoffen gespeicherte chemische Energie in andere Formen umwandeln. Beispielsweise wandelt ein Notstromaggregat die chemische Energie in elektrische Energie um oder ein Motorrad wandelt sie in Bewegungsenergie um. Doch kann meist nicht die gesamte Energie in die gewünschte Energieform umgewandelt werden, woraus die Frage folgt, wie groß eigentlich der Wirkungsgrad ist.

- Ihr zieht einen Motorroller mit einem Kraftmesser im Laufschrift über den Schulhof. Der Kraftmesser zeigt eine Kraft von $F = 330 \text{ N}$ an. Berechne, welche Energie nötig ist bzw. welche Arbeit verrichtet werden muss, um eine Strecke von $s = 100 \text{ km}$ zurückzulegen.
- Der Motorroller verbraucht auf dieser Strecke etwa 3 l Benzin. Mit einem Brennwert von 34900 kJ/l entspricht das einer insgesamt aufgewendeten Energie von 104700 kJ . Es wird also mehr Energie aufgebracht, als zur Bewältigung der Strecke genutzt wird. Berechne den Wirkungsgrad des Motors.
- Stelle eine Vermutung auf, warum mehr Energie umgewandelt wird, als zur Bewältigung der Strecke erforderlich wäre bzw. in welcher Weise die übrige Energie des Benzins umgewandelt wird.

Mechanische Arbeit	$W = \Delta E = F \cdot s$ <i>F: Kraft s: Strecke</i>
Wirkungsgrad	$\eta = \frac{\text{in beabsichtigte Energieform umgewandelte Energie}}{\text{insgesamt aufgewendete Energie}}$
Einheit Energie	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$

Bei Energieumwandlungen, also Prozessen, bei dem Energie von einer Energieform in eine bestimmte andere Energieform überführt wird, lassen sich Wirkungsgrade berechnen. Der Wirkungsgrad beschreibt, zu welchem Anteil die zugeführte bzw. insgesamt aufgewendete Energie in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Um den Wirkungsgrad zu berechnen, teilt man die Energiemenge der gewünschten Energieform, die nach der Umwandlung verfügbar ist durch die insgesamt bei der Umwandlung aufgewendete Energiemenge. Wenn zum Beispiel ein Elektromotor eine elektrische Energie von 19 J aufwendet, um eine Tafel Schokolade anzuheben und die potentielle Energie um 1 J zu erhöhen, wäre der Wirkungsgrad nach der Formel oben $\eta = \frac{1 \text{ J}}{19 \text{ J}} = 0,05 = 5 \%$.

Abbildungen:

- Fazekas, P. (2018). *Foto Der Person, Die Fährt*. CC0. Pexels. <https://www.pexels.com/de-de/foto/foto-der-person-die-fahrt-1386649/>
- Schierwagen, A. (2004) *Hubkolbenmotor mit einem Zylinder*. Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 3.0 nicht portiert“ https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Two-Stroke_Engine.gif?uselang=de
- Lanzi (2019). *Einfache Skizze eines Bombenkalorimeters*. Public Domain. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drawing_kalorimeter.svg

Energieumwandlung durch Fotosynthese

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle der Erde. Mit Hilfe der Fotosynthese können Pflanzen in der Natur einen Teil der auf der Erde eintreffenden Sonnenstrahlung nutzbar machen. So dient sie dem Aufbau organischer Substanzen, die für das Leben der Pflanzen essenziell sind.



Abbildung 1: Blätter in der Sonne (nuzree, 2014)

An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

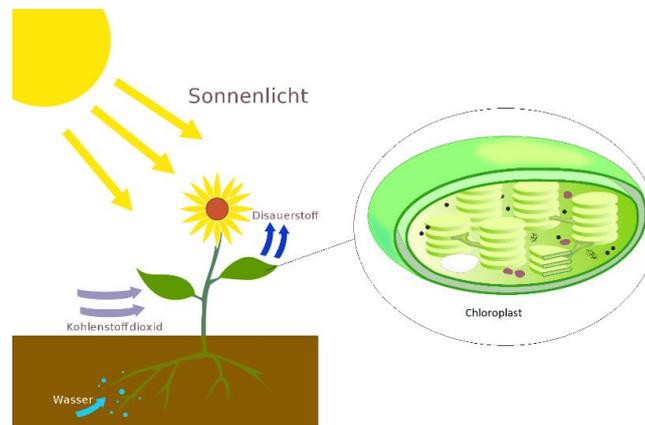
- Welche Energieumwandlungen laufen bei der Fotosynthese ab?
- Wie viel Lichtenergie ist durch die Sonneneinstrahlung auf der Erde verfügbar?
- Welchen Wirkungsgrad hat die Umwandlung der Lichtenergie durch die Fotosynthese?



Information

Energieumwandlung durch Fotosynthese: Die Energie, welche die Pflanzen bei der Fotosynthese umwandeln, kommt von der Sonne. Durch die Größe der Sonne und ihre hohe Temperatur wird eine große Menge Lichtenergie freigesetzt, welche die Erde erreicht.

