



Universität
Bremen

Universität Bremen
Fachbereich 01 - Physik / Elektrotechnik

Die Entwicklung der Aufgabenkultur über ein Jahrhundert Physikschulbücher.

Master Thesis zur Erlangung des akademischen Grads
Master of Education (M. Ed.)
in Physik

Gutachter:innen:

Prof. Dr. Christoph Kulgemeyer
M. Ed. Melissa Costan

Vorgelegt von:

Marten Michael

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

E-Mail: marmicha@uni-bremen.de

Bremen, 30. Oktober 2024

Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein literaturbasiertes Kategoriensystem entwickelt, das zur Analyse von Aufgaben aus dem Themenbereich der mechanischen Schwingungen mehrerer Physikschulbücher aus dem Zeitraum zwischen 1911 und 2020 einer Verlagsreihe genutzt wurde. Mithilfe von Einstufungen verschiedener Merkmale der Kategorien Textverständlichkeit, Kontextualisierung, Antwortformat, Offenheit von Aufgaben, Art von Lösungswegen und Anforderungen an Lernende wurden Rückschlüsse auf die Entwicklung der Aufgabenkultur im Zeitablauf gezogen. Darüber hinaus wurde untersucht, wie sich die Einbettung der Aufgaben in den Schulbüchern verändert und inwiefern Aufgaben mehrfach über die Auflagen verwendet werden. Es konnte festgestellt werden, dass ein Großteil der Aufgaben in neueren Ausgaben aus älteren Auflagen stammt und häufig ohne inhaltliche Veränderungen übernommen wird. Zunehmender Wert wird dabei allerdings auf die lernförderliche Einbettung der Aufgaben ins Buch gelegt. Anregende Zusätze oder Kontextualisierungen werden in den analysierten Aufgaben kaum genutzt. Hinsichtlich der Anforderungsmerkmale bei der Beantwortung von Aufgaben unterliegen einige im zeitlichen Verlauf Veränderungen, andere verzeichnen durchgehend hohe oder geringe Bedeutungen.

Abstract

In this master's thesis, a literature-based category system was developed that was used to analyse exercises from the subject area of mechanical vibrations in several physics schoolbooks from one publishing series between 1911 and 2020. By classifying various characteristics of the categories text comprehensibility, contextualisation, answer format, openness of exercises, types of solution and demands on learners, conclusions were drawn about the development of the exercise culture over time. In addition, it was analysed how the embedding of the tasks in the schoolbooks changes and to what extent exercises are used repeatedly over the editions. It was found that the majority of exercises in newer editions originate from older editions and are often adopted without any changes in content. However, increasing emphasis is being placed on embedding the tasks in the book in a way that promotes learning. Stimulating additions or contextualisation are hardly used in the exercises analysed. Regarding the requirements for answering exercises, various features are subject to change over time, while others are of consistently high or low importance.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Theoretische Grundlagen	2
2.1	Schulbücher und Schulbuchforschung	2
2.1.1	Begriff und Funktionen des Schulbuchs	2
2.1.2	Historische Entwicklung	3
2.1.3	Schulbuchbezogene Forschung	6
2.2	Aufgaben im Physikunterricht	7
2.3	Forschung zur Analyse von Aufgaben	11
2.3.1	Das Modell von Fischer und Draxler (2002)	12
2.3.2	Das überarbeitete Modell von Fischer und Draxler (2007)	13
2.4	Textverständlichkeit	15
3	Forschungsfragen	17
4	Methodik	19
4.1	Kategoriensystem zur Analyse der Schulbuchaufgaben	19
4.1.1	Schulbuchbezug	19
4.1.2	Antwortformat, Lösungswege und Kontexte	20
4.1.3	Anforderungsmerkmale	21
4.1.4	Textverständlichkeit	28
4.2	Vorgehen bei der Datenanalyse	33
4.3	Beschreibung der Schulbücher als Untersuchungsmaterial	35
5	Ergebnisse	40
5.1	Einbettung der Aufgaben in die Schulbücher	40
5.2	Übernahme von Aufgaben aus älteren Auflagen	45
5.3	Auswertungen des Analysebogens	49
5.3.1	Ergebnisse zur Textverständlichkeit	50
5.3.2	Ergebnisse zu Kontexten	59
5.3.3	Ergebnisse zu Antwortformaten und Lösungswegen von Aufgaben .	60
5.3.4	Ergebnisse zu den Anforderungsmerkmalen	63
6	Limitationen	73
7	Fazit	75

Abbildungsverzeichnis

1	Die einzige Aufgabe zu mechanischen Schwingungen im Schulbuch von 1949.	41
2	Aufgabeneinbettung im Schulbuch von 1966.	41
3	Aufgabeneinbettung im Schulbuch von 1988.	42
4	Aufgabeneinbettung in den Schulbüchern von 1998 (links), 2007 und 2020 (rechts).	43
5	Darstellung der Aufgabenherkunft in den Schulbuchausgaben.	46
6	Qualitative Veränderungen bei übernommenen Aufgaben	48
7	Durchschnittliche Anzahl der Wörter pro Satz in den Aufgaben der verschiedenen Auflagen.	50
8	Verwendung einfacher und komplizierter Satzstrukturen in den Auflagen. .	51
9	Verwendung aktiver und passiver Sprache in den Auflagen.	52
10	Verwendung von Hervorhebungen in den Aufgaben der verschiedenen Auflagen.	53
11	Strukturierung durch Absätze	53
12	Verwendung von Teilaufgaben (links) und deren Abgrenzung voneinander (rechts) in den verschiedenen Auflagen.	54
13	Durchschnittliche Satzlängen aller Aufgaben im Vergleich mit neuen Aufgaben.	55
14	Verwendung von einfachen und komplizierten Satzstrukturen im Vergleich mit aktiver und passiver Sprache in den neuen Aufgaben der Auflagen. . . .	56
15	Gesamteinschätzungen zur sprachlichen Einfachheit der Aufgaben in den neuen Auflagen.	57
16	Verwendung von Hervorhebungen und strukturierenden Absätzen in den neuen Aufgaben der Auflagen.	57
17	Verwendung von Teilaufgaben (links) und deren Abgrenzung voneinander (rechts) in den neuen Aufgaben der Auflagen.	58
18	Verwendung von Kontexten in den verschiedenen Auflagen.	59
19	Antwortformate in der zeitlichen Entwicklung.	60
20	Offenheit der Lösungswege in der zeitlichen Entwicklung.	61
21	Arten der Lösungswege in der zeitlichen Entwicklung.	62
22	Durchschnittliche Gesamtscores der Anforderungsmerkmale im Zeitablauf.	64
23	Bedeutung des <i>qualitativen Begriffsverständnisses</i> in den Aufgaben.	65
24	Bedeutung der <i>Rechenfertigkeiten</i> in den Aufgaben.	65
25	Bedeutung der <i>Interpretation von Diagrammen</i> in den Aufgaben.	66
26	Bedeutung des <i>visuellen Vorstellungsvermögens</i> in den Aufgaben.	67
27	Bedeutung der <i>Problemlösefähigkeiten</i> in den Aufgaben.	67
28	Bedeutung des <i>Verständnisses formalisierter Gesetze</i> in den Aufgaben. . . .	68

29	Bedeutung des <i>Verständnisses für funktionale Zusammenhänge</i> in den Aufgaben.	69
30	Bedeutung des <i>Verständnisses für symbolische Zeichnungen</i> in den Aufgaben.	69
31	Bedeutung der <i>Überwindung von Fehlvorstellungen</i> in den Aufgaben. . . .	70
32	Bedeutung des <i>divergenten Denkens</i> in den Aufgaben.	72

1 Einleitung

Der Schulunterricht ist ohne den Einsatz von Aufgaben kaum vorstellbar. Sie initiieren Lern- und Interaktionsprozesse der Lernenden, segmentieren und strukturieren Unterrichtsinhalte. Über Aufgabenangebote, die in Methoden und Verfahren des Unterrichts eingewoben werden, können Lehrkräfte unterrichtliche Ziele verfolgen oder durch Leistungskontrollen Lernfortschritte der Schülerschaft evaluieren (Maier, Bohl, Kleinknecht & Metz, 2013, S. 9). Der Einsatz guter Aufgaben ist folglich ein Qualitätskriterium für Unterricht, das durch eine Vielzahl von Faktoren wie der Lerngruppe oder der Unterrichtsphase beeinflusst wird (Kauertz & Fischer, 2020, S. 452). Die Erforschung und Weiterentwicklung von schulischen Aufgaben stellt somit ein wichtiges Thema der allgemeinen und fachbezogenen Didaktik dar. Damit verbunden nehmen auch Schulbücher als bedeutsamstes unterrichtliches Lehrmittel einen wichtigen Stellenwert ein (Fuchs, Niehaus & Stoletzki, 2014, S. 12 f.). Sie können nicht nur Lehrkräfte bei der Planung von Unterricht unterstützen, sondern darüber hinaus Schüler:innen mit dem Lernstoff interagieren lassen. Aufgaben sind dabei eine der Möglichkeiten, die Auseinandersetzung mit Buchinhalten anzuregen. Aufgabenanalysen in Schulbüchern sind in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung bisher dennoch von untergeordneter Bedeutung (Bölsterli Bardy, 2015, S. 13 f.). Dies gilt insbesondere für die Entwicklung der Aufgabenkultur über längere Zeiträume, da der Fokus der Forschung auf der Analyse von aktuell eingesetzten Schulbüchern liegt. Eine Analyse von längerfristigen Veränderungen bei Schulbuchaufgaben kann jedoch unter anderem Rückschlüsse auf fachliche Neuerungen, die Entwicklung didaktischer Konzepte oder die Anpassung an neue bildungspolitische Vorgaben liefern. Dafür ist es sinnvoll, ähnlich konzipierte Schulbücher im zeitlichen Verlauf zu analysieren, um Unterschiede auf die angesprochenen Einflussfaktoren zurückführen zu können. Schulbuchverlage, die ihre Bücher im Verlauf der Zeit neu auflegen, sind insofern eine geeignete Quelle für solche Untersuchungen. Vor diesem Hintergrund zielt die vorliegende Arbeit darauf ab, einen Beitrag zum Verständnis der Entwicklung von Lehrmaterialien zu leisten. Durch die Analyse der Aufgabenkultur in einer Verlagsreihe von zehn Physikschulbüchern aus einer Zeitspanne von mehr als hundert Jahren wird für den Themenbereich der mechanischen Schwingungen untersucht, wie Aufgaben im zeitlichen Verlauf in die Bücher eingebettet werden. Darüber hinaus wird nachvollzogen, auf welche Weise der Verlag Aufgaben wiederholt verwendet. Die Aufgaben selbst werden anhand ausgewählter Kriterien im Hinblick auf Textverständlichkeit, Kontextverwendung, Antwortformate, Lösungsarten und Anforderungsmerkmale analysiert und über Zusammenstellungen über die Buchreihe verglichen. Die Umsetzung dieses Vorhabens erfolgt über die Entwicklung eines literaturbasierten Kategoriensystems. Für dieses werden im nachfolgenden Teil die theoretischen Grundlagen beschrieben, bevor die Forschungsfragen vorgestellt werden. In einem anschließenden Methodenteil wird auf Basis der vorgestellten Literatur das Kategoriensystem auf das Vorhaben dieser Arbeit angepasst und ein Analysebogen für die Einschätzung der Aufgaben entwickelt. Im Anschluss daran folgt eine Vorstellung des Untersuchungsmaterials. Der folgende

Ergebnisteil präsentiert die Auswertungen der Aufgabenanalysen, die im weiteren Verlauf kritisch eingeordnet und einem Fazit zugeführt werden.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Schulbücher und Schulbuchforschung

2.1.1 Begriff und Funktionen des Schulbuchs

Schulbücher sind vorwiegend für Unterrichtszwecke verfasste Lehr-, Lern- und Arbeitsmittel, die in Buch- oder Broschüreform, aber auch in Form von Loseblattsammlungen vorliegen können, die den Lernstoff einer Jahrgangsstufe enthalten. Sie stehen als Textart zwischen dem Sachbuch und dem wissenschaftlichen Fachbuch und dienen als didaktische Medien der Planung, Einleitung, Unterstützung und Evaluation schulischer Lernprozesse, wobei sie durch zusätzliche Unterrichtsmedien wie beispielsweise Arbeitsblätter oder die Tafel ergänzt werden (Wiater, 2003, S. 12). Als Lehrmittel kann das Schulbuch insbesondere heutzutage aufgrund des technologischen Fortschritts neben Unterstützung auch Konkurrenz durch E-Learning-Angebote oder multimediale Lernumgebungen finden. Studien weisen dem Schulbuch allerdings nach wie vor eine herausragende Bedeutung unter den Lehrmitteln für das schulische Lernen zu (Fuchs et al., 2014, S. 12 f.). Moderne Schulbücher stellen das Ergebnis pädagogisch-didaktischer Überlegungen zur Gestaltung dieser schulischen Lernprozesse dar, sind dabei allerdings eingebettet in einen politischen und gesellschaftlich-ökonomischen Rahmen. So beschreibt Wiater (2003) das Durchlaufen eines staatlichen Zulassungsverfahrens als konstituierendes Merkmal eines Schulbuchs. Die in diesem Sinne von den Kultusministerien der Bundesländer eingerichteten Prüfverfahren bringen die im Grundgesetz geregelte Aufsicht des Staates über das Schulwesen zum Ausdruck und kontrollieren im Wesentlichen die Verfassungs- und Gesetzeskonformität, die Altersangemessenheit, die Passung zum Lehrplan sowie die Beachtung aktueller fachwissenschaftlicher und didaktischer Forschung. Weitere Kriterien können beispielsweise die Preiswürdigkeit, formale und sprachliche Gestaltung sowie die Gleichbehandlung von Geschlechtern oder Ethnien sein (Wiater, 2003, S. 13). Aktuelle Entwicklungen zeigen dagegen einen Trend zur Liberalisierung solcher Zulassungsverfahren. So erklären Fuchs et al. (2014, S. 18) die Einstellung respektive Einschränkung dieser Verfahren in mehreren Bundesländern mit curricularen Reformen, die einen stärkeren Fokus auf Bildungsstandards und Kompetenzziele in eher offenen Kerncurricula legen und die inhaltliche Umsetzung und Wahl passender Schulbücher zunehmend der lokalen Schulebene überlassen. Auf diese Entscheidungen nimmt der öffentliche Diskurs über in den Schulen zu vermittelnde gesellschaftliche Werte und Bildungsinhalte Einfluss. Dieser wird von vielfältigen Akteuren wie Politiker:innen, Wissenschaftler:innen, Eltern oder Lehrkräften geführt und ist daher über die Zeit Veränderungen unterworfen (Fuchs et al., 2014, S. 15 ff.). Dabei nehmen Schulbuchverlage als Bindeglied zwischen politischen

Vorgaben und gesellschaftlichen Erwartungen sowie deren unterrichtlichen Umsetzungen ebenfalls eine wichtige Rolle ein. Sie müssen in ihren wirtschaftlichen Erwägungen unter anderem die Kosten für die Einbindung neuen Wissens, die Lebensdauer eines Schulbuchs sowie dessen voraussichtliche Auflagenhöhe kalkulieren, wenn sie neue oder überarbeitete Werke auf den Markt bringen wollen (Fuchs et al., 2014, S. 16 f.). Insofern sind Schulbücher Ausdruck eines gesellschaftlichen Aushandlungsprozesses und übernehmen normierende und selektierende Funktionen bei Lerninhalten im Sinne gesetzlicher Vorgaben oder allgemeiner Bildungs- und Erziehungsziele. Weitere gesellschaftliche Funktionen können beispielsweise das Ausdrücken eines kulturellen Selbstverständnisses oder die Gewährleistung von Chancengleichheit im Bildungswesen darstellen. Neben diesen gesellschaftlichen kommen Schulbüchern pädagogisch-didaktische Funktionen zu. Junge Menschen sollen durch exemplarische Lerninhalte Bildung erfahren und bei ihren schulischen Lernprozessen unterstützt werden. Dabei dienen Schulbücher als Mittler, Lernhilfe, Arbeitsmittel, Werkzeug und Gegenstand des Lernens (Wiater, 2003, S. 14). In diesem Zusammenhang spricht Hacker (1980, S. 14 ff.) davon, dass Schulbücher Lehrfunktionen im Unterricht übernehmen, die sowohl Lehrkräften als auch Schüler:innen zugute kommen. Sie umfassen die Strukturierung und Steuerung von Unterricht im Hinblick auf die Auswahl sowie die zeitliche Abfolge von Inhalten. Darüber hinaus bieten Schulbücher schriftliche und ikonische Repräsentationen und Abstraktionen der Realität und können durch deren ansprechende Gestaltung eine Motivierungsfunktion übernehmen. Durch das Delegieren von Lehrfunktionen an das Schulbuch können Lehrkräfte zudem bei differenzierenden Unterrichtsvorhaben unterstützt werden. Abschließend können Schulbücher durch Merksätze, Strukturierungshilfen oder Aufgabenangebote und Selbstkontrollmöglichkeiten eine Übungs- und Kontrollfunktion übernehmen.

2.1.2 Historische Entwicklung

Durch die zuvor thematisierte Einbettung von Schulbüchern in einen gesellschaftlichen Zeitgeist sowie politische Rahmenbedingungen ist zu erwarten, dass ihre Funktion und Bedeutung im Verlauf der Zeit Änderungen unterworfen ist. Dies soll durch eine kurze Darstellung zentraler Entwicklungen in Deutschland für den für diese Arbeit relevanten Zeitraum gezeigt werden. Bis in das neunzehnte Jahrhundert waren die primär als Wissen vermittelnde Lehrwerke gestalteten Schulbücher unter der Schülerschaft heterogen verteilt. Nicht nur waren unterschiedlichste Bücher im Umlauf, viele Lernende besaßen keines oder griffen auf Kalender- oder Flugblätter zurück (Hiller, 2012, S. 117). Mit dem preußischen Schulaufsichtsgesetz von 1872 wurde der zuvor große Einfluss der Kirche auf die Schulen zugunsten einer staatlichen Schulaufsicht beschnitten. Schulbücher, die häufig die Funktion eines heimlichen Lehrplans ausfüllten, mussten sich neuen, realen Lehrplänen unterordnen und wurden einer Revision unterzogen.

Zum Ende des neunzehnten Jahrhunderts wurden unter Federführung der Kultusministeri-

en des Deutschen Kaiserreichs zunehmend Zulassungsverfahren für Schulbücher kodifiziert, die einerseits Standards verbesserten, andererseits das Angebot und die Auswahlmöglichkeiten für Lehrbücher verkleinerten und politische Einflussnahme ermöglichten (Stöber, 2010, S. 2 f.). Um die Jahrhundertwende gewann die Reformpädagogik zunehmend Einfluss in der Gesellschaft. Während diese ein durchaus breites politisches Spektrum an Ideen umfasst, lässt sich der Bewegung als pädagogischer Schwerpunkt eine Abkehr von stark autoritär und fachlich-theoretisch gestalteten Bildungsprozessen hin zu einer Pädagogik der Orientierung am lernenden Subjekt zusprechen. Lernprozesse sollten durch Selbstbestimmung gekennzeichnet sein, Lehrkräfte verstärkt in der Rolle von Begleitern agieren und entsprechende Lernarrangements geschaffen werden, bei denen Lehrpläne und unterrichtliche Methodenschemata in den Hintergrund treten (Link, 2018, S. 18). Ein starker Einfluss auf Schulbücher in dieser Zeit konnte jedoch in der Literatur nicht gefunden werden. Stattdessen stehen in verschiedenen reformpädagogischen Schulkonzepten Lernumgebungen im Vordergrund, die bewusst auf Schulbücher verzichten (Ullrich, 2008, S. 85 ff.). Dies beschreibt Wolf (2018, S. 99) als Unbehagen der klassischen Reformpädagogik gegenüber standardisierten und an Lehrplänen orientierten Schulbüchern.

Bis zum Ende der Weimarer Republik blieb das Schulwesen in der Verantwortung der Länder, ehe im Nationalsozialismus eine starke Zentralisierung durch das Reichserziehungsministerium erfolgte, das Lehrmaterialien auf ideologische Eignung überprüfte. Unmittelbar nach dem Krieg kontrollierten die Alliierten den Gebrauch von Schulbüchern, bis die Verantwortung 1949 in Westdeutschland erneut auf die Bundesländer übertragen wurde, welche die Zulassung über Erlasse regelten. Ihrer bildungspolitischen Eigenständigkeit zum Trotz schufen sie durch die Kultusministerkonferenz ein Gremium, in dem gemeinsame Positionen entwickelt werden können. Dieses wurde bereits 1951 für die Verabschiedung eines Beschlusses über die Prüfung und Genehmigung von Schulbüchern genutzt, der eine teilweise Koordinierung der Verfahren bewirkte. Im Jahr 1972 wurde der Beschluss durch eine neue Richtlinie abgelöst, die gemeinsame Beurteilungskriterien für die Zulassungsverfahren festlegte (Stöber, 2010, S. 2 f.). Inhaltlich waren an die Stelle nationalsozialistischer Ideologie in Schulbüchern der Nachkriegszeit häufig wertkonservative Darstellungen getreten, die in einigen Fächern durch eine Rückbesinnung auf das vermeintlich positive deutsche Kulturerbe den Versuch einer Abgrenzung zur jüngsten Vergangenheit darstellten (Hiller, 2012, S. 118).