Pflanzen nutzen diese, um organische Substanzen aufzubauen, in denen die Lichtenergie der Sonne in Form von chemischer Energie gespeichert ist. Die Umwandlung der Lichtenergie findet dabei in den Chloroplasten der Blätter statt. Unter „Zufuhr“ von Lichtenergie werden hier Wasser und Kohlenstoffdioxid zu dem energiereichen Stoff Glucose umgesetzt, wobei als



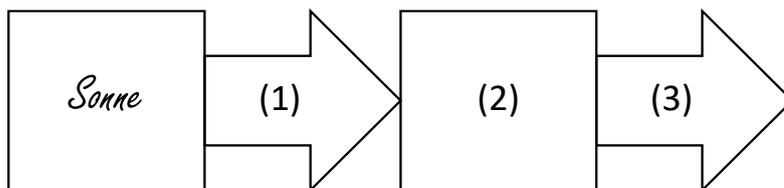
Nebenprodukt Sauerstoff entsteht, welcher über die Spaltöffnungen abgegeben wird. Glucose

Abbildung 2: Ablauf der Fotosynthese (Wattcle & At09kg, 2016; Kalviškis, 2021)

wird auch als Traubenzucker bezeichnet und dient der Pflanze als sofortiger Energielieferant. Um jederzeit, z.B. auch bei Dunkelheit, Glucose zur Verfügung zu haben, können mehrere Glucose-Moleküle zu dem Mehrfachzucker Stärke verknüpft werden. Stärke dient der Pflanze also als längerfristiger Energiespeicher. Pflanzen benötigen Kohlenhydrate für alle Lebensvorgänge, so zum Beispiel für Stoffwechsel oder Wachstum. Das gesamte von Pflanzen hergestellte Material wird als pflanzliche Biomasse bezeichnet. Diese pflanzliche Biomasse ist wiederum die Ernährungsgrundlage und damit Energielieferant vieler weiterer Lebewesen auf der Erde.

Aufgabe 1

Beschreibe die oben beschriebenen Energieumwandlungen mit einer Energieumwandlungskette. Schreibe dabei in die Kästen die Energiewandler und in die Pfeile die Energieformen. Setze die Begriffe *Strahlungsenergie*, *Sonne*, *chemische Energie der Biomasse*, *Pflanze* ein.



Aufgabe 2

Wir wollen abschätzen, wie viel Energie pro Zeit in Form von Lichtenergie durch die Sonne auf der Erde verfügbar ist („Strahlungsleistung“). Dafür benutzen wir einen würfelförmigen Aluminiumblock, den wir an einem sonnigen Tag von der Sonne anstrahlen lassen. Durch die in der Sonnenstrahlung enthaltene Lichtenergie wird der Aluminiumwürfel erwärmt. Je schneller sich der Aluminiumwürfel erwärmt, desto größer ist die Leistung der Sonne. Abbildung 3 zeigt den Aufbau unseres Messgeräts. Die Seite des Aluminiumwürfels, auf welche die Sonnenstrahlung trifft, wurde geschwärzt, damit ein Großteil der Strahlung absorbiert wird. Alle anderen Seiten des Aluminiumwürfels sind mit Schaumstoff umgeben, damit keine Wärme nach außen abgegeben wird.



Abbildung 3: Messgerät
(Carmesin et al., 2017)

t in Sekunden	0	100	200	300	400
T in °C	27,4	28,2	29,3	30,2	31,0

Tabelle: Messwerte

Masse <i>m</i>	0,173 kg
Kantenlänge <i>l</i>	4 cm
Spez. Wärmekapazität <i>c</i>	897 $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Tabelle: Daten des Aluminiumwürfels

- a) Berechne die Leistung P der Sonnenstrahlung.
1. Berechne dazu zunächst die gesamte Energiezunahme ΔE während des Experiments aus der Temperaturzunahme ΔT (Tipp: Eine Temperaturzunahme von $1\text{ }^\circ\text{C}$ entspricht auch einer Zunahme von 1 K (Kelvin)).
 2. Berechne anschließend aus diesem Ergebnis die Energiezunahme pro Sekunde (Leistung P).
 3. Berechne schließlich die Leistung pro Quadratmeter ($P_{qm} = \frac{P}{A} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Fläche}}$).
- b) Nenne Gründe, warum der aus unserem Experiment ermittelte Wert höher ist als der Wert für die mittlere Strahlungsleistung der Sonne in Deutschland (115 W/m^2).
- c) Beschreibe, welche Schwierigkeiten bei diesem experimentellen Aufbau bestehen, wenn über einen längeren Zeitraum gemessen wird.

Grundgleichung der Wärmelehre	$\Delta E = Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
Leistung	$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ Einheit: $[P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (Watt)}$
Umrechnung zwischen m^2 und cm^2	$1\text{ cm}^2 = 0,0001\text{ m}^2$

Aufgabe 3

Pappeln werden als schnell wachsende Baumart häufig als regenerative Energiequelle genutzt. Bei einer mittleren Sonneneinstrahlung in Deutschland von 115 W/m^2 wird innerhalb eines Jahres pro Quadratmeter eine Energie von $E = 3\,626,64\text{ MJ}$ aufgewendet. Eine Pappel produziert bei diesen Bedingungen etwa 2 kg Biomasse pro Quadratmeter in einem Jahr. Berechne den Wirkungsgrad der Fotosynthese und nimm dabei an, dass die Biomasse nur aus Kohlenhydraten mit einem Brennwert von $17\,208\text{ kJ/kg}$ besteht.

Wirkungsgrad	$\eta = \frac{\text{in beabsichtigte Energieform umgewandelte Energie}}{\text{insgesamt aufgewendete Energie}}$
--------------	---

Bei Energieumwandlungen, also Prozessen, bei dem Energie von einer Energieform in eine bestimmte andere Energieform überführt wird, lassen sich Wirkungsgrade berechnen. Der Wirkungsgrad beschreibt, zu welchem Anteil die zugeführte bzw. insgesamt aufgewendete Energie in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Um den Wirkungsgrad zu berechnen, teilt man die Energiemenge der gewünschten Energieform, die nach der Umwandlung verfügbar ist durch die insgesamt bei der Umwandlung aufgewendete Energiemenge. Wenn zum Beispiel ein Elektromotor eine elektrische Energie von 19 J aufwendet, um eine Tafel Schokolade anzuheben und die potentielle Energie um 1 J zu erhöhen, wäre der Wirkungsgrad nach der Formel oben $\eta = \frac{1\text{ J}}{19\text{ J}} = 0,05 = 5\%$.

Abbildungen:

- Nuzree (2014). Ohne Titel. Pixabay-Lizenz. <https://pixabay.com/de/photos/bl%C3%A4tter-baum-himmel-ge%C3%A4st-laub-241701/>
- At09kg, Wattle (2016). *Der gesamte Prozess der Fotosynthese*. Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fotosynthese_de.svg
- Kalviškis, K. (2021). *A diagram of a Chloroplast*. Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 international“. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chloroplast-drawing.svg?uselang=de>
- Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Pröhl, I. K., Trumme, T. (2017). *Universum Physik: Niedersachsen G9 9/10*. Cornelsen

Energieumwandlung durch Solarzellen

Die Sonne ist die wichtigste Energiequelle der Erde. Mit Hilfe technischer Erfindungen wie Solarzellen können wir einen Teil der auf der Erde eintreffenden Sonnenstrahlung nutzbar machen. So können mit dem erzeugten elektrischen Strom Alltagsgeräte angetrieben werden.



Abbildung 1: Photovoltaikanlage auf einem Hausdach (ulleo, 2017)

An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- Welche Energieumwandlungen laufen bei einer Solarzelle ab?
- Wie viel Lichtenergie ist durch die Sonneneinstrahlung auf der Erde verfügbar?
- Welchen Wirkungsgrad hat die Umwandlung der Lichtenergie durch die Solarzellen?



Information

Energieumwandlung durch Solarzellen: Die Energie, welche die Solaranlagen umwandeln, kommt von der Sonne. Durch die Größe der Sonne und ihre hohe Temperatur wird eine große Menge Strahlungsenergie freigesetzt, welche die Erde erreicht. Solarzellen wandeln diese Strahlungsenergie in elektrische Energie um. Dies geschieht in den einzelnen Solarzellen einer Solaranlage. Solarzellen bestehen aus zwei verschiedenen Materialien, die übereinander geschichtet sind. Aufgrund der Eigenschaften der beiden Materialien ergibt sich an der Grenze zwischen diesen Materialien ein Bereich, in dem sich ein elektri-

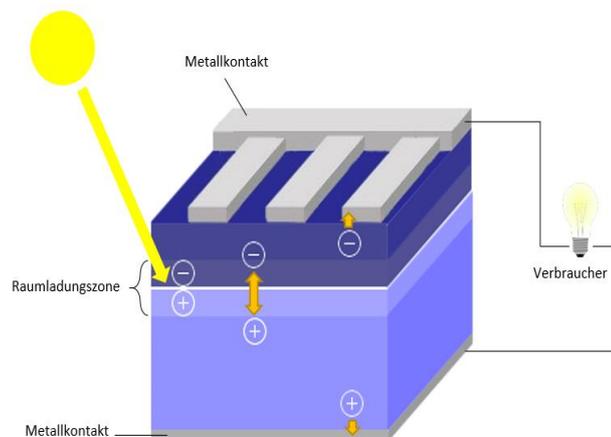
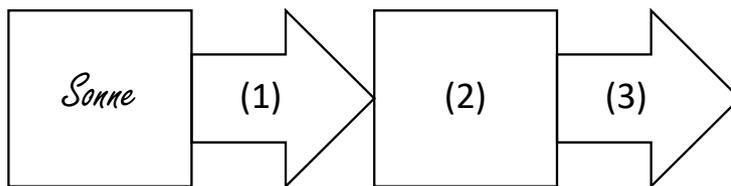


Abbildung 2: Aufbau einer Solarzelle (Kothe, 2020)

ches Feld mit einem negativen und positiven Pol befindet. Dieser Bereich wird Raumladungszone genannt. Wenn nun in diesem Bereich einem Elektron durch energiereiche Sonnenstrahlung Energie zugeführt wird, kann es sich frei bewegen und wandert in Richtung des positiven Pols des elektrischen Feldes (nach oben in Abbildung 2). Durch die Energiezufuhr fließt ein Strom (I) zwischen oberem und unterem Metallkontakt. Eine einzelne Solarzelle erzeugt allerdings nur eine geringe Spannung (U) (z.B. 0,5 V) sowie einen geringen Strom. In Solarmodulen, die auf vielen Dächern zu finden sind, werden einzelne Solarzellen sowohl in Reihe als auch parallel geschaltet, um Stromstärke, Spannung und dementsprechend auch die Leistung ($P = U \cdot I$) zu erhöhen.

Aufgabe 1

Beschreibe die oben beschriebenen Energieumwandlungen mit einer Energieumwandlungskette. Schreibe dabei in die Kästen die Energiewandler und in die Pfeile die Energieformen. Setze die Begriffe *Strahlungsenergie*, *Sonne*, *elektrische Energie*, *Solarzelle* ein.



Aufgabe 2

Wir wollen abschätzen, wie viel Energie pro Zeit in Form von Lichtenergie durch die Sonne auf der Erde verfügbar ist („Strahlungsleistung“). Dafür benutzen wir einen würfelförmigen Aluminiumblock, den wir an einem sonnigen Tag von der Sonne anstrahlen lassen. Durch die in der Sonnenstrahlung enthaltene Lichtenergie wird der Aluminiumwürfel erwärmt. Je schneller sich der Aluminiumwürfel erwärmt, desto größer ist die Leistung der Sonne. Abbildung 3 zeigt den Aufbau unseres Messgeräts. Die Seite des Aluminiumwürfels, auf welche die Sonnenstrahlung trifft, wurde geschwärzt, damit ein Großteil der Strahlung absorbiert wird. Alle anderen Seiten des Aluminiumwürfels sind mit Schaumstoff umgeben, damit keine Wärme nach außen abgegeben wird.