In den Sechzigerjahren waren insbesondere Deutsch- und Geschichtsschulbücher im Zuge einer einsetzenden Reformbewegung Gegenstand einer ersten kritischen Auseinandersetzung mit dem Ziel, romantisierende Darstellungen, aber auch geschlechtsspezifische Rollenzuschreibungen und andere antiquierte Vorstellungen zu konfrontieren, was als Beginn der deutschen Schulbuchforschung gelten kann (Fuchs et al., 2014, S. 21). Neben ideologiekritischen Argumenten wurde im weiteren Verlauf der Sechzigerjahre im Zuge einer aufkommenden Curriculumsdiskussion zunehmend die fachliche Rückständigkeit von Schulbüchern kritisiert und eine stärkere Wissenschaftsorientierung gefordert. (Hacker, 1980, S. 12).

Im Zusammenspiel mit einem veränderten Bildungs- und Pädagogikverständnis vollzog sich dadurch eine Wandlung des Schulbuchs von einem reinen Lehr- zu einem Lern- und Arbeitsbuch für Schüler:innen, denen in der Folge eine aktivere Nutzung durch angemessene Gestaltungen erleichtert werden sollte (Heer, 2011, S. 44 f.).

Durch den vermehrten Einsatz unterrichtssteuernder Elemente wie Fragen, Aufgaben oder Anregungen trat in den Siebzigerjahren die Rolle des Schulbuchs als didaktisch-methodisches Steuerungsinstrument in den Vordergrund (Hiller, 2012, S. 119). Wiater (2002, S. 106 f.) beschreibt die zunehmende Bedeutung des kognitivistisch-konstruktivistischen Lernbegriffs für die Persönlichkeitsentwicklung in der folgenden Zeit. Demnach findet Lernen als individuelle Konstruktion von Denk-, Gefühls-, Handlungs- und Wollensstrukturen aufgrund von Erfahrungen eines Menschen mit Situationen, Dingen oder Sachverhalten in der persönlichen Lebenswelt statt. Für diese Lebenswelt identifiziert Wiater beginnend in den Achtzigerjahren bedeutende Charakteristika, die Schüler:innen vor zukünftige Herausforderungen stellen, auf die sie in der Schule vorbereitet werden müssen: Die Pluralisierung sozialer Beziehungen einhergehend mit einer verstärkten Individualisierung im privaten wie beruflichen Bereich, starke Veränderungen durch die Entwicklung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien, die ökologische Frage, eine zunehmende weltweite Vernetzung, Migration und Bevölkerungsentwicklung sowie einen Wertewandel (Wiater, 2002, S. 104 f.). Dabei konnten die neuen Medien und das Internet in den darauffolgenden Jahren eine immer wichtigere Rolle spielen und wie zuvor beschrieben das traditionelle Schulbuch unterstützen respektive in dessen Konkurrenz treten. Um die Jahrtausendwende wurden bei der Entwicklung neuer Schulbücher die Auswirkungen einer zunehmenden Integration solcher Medien einbezogen (Vollstädt, 2003, S. 41). In Folge der fortlaufenden Digitalisierung können im Unterricht heutzutage durch verschiedene technische Entwicklungen neue Lehrmittelfunktionen übernommen oder verbessert werden, wie zum Beispiel eine bessere Einbindung von Rechercheaufgaben durch Zugriffsmöglichkeiten auf das Internet. Dieser Wandel kann Druck auf das klassische gedruckte Schulbuch ausüben, dessen Dominanz in der Erfüllung zahlreicher Lehrfunktionen aber bisher nicht brechen (Mader & Bachinger, 2018, S. 107 f.).

Als weitere kürzliche Veränderung ist die in den Neunzigerjahren aufkommende Debatte um Lehrpläne zu nennen, die in der Schaffung von Rahmenrichtlinien oder Kerncurricula mündete, die ein Bildungsprofil festlegen, auf das sich Schüler:innen entwickeln sollen. Dazu sollen die Schüler:innen Kompetenzen erlangen, die als bei Individuen verfügbare oder durch sie erlernbare kognitive Fähigkeiten und Fertigkeiten verstanden werden, mit denen bestimmte Probleme gelöst werden können. Verbunden damit sind zudem motivationale, volitionale und soziale Bereitschaften und Fähigkeiten, um diese Lösungen in variablen Situationen nutzen zu können. Dieser Wandel erhielt durch ernüchternde Teilnahmen an internationalen Schulvergleichsstudien wie „Trends in International Mathematics and Science Study“ (TIMSS) oder „Programme for International Student Assessment“ (PISA) zusätzliche Unterstützung, da in diesen viele Schüler:innen bei der Bearbeitung solcher problem-

lösender Aufgaben auf Schwierigkeiten stießen. Autor:innen aktueller Schulbücher stehen insofern vor der Aufgabe, einen kompetenzorientierten Schulunterricht zu unterstützen, beispielsweise durch eine neue Aufgabenkultur, die den Erwerb von notwendigen Teilkompetenzen fördert (Wiater, 2011, S. 32 ff.).

2.1.3 Schulbuchbezogene Forschung

Die zuvor erwähnten Ursprünge der schulbuchbezogenen Forschung in der Nachkriegszeit setzten nach Ansicht vieler Autor:innen keinen nennenswerten Aufschwung des Forschungsfeldes in Gang. So erkennt bereits Hacker (1980, S. 7) eine Diskrepanz zwischen der großen praktischen Bedeutung des Schulbuchs für den Unterricht auf der einen und der geringen theoretischen Auseinandersetzung mit diesem Medium auf der anderen Seite. Mehr als zwanzig Jahre nach diesem Beitrag führt Wiater (2003, S. 20) den Mangel an systematischer Forschung darauf zurück, dass diese auf der Arbeit von lediglich drei Instituten beruhe, von denen eines bereits wieder geschlossen worden sei. Darüber hinaus gebe es eher sporadische Forschungsarbeiten einzelner Wissenschaftler:innen. Ein gemischtes Bild zeichnet dagegen Fuchs (2011, S. 7) in einem späteren Beitrag, in dem er zwar ebenfalls die fehlende universitäre Etablierung einer Schulbuchforschung thematisiert, gleichzeitig jedoch einen erheblichen Forschungsoutput hervorhebt, der durch eine große thematische und methodische Varianz gekennzeichnet sei. Um diese zu systematisieren, gibt es unterschiedliche Ansätze. Es lassen sich beispielsweise die kulturhistorische Forschung, die Medienforschung, die Forschung unter fachwissenschaftlichen und fachdidaktischen Aspekten, die Textanalyseforschung und die Quellenforschung als allgemeine Schwerpunkte der Schulbuchforschung feststellen und genauer analysieren. Solche Analysen können mithilfe von Forschungsmethoden wie dem historischen Forschen stattfinden, bei dem die Geschichte des Schulbuchs durch eine Einbeziehung weiterer Quellen aus der jeweiligen Zeit untersucht wird. Systematisches Forschen zur Klärung grundsätzlicher Fragen der Entstehung, Funktion oder Verwendung von Schulbüchern ist ebenfalls möglich, wie auch ein vergleichendes Forschen, das sich auf bestimmte Aspekte fokussiert und diese beispielsweise über die Zeit oder geographische Räume betrachtet (Wiater, 2003, S. 14 ff.). Eine andere Herangehensweise in der sozialwissenschaftlich geprägten Schulbuchforschung ist die Unterteilung dieser in drei Typen. In der prozessorientierten Schulbuchforschung wird der Lebenszyklus der Bücher von der Entwicklung bis zur Unterrichtsverwendung analysiert, die produktorientierte Forschung behandelt das Schulbuch vorrangig als Mittel der visuellen Kommunikation und legt den Fokus somit auf inhaltsanalytische Aspekte (Fuchs et al., 2014, S. 22). Die wirkungsorientierte Forschung betrachtet die Wirkungen von Schulbüchern auf Lehrende, Lernende, die Öffentlichkeit sowie bezogen auf die internationale Ebene (Doll & Rehfinger, 2012, S. 21).

Eine Einteilung der Forschung nach diesen Typen zeigt einen Schwerpunkt der Forschung im produktorientierten Bereich, der wiederum geprägt ist von Arbeiten im Themenfeld der Textverständlichkeit. So wurde im deutschsprachigen Raum zur Analyse der Lesbarkeit von

Schulbuchtexten anhand von Indizes beispielsweise die „Wiener Sachtextformel“ entwickelt. Die „Hamburger Verständlichkeitskonzeption“ unterscheidet vier Dimensionen der Verständlichkeit von Informationstexten (Doll & Rehfinger, 2012, S. 22). Aufgaben in Schulbüchern stellen einen weiteren Bereich produktorientierter Forschung dar, in den somit auch diese Arbeit eingeordnet werden kann. Dieser Forschungsbereich spielte lange Zeit eine untergeordnete Rolle. Im Zuge der zuvor angesprochenen Forderungen nach einer neuen Aufgabenkultur um die Jahrtausendwende erfahren die in Schulbüchern gestellten Lernaufgaben jedoch zunehmend Beachtung (Menck, 2011, S. 19; Wiater, 2011, S. 31 ff.). Dies verdeutlichen für den Bereich der physikdidaktischen Forschung einige Arbeiten, die sich mit der Modellierung physikalischer Kompetenz beschäftigen und Aufgaben in diese Modelle einordnen (Neumann, Kauertz, Lau, Notarp & Fischer, 2007; Schecker & Parchmann, 2006). Das Schulbuch als Quelle von Aufgaben tritt dabei jedoch zumeist in den Hintergrund. Eine Zusammenstellung schulbuchbezogener Forschungsarbeiten der Naturwissenschaftsdidaktik im deutschsprachigen Raum seit 2000 unterstützt diesen Eindruck: Die dort aufgeführten Arbeiten bilden insgesamt ein heterogenes Bild ab, ohne Aufgaben zu thematisieren (Bölsterli Bardy, 2015, S. 13 f.). Zu den wenigen Arbeiten, die Aufgaben im konkreten Schulbuchkontext analysieren, gehört die von Wilhelm und Kneisel (2011), die einen Vergleich von fünf Schulbüchern mit einem sechsten durchführen, das im Rahmen eines Forschungsprojekts konzipiert wurde. Sie vergleichen dabei die Gesamtzahl der Aufgaben sowie deren Lebensweltbezogenheit, Schüler:innenhandlungen und gestalterische Aufmachung. Im Rahmen eines Vergleichs zwischen fächergetrenntem und integriertem naturwissenschaftlichen Unterricht untersuchen Langendorf, Lewing und Schneider (2019) vier Schulbücher im Hinblick auf Unterschiede zwischen Lernaufgaben und entwickeln dafür ein Kategoriensystem. Dabei nehmen sie kognitionsbezogene Merkmale, Merkmale zum Grad der Mathematisierung und kontextbezogene Merkmale in den Blick. Schulbuchanalysen, die die Entwicklung von Aufgaben über eine Schulbuchreihe hinweg verfolgen, wurden bei der Literaturrecherche nicht gefunden. Alle gefundenen Vergleichsarbeiten konzentrieren sich auf die Analyse aktueller und parallel im Umlauf befindlicher Schulbücher. Somit bleibt unklar, inwiefern die Aufgabenkultur in Physikschulbüchern über längere Zeiträume hinweg Veränderungen unterworfen ist und dadurch auf sich wandelnde Anforderungen der Gesellschaft reagiert.

2.2 Aufgaben im Physikunterricht

Die vorherigen Ausführungen thematisieren bereits Forschungsarbeiten zu Aufgaben in Schulbüchern der Physik, im Folgenden sollen Aufgaben näher beschrieben werden. Eine allgemeingültige Definition für Aufgaben im schulischen Kontext gibt es nicht, Menck (2011) nähert sich einer solchen aus unterrichtstheoretischer Sicht. Er beschreibt dafür eine Differenz zwischen Schüler:innen, die ihren Zustand des Nicht-Könnens zu überwinden suchen, und Lehrkräften, die bei der Überwindung des Nicht-Wissens durch die Initiierung von Arbeitsaufträgen respektive Aufgaben helfen. Mithilfe dieser Aufgaben wird eine soziale Si-

tuation als Arbeitssituation definiert, bei der implizit oder explizit mehrere Merkmale erfüllt sein sollten, um das Gelingen des Unterrichts zu sichern. Zunächst sollte ein Problem vorliegen, das die Schüler:innen noch nicht lösen können, darüber hinaus eine Vorstellung von der Lösung dieses Problems und damit verbunden eine Vorstellung von Wegen zur Lösung im Sinne von Techniken, Hilfsmitteln oder Arbeitsschritten. Letztere wiederum sollten abgestimmt sein auf das derzeitige Können der Lernenden, welche die gemeinsam erarbeiteten Lösungsschemata schließlich im weiteren Verlauf selbständig anwenden können sollen (Menck, 2011, S. 21 ff.).

Aufgaben stehen nach diesem Verständnis im Zentrum des Unterrichts und erfüllen verschiedene Funktionen, die eine Einteilung in Kategorien möglich machen. Sie können der Verallgemeinerung eines Lösungsschemas für einen bestimmten Fall auf verschiedene ähnliche Probleme dienen, zudem können Übungsaufgaben eingesetzt werden, mit denen die Habitualisierung von Problemlösungsmethoden erreicht werden soll. Schließlich lassen sich Aufgaben als Mittel der Evaluation einsetzen (Menck, 2011, S. 25). Eine Unterscheidung in mehrere Unterrichtsphasen mit unterschiedlichen Anforderungen an Aufgaben findet sich ebenfalls in physikdidaktischer Literatur. In der Erarbeitungsphase unterstützen Aufgaben demnach Schüler:innen beim Verstehen von Begriffen, Gesetzen und dem Aufbau von Konzepten. Dies ermöglicht ein erstes Verständnis über die Anwendung und Einsatzbereiche neu erlernten Wissens sowie die Adressierung damit einhergehender Verständnisschwierigkeiten. In der Übungsphase kommen insbesondere routinebildende Aufgaben zum Einsatz, die durch das Automatisieren bestimmter Handlungen kognitiv entlastend wirken. Die in der Erarbeitungsphase kennengelernten Inhalte werden dabei in Form von teilweise variierten Anwendungsaufgaben thematisiert. In einer anschließenden Transferphase soll das Wissen der Schüler:innen transferfähig gemacht werden und diese durch verschiedene Lösungswege und Kontexte Motivation erfahren. Verknüpfungen zwischen Konzepten und Leitideen ermöglichen Vernetzungen, die Aufgaben sind dabei in der Regel komplex. Das Ziel der nachfolgenden Leistungsmessphase besteht in der Überprüfung von Ergebnissen vorangegangener Lernphasen. Die Leistungsmessung kann in der jeweiligen Lerngruppe erfolgen oder aber in klassen- beziehungsweise schulübergreifenden standardisierten Tests. Letztere beziehen sich auf verbindliche Unterrichtsziele wie beispielsweise die Bildungsstandards (Kauertz, Löffler & Fischer, 2015, S. 457).

Besonderen Wert legt die didaktische Literatur auf eine klare Trennung solcher Leistungsmessphasen vom sonstigen Unterricht. Damit Lernprozesse gelingen, sollen Schüler:innen in den anderen Phasen nicht den Eindruck bekommen, dass sie einer Prüfung unterzogen werden und ihr noch nicht belastbares Wissen als fehlerhaft bewertet wird. Häufig findet in der Literatur daher eine Unterscheidung von Aufgaben durch die beiden Kategorien Test- und Lernaufgaben statt. Testaufgaben sollen sich möglichst auf die Abfrage einer bestimmten Fähigkeit fokussieren, deren erfolgreicher Einsatz zu einer eindeutig richtigen Antwort führt. Dadurch kann eine faire Beurteilung erleichtert sowie eindeutiges Feedback zu Lern-

ständen gegeben werden. Im Unterschied dazu sollen Lernaufgaben möglichst vielfältige Anknüpfungspunkte bieten, verschiedene Fähigkeiten kombinieren, den Lernenden gegebenenfalls durch Hilfestellungen Unterstützung zukommen lassen und unterschiedliche Unterrichtsphasen strukturieren (Kauertz & Fischer, 2009, S. 663 f.). Die Aufgaben können dabei schriftlich, mündlich oder auch grafisch repräsentiert werden.

Trotz dieser Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten und den unterschiedlichen Anforderungen an Aufgaben, gibt es mehrere Strukturelemente, die allen Aufgaben gemeinsam sind. Zunächst enthalten sie einen Aufgabentext, der beispielsweise Informationen zum Fachinhalt, zum Kontext und zur Einbettung in eine Situation umfassen kann. Des Weiteren gibt es eine Aufforderung oder Frage an die Bearbeiter:innen. Über einen Lösungsweg müssen diese nachfolgend ein Ergebnis ermitteln und dieses wiederum als Antwort formulieren. Damit wird die Aufgabe Teil einer Kommunikation zwischen Lehrenden und Lernenden. Dies bedeutet, dass Aufgaben nicht unbedingt zu einer erwünschten Bearbeitung führen. Lernende können unter anderem deshalb an einer Aufgabe scheitern, weil sie Informationen falsch interpretieren oder auf Textebene nicht verstehen. Zudem können die fachlichen Anforderungen einer Aufgabe die zuvor im Unterricht vermittelten Fähigkeiten der Schüler:innen übersteigen (Kauertz & Fischer, 2020, S. 433 f.). Die Qualität der zum Einsatz kommenden Aufgaben entscheidet insofern maßgeblich über das Gelingen von Lernprozessen und dadurch über die Qualität des Unterrichts. Lehrkräfte müssen demzufolge verschiedene Ebenen im Blick behalten, wenn sie Aufgaben in den Unterricht einbringen und neben der erforderlichen Vermittlung von Lehrplaninhalten auch die individuellen Kompetenzen der Schülerschaft einbeziehen. Dies macht die Bewertung von Aufgaben durch Außenstehende ohne Kontextinformationen über wichtige Faktoren wie Vorkenntnisse der Lernenden oder die von der Lehrkraft erwartete Lösung nur bedingt möglich (Kauertz & Fischer, 2020, S. 434). Solche Einschätzungen sind in der Auseinandersetzung mit konkreten Lerngruppen bedeutsam, für allgemeine Analysen von Aufgaben in Schulbüchern hingegen nicht möglich. Für diese können die grundlegenden Bearbeitungsabläufe herangezogen werden.

Zu Beginn des Bearbeitungsprozesses von schriftlich gestellten Aufgaben steht das sinnerfassende Lesen, das den Schüler:innen die Entwicklung eines situationsbedingten mentalen Modells ermöglicht. Der Umgang mit mentalen Modellen weist in der Literatur häufig unscharfe Begriffsdefinitionen auf, die Raum für unterschiedliche Theorieansätze lassen. Generell nehmen diese die kognitive Verarbeitung der menschlichen Wahrnehmung in den Blick und fassen mentale Modelle als eine Form mentaler Repräsentationen von Phänomenen der Außenwelt auf. Sie veranschaulichen die Struktur und Dynamik dieser Phänomene in räumlichen, zeitlichen und kausalen Aspekten und machen sie für kognitive Operationen zugänglich, was als Simulationsfähigkeit beschrieben werden kann. Dadurch kann auf eine Reaktion des realen Phänomens auf Veränderungen geschlossen werden, ohne dass das Modell dafür externalisiert werden muss (Nitz & Fechner, 2018, S. 69 ff.). Das Situationsmodell, das beim Lesen von Physikaufgaben entwickelt wird, kann aus bildlichen Darstellungen

sowie Vorstellungen über Zusammenhänge und physikalische Konzepte bestehen. Darüber hinaus kann es aber auch nicht belastbare Alltagsvorstellungen umfassen. Um Aufgaben erfolgreich lösen zu können, benötigen Schüler:innen nutzbare Situationsmodelle. Hierfür benötigen sie Wissen über die Aufgabenbearbeitung, deklaratives Fachwissen, sprachliche Standards oder Wissen über Denk- und Arbeitsweisen aus dem Fach. Diese Elemente können durch Nennung im Aufgabentext direkt aktiviert werden (Kauertz & Fischer, 2020, S. 435). Die Repräsentationsform der Aufgabe nimmt ebenfalls Einfluss auf die Bildung des Situationsmodells. Neben Textelementen können Aufgabenstellungen beispielsweise symbolische und ikonische Darstellungen enthalten, die unterschiedlich wahrgenommen werden und sich auf die Komplexität der Aufgabe auswirken können (Maier et al., 2013, S. 39 f.). Das Situationsmodell bildet im nächsten Schritt des Bearbeitungsprozesses die Grundlage für die Interpretation der Denk- und Handlungsaufforderung oder Frage in der Aufgabe. Dabei sind sprachliche Aspekte bedeutsam. Neben Standards des Faches, die Begriffen bestimmte Bedeutungen zuweisen, kommen Verben in Gestalt von Operatoren zum Einsatz, zudem Fachsprache und weitere sprachliche Mittel, die darüber entscheiden, ob Texte adressatengerecht gestaltet sind. Die Begriffe und die Syntax zur Situationsbeschreibung einer Aufgabe nehmen daher Einfluss auf die Auswahl und Interpretation von Informationen durch die Lernenden. In Kontextaufgaben wird dies gezielt genutzt, indem alltagssprachliche Beschreibungen verwendet werden, die zum Teil physikalisch irrelevant sind und emotionale sowie affektive Informationen zur Verfügung stellen. Hierüber können unter anderem Wissensabrufprozesse und die Anstrengungsbereitschaft zum Lösen der Aufgabe positiv beeinflusst werden (Kauertz & Fischer, 2020, S. 437 f.).

Die Lernenden überführen durch das Auswählen und Interpretieren der Informationen das anfängliche Situationsmodell in ein fach- und fragebezogenes Modell. Innerhalb dieses bei Physikaufgaben in der Regel mathematisch-physikalischen Modells müssen sie anschließend die Lösung finden. Dies geschieht durch das Wiedergeben von Zusammenhängen, das Auswählen und Anwenden des Modells und dem Finden, Zusammenführen und Ergänzen von Informationen sowie gegebenenfalls dem Transferieren auf andere Situationen. Die kognitiven Prozesse während der Lösungsfindung sind komplex und neben dem Wissen der Lernenden beeinflussen Faktoren wie Intelligenz, Motivation oder metakognitive Fähigkeiten die individuellen Lösungswege. Aus diesen müssen die Schüler:innen anschließend eine Antwort entwickeln und dabei je nach Aufgabenstellung sprachlichen oder graphischen Anforderungen gerecht werden. Diese können zum Beispiel altersangemessene Formulierungen und die adäquate Diagrammerstellung umfassen (Kauertz & Fischer, 2020, S. 440 f.). Aufgaben beeinflussen daher sowohl durch ihre sprachliche Gestaltung und Repräsentationsform als auch durch ihre inhaltlichen Anforderungen an die Lernenden den Bearbeitungsprozess. Im Folgenden sollen Forschungsansätze zur Analyse von Aufgaben vorgestellt werden.

2.3 Forschung zur Analyse von Aufgaben

Die bereits im Jahr 1956 publizierte „Taxonomy of Educational Objectives“ dient der allgemeindidaktischen Kategorisierung von insbesondere Testaufgaben entlang von Lernzielen. In einem hierarchischen Modell - die übergeordneten Stufen sollen die unteren einschließen - werden dabei die für die Aufgabenbearbeitung erforderlichen kognitiven Prozesse nach ihrer Komplexität geordnet und zum Teil mit Subkategorien versehen. Beginnend mit der untersten Stufe werden dafür Wissen, Verstehen, Anwenden, Analysieren, Synthetisieren und Bewerten als Kategorien definiert (Krathwohl, 2002, S. 212 f.). Dieses System wurde in den folgenden Jahrzehnten vielfach eingesetzt und im Jahr 2001 einer Weiterentwicklung unterzogen. Der hohen Bedeutung der Wissensart für die Analyse der Lernziele oder Aufgaben wird darin durch eine zweidimensionale Kategorisierung Rechnung getragen. Bei dieser weisen die ursprünglichen kognitiven Prozesse geringfügige Anpassungen auf und die Wissensart wird in den Dimensionen Faktenwissen, konzeptuelles Wissen, prozedurales Wissen und metakognitives Wissen ausdifferenziert (Krathwohl, 2002, S. 213 ff.). Die weiterhin hierarchische Stufung der kognitiven Prozesse dieser und ähnlicher Taxonomien ist jedoch Anlass zu kritischen Auseinandersetzungen. So argumentieren Maier et al. (2013, S. 31), dass kognitive Prozesse stark kontextabhängig seien und eine Trennschärfe zwischen verschiedenen Stufen im Allgemeinen nicht erwartet werden könne. In einem eigenen fächerübergreifenden Ansatz zur Aufgabenanalyse unter Einbeziehung von Arbeiten verschiedener Fachdidaktiken differenzieren sie in der Kategorie der kognitiven Prozesse daher zwischen Reproduktions- und drei verschiedenen Graden von Transferaufgaben. Die insgesamt sieben Hauptkategorien ihres vorgeschlagenen Modells umfassen zusätzlich die Wissensart, die Anzahl der Wissenseinheiten, die Offenheit, den Lebensweltbezug, die sprachlogische Komplexität sowie die Repräsentationsformen der Aufgabe und sind in jeweils drei oder vier Subkategorien unterteilt (Maier et al., 2013, S. 28 ff.). In einer Erprobung dieses Analyseansatzes für Aufgaben der Physik kommt Neumann (2013, S. 111) zu dem Schluss, dass dieses weitestgehend praktikabel sei und sich Schwierigkeiten insbesondere durch die im Zuge der neuen Aufgabenkultur geforderten kompetenzorientierten Aufgaben ergeben hätten. Kompetenzorientierte Aufgaben beinhalten unter anderem mehrere Lösungswege, die verstärkte Einbindung von experimentellen Lösungen und eine größere Variation von Kontexten über Aufgaben hinweg. Die Einführung nationaler Bildungsstandards und die angesprochene Ausrichtung auf Kompetenzen erfordert einen verstärkten Einsatz solcher Aufgaben. Mit den Bildungsstandards wird die notwendige physikalische Grundbildung von Schüler:innen anhand der vier Kompetenzbereiche Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewerten beschrieben. Darüber hinaus wird der Anspruch formuliert, die Erreichung der so definierten Ziele kriteriumsorientiert messbar zu machen (Nerdel, Neumann, Stäudel & Rehm, 2013, S. 96 f.). Vor dem Hintergrund dieses Bestrebens lassen sich viele naturwissenschaftsdidaktische Arbeiten finden, die sich mit der Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz beschäftigen beziehungsweise die didaktische Qualität von Aufgaben durch Einordnungen

in solche Modellierungen beurteilen. So charakterisieren Schecker und Parchmann (2006) verschiedene Modellierungsansätze mithilfe von Einordnungen in normative und deskriptive sowie Struktur- und Entwicklungsmodelle, problematisieren bestimmte Eigenschaften verschiedener Ansätze und verdeutlichen, dass weitere Forschung in diesem Bereich nötig ist. Spezieller mit der Modellierung physikalischer Kompetenz beschäftigen sich Neumann et al. (2007). Sie stellen ein auf Basis der Komplexität physikalischer Inhalte geordnetes hierarchisches Kompetenzstrukturmodell vor, das zusätzlich zur Beschreibung von Kompetenzentwicklung geeignet sein soll und über Längsschnittstudien empirisch überprüft werden soll. Weitere aktuelle Arbeiten widmen sich beispielsweise der Kompetenzmodellierung für einzelne Kompetenzbereiche in den Naturwissenschaften wie den der Kommunikation und verdeutlichen dabei die Komplexität der Modellierungen sowie weiteren Forschungsbedarf (Ziepprecht et al., 2017).

2.3.1 Das Modell von Fischer und Draxler (2002)

Während sich ein großer Teil der Forschung mit Operationalisierungen von Kompetenzanforderungen und der Einordnung und Beurteilung von Aufgaben beschäftigt, lassen sich ebenfalls Arbeiten finden, die Physikaufgaben mithilfe von Kategoriensystemen beschreiben. Einen prominenten Platz unter diesen nimmt das System von Fischer und Draxler (2002) ein, das Kategorisierungen in den Bereichen Inhaltsbereich, Lösungswege, Antwortformat, Kompetenzstufen, Anforderungsmerkmale und Unterrichtsphasen vornimmt und auf das sich viele spätere Arbeiten berufen. Es soll daher im Folgenden genauer beschrieben werden. Ziel des Ansatzes von Fischer und Draxler ist die Erstellung eines umfangreichen charakterisierenden Datenblatts für eine Aufgabe zum Zweck des Vergleichs mit anderen Aufgaben oder ihrer zielgerichteten Veränderung in bestimmten Aspekten. Im Inhaltsbereich einer Aufgabe kann sowohl eine Einordnung in eine Teildisziplin der Physik als auch eine curriculare Einordnung erfolgen. Diese bezieht sich auf die Vorgaben gültiger Lehrpläne. Zusätzlich dazu kann eine Einschätzung des Realitätsbezugs vorgenommen werden, das sich auf das Interesse bei Schüler:innen auswirken und gesellschaftliche Anknüpfungspunkte bieten kann (Fischer & Draxler, 2002, S. 305). Bei den Lösungswegen unterscheiden die Autoren experimentelle, halbquantitative, rechnerische und theoretische Lösungen voneinander. Halbquantitative Lösungen stellen Interpretationen graphischer und tabellarischer Daten dar, bei rechnerischen Lösungen wird eine Formel zur Berechnung genutzt. Theoretische Lösungen benötigen ein Verständnis physikalischer Konzepte für die Beantwortung. Dabei kann es zu Überschneidungen kommen, sodass der Schwerpunkt abzuschätzen ist. Zudem können Aufgaben mehrere unterschiedliche Lösungswege eröffnen (Fischer & Draxler, 2002, S. 306). Das Antwortformat grenzt multiple choice-Aufgaben, Kurzantwort-Aufgaben mit kurzen Rechnungen oder Sätzen als Antwort sowie Aufgaben mit erweitertem Antwortformat voneinander ab. Letztere erfordern ausführliche Rechnungen, Beweise oder experimentelle Lösungen und lange Antworten. Des Weiteren lässt sich die Aufgabenstellung darauf

überprüfen, inwiefern ein bestimmter Lösungsweg durch sie angeregt ist. Vorstellbar ist neben der direkten Vorgabe eines Wegs ein Thematisieren verschiedener Lösungsalternativen oder wiederum offener das Zulassen verschiedener Wege ohne direkte oder indirekte Thematisierung. Sofern die Wege vorgegeben oder thematisiert sind, umfasst das System eine dreistufige Skala zur Einschätzung der Intensität der Vorgaben. Als zusätzliche Ergänzung können Aufgaben mit experimentellen Anteilen im Hinblick auf das Experimentierverhalten analysiert werden, indem dieses in imitatorisches, organisierendes und konzeptuelles Experimentieren ausdifferenziert wird. Während ersteres lediglich Schritte einer Versuchsanleitung abarbeitet, erfordert organisierendes Experimentieren bereits das eigenständige Aufbauen eines Versuchs und das Durchführen von Messungen. Beim konzeptuellen Experimentieren diskutieren die Schüler:innen wichtige Messgrößen, stellen Hypothesen auf und konstruieren einen Versuchsaufbau (Fischer & Draxler, 2002, S. 306 ff.). Das Einordnen in sechs Kompetenzstufen soll die einzubringenden respektive zu erlernenden Kompetenzen der Schüler:innen beschreiben und Rückschlüsse auf die Aufgabenschwierigkeit ermöglichen. Die ersten vier Stufen dieses Modells unterliegen dabei einer hierarchischen Ordnung und bestehen in aufsteigender Folge aus dem Anwenden naturwissenschaftlichen Alltagswissens, dem einfachen Erklären naturwissenschaftlicher Phänomene, dem Anwenden von Gesetzen und Faktenwissen sowie dem Anwenden von Konzepten, Verfahren und Modellvorstellungen. Die weiteren Stufen, das Argumentieren und Problemlösen sowie das Überwinden von Fehlvorstellungen, verstehen die Autoren additiv (Fischer & Draxler, 2002, S. 308 f.). Für den Bereich der Anforderungen an Schüler:innen steht ein Katalog von 16 Anforderungsmerkmalen zur Verfügung, mithilfe dessen die zur Lösung von Physikaufgaben nötigen Fähigkeiten der Lernenden auf einer dreistufigen Skala eingeschätzt werden können. Es handelt sich dabei um die Merkmale *Kenntnis von Definitionen und Gesetzen, qualitatives Begriffsverständnis, Rechenfertigkeiten, Interpretation von Diagrammen, Textverständnis, visuelles Vorstellungsvermögen, Problemlösefähigkeit, Verständnis formalisierter Gesetze, Verständnis für funktionale Zusammenhänge, Verständnis für Alltagssituationen, Verständnis für experimentelle Situationen, Verständnis für symbolische Zeichnungen, Überwinden von Fehlvorstellungen, naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, Kenntnis älterer Unterrichtsinhalte* sowie abschließend die *Fähigkeit zur Kooperation* (Fischer & Draxler, 2002, S. 310). Über den Bereich Unterrichtsphasen wird den verschiedenen Ansprüchen an Aufgaben in der Erarbeitungs-, Übungs- und Leistungsmessphase Ausdruck verliehen. So kann überprüft werden, ob sich beispielsweise der Einsatz einer Aufgabe in der Übungsphase eignet, die durch unterschiedliche Lösungswege sowie die Anwendung erarbeiteter Kenntnisse auf interessante Kontexte gekennzeichnet sein sollte (Fischer & Draxler, 2002, S. 311 f.).

2.3.2 Das überarbeitete Modell von Fischer und Draxler (2007)

Fischer und Draxler aktualisierten ihr Kategoriensystem im Jahr 2007 nochmals unter Einbeziehung von Methoden und Ergebnissen der PISA-Studie von 2000. Bezüglich des Ant-

wortformats ergänzen die Autoren, dass dieses einen erheblichen Einfluss auf die Aufgabenschwierigkeit habe. Sie differenzieren die Offenheit von Aufgaben durch Ergänzung einer vierten Stufe weiter aus. Auf dieser werden durch die Aufgabe implizite Vorgaben zum Lösungsweg gemacht, beispielsweise durch Operatoren oder Nennung von Geräten oder physikalischen Gesetzen. Als Folge dieser Ausdifferenzierung wird die Intensität der Vorgaben nicht mehr gesondert erhoben (Fischer & Draxler, 2007, S. 646). Eine umfassende Erneuerung erhält die Einteilung in Kompetenzstufen, da das erste Modell empirischen Analysen nicht standhielt. Zurückgegriffen wird nun auf ein im Rahmen der PISA-Testungen entwickeltes Stufenmodell, das zunächst vier Arten naturwissenschaftlicher Bildung unterscheidet: das Verständnis der Besonderheiten naturwissenschaftlicher Untersuchungen, den Umgang mit Evidenz, die Kommunikation naturwissenschaftlicher Beschreibungen und Argumente sowie das Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte. Die vier Arten naturwissenschaftlicher Bildung werden verbunden mit einem fünfstufigen Kompetenzmodell, bei dem die Stufen in aufsteigender Zuordnung mit nominell, funktional (naturwissenschaftliches Alltagswissen), funktional (naturwissenschaftliches Wissen), konzeptuell und prozedural sowie mit konzeptuell und prozedural (Modelle) bezeichnet werden. Die an dieser Stelle nicht genauer dargestellten Erwartungen dieser Stufen an die Lernenden werden hinsichtlich der vier Prozesse unterschieden, sodass ein zweidimensionales Kompetenzstufenmodell entsteht (Fischer & Draxler, 2007, S. 647 f.). Als weiteres Ergebnis der PISA-Studie erfährt die Lesekompetenz von Schüler:innen durch ihren großen Einfluss auf naturwissenschaftliche Kompetenz Berücksichtigung. Die Autoren übernehmen daher ein ebenfalls zweidimensionales Kompetenzstufenmodell, das in der Vergleichsstudie zum Einsatz kam und drei Arten von Leseaufgaben (Informationen ermitteln, textbezogenes Interpretieren, Reflektieren und Bewerten) auf fünf Kompetenzstufen unterscheidet (Fischer & Draxler, 2007, S. 649 f.). Sie überarbeiten die 16 Anforderungsmerkmale zunächst inhaltlich, indem die beiden Merkmale *Textverständnis* und *naturwissenschaftliche Arbeitsweisen* ersetzt werden durch die Merkmale *Umgang mit mentalen Modellen* sowie *divergentes Denken*. Darüber hinaus ergänzen die Autoren Einschätzungen aus empirischen Studien hinsichtlich Zusammenhängen zwischen Anforderungsmerkmalen und Aufgabenschwierigkeit. Demnach wirken sich die Anforderungen *Kenntnis von Definitionen und Gesetzen*, *Verständnis für funktionale Zusammenhänge* sowie *Umgang mit mentalen Modellen* positiv, *Interpretation von Diagrammen* negativ auf die Schwierigkeit von Aufgaben aus. Ein abschließender Unterschied ist die Einordnung dieser Merkmale in der aktualisierten Version. Hier kommt statt der ehemals dreistufigen nun eine vierstufige Skala zum Einsatz, die Werte zwischen 0 (Merkmal ohne Bedeutung) und 3 (Merkmal entscheidend für den Erfolg) annehmen kann (Fischer & Draxler, 2007, S. 651 f.).

2.4 Textverständlichkeit

Auf das aktualisierte Modell von Fischer und Draxler beziehen sich viele weitere Beiträge der physikdidaktischen Aufgabenanalyse, die dabei teilweise noch weitere Kategorien einbeziehen, wie die Kontextualisierung von Aufgaben oder ihren Bezug zu Schülervorstellungen (Kauertz et al., 2015, S. 461). Einen weiteren Fokus auf Merkmale, welche die sprachliche Verständlichkeit von Aufgabentexten beeinflussen, richten Kauertz und Fischer (2020) in einem aktuellen Beitrag. Durch eine kognitive Strukturierung, die Hervorhebungen, Zusammenfassungen oder Gliederungen von Absätzen umfassen kann, lässt sich ihnen zufolge die Verständlichkeit einer Aufgabe verbessern. Positiv wirken sich darüber hinaus einfache Satzstrukturen mit Subjekt, Prädikat und Objekt, geläufigen Wörtern, aktiven Verben und wenig Substantivierungen aus, dies kann unter sprachlicher Einfachheit zusammengefasst werden. Dem fügen die Autoren die Kategorien „semantische Redundanz“ durch Wiederholungen und geringe Informationsdichte des Textes sowie „Kürze und Prägnanz“ hinzu, welche die Verständlichkeit positiv beeinflussen (Kauertz & Fischer, 2020, S. 452). Eine Analyse von Schulbuchaufgaben im Hinblick auf die sprachliche Gestaltung erscheint sinnvoll, daher sollen Forschungsergebnisse der allgemeinen Textverständlichkeitsforschung in die Überlegungen der vorliegenden Arbeit einbezogen werden. Die Literatur zeichnet dabei einen Entwicklungsverlauf theoretischer Ansätze, der seinen Ursprung in der Lesbarkeitsforschung und daraus resultierender Lesbarkeitsformeln insbesondere für den englischsprachigen Raum hatte. Kern dieser Formeln ist die Annahme, dass Oberflächenmerkmale die einzigen Einflussfaktoren der Textverständlichkeit darstellen, die sich folgerichtig berechnen lassen müsste. Im weiteren Forschungsverlauf wurde die Rolle der Leser:innen in kognitionsorientierteren Ansätzen verstärkt hervorgehoben und das Textverstehen als Interaktion zwischen Leser:in und Text betrachtet (Prestin, 2001, S. 224).

Das Hamburger Verständlichkeitskonzept

Das bereits erwähnte Hamburger Verständlichkeitskonzept von 1974 ist in die Anfänge dieses Wandels einzuordnen, da es weiter textimmanente Merkmale betont, darüber hinaus aber auch die inhaltliche Organisation und motivationale Aspekte berücksichtigt. Das Modell umfasst die vier Dimensionen „sprachliche Einfachheit“, „Gliederung und Ordnung“, „Kürze und Prägnanz“ sowie „anregende Zusätze“. Als „einfach“ werden Texte eingeordnet, deren Sätze kurz sind und geläufige Wörter enthalten, wobei Fachwörter erklärt werden. Eine verständliche Gliederung kann auf der inhaltlichen Ebene erreicht werden, indem Sätze folgerichtig aufeinander bezogen und Informationen in einer sinnvollen Reihenfolge präsentiert werden. Dies kann strukturell durch Hervorhebungen wichtiger Wörter sowie durch Absätze und Zwischenüberschriften unterstützt werden. Die Dimension „Kürze und Prägnanz“ fördert die Verständlichkeit eines Textes durch ein angemessenes Verhältnis von Textlänge und Informationsziel. Anregende Zusätze sollen Interesse bei Leser:innen wecken und Anteilnahme durch wörtliche Rede, lebensnahe Beispiele und rhetorische Fragen ermöglichen

(Prestin, 2001, S. 224 f.). Die vier Dimensionen werden auf einer fünfstufigen bipolaren Schätzskaala quantifiziert. Optimale Textverständlichkeit liegt dabei vor, wenn die ersten beiden Dimensionen hohe und die weiteren Dimensionen mittlere Ausprägungen aufweisen. Letzteres ist mit dem angemessenen Verhältnis bei der Dimension „Kürze und Prägnanz“ zu begründen sowie der Tatsache, dass zu viele anregende Zusätze verwirrend wirken können. Vorteil des Konzepts ist insbesondere seine Anwendbarkeit. Untersuchungen konnten zudem zeigen, dass in den vier Dimensionen des Modells optimierte Texte signifikant besser verstanden werden als Originaltexte (Milde, 2009, S. 124 f.). Kritiker:innen bemängeln hingegen die fehlende theoretische Fundierung bei der empirisch-induktiven Entwicklung des Modells sowie den fehlenden Einbezug der Kognitionspsychologie. Der erste Kritikpunkt konnte durch ein wenige Jahre später entwickeltes theoretisch-deduktives Modell, das vier ähnliche Verständlichkeitskriterien herausarbeitete, adressiert werden. Der zweite allerdings bleibt ein Defizit des Modells (Prestin, 2001, S. 225 f.).