Abbildung 3: Messgerät
(Carmesin et al., 2017)

t in Sekunden	0	100	200	300	400
T in °C	27,4	28,2	29,3	30,2	31,0

Tabelle: Messwerte

Masse m	0,173 kg
Kantenlänge l	4 cm
Spez. Wärmekapazität c	$897 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

Tabelle: Daten des Aluminiumwürfels

- a) Berechne die Leistung P der Sonnenstrahlung.
- Berechne dazu zunächst die gesamte Energiezunahme ΔE während des Experiments aus der Temperaturzunahme ΔT (Tipp: Eine Temperaturzunahme von $1\text{ }^\circ\text{C}$ entspricht auch einer Zunahme von 1 K (Kelvin)).
 - Berechne anschließend aus diesem Ergebnis die Energiezunahme pro Sekunde (Leistung P).
 - Berechne schließlich die Leistung pro Quadratmeter ($P_{qm} = \frac{P}{A} = \frac{\text{Leistung}}{\text{Fläche}}$).
- b) Nenne Gründe, warum der aus unserem Experiment ermittelte Wert höher ist als der Wert für die mittlere Strahlungsleistung der Sonne in Deutschland (115 W/m^2).
- c) Beschreibe, welche Schwierigkeiten bei diesem experimentellen Aufbau bestehen, wenn über einen längeren Zeitraum gemessen wird.

Grundgleichung der Wärmelehre	$\Delta E = Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
Leistung	$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$ Einheit: $[P] = \frac{\text{J}}{\text{s}} = \text{W (Watt)}$
Umrechnung zwischen m^2 und cm^2	$1\text{ cm}^2 = 0,0001\text{ m}^2$

Aufgabe 3

Solarzellen werden häufig von Privatpersonen auf Hausdächern installiert, um den erzeugten elektrischen Strom im Haushalt zu nutzen. Eine Photovoltaikanlage auf einem Dach mit einer Fläche von 35 m^2 liefert in einem Jahr elektrische Energie von 12600 MJ . Berechne den Wirkungsgrad der Anlage, wenn durch die mittlere Strahlungsleistung der Sonne von 115 W/m^2 eine Energie von 3630 MJ pro Quadratmeter aufgewendet wird.

Wirkungsgrad	$\eta = \frac{\text{in beabsichtigte Energieform umgewandelte Energie}}{\text{insgesamt aufgewendete Energie}}$
--------------	---

Bei Energieumwandlungen, also Prozessen, bei dem Energie von einer Energieform in eine bestimmte andere Energieform überführt wird, lassen sich Wirkungsgrade berechnen. Der Wirkungsgrad beschreibt, zu welchem Anteil die zugeführte bzw. insgesamt aufgewendete Energie in die gewünschte Energieform umgewandelt wird. Um den Wirkungsgrad zu berechnen, teilt man die Energiemenge der gewünschten Energieform, die nach der Umwandlung verfügbar ist durch die insgesamt bei der Umwandlung aufgewendete Energiemenge. Wenn zum Beispiel ein Elektromotor eine elektrische Energie von 19 J aufwendet, um eine Tafel Schokolade anzuheben und die potentielle Energie um 1 J zu erhöhen, wäre der Wirkungsgrad nach der Formel oben $\eta = \frac{1\text{ J}}{19\text{ J}} = 0,05 = 5\%$.

Abbildungen:

- Ulleo (2017). Ohne Titel. Pixabay Lizenz. <https://pixabay.com/de/photos/solaranlage-dach-stromerzeugung-2939551/>
- Kothe, M. (2020) Solarzellen – das zentrale Element einer Solaranlage. Solaranlage.de. <https://www.solaranlage.de/technik/solarzellen>
- Carmesin, H.-O., Kahle, J., Konrad, U., Pröhl, I. K., Trumme, T. (2017). *Universum Physik: Niedersachsen G9 9/10*. Cornelsen

Tiere im Winter

Im Winter sinken die Temperaturen und Tiere, die in der Natur leben, müssen dafür sorgen, dass ihnen warm genug ist. Denn sollten die Körpertemperaturen sinken, drohen lebenserhaltende Funktionen des Körpers auszufallen.



Abbildung 1: Eichhörnchen im Winter
(plsdk, 2021)

An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- **Wie kann man das Phänomen der Wärmeleitung erklären?**
- **Wie schnell wird Wärme durch Wärmeleitung abgegeben und welchen Einfluss hat die Temperatur des kalten Mediums?**



Information

Im Winter wird es draußen wieder kälter. Für viele Tiere, die draußen leben, kann das zu einem Problem werden. Denn damit lebenswichtige Funktionen des Körpers aufrechterhalten werden können, muss die Körpertemperatur bei gleichwarmen Tieren stets etwa 37°C betragen. Eine hierfür wichtige Voraussetzung ist, dass möglichst wenig Wärme vom Körper des Tieres an die Umgebungsluft abgegeben wird. Dafür haben Tiere im Winter ein besonders dickes Fell, welches eine sehr hohe Wärmedämmung ermöglicht. Aber egal wie dick und wie gut die Wärmedämmung des Fells ist, es wird immer ein Teil der Wärme des Tieres an die Umgebung abgegeben. Damit die Körpertemperatur im Inneren des Tieres gleich bleibt, muss „geheizt“ werden. Beispielsweise wird durch die Umwandlung von chemischer Energie zu Bewegungsenergie von Muskeln auch Wärme frei (Zittern). Es gibt aber auch das braune Fettgewebe, welches besonders bei kleineren Tieren vorhanden ist. Die Zellen des braunen Fettgewebes sind in der Lage, die chemische Energie des Fetts direkt in Wärme umzuwandeln und so die Körpertemperatur beizubehalten. Allerdings brauchen Tiere einen größeren Fettvorrat, je kälter es ist. Im Folgenden wollen wir genauer verstehen, wie Wärme nach außen abgegeben wird und warum der Körper der Tiere mehr „heizen“ muss, je kälter es ist.