Einfache kognitionstheoretische Annahmen

In den Jahren nach Entwicklung des Hamburger Modells wurden Erkenntnisse aus der Kognitionspsychologie zu einem wichtigen Bestandteil von Modellen zur Textverständlichkeit. Diese gewannen damit an Komplexität und sollen im Rahmen dieser Arbeit nicht diskutiert werden, da die späteren Analysen ohne konkrete Bezüge zu Leser:innen stattfinden. Stattdessen können in Folge einiger grundlegender kognitionstheoretischer Annahmen bereits Schlüsse über die Verständlichkeit von Texten gezogen werden. Leser:innen eines Textes speichern im begrenzten Arbeitsgedächtnis einzelne Informationseinheiten zwischen und verarbeiten diese dort weiter. Dauerhaft im Langzeitgedächtnis abgelegte Informationen können zur Weiterverarbeitung ins Arbeitsgedächtnis abgerufen werden. Aufgrund der Kapazitätsbegrenzung sollten die Sätze in einem Text demnach nicht zu lang sein (Kulgemeyer & Staraschek, 2014, S. 242 f.). Überlegungen zur Verwendung deutscher Wörter lassen darüber hinaus die Vermutung zu, dass der gebräuchliche und im Langzeitgedächtnis gespeicherte Wortschatz von Schüler:innen vorwiegend aus ein- oder zweisilbigen Wörtern besteht. Mehrsilbige Wörter können aufgrund ihrer Unbekanntheit das Textverstehen erschweren. Dieses Argument gilt zusätzlich auch für Fachwörter, die daher insgesamt sparsam in Texten eingesetzt werden sollten und im Falle einer Verwendung zur besseren Verständlichkeit wiederholt werden können. Allgemein können Substantivwiederholungen ein Verständnis durch Unterstützung bei der Kohärenzbildung verbessern, von der im Zusammenhang mit dem mentalen Herstellen von Zusammenhängen zwischen aufeinanderfolgenden Sätzen (lokale Kohärenz) oder voneinander entfernt liegenden Textteilen (globale Kohärenz) gesprochen wird. Die Aussagekraft solcher Analysen ist für sehr kurze Texte jedoch gering (Kulgemeyer & Staraschek, 2014, S. 244 ff.). Aktuellere Arbeiten zur Textverständlichkeitsforschung gehen über den Einsatz kognitionspsychologischer Erkenntnisse noch hinaus und beziehen zum Beispiel die Situiertheit der Kommunikation mit ein, wodurch die Modellkomplexitäten weiter zunehmen (Prestin, 2001, S. 227).

Mathematische Inhalte in Texten

Anknüpfend an die Ausführungen zur Textverständlichkeit soll aufgrund des Inhaltsbereichs dieser Arbeit kurz auf mathematikbezogene Textmerkmale eingegangen werden. Für Texte aus dem mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich gibt es eine besondere Verwendung von Zeichensystemen, die das Textverstehen beeinflussen können. Im Rahmen einer Studie untersucht Bednorz (2021, S. 135 f.) 17 Textmerkmale mathematischer Textaufgaben auf ihre Relevanz für das Textverständnis. Dazu gehören Zahlen und mathematische Begriffe ebenso wie Symbole. Letztere ermöglichen eine Verdichtung der Kommunikation durch eine Formalisierung und Reduktion von Redundanz. Symbole wie auch mathematische Begriffe erfordern ein konzeptuelles Verständnis, wodurch die kognitive Funktion dieser Textmerkmale hervortritt. Ihre Verwendung kann den Ergebnissen der Studie folgend als schwierigkeiterhöhend für Aufgaben bewertet werden (Bednorz, 2021, S. 194 ff.).

Einbettung von Physikaufgaben in Schulbüchern

Abschließend sollen einige Erkenntnisse zu dem Einsatz von Aufgaben in Schulbüchern als Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit eingebracht werden. Da Aufgaben nur einen von mehreren möglichen Bestandteilen einer Schulbuchseite darstellen, müssen die Gestalter:innen über die Einbettung entscheiden. Aktuelle Empfehlungen zur Lernförderlichkeit legen dazu grundlegend nahe, einheitliche Strukturierungen über das gesamte Buch zu wählen. Dies betrifft zunächst die Schriftgröße, -art und -farbe. Darüber hinaus soll zudem eine räumliche Trennung von anderen Seitenelementen stattfinden. Eine Abgrenzung der Aufgaben kann beispielsweise mit Umrandungen oder Rahmungen stattfinden (Fuchs et al., 2014, S. 55). Eine weitere Empfehlung gibt es hinsichtlich der inhaltlichen Gestaltung von Aufgaben im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich. Es sei im Sinne eines differenzierenden Unterrichts sinnvoll, Aufgaben mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden für Lernende anzubieten und diese Niveaustufung im Buch auch kenntlich zu machen (Fuchs et al., 2014, S. 136).

Die hier dargestellten Forschungsstände und theoretischen Grundlagen sind die Basis für die Entwicklung eines Kategoriensystems zur Analyse der Aufgaben der Schulbuchreihe, die heute unter dem Namen „Metzler Physik“ im Umlauf ist. Als weitere Grundlage dienen die im folgenden Teil vorgestellten Forschungsfragen.

3 Forschungsfragen

Die Auseinandersetzung mit bestehenden Forschungsarbeiten hat einen geringen Bestand an aufgabenbezogenen Schulbuchanalysen in der Physik gezeigt. Insbesondere fokussiert sich die Forschung auf die Analyse und Qualitätsbeurteilung von Aufgaben für den aktuellen Einsatz im kompetenzorientierten Schulunterricht. Insofern bietet die Analyse einer Schulbuchreihe über einen langen Zeitraum die Möglichkeit von Einsichten in die Entwicklung

der Aufgabenkultur. Mithilfe der folgenden Forschungsfragen sollen verschiedene Aspekte dieser Aufgabenkultur auf der Grundlage der weiteren theoretischen Überlegungen fokussiert werden. Die erste Forschungsfrage bezieht sich dabei auf die allgemeine Rolle von Aufgaben in den verschiedenen Schulbüchern und lautet:

1. Wie verändert sich die gestalterische Einbettung von Physikaufgaben in der Schulbuchreihe im Zeitablauf?

Zur Beantwortung dieser Frage sollen globale Merkmale erfasst werden, die unabhängig von konkreten Aufgaben die jeweiligen Schulbücher charakterisieren. Bei einer ersten Durchsicht der Bücher fiel zudem auf, dass einige der Aufgaben mehrfach vorkommen, oder lediglich leicht abgewandelt sind. Um dies genauer zu analysieren, lautet die zweite Forschungsfrage:

2. Inwiefern werden in der Schulbuchreihe Aufgaben aus Vorgängerauflagen übernommen?

Zu diesem Zweck können sowohl die Anzahl übernommener Aufgaben erhoben werden als auch Veränderungen gegenüber Vorgängerversionen qualitativ beschrieben werden. Bei einigen dieser übernommenen Aufgaben waren zudem sprachliche Anpassungen zu erkennen, weshalb die Textverständlichkeit der Aufgaben ebenfalls untersucht werden soll. Die folgende dritte Forschungsfrage sowie die weiteren sollen dabei durch die Analyse von Aufgabenmerkmalen untersucht werden.

3. Inwiefern verändert sich die Verständlichkeit von Aufgabentexten in den Physikschulbüchern?

Mithilfe der vierten Forschungsfrage soll der grundlegende Einsatz von Kontexten in den Schulbüchern untersucht werden. Sie lautet:

4. Inwiefern werden die Aufgaben in der Schulbuchreihe in einen lebensweltbezogenen Kontext gestellt und ändert sich dies im zeitlichen Verlauf?

Die fünfte Forschungsfrage soll Erkenntnisse hinsichtlich des Antwortformats, der Offenheit sowie der Art der Lösungswege gemeinsam thematisieren. Sie lautet:

5. Inwiefern haben sich die Anforderungen an das Antwortformat und die Lösungswege mit der Zeit verändert?

Die sechste Forschungsfrage beschäftigt sich mit den von den Aufgaben an Lernende gestellten Anforderungsmerkmalen, die für die Aufgaben eingeschätzt werden sollen. Sie lautet daher:

6. Inwiefern verändern sich Anforderungsmerkmale bei Physikaufgaben im Zeitablauf?

Bei der Beantwortung dieser Frage können zwei unterschiedliche Herangehensweisen zum

Einsatz kommen. Zunächst kann eine Fokussierung auf einzelne Anforderungsmerkmale erfolgen und Veränderungen bei diesen beschrieben werden. Darüber hinaus können Trends über alle Anforderungsmerkmale auf die jeweiligen Schulbücher bezogen analysiert werden. Im folgenden Methodikteil wird das Vorgehen zur Beantwortung dieser Fragen sowie das Untersuchungsmaterial beschrieben.

4 Methodik

4.1 Kategoriensystem zur Analyse der Schulbuchaufgaben

Die in Kapitel 3 vorgestellten Forschungsfragen beziehen sich auf ein breites Spektrum von Kriterien, mit denen Aufgaben beschrieben werden können. Nachfolgend wird die Entwicklung eines dafür geeigneten Analysebogens beschrieben, der den Analysen dieser Arbeit zugrundeliegt. Dieser soll sich sowohl auf die zuvor vorgestellten Ansätze aus der Literatur stützen als auch die Besonderheiten der Untersuchung angemessen repräsentieren. Im Zentrum der Überlegungen bei der Auswahl konkreter Analysekatégorien steht daher das Modell von Fischer und Draxler (2007). Dieses ist umfangreich und gut dokumentiert, kam bereits in Studien zum Einsatz und hat den Anspruch, Aufgaben umfassend zu beschreiben. Zusätzlich dazu sollen schulbuchbezogene Einordnungen erfolgen.

4.1.1 Schulbuchbezug

Auf die Bedeutung und die Rolle von Aufgaben innerhalb eines Schulbuchs können mehrere Aspekte Rückschlüsse zulassen. Die Gesamtzahl der Aufgaben ist ein Hinweis darauf, ob ein Schulbuch eher als Lehr- oder Arbeitsbuch verstanden wird. Aufgrund des Umfangs dieser Arbeit sollen dazu sowie im weiteren Verlauf lediglich die unterrichtsbegleitenden Lernaufgaben aus dem Themenbereich „Mechanische Schwingungen“ herangezogen werden. Dieser Themenbereich wird in allen Büchern der untersuchten Reihe behandelt und fällt nicht in das Gebiet der modernen Physik, die im Laufe der vergangenen hundert Jahre aktuelle fachwissenschaftliche Entwicklungen mit sich brachte, aufgrund derer sich grundlegende Inhalte von Schulbüchern möglicherweise geändert haben. Zusätzlich zu der Aufgabenzahl soll ebenfalls die Einbettung von Aufgaben in das jeweilige Schulbuch qualitativ beschrieben werden, um damit Veränderungen in der gestalterischen Aufmachung zu erfassen. Des Weiteren soll erhoben werden, ob durch die Schulbücher eine Niveaueinstufung von Aufgaben vorgenommen wird und auf welche Weise dies in den Büchern Umsetzung findet. Dadurch, dass es sich beim Untersuchungsmaterial um eine Schulbuchreihe eines Verlags handelt, können Aufgaben außerdem über verschiedene Auflagen hinweg genutzt werden. Inwiefern diese Möglichkeit von den Autor:innen genutzt wird, soll ebenfalls als Merkmal erhoben werden.

4.1.2 Antwortformat, Lösungswege und Kontexte

Die Kategorien des Modells von Fischer und Draxler (2007) werden im Hinblick auf ihre Unterstützung des Vorhabens im Rahmen dieser Arbeit ausgewählt und angepasst. So wird zunächst von einer curricularen Einordnung der Aufgaben Abstand genommen, da diese über einen Zeitraum von mehr als hundert Jahren unter wechselnden Rahmenbedingungen im Einsatz waren. Der Realitätsbezug der Aufgaben wird im Modell durch einen beschreibenden Text erhoben, was für einen Vergleich vieler Aufgaben nicht ideal ist. Andere Arbeiten untersuchen die Kontextualisierung von Physikaufgaben auf unterschiedliche Weisen (Kauertz & Fischer, 2009, S. 673; Schecker & Parchmann, 2006, S. 58; Wilhelm & Kneisel, 2011, S. 4). Bei der Konstruktion von kontextorientierten Aufgaben können Kriterien des situierten Lernens herangezogen werden. Der Situation, in der Lernprozesse stattfinden, kommt aufgrund der aktiven Wissenskonstruktion durch die Lernenden eine wichtige Bedeutung zu, da dieses Wissen dabei mit der Situation verknüpft wird. Kontext kann dabei als Anwendungspraxis in einem sozialen Zusammenhang verstanden werden und durch die Prozessgestaltung (z. B. Gruppenarbeit) als solches sowie durch einen inhaltlichen Rahmen erreicht werden. Für den Physikunterricht sehen Schüler:innen beispielsweise Inhalte der Themenbereiche Mensch und Natur sowie Mensch und Gesellschaft als bedeutsam an. Kontexte können entsprechend aus Bereichen wie Medizin oder Sport stammen und damit durch Relevanz und Authentizität erhöhte Lernwirksamkeit haben. Gleichzeitig gilt es, vorgebliche Kontexte zu vermeiden, die mit der außerschulischen Lebenswelt der Schüler:innen keine Berührungspunkte haben (Parchmann & Kuhn, 2018, S. 195 ff.). In dieser Arbeit soll eine feine Ausdifferenzierung möglicher Kontextualisierungen nicht angestellt werden. Stattdessen soll eine grundlegende Einschätzung erfolgen, ob Kontexte benutzt werden, und ob diese einen Lebensweltbezug haben.

Das Antwortformat kann auf die beiden Ausprägungen der offenen Aufgaben beschränkt werden, da geschlossene Aufgaben in den Schulbüchern nicht vorkommen. Die Offenheit und die Art des Lösungswegs inklusive der Beschreibung des experimentellen Anteils sollen im Kategoriensystem dieser Arbeit aus dem Modell von Fischer und Draxler (2007) übernommen werden. Sie sind für die im weiteren Verlauf dargestellten Anforderungsmerkmale von Bedeutung, da durch sie ermittelt wird, ob verschiedene Lösungswege einer Aufgabe in Betracht gezogen werden müssen, die entsprechend unterschiedliche Ausprägungen der Anforderungsmerkmale aufweisen können. Diese Merkmale werden daher auf dem Analysebogen mit vier Einschätzungsfeldern für die vier möglichen verschiedenen Lösungswege versehen.

Auf die Einstufung nach Kompetenzstufen wird in dieser Arbeit ebenfalls verzichtet. Einfache eindimensionale Stufenmodelle hatten Schwächen aufgewiesen, viele Modelle beziehen sich zudem im Kern auf die Einschätzung von Leistungstestaufgaben und sind nicht geeignet, Lernaufgaben empirisch belastbar einzustufen (Kauertz & Fischer, 2009, S. 686).

Mehrdimensionale Modelle weisen ebenfalls Schwächen auf und selbst neuere Forschungen verdeutlichen Schwierigkeiten und weiteren Forschungsbedarf bei der Modellierung physikalischer Kompetenz (Neumann et al., 2007; Ziepprecht et al., 2017). Darüber hinaus erfolgt bereits über die Einordnung der Anforderungsmerkmale eine Abschätzung von für die Lösung benötigten Fähigkeiten der Lernenden. Diese Anforderungsmerkmale werden daher einzeln betrachtet und Überlegungen hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit getätigt, die im weiteren Verlauf ausführlich beschrieben werden.

4.1.3 Anforderungsmerkmale

Die Einschätzung der jeweiligen Anforderungsmerkmale für Fähigkeiten der Schüler:innen im Hinblick auf ihre Bedeutung für die Lösung einer Aufgabe erfolgt im aktualisierten Modell durch eine vierstufige Skala. Neben den extremen Ausprägungen „ohne Bedeutung“ und „entscheidend für Erfolg oder Misserfolg“ gilt es, darin zwischen „spielt bei der Lösung eine Rolle“ und „hohe Bedeutung“ zu unterscheiden. Diese feinere Differenzierung der mittleren Ausprägungen wird zugunsten der ursprünglichen dreistufigen Skala verworfen, um trennschärfere Einschätzungen vornehmen zu können. Zusätzlich dazu ist es bedeutsam, die Merkmale insofern klar zu definieren, als dass über verschiedene Aufgaben hinweg gleiche Bewertungsmaßstäbe angelegt werden können und diese zudem für Außenstehende transparent sind. Dies soll durch einige erklärende Sätze zum Verständnis der Merkmale in dieser Arbeit geschehen.

Kenntnis von Definitionen und Gesetzen

Das erste Merkmal ist die *Kenntnis von Definitionen und Gesetzen*. Damit bezieht es sich auf das zur Lösung benötigte Faktenwissen. Lernende müssen dabei physikalische Begriffe wie Arbeit oder Kraft definieren und fundamentale physikalische Gesetze wie zum Beispiel das Ohmsche Gesetz verbal sowie mathematisch als Formel formulieren und anwenden können. Dazu gehört ebenfalls das Wissen über zugehörige physikalische Einheiten und Symbole zur Beschreibung relevanter physikalischer Größen. Der Fokus dieses Anforderungsmerkmals liegt somit auf dem Auswendiglernen, der Wiedergabe sowie dem Anwenden quantitativer Zusammenhänge. Beispielfür eine solche Aufgabe ist die folgende:
„Das Pendel einer Wanduhr macht in 2 Minuten 150 Schwingungen. Berechnen Sie die Periodendauer des Pendels.“

Qualitatives Begriffsverständnis

Das Merkmal *qualitatives Begriffsverständnis* beschreibt ein über das Auswendiglernen von Definitionen und Gesetzen hinausgehendes tieferes Verständnis physikalischer Konzepte. Lernende sollen diese beispielsweise in eigenen Worten erklären können, oder Zusammenhänge zwischen verschiedenen Konzepten erkennen. Zudem sollen darunter Fähigkeiten wie die Anwendung physikalischer Prinzipien auf Alltagssituationen, die Erklärung von physi-

kalischen Phänomenen oder das Treffen von Vorhersagen aufgrund zugrundeliegender Prinzipien fallen. Probleme können konzeptionell angegangen werden, auch wenn konkrete Formeln nicht zur Verfügung stehen. Ein Beispiel für eine Aufgabe, die ein ausgeprägtes qualitatives Begriffsverständnis zur Lösung verlangt, wäre die folgende:

„Stellen Sie Gemeinsamkeiten beziehungsweise Unterschiede dar, die zwischen der Gravitationskraft, einer Federkraft und einer Gleitreibungskraft bestehen.“

Rechenfertigkeiten

Als drittes Anforderungsmerkmal gibt es die *Rechenfertigkeiten*, die den Umgang mit Zahlen, Funktionen, Kalkülen und Termen im Kontext von Physikaufgaben beschreiben. Dieses Merkmal ist bedeutsam, wenn gerechnet, Gleichungen umgeformt, Einheiten verwendet oder auch Graphen erstellt werden müssen, um konkrete numerische Ergebnisse zu erlangen. Es sind vielfältige Aufgabenstellungen denkbar, die dieses Merkmal benötigen, wie auch die folgende:

„Ein Federpendel mit einer Masse von 0,5 kg und einer Federkonstanten von 20 N/m wird um 5 cm aus seiner Nulllage ausgelenkt und losgelassen. Berechne die Periodendauer der Schwingung.“

Interpretation von Diagrammen

Ein weiteres Merkmal stellt die *Interpretation von Diagrammen* dar, die bedeutsam ist, wenn Informationen aus grafischen Darstellungen gewonnen werden müssen. Dazu gehört das Verständnis über die dargestellten Größen, Skalierungen von Achsen in Koordinatensystemen sowie das Ablesen konkreter Werte. Neben Koordinatensystemen sind auch andere Diagrammtypen sowie Wertetabellen zu nennen, aus denen solche Informationen entnommen werden müssen. Ebenfalls soll das eigenständige Erstellen oder Bearbeiten solcher Darstellungen unter dieses Anforderungsmerkmal fallen. Ein Beispiel für eine Aufgabe mit Anforderungen dieser Art ist:

„Ermitteln Sie die Zeitpunkte der Nulldurchgänge der in Abbildung ... dargestellten Schwingung“.

Visuelles Vorstellungsvermögen

Mit dem Anforderungsmerkmal *visuelles Vorstellungsvermögen* wird auf die bildliche und räumliche Vorstellungskraft der Lernenden abgezielt. Diese spielt eine Rolle, wenn abstrakte Konzepte wie zum Beispiel mathematische Beschreibungen visualisiert oder dynamische Prozesse verstanden werden müssen. Viele Lösungsprozesse können hierdurch generell unterstützt werden und die Fähigkeit zudem in Aufgaben konkret zur Anwendung kommen, wie das folgende Beispiel zeigen soll:

„Ein Federpendel schwingt vertikal mit einer Amplitude von zehn Zentimetern. Zeichnen Sie den Graphen der Auslenkung y in Abhängigkeit von der Zeit t für eine Periode. Markieren Sie im Graphen die Punkte mit maximaler Geschwindigkeit beziehungsweise Beschleunigung.“

gung.“

Fähigkeiten des Problemlösens

Die *Fähigkeiten des Problemlösens* stellen das nächste Anforderungsmerkmal dar. Ein Umgang mit diesem erfordert zunächst die Definition eines Problems, für die es in der Literatur verschiedene Ansätze gibt. In dieser Arbeit soll einer gängigen Definition gefolgt werden, nach der eine Person mit einem Problem konfrontiert ist, falls drei Komponenten vorliegen. Zunächst muss sich die Person in einem inneren oder externen unerwünschten Zustand befinden. Als zweite Komponente muss darüber hinaus ein Zielzustand vorhanden sein, der erreicht werden soll. Die dritte Komponente stellt eine Barriere dar, die die entsprechende Transformation der Zustände verhindert. Die Person kann demnach den Zielzustand nicht unmittelbar erreichen, weil der Weg dorthin unbekannt ist, es zu viele verschiedene Wege gibt oder der Zielzustand nicht wohldefiniert ist. Die Suche nach einem Lösungsweg durch Analysieren und Schlussfolgern mithilfe domänenspezifischen Wissens wird dadurch zum zentralen Aspekt der Aufgabe und kann nicht durch bloße Erinnerungsleistung, Erkennen oder Reproduktion gefunden werden (Van Bien, Krause & Chu, 2020, S. 346). Beim wissenszentrierten Problemlösen bei Physikaufgaben kann der Lösungsprozess typischerweise in die folgenden vier Schritte unterteilt werden: Das physikalische Problem muss zunächst aus den Aufgabenbeschreibungen repräsentiert werden, was durch Skizzen, Algebraisierungen oder Idealisierungen erfolgen kann. Anschließend muss ein Lösungsschema ausgewählt oder entwickelt werden, mit dessen Hilfe nachfolgend versucht wird, zu einer Lösung zu gelangen. Abschließend sollte die Lösung evaluiert werden (Van Bien et al., 2020, S. 354 f.). Aus diesen Ausführungen geht hervor, dass Faktoren wie das Vorwissen oder das Lösen ähnlicher Aufgaben Einfluss darauf nimmt, ob es sich für einen Lernenden um eine Problemlöseaufgabe handelt. Die Analyse in dieser Arbeit muss dabei alleine von den Aufgaben ausgehen, sodass hier betrachtet wird, ob die Lösungsfindung fokussiert wird. Als beispielhaft für eine Problemlöseaufgabe kann die folgende gelten:

„Ein Körper wird so angestoßen, dass er über den Tisch rutscht und schließlich liegen bleibt. Erarbeiten Sie eine Formel, mit der Sie bestimmen können, wie weit der Körper rutscht.“

Verständnis formalisierter Gesetze

Im Modell von Fischer und Draxler (2007) folgt das Anforderungsmerkmal *Verständnis formalisierter Gesetze*. Hiermit wird auf die Fähigkeit Bezug genommen, mathematisch formulierte physikalische Gesetze zu verstehen und zu interpretieren. Dies umfasst beispielsweise die Zuordnung von in Gleichungen enthaltenen Symbolen zu physikalischen Größen, das Erkennen von Zusammenhängen zwischen diesen Größen, das Ableiten von Folgerungen auf Basis des zugrundeliegenden physikalischen Konzepts oder auch das Einschätzen von Gültigkeitsbereichen des formalisierten Gesetzes. Eine wichtige Rolle spielt dieses Merkmal in Aufgaben wie dieser:

„Betrachten Sie die Gleichung für die harmonische Schwingung eines Federpendels, $x(t) =$

$A \cdot \cos(\omega t + \varphi)$, und erklären Sie die physikalische Bedeutung der beteiligten Größen. Erklären Sie anhand der Gleichung, wann die potentielle Energie maximal wird.“

Verständnis für funktionale Zusammenhänge

Das nächste Merkmal ist das *Verständnis für funktionale Zusammenhänge*, das eng mit dem vorigen Merkmal zusammenhängt, dabei aber auf die rein mathematischen Zusammenhänge fokussiert. Es geht dabei um ein konzeptionelles Verständnis von Beziehungen zwischen Größen, das Erkennen von Abhängigkeiten zwischen Variablen, das Erkennen von Mustern und das Verstehen komplexerer mathematischer Modelle. Eine Aufgabe mit solchen Anforderungen im physikalischen Kontext könnte beispielsweise folgende sein:

„In einer Messreihe zur Untersuchung einer Schwingung werden die folgenden Werte für die Auslenkung x und die Zeit t aufgenommen (gefolgt von einer Wertetabelle). Welche mathematische Funktion könnte den Zusammenhang zwischen den Größen beschreiben?“

Verständnis für Alltagssituationen

Als weiteres Anforderungsmerkmal beschreiben die Autoren das *Verständnis für Alltagssituationen*. Dies soll im Rahmen dieser Arbeit jeweils für wichtig erachtet werden, wenn die Lösung einer Aufgabe einen Bezug auf eine spezielle Alltagssituation erfordert oder das Verständnis einer solchen Situation die Bearbeitung vereinfacht. Die folgende Aufgabe kann als Beispiel dafür dienen, dass die Kenntnis einer speziellen Alltagssituation für die Lösung entscheidend ist:

„Ein Koch möchte schnell Kartoffeln zubereiten und verwendet daher einen Schnellkochtopf. Erkläre, warum die Kartoffeln in diesem Topf schneller garen als in einem normalen Topf.“

Eine offener gestellte Aufgabe, die ein Verständnis für Alltagssituation erfordert, könnte beispielsweise sein, das Prinzip der Energieerhaltung (anhand eines Beispiels) zu erklären. Hier kann die Kenntnis von Alltagssituationen, bei denen Energieerhaltung anschaulich auftritt, im Falle der Aufgabenstellung ohne den Zusatz in der Klammer eine Rolle spielen, in Verbindung damit ist sie erneut entscheidend.

Verständnis für experimentelle Situationen

Mit dem anschließenden Merkmal *Verständnis für experimentelle Situationen* grenzen die Autoren Aufgaben mit experimentellem Anteil von anderen Aufgaben ab, da sie besondere Fähigkeiten erfordern. Dazu zählen sie das Beschreiben, Durchführen, Konstruieren und Interpretieren von Experimenten sowie Fähigkeiten im Umgang mit Geräten und Messinstrumenten. Aufgaben, die in diesem Merkmal ausgeprägt sind, könnten beispielsweise Aufforderungen zur Entwicklung eines Experiments enthalten, mit dem bestimmte Behauptungen überprüft werden können. Die folgende Frage wäre ebenfalls denkbar:

„Du misst die Schwingungsdauer eines Fadenpendels und ermittelst einen deutlich größeren Wert als erwartet. Nenne drei mögliche experimentelle Ursachen für diese Abweichung.“

Verständnis für symbolische Zeichnungen

Ein weiteres Merkmal stellt das *Verständnis für symbolische Zeichnungen* dar. Dieses wird von Fischer und Draxler (2007, S. 652) dadurch charakterisiert, dass Wissen um Skizzen, Zeichnungen oder Schaubilder mit spezifisch naturwissenschaftlichen Bedeutungen erforderlich ist. Sie zählen dazu beispielhaft Kraftvektoren, Schaltzeichnungen sowie Abbildungen von experimentellen Aufbauten auf. Eine Aufgabe mit solchen Merkmalen könnte die folgende in Kombination mit einer fehlerhaften Schaltskizze sein:

„Überprüfe die folgende Schaltskizze auf ihre Richtigkeit und umkreise Fehler rot.“

Überwindung von Fehlvorstellungen

Die *Überwindung von Fehlvorstellungen* stellt für viele Lernende ebenfalls ein bedeutsames Anforderungsmerkmal bei Aufgaben dar. Sie verarbeiten Informationen und konstruieren neues Wissen auf Basis ihres Vorwissens und ihrer Vorstellungen aus dem Alltag, die zum Teil physikalisch unangemessen sein können und dadurch für Lernschwierigkeiten sorgen (Schecker & Duit, 2018, S. 5). Die Bezeichnung dieses Anforderungsmerkmals suggeriert, dass zur erfolgreichen Lösung der Aufgabe zunächst eine bestehende Fehlvorstellung überwunden werden muss, womit sich eine Einschätzung nur im Kontext der Bearbeitenden vornehmen ließe. Da dies nicht zweckmäßig wäre, soll das Verständnis dieses Merkmals hier von der Aufgabe an sich ausgehen und abschätzen, ob bei der Bearbeitung typische Schülervorstellungen aktiviert werden könnten. Ein Beispiel für eine solche Aufgabe wäre ein schwingendes Fadenpendel, bei welchem der Faden reißt. Einer typischen Schülervorstellung folgend, nach der sich Bewegungsmuster Körpern einprägen, könnte zu der Ansicht führen, dass die herabstürzende Masse im Fallen eine Zick-Zack-Bewegung ausführt (Wiesner, 1994, S. 123). Um das Potential der im Rahmen dieser Arbeit zu untersuchenden Aufgaben auf die Thematisierung von Schülervorstellungen hin zu analysieren, müssen diese für den Bereich mechanischer Schwingungen bekannt sein. Die Erforschung von Schülervorstellungen verzeichnet seit den Achtzigerjahren des letzten Jahrhunderts einen starken Anstieg, sodass in vielen Themenbereichen insbesondere der Sekundarstufe I umfassende Kenntnisse vorliegen (Schecker & Duit, 2018, S. 15 f.). Das Thema der Schwingungen gehört jedoch zu den bisher eher vernachlässigten Themen (Schecker, Fischer & Wiesner, 2004, S. 169). Ergebnisse kleinerer Studien legen nahe, dass einige Fehlvorstellungen in diesem Bereich durch gut dokumentierte Fehlvorstellungen bezüglich Kraft und Bewegung verursacht werden, wie zum Beispiel dass immer dann keine Kraft auf ein schwingendes Pendel wirkt, wenn dessen Geschwindigkeit Null beträgt, entsprechend einer linearen Beziehung zwischen den Größen (Daud, Abd Karim, Hassan & Rahman, 2015, S. 40). Diese Fortpflanzung von Fehlvorstellungen aus der Dynamik ist nachvollziehbar. Belastbare Ergebnisse dazu finden sich jedoch kaum in der zitierfähigen Literatur. Im Rahmen dieser Arbeit soll dieses Anforderungsmerkmal daher lediglich bei Aufgabenstellungen eine Bedeutung erhalten, die eine Einbringung von eigenen fehlerhaften Vorstellungen bei der Beantwortung explizit anregen und die sich anhand dokumentierter Fehlvorstellungen des Bereichs Kraft und Bewegung wie

den folgenden begründen lassen: Kräfte wirken in Bewegungsrichtung und sind proportional der Geschwindigkeit, Kraft als Eigenschaft eines bewegten Körpers, Körper mit größerer Masse haben mehr Kraft, Kräfte werden bei Bewegung verbraucht (Schecker & Wilhelm, 2018, S. 70 ff.; Willer, 2003, S. 325). Diese fachlich falschen Vorstellungen legen nahe, dass eine Schwingungskraft existiert, die für die Pendelbewegung verantwortlich zeichnet, dass diese Kraft zugeführt werden muss und verbraucht wird und dass sich die Pendelmasse auf die Geschwindigkeit und die Schwingungsdauer auswirkt. Fragen, die solche Vorstellungen aktivieren können, sind beispielsweise die folgenden:

„Welche Kräfte wirken auf ein Federpendel im Umkehrpunkt, welche beim Durchlaufen der Nulllage?“

„Wie wirkt sich eine Verdopplung der angehängten Masse auf die Geschwindigkeit eines schwingenden Fadenpendels aus?“

In dieser Arbeit soll die Ausprägung *I* bei diesem Anforderungsmerkmal angegeben werden, wenn eine Aufgabe die Gelegenheit zur Adressierung von Fehlvorstellungen im Unterrichtsgespräch anbietet, ohne dass das Hauptaugenmerk auf diesen Vorstellungen liegt.

Kenntnis älterer Unterrichtsinhalte

Ein weiteres Anforderungsmerkmal des Modells ist die *Kenntnis älterer Unterrichtsinhalte*, also die Relevanz von Unterrichtsinhalten, die nicht unmittelbar mit dem aktuellen Thema zusammenhängen. Dafür müssen Lernende früher gelerntes Wissen erinnern und auf die neue Situation anwenden. Da die Aufgaben der Bücher in dieser Arbeit nicht im Kontext eines Unterrichtsgangs analysiert, sondern isoliert betrachtet werden, sollen dafür keine Inhalte aus dem Themenbereich Schwingungen in Frage kommen. Die zeitlichen Abstände zwischen der unterrichtlichen Thematisierung solcher Aufgabeninhalte könnten je nach Vorgehen der Lehrkraft weit entfernt oder nah beieinander liegen. Das Merkmal wird daher für Aufgaben in Betracht gezogen, bei dem die älteren Unterrichtsinhalte aus einem anderen Teilgebiet der Physik stammen, wie bei dem folgenden Beispiel:

„Ein Federpendel mit einer Masse von 100 Gramm und einer Federkonstanten von 10 Newton pro Meter schwingt in einer luftgefüllten Kammer. Berechnen Sie die Eigenfrequenz des Pendels. Die Kammer wird nun schrittweise evakuiert. Beschreiben Sie, wie sich dies auf die Amplitude und die Frequenz des Pendels auswirkt.“

Fähigkeit zur Kooperation

Das nächste Anforderungsmerkmal ist die *Fähigkeit zur Kooperation*, die bei der Organisation und Durchführung von Gruppenarbeiten eine Rolle spielt. In dieser Arbeit wird das Merkmal mit der Ausprägung *I* versehen, wenn eine Bearbeitung im Rahmen einer Gruppenleistung sinnvoll wäre, beispielsweise bei der Durchführung von Experimenten. Entscheidende Rolle soll das Merkmal bekommen, wenn die Aufgabenstellung dies konkret einfordert. Umgesetzt werden könnte dies beispielsweise folgendermaßen:

„Sucht euch eine:n Partner:in und zeichnet jeweils verdeckt die Zeit-Elongation-Funktion einer beliebig phasenverschobenen harmonischen Schwingung. Beschreibt euch diese gegenseitig so, dass ihr sie nachzeichnen könnt. Vergleicht im Anschluss die Zeichnungen.“

Umgang mit mentalen Modellen

Im Modell folgt das Merkmal *Umgang mit mentalen Modellen*, worunter die Autoren das Nutzen einer bildhaften Vorstellung zu einem naturwissenschaftlichen Sachverhalt verstehen. Mentale Modelle sind Hilfsmittel der Erklärung, vermitteln den Wissenserwerb und können bei Gedankenexperimenten eingesetzt werden. Beispielhaft für ein mentales Modell kann eine Sonnenfinsternis mithilfe eines mentalen Modells erklärt werden, in dem die räumlichen Beziehungen zwischen Sonne, Mond und Erde im Zeitablauf simuliert werden (Nitz & Fechner, 2018, S. 69 ff.). Der Umgang mit mentalen Modellen ist als kognitive Teilkompetenz in die PISA-Untersuchungen eingegangen und wird dort als modellhafte Repräsentationsmodalität explizit von visuell-bildhaften Repräsentationsformen wie Grafiken oder Diagrammen abgegrenzt (Rost, Carstensen, Bieber, Neubrand & Prenzel, 2003, S. 114). Es soll in dieser Arbeit vom Merkmal des visuellen Vorstellungsvermögens dadurch abgegrenzt werden, dass hier das Simulieren von Vorgängen die entscheidende Rolle spielt. Die visuelle Vorstellung hingegen soll lediglich das Verstehen von dynamischen Prozessen erleichtern. Eine Aufgabe, die das Simulieren eines Prozesses in diesem Sinne beinhaltet, wäre beispielsweise die folgende:

„Zwei Fadenpendel mit unterschiedlicher Länge schwingen nebeneinander. Skizzieren Sie, wie die Bewegung der beiden Pendel über mehrere Perioden aussehen könnte.“

Divergentes Denken

Abschließendes Anforderungsmerkmal im Modell ist *Divergentes Denken*. Die Autoren definieren dies als das Finden von möglichst vielen Lösungsmöglichkeiten einer Aufgabe. Im Rahmen dieser Arbeit wird darunter verstanden, dass die Aufgabenstellung das Finden verschiedener Lösungswege explizit einfordert, wodurch es zur Anforderung für Lernende wird. Eine solche Aufgabenstellung könnte lauten:

„Überlege dir drei Möglichkeiten, wie man die Schwingungsdauer eines Pendels verdoppeln könnte, ohne die Masse oder Federkonstante direkt zu ändern. Beschreibe sie möglichst ausführlich.“

Natur der Naturwissenschaften

Wie oben ausgeführt werden die beiden Merkmale *Textverständnis* und *naturwissenschaftliche Arbeitsweisen* des ursprünglichen Modells von Fischer und Draxler (2002) im neueren nicht mehr verwendet. Begründet wird dies von Draxler (2006, S. 100 f.) damit, dass diese Merkmale bereits in den im neuen Modell verwendeten Kompetenzstufenmodellen Berücksichtigung finden. Da diese Modelle in dieser Arbeit nicht zum Einsatz kommen, sollen das Textverständnis und naturwissenschaftliche Arbeitsweisen hier einbezogen werden. Die

naturwissenschaftlichen Arbeitsweisen exemplieren die Erkenntnisgewinnung in den Naturwissenschaften. Dabei nimmt das Experiment eine bedeutende Stellung ein, in dessen Kontext Naturwissenschaftler:innen Fragestellungen formulieren, Hypothesen bilden, das Experiment planen und durchführen, Schlüsse aus Beobachtungen ziehen und getroffene Annahmen kritisch reflektieren (Nerdel, 2017, S. 115). Darüber hinaus spielen die Modellierung von Phänomenen, komplexes Problemlösen oder auch die Entwicklung theoretischer Ansätze in einem Team eine Rolle (Kauertz & Fischer, 2020, S. 447 ff.). Viele dieser Teilaspekte sind durch bisherige Merkmale bereits erfasst. Für den Fall, dass Aufgaben auf Fragen naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen abzielen, soll daher stattdessen das Merkmal „Natur der Naturwissenschaften“ aufgenommen werden. Dieses deckt die Anforderung an Lernende ab, erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen zu beantworten, die beispielsweise die Bedeutung einer physikalischen Anwendung für die Gesellschaft thematisieren könnten (Kircher, 2020, S. 45). Ein Beispiel für eine solche Aufgabe ist die nachfolgende:

„Diskutiere, inwiefern der in einem Versuch ermittelte Wert für eine Federkonstante als exakt angesehen werden kann.“

4.1.4 Textverständlichkeit

Das Anforderungsmerkmal *Textverständnis* ist bereits im ursprünglichen Modell als Einschätzung der Lesekompetenz der Lernenden zu verstehen und geht im überarbeiteten Modell in einem größeren zweidimensionalen Kompetenzstufenmodell auf (Fischer & Draxler, 2007, S. 650). Die in diesem aufgeschlüsselten Fähigkeiten zeigen auf, wie die Lernenden mit dem Text umgehen müssen, mit ihnen kann jedoch nicht die Textqualität als solche bewertet werden. Diese ist im Rahmen dieser Arbeit allerdings von Interesse. Einerseits ist sie generell ein wichtiges Qualitätsmerkmal von Aufgaben (Kauertz & Fischer, 2009, S. 665), andererseits zeigt die Durchsicht der Schulbücher über verschiedene Ausgaben hinweg bei Teilen der Aufgaben ausschließlich sprachliche Anpassungen. Daher soll die Textverständlichkeit der Aufgabenstellungen erfasst werden. Die theoretischen Grundlagen dazu arbeiten zwar heraus, dass Leser:innen selbst eine zentrale Rolle beim Verstehensprozess zukommt, dies kann im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht einbezogen werden. Stattdessen sollen die Dimensionen des Hamburger Verständlichkeitskonzepts unter Einbezug der physikdidaktischen Hinweise zur sprachlichen Einfachheit zur Anwendung kommen. Um der Gefahr von subjektiven Gefühlsentscheidungen bei Einschätzungen von multifaktoriell beeinflussten Kategorien wie der sprachlichen Einfachheit zu begegnen, werden diese zunächst ausdifferenziert. Dazu werden die Beschreibungen aus der Literatur genutzt und somit auch eine bipolare Skala eingesetzt. Diese soll in dieser Arbeit allerdings nicht fünfstufig gestaltet werden, sondern zum Zwecke einer verbesserten Trennschärfe der Ausprägungen drei Stufen aufweisen, die kennzeichnen, ob eine der Ausprägungen dominiert oder sich diese die Waage halten. Angesichts der Kürze der betrachteten Texte in den Aufgabenstellungen erscheint eine feinere Graduierung nicht angemessen.