Aufgabe 1

Die Körperwärme der Tiere gelangt zu einem gewissen Teil über Wärmeleitung in die Umgebung. Diese ständige Wärmeleitung wird verursacht durch den Temperaturunterschied zwischen Umgebungsluft und Körpertemperatur. Im Teilchenmodell lässt sich Wärmeleitung dadurch erklären, dass sich Teilchen in wärmeren Regionen aufgrund ihrer höheren Energie schneller bewegen als Teilchen in kalten Regionen. Wenn die Teilchen in thermischem Kontakt stehen, geben die schnellen Teilchen durch Stöße einen Teil ihrer Energie an Teilchen mit geringerer Energie ab.

- Erkläre den Vorgang von Abbildung 2 (oben) zu Abbildung 2 (unten) anhand der Wärmeleitung im Teilchenmodell.
- Beschreibe, wie sich die Teilchen nach einer sehr langen Zeit bewegen würden.
- Die Haut der Tiere ist warm und diese Wärme fließt an die Luft um sie herum ab. Die feinen Haare im Fell der Tiere schließen die erwärmte Luftschicht ein, sodass sie am Körper bleibt und nicht vom Wind weggeweht wird. Dennoch ist die erwärmte Luft in Kontakt mit der kalten Umgebungsluft und durch Wärmeleitung wird Wärme weiterhin abgegeben. Da aber Luft nur sehr schlecht Wärme leitet, wird nur sehr wenig Wärme abgegeben und die Tiere sind gut isoliert. Begründe anhand des Teilchenmodells, warum Luft und allgemein gasförmige Stoffe schlechtere Wärmeleiter als flüssige und feste Stoffe sind (Abbildung 3).

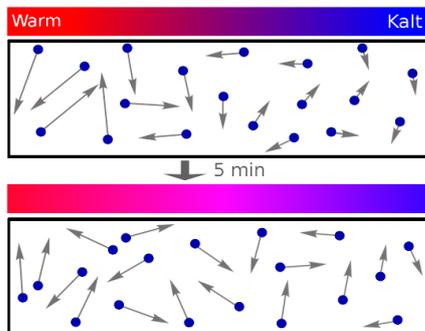


Abbildung 2: Wärmeleitung im Teilchenmodell

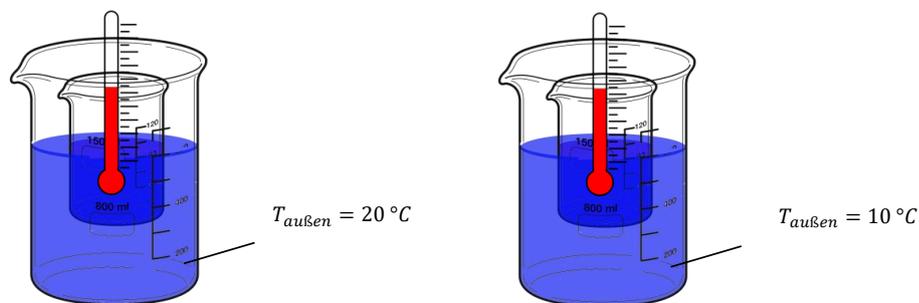


Abbildung 3: Aggregatzustände im Teilchenmodell (ZSL, 2021)

Aufgabe 2

Wir wollen untersuchen, wie sich die Wärmeabgabe und damit der Energiebedarf für Tiere bei kälteren Außentemperaturen verändert.

Experiment: Zwei kleine Bechergläser werden jeweils mit 50 ml Wasser bei Körpertemperatur (37 °C) gefüllt. Die beiden großen Bechergläser werden einmal mit kaltem Wasser (10 °C) und Wasser bei Raumtemperatur (20 °C) gefüllt. Die kleinen Bechergläser werden nun vorsichtig in die großen Bechergläser gestellt, sodass sie in dem Wasserbad schwimmen. Über einen Zeitraum von 4 Minuten wird alle 30 Sekunden die Temperatur in den beiden kleinen Bechergläsern gemessen.



- a) Mit dem Modellversuch wollen wir die Wärmeübertragung von Lebewesen genauer betrachten. Erläutere, was mit dem Versuchsaufbau gezeigt werden soll und wofür die einzelnen Bechergläser im Realexperiment stehen.

In den Tabellen und im Diagramm sind die Messwerte für die Temperaturen in den beiden kleinen Bechergläsern dargestellt. Bearbeite auf dieser Grundlage die folgenden Aufgaben.

- b) Beschreibe die Unterschiede zwischen den beiden Temperaturverläufen. Wann ist die Wärmeübertragung pro Zeit an die Umgebung am größten und wann am niedrigsten? Warum ist zur Betrachtung der realen Situation vor allem die Steigung des Temperaturverlaufs an der Stelle $t = 0$ s wichtig?
- c) Erläutere, was mit der Körpertemperatur im Winter passieren würde, wenn dieselbe Energiemenge pro Zeit zur Erwärmung genutzt würde wie im Sommer.