Sprachliche Einfachheit

Für die Dimension der sprachlichen Einfachheit wurden zunächst die vier Kriterien herangezogen, die in der physikdidaktischen Literatur ausgeführt wurden: die Satzstruktur, die Satzlänge, die Verwendung aktiver Sprache sowie die Anzahl von Substantivierungen. Daran anknüpfend wurde in der Literatur nach Möglichkeiten der Objektivierung recherchiert. Empfehlungen bezüglich der Satzlänge gibt es durch Ergebnisse der Lesbarkeitsforschung. Für gut verständliche deutschsprachige Texte findet sich dort die Angabe von durchschnittlich zwölf Wörtern pro Satz und eine Silbenzahl von 180 pro 100 Worte (Heijnk, 1997, S. 89 f.). Diese Abschätzungen lassen sich insbesondere anhand der Erkenntnisse des einfachen kognitionstheoretischen Modells im Theorieteil nachvollziehen, sodass sie in die Kriterien eingehen. Auf weitere Ausdifferenzierung, beispielsweise im Hinblick auf Wiederholungen von Substantiven oder den Einsatz von Fachwörtern wird verzichtet. Durch die im Allgemeinen kurzen Aufgabentexte, in denen Fachwörter erwartbar sind, bietet es sich kaum an, Wiederholungen oder Erklärungen zu integrieren, insbesondere wenn letztere in den Informationstexten des Schulbuchs enthalten sind. Insgesamt gehen somit die fünf folgenden bipolaren Kriterien in die Bewertung der sprachlichen Einfachheit ein:

1. Die Sätze sind lang (> 12 Wörter) \longleftrightarrow Die Sätze sind kurz (≤ 12 Wörter)
2. Die Silbenanzahl ist hoch ($> 1,8/\text{Wort}$) \longleftrightarrow Die Silbenanzahl ist gering ($\leq 1,8/\text{Wort}$)
3. Die Satzstruktur ist kompliziert (Nebensätze) \longleftrightarrow Die Satzstruktur ist einfach (Subjekt-Prädikat-Objekt)
4. Die Sätze enthalten Passivkonstruktionen \longleftrightarrow Die Sätze enthalten aktive Verben
5. Es gibt Substantivierungen \longleftrightarrow Es gibt keine Substantivierungen

Gliederung und Ordnung

Für die Ausdifferenzierung der Dimension Gliederung und Ordnung wird aufgrund der Kürze der Aufgabentexte lediglich auf drei Kriterien zurückgegriffen, die trennscharf formuliert werden konnten und die in den Aufgaben vorkommen könnten. Dabei ist in Bezug auf die Teilaufgaben die Abfrage vorangestellt, ob sie in der Aufgabe grundsätzlich vorhanden sind. Unter Teilaufgaben werden dabei nicht mehrere Handlungsschritte zum Lösen einer Aufgabe verstanden (z. B. das Umformen einer Gleichung, um im zweiten Schritt eine geforderte Rechnung durchführen zu können), sondern durch die Fragestellung prinzipiell abgrenzbare Fragen (z. B. „Berechne die Frequenz der Schwingung und gib die Amplitude an.“). Die drei Kriterien sind:

1. Es gibt keine Hervorhebungen \longleftrightarrow Es gibt Hervorhebungen
2. Es gibt keine Strukturierung durch Absätze \longleftrightarrow Es gibt Strukturierung durch Absätze
3. Es gibt keine abgegrenzten Teilaufgaben \longleftrightarrow Es gibt abgegrenzte Teilaufgaben

Anregende Zusätze

Die Dimension „Kürze und Prägnanz“ wurde für zu wenig trennscharf erachtet, als dass sie im Kontext der Aufgaben sinnvoll operationalisiert werden könnte. Auf sie wird daher verzichtet. Aufgrund der verschiedenen Möglichkeiten für anregende Zusätze sollen diese durch eine allgemeine Abfrage angegeben werden, die durch einen Kommentar elaboriert werden kann.

Mathematische Inhalte

Im Hamburger Verständlichkeitskonzept werden Oberflächenmerkmale der Texte fokussiert und mathematische Inhalte der Aufgaben nicht explizit eingebunden. Diese sind in den Aufgaben in Form von Begriffen, Symbolen und Gleichungen allerdings präsent. Dennoch soll ihre Wirkung auf die Textverständlichkeit hier nicht untersucht werden. Zum einen werden durch die Anforderungsmerkmale bereits mathematische Fähigkeiten der Lernenden berücksichtigt. Andererseits wirken diese Merkmale auf der kognitiven Ebene und sind damit unabhängig von Aufgabenbearbeiter:innen schwierig einzuschätzen. Das Hamburger Verständlichkeitsmodell wurde zudem in seiner Erprobung auch für mathematische Texte eingesetzt (Bednorz, 2021, S. 111). Symbole und Gleichungen sollen daher in die Analyse in der Form eingehen, wie sie gelesen werden, was eine konsistente Erhebung ermöglicht. Dies bedeutet, dass beispielsweise ein α als ein Wort mit zwei Silben und fünf Buchstaben (alpha) gewertet werden soll.

Der hiermit in seiner Vollständigkeit erfasste Fragebogen ist auf den folgenden zwei Seiten dargestellt.

Aufgabenanalyse

Aufgabe:

--

Schulbuchbezug

Schulbuch			
Niveaueinstufung			
Aus Vorgängerbuch übernommen	Nein	Ja:	

Textverständlichkeit

1. Sprachliche Einfachheit	0	0,5	1	Kommentare
0: Die Sätze sind lang (> 12 Wörter)				
1: Die Sätze sind kurz (≤ 12 Wörter)				
0: Die Anzahl der Silben ist hoch (> 1,8/Wort)				
1: Die Anzahl der Silben ist gering (≤ 1,8/Wort)				
0: Die Satzstruktur ist kompliziert (Nebensätze)				
1: Die Satzstruktur ist einfach (Subjekt-Prädikat-Objekt)				
0: Die Sätze enthalten Passivkonstruktionen				
1: Die Sätze enthalten aktive Verben				
0: Es gibt Substantivierungen				
1: Es gibt keine Substantivierungen				
Gesamteinschätzung				

2. Gliederung/Ordnung	0	0,5	1	Kommentare
0: Es gibt keine Hervorhebungen				
1: Es gibt Hervorhebungen				
0: Es gibt keine Strukturierung durch Absätze				
1: Es gibt Strukturierung durch Absätze				
Die Aufgabe besteht aus Teilaufgaben	Ja		Nein	
0: Die Teilaufgaben sind nicht voneinander abgegrenzt				
1: Die Teilaufgaben sind voneinander abgegrenzt				
Gesamteinschätzung				

3. Anregende Zusätze (wörtl. Rede, Bilder, lebensnahe Bsp., rhetorische Fragen, Skizze, ...)

--

Aufgabenanalyse

Kontext

keiner	nicht lebensweltlich	lebensweltlich
--------	----------------------	----------------

Antwortformat

Kommentar

Kurzantwort		
erweitertes Antwortformat		

Offenheit der Aufgabe

Kommentar

schreibt Lösungsweg explizit vor		
macht implizite Vorgaben (Operatoren, Geräte, Theorien)		
lässt mehrere Lösungswege zu und thematisiert Alternativen		
lässt mehrere Lösungswege zu und schreibt keinen vor / fordert mehrere		

Art der Lösungswege

Kommentar

experimentelle Lösung					
halbquantitative Lösung					
rechnerische Lösung					
theoretische Lösung					

Experimenteller Anteil

Kommentar

imitatorisch					
organisiert					
konzeptuell					

Anforderungsmerkmale (0=keine, 1=mittlere, 2=entsch. Bedeutung)

Kommentar

Kenntnis von Definitionen + Gesetzen					
qualitatives Begriffsverständnis					
Rechenfertigkeiten					
Interpretation von Diagrammen					
visuelles Vorstellungsvermögen					
Problemlösefähigkeit					
Verständnis formalisierter Gesetze					
Verständnis für funktionale Zusammenhänge					
Verständnis für Alltagssituationen					
Verständnis für experimentelle Situationen					
Verständnis für symbolische Zeichnungen					
Überwindung von Fehlvorstellungen (1=thematisierbar)					
Kenntnis älterer Unterrichtsinhalte					
Fähigkeit zur Kooperation (1=sinnvoll)					
Umgang mit mentalen Modellen					
Divergentes Denken					
Natur der Naturwissenschaften					
Gesamtscore					

4.2 Vorgehen bei der Datenanalyse

Die Schulbücher und Aufgaben werden mithilfe des vorgestellten Kategoriensystems charakterisiert, wobei einige wenige Kategorien durch Texte beschrieben werden. Dazu gehören die Einbettung ins Schulbuch, die Art der Übernahme von Aufgaben aus Vorgängerauflagen bei den schulbuchbezogenen Merkmalen sowie die anregenden Zusätze im Bereich der Textverständlichkeit. Diese werden im Anschluss daraufhin überprüft, ob sich Gruppierungen finden lassen, die durch eine Häufigkeitsverteilung dargestellt werden können. Solche Häufigkeitsverteilungen lassen Aussagen über die Aufgabengesamtheit zu und können ebenfalls bei den Kategorien gebildet werden, deren Kriterien sich gegenseitig ausschließen. Dazu gehören die Niveaueinstufungen, die grundsätzliche Übernahme von Aufgaben aus Vorgängerauflagen, der Kontext, das Antwortformat, die Anzahl der Lösungswege und die Offenheit der Aufgaben. Zu beachten ist dabei, dass die Niveaueinstufung der Aufgaben als einzige Kategorie bei verschiedenen Schulbüchern unterschiedliche Ausprägungen aufweist. Die Kategorien der sprachlichen Einfachheit und Gliederung im Kontext der Textverständlichkeit werden auf einer dreistufigen Skala zwischen 0 und 1 eingeschätzt, die ebenso für einen Gesamteindruck der jeweiligen Aufgabe Verwendung findet. Daraus können zur Veranschaulichung von Unterschieden Durchschnittswerte gebildet werden. Gleiches Vorgehen kann bei den Einschätzungen der Anforderungsmerkmale Anwendung finden, wobei die dreistufige Skala aus der Literatur mit den Ausprägungen 0, 1 und 2 übernommen wird. Da sich die Anforderungen auf unterschiedliche Fähigkeiten beziehen, ist eine Durchschnittsbildung für einzelne Anforderungen innerhalb von Aufgaben eines Schulbuchs zwar möglich, nicht aber sinnvoll für den Ausdruck eines Gesamteindrucks einer Aufgabe. Stattdessen wird hier durch die Summe über alle Anforderungsmerkmale dargestellt, wie ausgeprägt die Anforderungen der Aufgabe insgesamt sind. Für alle so ermittelten Zahlenwerte muss festgehalten werden, dass sie nur qualitative Aussagen zulassen und damit für relative Vergleiche genutzt werden können. Die Abstände der ordinalskalierten Ausprägungen haben inhaltlich keine Aussagekraft. Dennoch können einige Mittel der beschreibenden Statistik für die Auswertungen genutzt werden. Aussagen bezüglich der zentralen Tendenz einer Verteilung können mithilfe des Mittelwerts und Medians getroffen werden. Die Variabilität in Form von Streuungen um den Mittelwert kann mithilfe der Standardabweichung eingeschätzt werden (Bortz & Schuster, 2010, S. 25 ff.).

Gütekriterien

Durch die Untersuchung der Schulbuchaufgaben sollen möglichst aussagekräftige Ergebnisse erlangt werden. Daher wurde bei der Erstellung des Kategoriensystems das Ziel verfolgt, die Gütekriterien der Objektivität, Reliabilität und Validität zu beachten. Von objektiven Messergebnissen kann ausgegangen werden, wenn verschiedene Personen mit demselben Instrument gleiche Ergebnisse erzielen. Zur weiteren Ausdifferenzierung lassen sich Durchführungs-, Auswertungs- und Interpretationsobjektivität voneinander abgrenzen. Aus-

wertungsobjektivität liegt vor, wenn es bei Auswertungen keine Freiheitsgrade gibt. Interpretationsobjektivität ist gegeben, wenn verschiedene Personen aus denselben Ergebnissen die gleichen Schlussfolgerungen ziehen. Die Durchführungsobjektivität beschreibt den Einfluss der Testsituation auf die Ergebnisse und ist besonders bei Testungen von Personen von Bedeutung (Himme, 2009, S. 485). Sie spielt damit in dieser Arbeit eine untergeordnete Rolle, kann jedoch durch das Vorhandensein eines Analysebogens dadurch erhöht werden, dass Aufgabenmerkmale in der gleichen Reihenfolge eingeschätzt werden. Es werden mehrere Merkmale untersucht, die durch schlichtes Zählen erhoben werden können und dadurch objektiv ausgewertet werden können. Einschätzungen, die subjektive Spielräume zulassen, sind beispielsweise bei der Textverständlichkeit und den Anforderungsmerkmalen gegeben. Diesem Umstand wird bei der Textverständlichkeit durch die Ausdifferenzierung von Kategorien Rechnung getragen, die einen Gesamteindruck auf mehrere Kriterien stützen. Letztere sollen auf einer bipolaren Skala eingeschätzt werden, welche nicht zu fein graduert ist. Bei den Anforderungsmerkmalen wird ebenfalls die noch im Modell von Fischer und Draxler (2002) verwendete gröbere Skalierung der Ausprägungen verwendet. Zudem basiert der Gesamteindruck hier auf der Summe von 17 einzelnen Einschätzungen, was ebenfalls ausgleichende Effekte bei unterschiedlichen Eindrücken von Merkmalen haben kann. Diese Unterschiede sollen darüber hinaus dadurch gering gehalten werden, dass es Beschreibungen und Ankerbeispiele zum Verständnis der Anforderungsmerkmale gibt. Des Weiteren wird bei der Angabe von Kontexten auf eine feine Ausdifferenzierung verzichtet. Die Ergebnisse sollen insbesondere für relative Vergleiche genutzt werden, wodurch Interpretationsobjektivität erreicht wird.

Die Reliabilität eines Messinstruments bewertet dessen Zuverlässigkeit und Stabilität. Durch die Art und Weise der Messung soll gewährleistet werden, dass Messungen reproduzierbar sind (Himme, 2009, S. 485). Dies ist bei den auszuzählenden Merkmalen erfüllt. Bei den Kategorien, in denen Einschätzungen getroffen werden müssen, kann eine Meinungsänderung bei wiederholter Messung nicht ausgeschlossen werden. Durch die Ausdifferenzierung und höhere Anzahl von Kriterien innerhalb der Kategorien sollen die Auswirkungen solcher Abweichungen allerdings gering gehalten werden und die Gesamteinschätzungen stabil bleiben. Die Validität von Messinstrumenten beschreibt ihre Gültigkeit und Genauigkeit. Damit beschäftigt sie sich mit der Frage, ob die Messungen das messen, was sie messen sollen (Himme, 2009, S. 485). Um diesem Ziel möglichst nahe zu kommen, wurde der Analysebogen stark literaturbasiert entwickelt. So basieren beispielsweise die Anforderungsmerkmale des Modells von Fischer und Draxler (2007) bereits auf Vorarbeiten weiterer Wissenschaftler:innen und sind selbst in empirischen Studien untersucht worden. Ähnliches gilt für das Hamburger Verständlichkeitskonzept bei den Kategorien der Textverständlichkeit (Fischer & Draxler, 2007, S. 651; Milde, 2009, S. 126).

4.3 Beschreibung der Schulbücher als Untersuchungsmaterial

Mithilfe des Analysebogens werden die Aufgaben aus zehn Physikschulbüchern aus einer heute unter dem Titel „Metzler Physik“ bekannten Schulbuchreihe analysiert. Das älteste der zehn vorliegenden Bücher der Reihe stammt aus dem Jahr 1911, das neueste erschien im Jahr 2020, sodass die Werke insgesamt mehr als hundert Jahre Schulphysik begleiten. In dieser Zeit sorgten nicht nur die beiden Weltkriege für gesellschaftliche Umwälzungen, sondern auch technologische Neuerungen und bildungspolitische Reformen. Einen Eindruck hiervon geben die folgenden Beschreibungen der einzelnen Schulbücher des Untersuchungsmaterials. Bei diesen Ausführungen wird aufgrund der historischen Realitäten zum Teil auf gendersensible Formulierungen verzichtet.

Oberstufe der Naturlehre (1911)

Das erste Schulbuch der Reihe von Friedrich Poske ist bereits die dritte Auflage eines ursprünglich für obere Klassen an österreichischen Mittelschulen entwickelten Schulbuchs. Es erschien im Verlag Friedrich Vieweg & Sohn und richtet sich an Lernende der höheren Lehranstalten des Deutschen Reichs. Neben dem Vorwort dieser dritten Auflage sind zu Beginn des Buchs zusätzlich auch die Vorworte von Poske zur ersten Auflage von 1906 sowie der zweiten Auflage von 1909 aufgeführt. Zur ersten Auflage führt der Autor aus, dass dieses Werk der Versuch eines Kompromisses zwischen den für die Benutzung umständlichen und umfangreichen physikalischen Lehrbüchern auf der einen und dem Wunsch nach kurzen Zusammenstellungen von „Gedächtnisstoff“ für die Lernenden auf der anderen Seite sei. Er beschreibt darüber hinaus, dass bei der Anordnung der Inhalte systematische und methodische Gesichtspunkte eine Rolle gespielt hätten, den Lehrkräften aber genügend Gestaltungsspielraum zukommen solle. Zentrale Leitsätze sollen in Paragraphenform zusammengezogen werden und ausführlichere Beschreibungen oder Begründungen in kleinerer Schrift folgen. Lücken sollen zum Nachdenken und Fragen der Lernenden anregen und von der Lehrkraft erläutert werden, ein Buch zum Selbststudium sei das Buch nicht. Zudem erfolgt ein Hinweis auf den Band für die Unterstufe, auf dessen Inhalte gegebenenfalls rückverwiesen werde (Poske, 1911, S. V f.). Im Buch zeigen sich die Ausführungen des Autors anhand der durch fortlaufende Paragraphen gekennzeichneten wichtigen Oberthemen, denen numerische Auflistungen zentraler Ausführungen folgen. Kernbegriffe in diesen sind durch Fettdruck abgesetzt. Zwischen den wichtigen nummerierten Absätzen sind in kleinerer Schrift Rechnungen und Versuchsbeschreibungen zu finden, teilweise mit Abbildungen versehen. Neue Gedanken sind durch Einrückungen kenntlich gemacht. Weitere Strukturelemente wie Markierungen, Umrahmungen oder größere Absätze zwischen verschiedenen Themen oder Sinnabschnitten sind nicht vorhanden, sodass der Eindruck eines Fließtextes aufkommt. Insgesamt sind die Inhalte bis auf wenige Ausnahmen in schwarz-weiß gehalten und textlastig. Aufgaben für die Lernenden sind im Themenbereich der Schwingungen und Wellen nicht vorhanden. Der Autor weist allerdings im Vorwort der zweiten Auflage auf eine Ergänzung

des Lehrbuchs hin, die im selben Verlag erschienen sei und Zusätze aus den Bereichen der angewandten Mathematik, Logik und Psychologie zusammen mit 230 Leitaufgaben enthalte. Das Vorwort zur hier vorliegenden dritten Auflage enthält keine relevanten Ergänzungen (Poske, 1911, S. VII).

Oberstufe der Physik (1926)

Beim zweiten vorliegenden Band der Reihe handelt es sich um die sechste Auflage, die nach dem Tod Friedrich Poskes inhaltlich von Bernhard Bavink neu gestaltet wurde. Er beschreibt im Vorwort die Notwendigkeit grundlegender Überarbeitung aufgrund von Unterrichtsreformen sowie dem wissenschaftlichen Fortschritt, sodass in diesem Buch beispielsweise erstmalig in der Schulphysik die Infinitesimalrechnung für andere Darstellungen vor allem in der Mechanik Sorge. Diese sei keineswegs eine Erschwerung des Unterrichts, sondern ermögliche vielmehr tiefergehendes Verständnis für Zusammenhänge. Als Beispiel führt Bavink explizit das Kapitel über die harmonische Bewegungen an und dort den Zusammenhang der Sinusformel mit dem Hookeschen Gesetz, der bisher über den Umweg des Kugelpendels „belastet“ gewesen sei (Bavink, 1926, S. IV). Der Autor hebt zudem eine Unterrichtsreform positiv hervor, die dem Physikunterricht die beiden Ziele gesetzt habe, Einsicht in die Forschungswege sowie das erarbeitete Weltbild der Physik zu vermitteln. Gleichzeitig spricht er von einem Zeitmangel in der Schule und begründet damit seine These, dass an einen für die Erreichung des erstgenannten Ziels notwendigen Arbeitsunterricht mit Schülerübungen an den meisten Schulen nicht zu denken sei. Auf diesen könne jedoch im Hinblick auf das wichtigere zweite Ziel verzichtet werden. Der Autor möchte zugunsten der Einsicht, dass Physik eine Wissenschaft der gedanklichen Beherrschung der Welt sei, vermeiden, dass die Neigungen der Jungen nicht bestärkt werden, „in der Physik weiter nichts als eine Anleitung zum Experimentieren oder ein Mittel zum Zwecke der Technik zu sehen“ (Bavink, 1926, S. IV). In seinen weiteren Ausführungen weist Bavink unter anderem auf von ihm in seiner langjährigen Tätigkeit als Lehrer erprobte kurze und sichere Wege zur Erkenntnis bei Schülern hin und bittet seine Kollegen, sich diesen zu öffnen. Abschließend habe das Buch durch neue Abbildungen und verbesserte Anordnungen, durch die zentrale Aspekte sich besser abheben sollen, an Qualität gewonnen (Bavink, 1926, S. V). Aufgaben für Lernende werden nicht thematisiert und wurden bei einer Durchsicht des Buchs nicht gefunden.

Lehrbuch der Physik für höhere Lehranstalten (1949)

Die im Jahr 1949 erschienene neunte Auflage des Schulbuchs wurde zunächst von Bavink erarbeitet, nach dessen Tod 1947 von Rudolf Brenneke weiter überarbeitet und durch die Militärregierung der britischen Besatzungszone genehmigt. In einem ersten Vorwort aus dem Herbst 1946 gibt Bavink an, dass das Buch aufgrund der äußeren Rahmenbedingungen nur in einer gekürzten Form erscheinen könne. Der Zweite Weltkrieg und die Zeit des Nationalsozialismus nehmen in seinen folgenden Ausführungen viel Raum ein. So sei das Lehrwerk mehr als zehn Jahre nicht im Unterricht eingesetzt worden, unter anderem deshalb, weil der

Verfasser sich geweigert habe, militärische Fokussierungen im Buch anzustrengen und stattdessen ein zusammenhängendes System physikalischer Erkenntnis in Schülern habe aufbauen wollen (Brenneke, 1949, S. III). Diesem Ziel schließt sich Brenneke in einem anschließenden Vorwort an und hebt dabei die Rolle der modernen Physik hervor. Der systematische Aufbau des Buchs solle Lehrkräften Spielraum für Auswahl und Anordnung des Lehrstoffs sowie den Einbau von Schülerübungen lassen. Aufgrund fehlender Lehrpläne in einigen westdeutschen Bundesländern seien in methodisch-didaktischer sowie stofflicher Hinsicht keine Änderungen erfolgt (Brenneke, 1949, S. IV). Aufgaben finden auch in diesem Vorwort keine Erwähnung. Sowohl die Kürzungen im Vergleich zu früheren Auflagen als auch die Beibehaltung von Inhalten und der Struktur bestätigt ein Blick in das Buch. Aufgaben für Lernende gibt es lediglich vereinzelt. Im Anschluss an eine vorgerechnete Beispielaufgabe findet sich im Themenbereich der mechanischen Schwingungen beispielsweise der kurze Arbeitsauftrag, eine dimensionsmäßige Überprüfung der Lösung vorzunehmen (Brenneke, 1949, S. 56).

Lehrbuch der Physik Band II (1951)

Für die zehnte Auflage des Lehrbuchs von 1951 fand eine umfangreiche Überarbeitung statt, die von Rudolf Brenneke und Leo-Werner Wolski vorgenommen wurde. Sie stellen wieder einmal die Stofffülle und Verantwortung der Lehrkraft bei der Auswahl von Unterrichtsinhalten heraus, weisen dem Buch allerdings auch explizit eine Funktion für die Lernenden außerhalb der Schule zu. Es soll als Nachschlagewerk dienen und enthalte daher neuere Physik sowie technische Anwendungen und thematische Randgebiete wie Meteorologie und Astrophysik. Um Schritt mit den wissenschaftlichen Entwicklungen zu halten, hätten darüber hinaus umfangreiche Neuerungen Einzug gehalten, zu denen die Autoren die vektorielle Betrachtungsweise in der Mechanik zählen sowie die Thematisierung verschiedener Größensysteme in Erwartung eines internationalen Einheitengesetzes (Brenneke & Wolski, 1951, S. III f.). Die Gestaltung der Seiten folgt weiterhin den ersten Auflagen mit Paragraphen, Fettdruck von wichtigen Sätzen und Begriffen und kleinerer Schrift bei den nicht zentralen Inhalten. Aufgabenstellungen sind im Themenbereich der Schwingungen nicht Bestandteil des Buchs.

Physik Oberstufe (1966)

Das im Jahr 1966 aufgelegte Buch „Physik Oberstufe“ ist keine Neuauflage der bisherigen Bücher, sondern ein neues Lehrbuch des Verlags, das sich primär an Lernende der mathematisch-naturwissenschaftlich ausgerichteten gymnasialen Oberstufe richtet. Ein Team von vier Personen wird als Bearbeiter angegeben, Rudolf Brenneke und Günter Schuster agieren als Herausgeber. In ihrem Vorwort betonen sie den anspruchsvollen Lehrstoff im Einklang mit der Zielgruppe, die durch spezifische Methoden der Physik sowie ein Wechselspiel zwischen Experimenten, gedanklichen Analysen und Hypothesen in eine geistige Auseinandersetzung mit dem Lehrstoff geführt werden solle. Dabei sollen die Lernenden

das Buch explizit auch zum Selbststudium und als Arbeitsbuch sowie zur Wiederholung von Lehrstoff nutzen. Die Herausgeber beschreiben das Buch als nach modernen didaktischen Aspekten gestaltet und nach übergeordneten Strukturen aufgebaut, die sich an der Gliederung erkennen ließen. Im weiteren Verlauf beschreiben sie wichtige inhaltliche Elemente wie den konsequenten Rückgriff auf das Meter-Kilogramm-Sekunde-Einheitensystem und stellen heraus, dass das Buch noch in der Erprobung reifen müsse (Harbeck, Grehn, Holz & Langensiepen, 1966, S. IV ff.). Die inhaltliche Gestaltung in diesem Buch weicht in mehreren Aspekten von den vorherigen Büchern ab. Eine numerische Gliederung mit Kapiteln ersetzt die fortschreitenden Paragraphen und Darstellungen sind zum Teil in Farbe. Zudem sind Aufgaben umfangreicher Bestandteil des Buchs und damit auch im Kapitel zu mechanischen Schwingungen zu finden.

Metzler Physik für den kursorientierten Unterricht in der gymnasialen Oberstufe (1982)

Im Jahr 1982 erschien im Metzler Verlag ein verbesserter Nachdruck der nach einem Verlagswechsel ersten Ausgabe des noch heute im Einsatz befindlichen „Metzler Physik“-Schulbuchs. Dieses richtet sich an Schüler:innen eines Leistungsfachs Physik in der gymnasialen Oberstufe. Neuer Herausgeber ist der bei dem vorher vorgestellten Band bereits im Bearbeiterteam tätige Joachim Grehn, dem für die Bearbeitung fünf Mitarbeiter zur Verfügung standen. Sie bleiben laut Vorwort dem Ziel treu, die Lernenden in die geistige Auseinandersetzung mit der Physik zu führen und wollen dazu vorrangig das Experiment in den Mittelpunkt stellen. Grehn beschreibt darüber hinaus die Orientierung an neuesten Lehrplanentwicklungen auf der Bundesebene und Neuerungen im Bereich moderner Physik. Darüber hinaus postuliert er eine bessere Herausarbeitung von Inhalten und Strukturen der klassischen Physik. Im Hinblick auf die Lernenden führt er weiter aus, dass diese sich im übersichtlich gestalteten Buch leicht zurechtfinden könnten. Graphische Darstellungen seien einfach und einfarbig gehalten, damit wichtige Aussagen dieser besser hervortreten. Grehn nimmt erstmals in der Schulbuchreihe Aufgaben in das Vorwort auf, die als ausreichendes Übungsmaterial zur Festigung und Vertiefung dienten und am Ende eines Teilkapitels zu finden seien. Die Konzeption des Schulbuchs sei die eines Arbeitsbuchs, eines Handbuchs für die Lehrkraft und eines Lehrbuchs für die Lernenden (Grehn et al., 1982, S. III f.). Strukturell gibt es einige Neuerungen im Buch. Die Texte auf den Seiten sind erstmalig in zwei Spalten organisiert, größere Abstände zwischen Elementen erhöhen die Übersichtlichkeit und mathematische Symbole fügen sich besser in den Fließtext. Zentrale Textelemente versehen die Autoren zusätzlich mit einem senkrechten fettgedruckten Balken als Markierung. Aufgaben sind auch in dieser Ausgabe in großer Zahl vorhanden.

Metzler Physik (1988)

Im Jahr 1988 erschien die zweite Auflage des Schulbuchs. Der weiterhin als Herausgeber agierende Joachim Grehn spricht in seinem Vorwort bereits in der Überschrift unmittelbar die Schüler:innen an und versucht diese zur Auseinandersetzung mit der Physik zu ermutigen.

In direkter Ansprache setzt er sie über die gestalterischen Grundsätze des Buchs in Kenntnis. Als neu im Vergleich zur ersten Ausgabe beschreibt Grehn die Konzeption nun auch als für Grund- und Leistungskurse geeignet. Dafür solle im Grundkurs das auf den Seiten größer geschriebene „Fundamentum“ thematisiert werden. Der Leistungskurs solle zusätzlich das kleiner gedruckte „Additum“ behandeln, dies alles bei einem größeren Maß unterrichtlicher Freiheit für die Lehrkraft. Zusätzlich dazu seien Abbildungen nun farbig und Versuchsanordnungen stilisiert gezeichnet und sollen so das physikalisch Wichtige hervorheben. Grehn beschreibt im Folgenden einige der Änderungen durch die veränderte Herangehensweise mit Fundamentum und Additum, die unter anderem eine Zurücknahme von Mathematisierungen für Ersteres beinhalten. Zudem führt er die Einbettung von Aufgaben im Schulbuch aus, auf die im Ergebnisteil ausführlicher Bezug genommen wird. (Grehn et al., 1988, S. VIII f.). Die Gestaltung der Buchseiten unterscheidet sich von der vorherigen Auflage in Details wie schmalere Markierungsstrichen bei zentralen Aussagen oder der Positionierung von Seitenelementen.

Metzler Physik (1998)

Die dritte Auflage des Schulbuchs erschien 1998 im Schroedel Verlag, die den Namen der Reihe allerdings unverändert weiterführt. Kontinuität findet sich auch in der den Schüler:innen zugewandten Art der Gestaltung des Vorworts, für das nun neben Joachim Grehn auch Joachim Krause als weiterer Herausgeber verantwortlich zeichnet. Sie beschreiben darin inhaltliche Neuerungen durch den Einsatz von Computern, die mathematisch aufwändige Sachverhalte zugänglich machen könnten. Darüber hinaus seien Überarbeitungen anhand neuer Erkenntnisse in der modernen Physik gemacht und die Strukturierung der Inhalte verbessert worden (Bolz, Grehn, Krause, Krüger & Schwarze, 1998, S. 3). Im Buch macht sich Letzteres vor allem durch den Einsatz von gelben Farbakzenten in den strukturierenden Markierungen und Abgrenzungen bemerkbar. Unerwähnt von den Herausgebern bleibt zudem eine inhaltliche Neuerung. Am Ende der übergeordneten Kapitel gibt es einen zusammenfassenden Teil, der das Grundwissen darstellen soll.

Metzler Physik (2007)

Dem Erscheinen der vierten Auflage im Jahr 2007 war eine Übernahme des Schroedel Verlags von der Westermann Gruppe vorausgegangen. Diese publizierte die neue Version jedoch weiterhin unter dem alten Verlagsnamen und Design, sodass dieser Wechsel nach außen hin kaum zu bemerken ist. Auch inhaltlich behalten die unveränderten Herausgeber die Konzeption der vorherigen Auflage bei. Als wesentliches Element der Neubearbeitung beschreiben sie die Integration von Methoden und Exkursen sowie die Hereinnahme von Wissenstests und Abituraufgaben. Es gebe nun eine verstärkte Differenzierung in zwei unterschiedliche Niveaustufen, die durch Schriftgröße und grüne Bepunktung kenntlich gemacht sei, sodass individuelle Lernangebote gemacht werden könnten (Gomoletz et al., 2007, S. 3). Eine auffällige Änderung auf den Seiten des Buchs ist die angesprochene Bepunktung, teilweise von

Aufgaben, teilweise von ganzen Seiten. Strukturell machen sich darüber hinaus keine signifikanten Änderungen bemerkbar.

Metzler Physik (2020)

Die fünfte Auflage des Schulbuchs wurde 2020 veröffentlicht und das Vorwort nach dem Tod Joachim Grehns von Joachim Krause alleinig verfasst. Die Kernaussagen ähneln dennoch stark den Vorgängerauflagen. Die einzige auffällige Abkehr darin ist die Verfolgung des Ziels der Differenzierung. Krauses Ausführungen folgend bleibt die grundlegende Unterteilung in die beiden unterschiedlichen Niveaustufen zwar erhalten, allerdings werde diese nur noch durch die Schriftgröße verfolgt. Eine grüne Bepunktung wird hingegen nicht thematisiert (Glas et al., 2020, S. 3). Die eingesetzten strukturierenden Elementen unterscheiden sich in geringem Ausmaß von den Vorgängerauflagen, verändern die Struktur als solches jedoch nicht bedeutsam. Es fällt allerdings in Bezug auf die Aufgaben innerhalb der Kapitel auf, dass nicht nur die grüne Bepunktung, sondern auch die Markierung durch Sternchen zur Unterscheidung von Niveaustufen gänzlich fehlt.

5 Ergebnisse

In diesem Kapitel findet die Darlegung der Ergebnisse aus den Analysen der Schulbuchaufgaben statt. Dabei wird der durch die Forschungsfragen angelegten Struktur gefolgt, sodass einführend über den gestalterischen Einsatz und die Rolle von Aufgaben in den einzelnen Ausgaben gesprochen wird. Dabei soll chronologisch vorgegangen und auch Bezug auf die in den Vorworten geäußerten Ziele der Herausgeber genommen werden.

5.1 Einbettung der Aufgaben in die Schulbücher

Das erste Schulbuch der Reihe von Poske (1911) bearbeitet das Thema Schwingungen und Wellenbewegungen auf insgesamt elf Seiten, von denen lediglich drei als Wiederholung und Erweiterung dienende Seiten harmonische Schwingungen und Überlagerungen in zwei Dimensionen thematisieren. Aufgaben kommen dabei nicht zum Einsatz, es schließen sich in einigen Fällen in kleiner Schrift durchgerechnete Beispielsituationen mit Variablen an die größer gedruckten zentralen Ausführungen an. In der sechsten Auflage des Schulbuchs von Bavink (1926) nimmt die harmonische Bewegung auf etwa neun Seiten einen größeren Raum ein. Es gibt weiterhin durchgerechnete Beispiele auf den Seiten, die nun auch als nummerierte Beispiele im Fließtext kenntlich gemacht sind. Ein weiterer Unterschied zur Vorgängerauflage ist die Einbindung von Fragestellungen mit konkreten Zahlenwerten. Damit weicht er von den rein theoretischen Herleitungen der Vorgängerauflage ab (Bavink, 1926, S. 46). Dieses Vorgehen und auch die grundsätzliche Struktur der Buchseiten findet sich noch mehr als zwei Jahrzehnte später in der neunten Auflage von Brenneke (1949) und ist in Abbildung 1 am Beispiel der einzigen Aufgabe des Abschnitts über harmonische Bewegungen darge-

stellt, die eine Aufforderung an die Leser:innen enthält. Diese fügt sich unmittelbar an das durchgerechnete Beispiel an und ist nicht von den anderen Textelementen zu unterscheiden oder in besonderer Weise abgegrenzt. Zwei Jahre nach diesem Buch erschien die zehnte Auf-

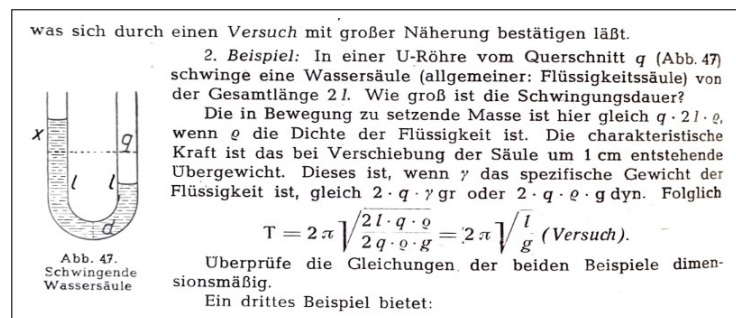


Abbildung 1: Die einzige Aufgabe zu mechanischen Schwingungen im Schulbuch von 1949. (Quelle: Brenneke, 1949, S. 56)

lage, die nach den Kürzungen des Vorgängerbands auf etwa elf Seiten den Themenbereich der mechanischen Schwingungen behandelt. Aufgabenstellungen für Leser:innen sind darin jedoch nicht vorhanden. Stattdessen wird die dimensionsmäßige Überprüfung der Beispielaufgabe von Abbildung 1 vom Verfasser selbst übernommen. Als möglichen Grund dieser Rückkehr zum Vorrechnen kann das im Vorwort geäußerte Ziel der Thematisierung verschiedener Größenartsysteme vermutet werden, das sich an anderen Stellen im Buch unter anderem in ausführlichen und vergleichenden Dimensionsbetrachtungen tabellarischer Art zeigt (Brenneke & Wolski, 1951, S. 78).

Erst mit dem Erscheinen des neuen Lehrbuchs von Harbeck et al. (1966) werden Aufgaben zu einem festen Bestandteil der Schulbuchreihe. In dieser Ausgabe beläuft sich ihre Zahl auf 20 Stück für den Themenbereich der harmonischen Schwingungen. Die Aufgaben folgen dabei stets in unmittelbarer Nähe auf die theoretischen Ausführungen der Verfasser oder Beschreibungen von Versuchen und fügen sich in der Mehrzahl der Fälle in den Fließtext ein, wie das Beispiel in Abbildung 2 zeigt. Darin ist zu sehen, dass die Aufgabenstellung le-

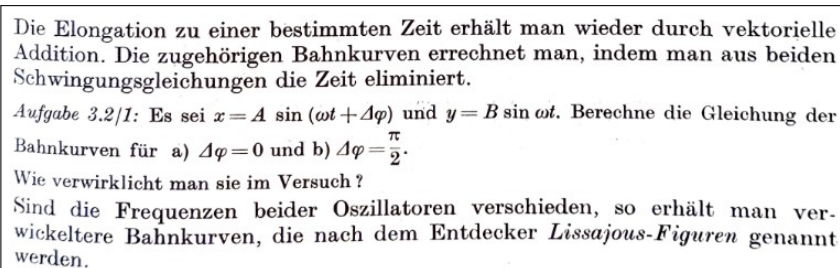


Abbildung 2: Aufgabeneinbettung im Schulbuch von 1966. (Quelle: Harbeck, Grehn, Holz und Langensiepen, 1966, S. 157)

diglich durch einen kleinen Absatz von den vorherigen Ausführungen getrennt ist und durch den kursiven Druck eine Hervorhebung erfährt. Unmittelbar im Anschluss an die Aufgabe setzt in der folgenden Zeile der Buchtext wieder ein. Dadurch entsteht ein strukturierterer

Eindruck insbesondere an den Stellen im Buch, an denen mehrere Aufgaben aufeinander folgen und jeweils ein kleiner Absatz zwischen diesen erscheint. Insgesamt wird der im Buch verfügbare Raum effektiv zur Platzierung von Inhalten genutzt. Dies zeigt sich beispielsweise an einer Aufgabenstellung, die auf engem Raum neben eine Grafik gedruckt wurde, ohne sich unmittelbar auf diese zu beziehen oder bündig mit ihr abzuschließen (Harbeck et al., 1966, S. 149). Die Nutzung von Aufgaben in diesem Buch spiegelt die Ausführungen der Herausgeber wider, nach denen die Lernenden dieses explizit auch als Arbeitsbuch und zum Selbststudium nutzen können sollen. Aufgaben selber und damit eine eventuell vorhandene Niveaueinstufung sprechen sie jedoch nicht an. Im Themenbereich der mechanischen Schwingungen gibt es auch keine Kennzeichen für unterschiedliche Einstufungen.