Tabelle 1: Messwerte für $T_{\text{außen}} = 20\text{ °C}$

Zeit t in Sekunden	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur T in °C	37,0	29,9	25,8	23,4	22,0	21,1	20,7	20,4	20,2

Tabelle 2: Messwerte für $T_{\text{außen}} = 10\text{ °C}$

Zeit t in Sekunden	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur T in °C	37,0	25,7	19,2	15,4	13,1	11,8	11,1	10,6	10,4

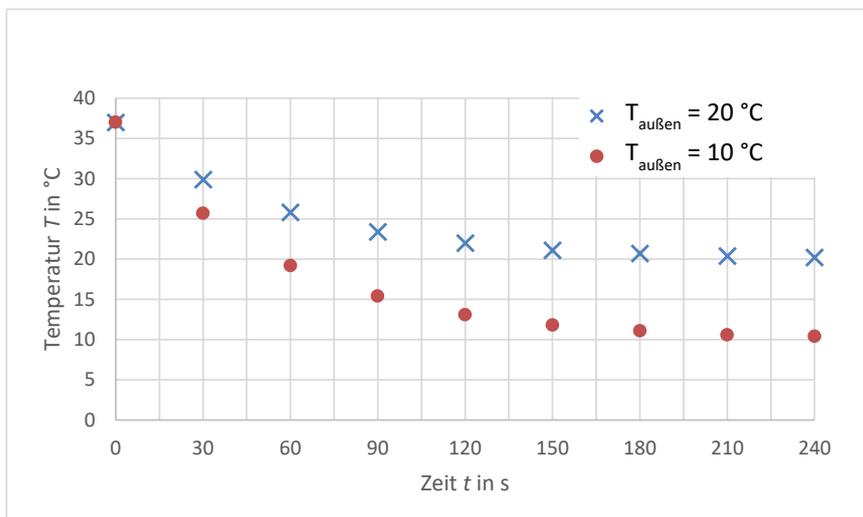


Abbildung 4: Messdaten im Diagramm

Abbildungen:

- Plsdk (2021).Ohne Titel. Pixabay Lizenz. <https://pixabay.com/de/photos/eichh%c3%b6rnchen-nagetier-schnee-winter-7008880/>
- Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (2021). Aggregatzustände. Alle Rechte vorbehalten. https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matna-tech/chemie/gym/bp2004/fb2/modul2/aggregat/

Heizen im Winter

Im Winter sinken die Temperaturen und wir müssen in unseren Häusern dafür sorgen, dass uns warm genug ist. Damit das funktioniert, muss zum einen geheizt werden und zum anderen müssen geeignete Materialien zur Dämmung eingesetzt werden.



Abbildung 1: Wohnhaus im Winter (Bechert, 2017)

An dieser Station wollen wir folgende Fragen untersuchen:

- **Wie kann man das Phänomen der Wärmeleitung erklären?**
- **Wie schnell wird Wärme durch Wärmeleitung abgegeben und welchen Einfluss hat die Temperatur des kalten Mediums?**



Information

Im Winter wird es draußen wieder kälter, in unserer Wohnung soll es aber weiterhin warm bleiben. Um nicht zu frieren, möchten wir meist eine Temperatur von über 20° beibehalten. Damit das funktioniert, müssen wir schon beim Bau des Hauses darauf achten, dass möglichst wenig Wärme über die Oberfläche an die Umgebungsluft draußen abgegeben wird. Ein wichtiger Faktor hierfür ist die Dämmung der Außenwände. Meist wird eine etwa 15 cm dicke Schicht mit Styropor-ähnlichem Material verwendet, um hier eine möglichst gute Wärmedämmung zu erzielen. Der Großteil der Wärme wird über die Fenster an die Umgebung abgegeben. Früher hat man aus diesem Grund nur wenige Fenster überhaupt ins Haus eingebaut. Heute sind die Fenster besser isoliert, sodass immer größere Fensterfronten möglich sind. Aber auch bei besserer Wärmedämmung kann nicht verhindert werden, dass Wärme aus dem Inneren des Hauses an die Umgebung abgegeben wird. Wir müssen, um im Inneren eine gleichbleibende Temperatur zu behalten, die Wohnung beheizen. Dafür nutzen wir Energieträger wie Erdgas, Heizöl oder Holz. Die dort gespeicherte chemische Energie wird durch eine Verbrennung in der Heizung in thermische Energie umgewandelt. Im Folgenden wollen wir genauer verstehen, wie Wärme nach außen abgegeben wird und warum wir mehr heizen müssen, je kälter es wird.



Aufgabe 1

Die Wärme im Inneren des Hauses gelangt zu einem gewissen Teil über Wärmeleitung in die Umgebung. Diese ständige Wärmeleitung wird verursacht durch den Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen. Im Teilchenmodell lässt sich Wärmeleitung dadurch erklären, dass sich Teilchen in wärmeren Regionen aufgrund ihrer höheren Energie schneller bewegen als Teilchen in kalten Regionen. Wenn die Teilchen in thermischem Kontakt stehen, geben die schnellen Teilchen durch Stöße einen Teil ihrer Energie an Teilchen mit geringerer Energie ab.

- Erkläre den Vorgang von Abbildung 2 (oben) zu Abbildung 2 (unten) anhand der Wärmeleitung im Teilchenmodell.
- Beschreibe, wie sich die Teilchen nach einer sehr langen Zeit bewegen würden.
- Die Luft im Haus ist warm und diese Wärme fließt zu dem Dämmmaterial in der Hauswand. Das Dämmmaterial ist so konstruiert, dass es viele kleine Luftbläschen einschließt. Es werden zunächst die Luftbläschen erwärmt, die dichter an der warmen Luft im Inneren des Hauses sind. Da Luft aber nur sehr schlecht die Wärme leitet, fließt die Wärme nur sehr langsam zu den äußeren Luftbläschen bis schließlich die Wärme an die Umgebung außerhalb des Hauses abgegeben wird. Begründe anhand des Teilchenmodells, warum Luft und allgemein gasförmige Stoffe schlechtere Wärmeleiter als flüssige und feste Stoffe sind (Abbildung 3).

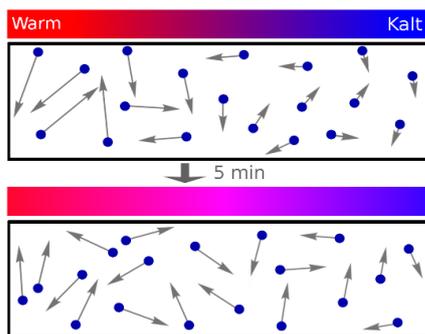


Abbildung 2: Wärmeleitung im Teilchenmodell

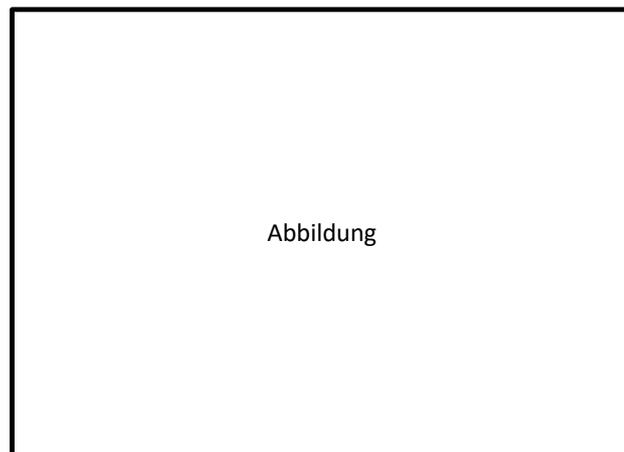
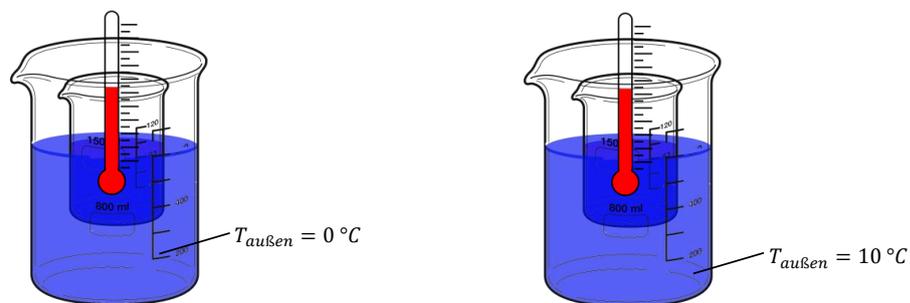


Abbildung 3: Aggregatzustände im Teilchenmodell (ZSL, 2021)

Aufgabe 2

Wir wollen untersuchen, wie sich die Wärmeabgabe und damit der Energiebedarf zum Heizen des Hauses bei kälteren Außentemperaturen verändert.

Experiment: Zwei kleine Bechergläser werden jeweils mit 50 ml Wasser bei Raumtemperatur (20 °C) gefüllt. Die beiden großen Bechergläser werden einmal mit eiskaltem Wasser (0 °C) und kaltem Wasser (10 °C) gefüllt. Die kleinen Bechergläser werden nun vorsichtig in die großen Bechergläser gestellt, sodass sie in dem Wasserbad schwimmen. Über einen Zeitraum von 4 Minuten wird alle 30 Sekunden die Temperatur in den beiden kleinen Bechergläsern gemessen.



- a) Mit dem Modellversuch wollen wir die Wärmeübertragung bei einem Haus genauer betrachten. Erläutere, was mit dem Versuchsaufbau gezeigt werden soll und wofür die einzelnen Bechergläser im Realexperiment stehen.

In den Tabellen und im Diagramm sind die Messwerte für die Temperaturen in den beiden kleinen Bechergläsern dargestellt. Bearbeite auf dieser Grundlage die folgenden Aufgaben.

- b) Beschreibe die Unterschiede zwischen den beiden Temperaturverläufen. Wann ist die Wärmeübertragung pro Zeit an die Umgebung am größten und wann am niedrigsten? Warum ist zur Betrachtung der realen Situation vor allem die Steigung des Temperaturverlaufs an der Stelle $t = 0\text{ s}$ wichtig?
- c) Erläutere, was im Winter mit der Temperatur im Inneren des Hauses passieren würde, wenn dieselbe Energiemenge pro Zeit zum Heizen genutzt würde wie im Herbst.

Tabelle 1: Messwerte für $T_{\text{außen}} = 0\text{ °C}$

Zeit t in Sekunden	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur T in °C	20	11,7	6,8	4,0	2,3	1,3	0,8	0,5	0,3

Tabelle 2: Messwerte für $T_{\text{außen}} = 10\text{ °C}$

Zeit t in Sekunden	0	30	60	90	120	150	180	210	240
Temperatur T in °C	20	15,8	13,4	12,0	11,2	10,7	10,4	10,2	10,1

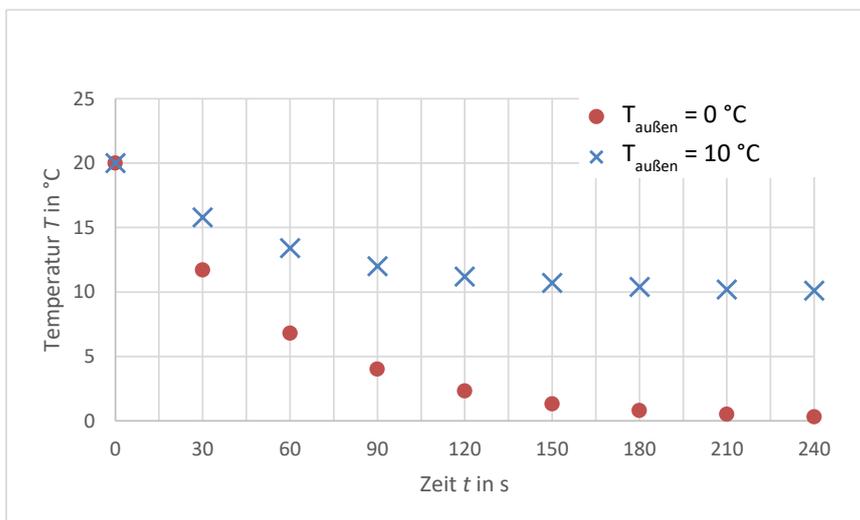


Abbildung 4: Messwerte im Diagramm

Abbildungen:

- Bechert, S. (2017). *Warm open winter house*. Unsplash Lizenz. <https://unsplash.com/photos/vFV39g6AZ5o>
- Zentrum für Schulqualität und Lehrerbildung (2021). *Aggregatzustände*. https://lehrerfortbildung-bw.de/u_matnatech/chemie/gym/bp2004/fb2/modul2/aggreat/

G Publikationen und Vorträge

Publikationen:

- Lewing, J., & Schneider, S. (2018). Das Schulbuch im fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht: Eine vergleichende empirische Analyse. In V. Nordmeier & H. Grötzebach (Chairs), *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung, Würzburg 2018*.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2019). Sachstrukturen in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts: Kookkurenanzalyse von Fachbegriffen der naturwissenschaftlichen Fächer. In C. Maurer (Ed.), *Naturwissenschaftliche Bildung als Grundlage für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik Jahrestagung in Kiel 2018* (pp. 723–726). Regensburg: Universität Regensburg.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2021). Design und Pilotierung einer Interessenstudie zu Energie in biologischen und technischen Kontexten. In S. Habig (Ed.), *Naturwissenschaftlicher Unterricht und Lehrerbildung im Umbruch? Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2020*. Universität Duisburg-Essen.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2022). Interessenstudie - Energie in biologischen und technischen Kontexten. In S. Habig (Ed.), *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik online Jahrestagung 2021*. Universität Duisburg-Essen.
- Lewing, J., Klein, P., & Schneider, S. (in Vorb.). Wirkung biologischer und technischer Kontexte auf das situationale Interesse von Schülerinnen und Schüler beim Bearbeiten physikalischer Lernaufgaben zum Energiekonzept. Tbd.

Vorträge:

- Lewing, J., & Schneider, S. (2018). Das Schulbuch im fächerübergreifenden naturwissenschaftlichen Unterricht: Eine vergleichende empirische Analyse. DPG-Frühjahrstagung. Würzburg.

- Lewing, J., & Schneider, S. (2021). Interessenstudie - Energie in biologischen und technischen Kontexten. GDCP Jahrestagung. Online.

Wissenschaftliche Poster:

- Lewing, J., & Schneider, S. (2018). Sachstrukturen in Schulbüchern des getrennten und integrierten naturwissenschaftlichen Unterrichts. ZeUS Forschungstag. Göttingen.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2018). Sachstrukturen in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts: Kookkurenzanalyse von Fachbegriffen der naturwissenschaftlichen Fächer. GDCP Jahrestagung. Kiel.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2019). Elementarisierung des Energiekonzepts in Schulbüchern des naturwissenschaftlichen Unterrichts. DPG Frühjahrstagung. Aachen.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2019). Planung eines Studiendesigns: Wirksamkeit interdisziplinärer Kontexte auf das Lernen des Energiekonzepts. ZeUS Forschungstag. Göttingen.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2020). Design und Pilotierung einer Interessenstudie zu Energie in biologischen und technischen Kontexten. GDCP Jahrestagung. Online.
- Lewing, J., & Schneider, S. (2021). Messung akademischen Vokabulars in naturwissenschaftlichen Schulbüchern mittels Random Forest Klassifikation. GDCP Schwerpunktstagung: Maschinelles Lernen und computerbasierte Textanalysen: Potentiale und Herausforderungen für die Naturwissenschaftsdidaktik. Online.

H Danksagung

An dieser Stelle möchte ich die Gelegenheit nutzen, um mich bei einigen Personen zu bedanken, die mich auf meinem bisherigen Weg bis zur Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben.

Zunächst möchte ich mich bei Prof. Dr. Susanne Schneider für das große Vertrauen, welches mir während der Promotionszeit entgegen gebracht wurde, die Unterstützung sowie die herzliche und persönliche Zusammenarbeit bedanken. Daneben möchte ich auch der weiteren Arbeitsgruppe meinen Dank für die gemeinsame lehrreiche und schöne Zeit aussprechen. Insbesondere Arne und Jasper danke ich für richtungsweisende Diskussionen und auch Ronja, Larissa und Simon bin ich dankbar, dass sie immer ein offenes Ohr hatten und mir mit Ratschlägen zur Seite standen. Bei Prof. Dr. Pascal Klein möchte ich mich ebenfalls für die vielen hilfreichen Anregungen bedanken.

Ich möchte darüber hinaus Prof. Dr. Thomas Waitz für die Übernahme des Zweitgutachtens und die Unterstützung im Betreuungsausschuss danken. Diesbezüglich möchte ich mich auch bei Prof. Dr. Stefan Dreizler für die Betreuung bedanken.

Ohne die Bereitschaft der Lehrerinnen und Lehrer, sowie der Schülerinnen und Schüler zur Teilnahme an der Studie wäre die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen. Hierfür bin ich sehr dankbar und möchte André für seinen großen Einsatz danken.

Ich danke meiner Familie für die Unterstützung in jeder Hinsicht, welche ich während meines Studiums erfahren durfte. Auch meinen Freunden möchte ich danken, dass sie die gemeinsame Zeit in Göttingen so unvergesslich gemacht haben und mir dadurch geholfen haben, auch schwierige Phasen zu meistern. Insbesondere Gunnar möchte ich für das Korrekturlesen der Arbeit danken. Schließlich möchte ich Melli dafür danken, dass sie mich die Jahre der Promotion so sehr unterstützt hat und mir geholfen hat, Schritte zu wagen und über meinen Schatten zu springen.