Die erste Ausgabe des „Metzler Physik“-Schulbuchs von Grehn et al. (1982) erschien in einem umfassend veränderten Layout, bei dem unter anderem die Buchseiten zweispaltig beschrieben wurden. Die insgesamt 18 Aufgaben des Themenbereichs der mechanischen Schwingungen finden sich auf zwei Seiten. Sie schließen damit die beiden Teilkapitel, die sich mit der harmonischen Schwingung beziehungsweise der Überlagerung von Schwingungen beschäftigen, ab. Vom restlichen Teilkapitel ist die erste der Aufgaben lediglich durch eine fettgedruckte Zwischenüberschrift des Titels „Aufgaben“ getrennt. Zwischen den Aufgaben selbst befinden sich geringe Abstände, der kursiv abgesetzte Druck *Aufgabe 3/1* bis *3/18* steht am Beginn der jeweiligen Aufgabenstellung und dient der Hervorhebung und Abgrenzung. Eine von den Verfassern nicht weiter erklärte Einstufung der Aufgaben wird durch ein kleines Sternchen am Ende der Nummerierung vorgenommen. Davon betroffen ist im untersuchten Themenbereich lediglich eine der Aufgaben. Die zweite Auflage des Schulbuchs

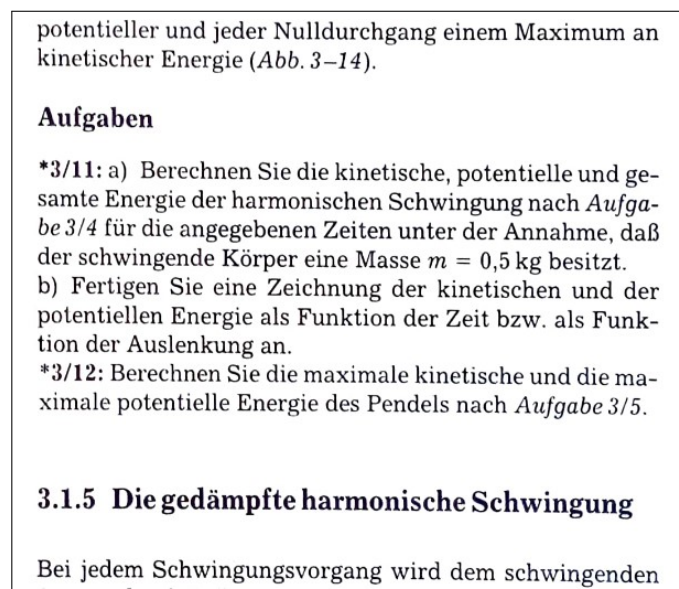


Abbildung 3: Aufgabeneinbettung im Schulbuch von 1988. (Quelle: Grehn et al., 1988, S. 109)

von Grehn et al. (1988) richtet sich durch die im Methodikteil beschriebene Differenzierung des Stoffes zusätzlich an Schüler:innen auf Grundkursniveau. Das Aufgabenmaterial sei er-

heblich erweitert worden und kennzeichne die vorgeblich dem Leistungskurs vorbehaltenen Aufgaben mit einem Sternchen. Zudem seien diese nun nicht am Ende von Teilkapiteln zu finden, sondern zur besseren Bezugsherstellung am Ende von Kurzabschnitten (Grehn et al., 1988, S. VIII). Insgesamt führt der Abschnitt zu mechanischen Schwingungen 33 Aufgaben, von denen sieben als schwierig gekennzeichnet sind. Die Umsetzung der gestalterischen Neuordnung der Aufgaben ist beispielhaft auf der Abbildung 3 zu sehen. Die räumliche Trennung zum vorherigen Kurzabschnitt erfolgt durch einen im Vergleich zur Vorgängerauflage deutlich größeren Absatz. Die einzelnen Aufgaben sind zudem durch fettgedruckte Nummerierungen hervorgehoben, bei denen das niveaue kennzeichnende Sternchen an die vorderste Stelle rückt. Dadurch, dass zwischen den einzelnen Aufgaben kein Absatz gesetzt wird, bilden die Aufgaben ein zusammenstehendes Bündel, das bei oberflächlicher Betrachtung im restlichen Fließtext der Seite aufgeht. Insofern dient insbesondere die größere Überschrift hier der Abgrenzung von den anderen Inhalten.

Die Einbettung der Aufgaben verändert sich in der dritten Auflage von Bolz et al. (1998) deutlich im Bereich der Abgrenzung von anderen Seiteninhalten. Die Autoren greifen dafür auf gelbe Farbakzente zurück, mit denen sie die Aufgaben oben und unten rahmen. Darüber hinaus verzichten sie auf die konsequente kapitelweise Durchnummerierung der Aufgaben und beginnen stattdessen auf jeder neuen Seite bei der Eins, die als fettgedruckte Zahl vor den leicht eingerückten Text gesetzt wird. Schwierigere Aufgaben erhalten auch in dieser Auflage einen unmittelbar links vor die Nummer gesetzten Stern. Auf diese Weise sind sechs der 25 Aufgaben des Themenbereichs der mechanischen Schwingungen markiert.

Die Strukturierung und Einbettung von Aufgaben bleibt in ähnlicher Weise bei den beiden weiteren Auflagen von 2007 und 2020 erhalten. Kleinere Unterschiede zwischen den Ausgaben können in Abbildung 4 vergleichend betrachtet werden, die neben der links abgebildeten Einbettung im Buch der dritten Auflage mittig die vierte und auf der rechten Seite die fünfte Auflage des Schulbuchs zeigt. Der offensichtliche Farbwechsel hin zu einem grün bei den

Aufgaben

*1. Im Schattenwurf misst man die Amplitude \hat{y} der 1., 50., 100., ... Schwingung mit der Periodendauer $T = 0,8$ s.

n	1	50	100	150	200	250	300
\hat{y} in cm	5,0	4,0	3,2	2,6	2,2	1,7	1,4

a) Ermitteln Sie die Dämpfungskonstante k aus der Darstellung des natürlichen Logarithmus der Amplitude.
b) Berechnen Sie aus den Versuchsdaten die Halbwertszeit der Schwingung.

2. Die Amplituden der 3. und 4. Schwingung eines Pendels betragen 8 cm bzw. 7 cm. Wie groß ist die Amplitude der 1. Schwingung?

3. Die Amplitude der 10. Schwingung eines gedämpften Oszillators ist halb so groß wie die Amplitude der 1. Schwingung. Bei der wievielten Schwingung beträgt die Amplitude ein Zehntel des Anfangswertes?

*4. Die Differentialgleichung einer gedämpften Schwingung lautet $m\ddot{y}(t) + k\dot{y}(t) + D y(t) = 0$. Schreiben Sie für die Werte $m = 0,05$ kg, $D = 50$ kg/s², $k = 1,3$ kg/s ein Programm, das iterativ die Zeit-Elongation-Funktion berechnet und zeichnet. Variieren Sie k .

Aufgaben

*1. Im Schattenwurf wird die Amplitude \hat{y} der 1., 50., 100., ... Schwingung mit der Periodendauer $T = 0,8$ s gemessen.

n	1	50	100	150	200	250	300
\hat{y} in cm	5,0	4,0	3,2	2,6	2,2	1,7	1,4

a) Ermitteln Sie die Dämpfungskonstante k aus der Darstellung des natürlichen Logarithmus der Amplitude.
b) Berechnen Sie aus den Versuchsdaten die Halbwertszeit der Schwingung.

2. Die Anfangsamplituden der 3. und 4. Schwingung eines Pendels betragen 8 cm bzw. 7 cm. Berechnen Sie die Amplitude bei Beginn der Schwingung.

*3. Die Amplitude der 10. Schwingung eines gedämpften Oszillators ist halb so groß wie die Amplitude der 1. Schwingung. Ermitteln Sie, bei welcher Schwingung die Amplitude ein Zehntel des Anfangswertes beträgt.

*4. Die Differentialgleichung einer gedämpften Schwingung lautet $m\ddot{y}(t) + k\dot{y}(t) + D y(t) = 0$. Schreiben Sie für die Werte $m = 0,05$ kg, $D = 50$ kg/s², $k = 1,3$ kg/s ein Programm, das iterativ die Zeit-Elongation-Funktion berechnet und zeichnet. Variieren Sie k .

In vielen praktischen Anwendungen wird die Dämpfung so eingestellt, dass das schwingungsfähige System möglichst schnell und ohne Schwingungen in seine Ruhelage zurückkehrt. Dies ist erreicht, wenn der Radikand im Term für $\omega = \sqrt{D/m - k^2/4m^2}$ gleich null ist.

AUFGABEN

1. Die Anfangsamplituden der dritten und vierten Schwingung eines Pendels betragen 8 cm bzw. 7 cm. Berechnen Sie die Amplitude bei Beginn der Schwingung.

2. Die Amplitude der 10. Schwingung eines gedämpften Oszillators ist halb so groß wie die Amplitude am Beginn der ersten Schwingung. Ermitteln Sie, bei welcher Schwingung die Amplitude ein Zehntel des Anfangswertes beträgt.

3. Die Zeit, in der die Amplituden jeweils auf die Hälfte ihres willkürlich gewählten Anfangswertes sinken, ist konstant. Diese Zeit heißt Halbwertszeit t_H der Schwingung.
a) Zeigen Sie, dass die Halbwertszeit durch den Term $t_H = \ln(2)/\lambda$ gegeben ist.
b) Berechnen Sie die Zeit, nach der eine gedämpfte harmonische Schwingung die Hälfte ihrer Anfangsenergie abgegeben hat.

Abbildung 4: Aufgabeneinbettung in den Schulbüchern von 1998 (links), 2007 (mittig) und 2020 (rechts). (Quellen: Bolz, Grehn, Krause, Krüger und Schwarze, 1998, S. 1; Gomoletz et al., 2007, S. 2; Glas et al., 2020, S. 3)

Strukturelementen der vierten Auflage ist hier allerdings nicht so erwähnenswert wie die

am Rand der Buchseite sichtbare vertikale Bepunktung. Mit dieser versehen die Autoren in dieser Auflage die Inhalte eines erhöhten Niveaus und grenzen sie dadurch vom grundlegenden Niveau ab. Auf diese Weise kennzeichnen sie gelegentlich einzelne Passagen sowie Aufgaben im Buch oder markieren komplette Seiten, wie in dem hier gezeigten Beispiel zu gedämpften harmonischen Schwingungen. Durch das Beibehalten der schwierigkeitsanzeigenden Sterne unterscheiden die Verfasser somit vier Aufgabenniveaus der insgesamt 25 Aufgaben voneinander. Dem grundlegenden Niveau sind dabei 19 Aufgaben zuzuordnen, dem schwierigen grundlegenden sechs. Auf dem erhöhten Niveau sind drei der sechs Aufgaben als schwierig gekennzeichnet.

In der aktuellsten Ausgabe der untersuchten Schulbuchreihe ist die Rahmung durch zwei dickere Linien deutlich anderer Farbe einer Abtrennung nach oben durch einen dünneren Strich gewichen. Dessen Farbe weicht kaum von der allgemeinen Schriftfarbe der Textelemente ab. Dafür sind die einzelnen Aufgaben nun durch Absätze voneinander getrennt. Die Aufgaben sind dadurch optisch entzerrt und nehmen mehr Raum auf den Buchseiten ein. Darüber hinaus ist auffällig, dass Abstand von der Einstufung in Niveaustufen durch Bepunktung sowie durch Sternchenaufgaben genommen wird, ohne dass diese Entscheidung im Vorwort begründet wird. Die Autoren gehen darin lediglich knapp auf die Differenzierung in zwei Niveaustufen durch die Schriftgröße in Textpassagen ein. Somit lassen sich die insgesamt 22 Aufgaben in dieser Auflage nicht weiter unterteilen.

Beantwortung der Forschungsfrage 1

Insgesamt können im Zeitablauf signifikante Veränderungen in der Rolle von Aufgaben und ihrer Einbettung in die Schulbücher festgestellt werden, die die Beantwortung der ersten Forschungsfrage ermöglichen. Die zeitlichen Entwicklungen decken sich dabei auch mit den Äußerungen der Buchautoren in den Vorworten, die dem Schulbuch zunehmend Funktionen für Lernende zusprechen. In den ersten Ausgaben steht im Vordergrund, dass die Lehrkraft Unterstützung dabei finden soll, in den Schülern ein zusammenhängendes System physikalischer Erkenntnis aufzubauen. Die Auflage von 1951 weist dem Buch darüber hinaus die Funktion eines Nachschlagewerks außerhalb der Schule zu. Bis zu diesem Zeitpunkt sind Aufgaben lediglich in der Form vorgerechneter Beispiele zu finden. Das Vorwort zur Auflage von 1966 hebt hervor, dass das Schulbuch auch zum Selbststudium geeignet sein soll und den Lernenden als Arbeitsbuch dienen könne. Dies schlägt sich in 20 Aufgaben nieder, die nahe an den zugehörigen theoretischen Ausführungen in den Fließtext integriert sind und eine Absetzung vom restlichen Text durch die kursiv gesetzte Schrift *Aufgabe 3.2/1* und aufsteigend erfahren. Eine Niveaueinstufung der Aufgaben findet in dem Buch, das sich explizit an Lernende von mathematisch-naturwissenschaftlichen gymnasialen Oberstufen richtet, nicht statt. Diese Zielgruppe bleibt in der nach dem Verlagswechsel ersten Auflage des „Metzler Physik“-Schulbuchs bestehen, dennoch findet sich im untersuchten Themenbereich eine der 18 Aufgaben, die mit einem Stern markiert ist. Diese Einstufung wird nicht weiter erklärt.

Die Verlagerung aller Aufgaben an das jeweilige Ende eines Teilkapitels begründen die Verfasser damit, eine bessere Übersichtlichkeit erreichen zu wollen. Mit der nächsten Ausgabe von 1988 verändert sich die Funktion des Schulbuchs insofern, als dass die Zielgruppe auf Schüler:innen auch von Grundkursen erweitert wird. Dieser Veränderung versuchen die Autoren dadurch gerecht zu werden, den Text sowie die Aufgaben in zwei Niveaustufen zu unterteilen und letzteres durch Sternchen kenntlich zu machen. Sie verlagern die Aufgabenplatzierung zur verbesserten Bezugsherstellung an das Ende von Kurzabschnitten und grenzen sie strukturell durch eine Zwischenüberschrift von anderen Inhalten ab, wobei der Fließtextindruck erhalten bleibt. Die Aufgabenzahl steigt deutlich auf 33 (sechs mit Stern) an, dies könnte darin begründet liegen, dass die Zielgruppe erweitert wurde oder einer grundsätzlich gesteigerten Wertschätzung von Aufgaben Ausdruck verliehen wird. Diese Anzahl geht in der dritten Auflage von 1998 auf 25 zurück, wobei die Anzahl der schwierigen Aufgaben erhalten bleibt. Auch hier kann eine eindeutige Begründung nicht gegeben werden. Im Bereich der Einbettung findet allerdings eine deutliche Veränderung statt, da die Aufgabenblöcke nun eine Rahmung in einer vom Text stark abweichenden Farbe erhalten. Damit folgen die Verfasser den beschriebenen Empfehlungen zur Lernförderlichkeit, denen sie in der vierten Auflage von 2007 treu bleiben. Die Anzahl der Aufgaben bleibt hier ebenfalls konstant bei 25. Verändert ist in dieser Ausgabe allerdings die Art der Differenzierung von Inhalten, die Bereiche erhöhten Niveaus durch eine am Rand vertikal verlaufende grüne Bepunktung markiert, und dies zusätzlich zu den Sternchen bei den Aufgaben einsetzt. Dadurch wird eine Aufspaltung in vier Niveaus erreicht, die von grundlegend bis erhöht schwierig reicht (Aufgabenanzahl in aufsteigender Schwierigkeit: 13, 6, 3, 3). Bis hierhin kann somit ein Trend über die Schulbuchreihe hin zu einem zunehmenden Einsatz von differenzierenden Aufgaben, wie er für den mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterricht gefordert wird, erkannt werden. Auch die Einbettung dieser Aufgaben findet auf eine zunehmend lernförderliche Weise statt. Von diesem Trend weicht die neueste Ausgabe allerdings ab. Die insgesamt 22 Aufgaben werden in keiner Weise differenziert und auch die Abgrenzung von anderen Seiteninhalten fällt dezenter aus. Über den Grund hierfür kann nur spekuliert werden. Auffällig ist allerdings ein insgesamt leicht verändertes Layout zu den Vorgängerauflagen unter dem neuen Verlagsnamen Westermann. Die Westermann Gruppe war jedoch bereits für das Herausbringen der vierten Auflage verantwortlich, obwohl diese noch unter dem bisherigen Verlagsnamen veröffentlicht wurde.

5.2 Übernahme von Aufgaben aus älteren Auflagen

Im Zuge der Analyse wurde festgehalten, ob Aufgaben bereits in früheren Auflagen eingesetzt wurden. Die Ergebnisse dieser Erhebung werden im Folgenden dargestellt, beginnend mit der Analyse der Aufgabenherkunft in den jeweiligen Auflagen. Im Anschluss daran erfolgt eine Darstellung der Veränderungen, die die Autoren der Schulbücher bei übernommenen Aufgaben vornahmen.

Quantitative Ergebnisse

Die Analyse des Untersuchungsmaterials zeigt bei der Mehrzahl der Aufgaben eine mehrfache Verwendung über die Schulbuchreihe hinweg. Diese zeitliche Entwicklung wird übersichtsartig in Abbildung 5 dargestellt. Erkennbar ist darin zunächst die Gesamtzahl der Auf-

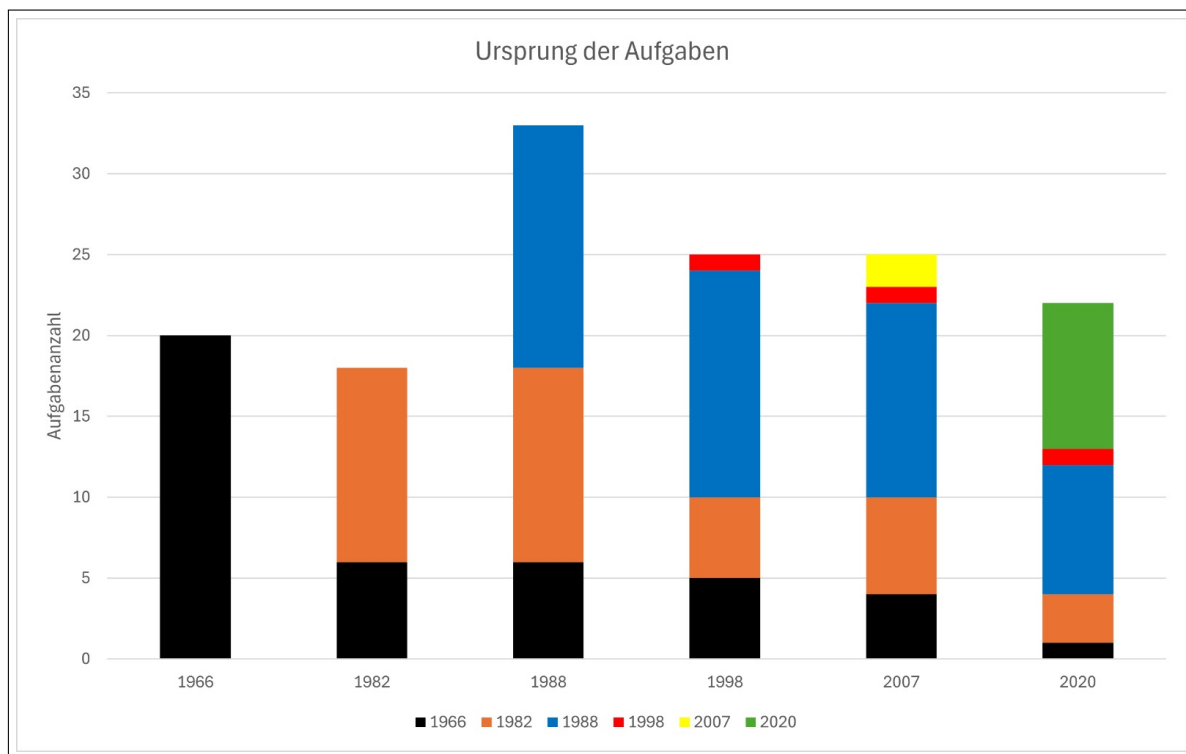


Abbildung 5: Darstellung der Aufgabenherkunft in den Schulbuchausgaben.

gaben, die in den ersten beiden Büchern am geringsten war, ehe sie im Jahr 1988 ihre Höchstzahl erreichte. Die an den verschiedenen Farben erkennbaren Aufgabenursprünge verdeutlichen, dass ab 1988 jeweils mehr als die Hälfte aller Aufgaben aus vorherigen Auflagen übernommen wurden. Genauer lässt sich beschreiben, dass von den 20 Aufgaben aus dem Jahr 1966 sechs für die erste Ausgabe des „Metzler Physik“-Schulbuchs im Jahr 1982 übernommen wurden, dies entspricht einem Drittel aller Aufgaben dieses Buchs. Zu den zwölf neu erstellten Aufgaben für die Auflage gehört eine, die von den Autoren mit einem Stern versehen wird, was den Angaben aus dem Vorwort der zweiten Auflage folgend einem erhöhten Anforderungsniveau entspricht.

Die Abbildung 5 zeigt anhand der schwarzen und orangenen Balken, dass die zweite Auflage alle 18 Aufgaben von der ersten übernimmt. Dabei werden Anpassungen in den Niveaueinstufungen vorgenommen, die mit der Öffnung des Schulbuchs für Schüler:innen von Grundkursen einhergeht. Neben der einen bereits zuvor als erhöhtes Niveau eingestuften Aufgabe fügen die Autoren bei einer aus dem Jahr 1966 sowie fünf weiteren Aufgaben aus dem Jahr 1982 einen Stern hinzu. Zusätzlich dazu erweitern sie das Aufgabenangebot um 14 weitere Aufgaben, in der Grafik blau dargestellt, sodass annähernd 55% (18 von 33) der Aufgaben in dieser Auflage zum wiederholten Mal Verwendung finden.

Diese neu entwickelten Aufgaben finden vollständigen Eingang in die dritte Auflage des „Metzler Physik“-Schulbuchs. Sie kennzeichnen zwei von diesen mit einem Stern und schätzen damit das Anforderungsniveau höher ein. Darüber hinaus übernehmen die Verfasser fünf der aus dem Jahr 1966 stammenden Aufgaben und ordnen ebenfalls zwei von diesen dem erhöhten Anforderungsniveau zu. Von den zwölf Aufgaben, die seit der ersten Auflage von 1982 im Einsatz waren, übernehmen die Verfasser lediglich fünf. Darunter sind zwei, die mit einem Stern versehen waren und nur bei einer dieser Aufgaben folgen die Autoren dieser Einschätzung. Vier der nicht übernommenen sieben Aufgaben gehörten vorher dem erhöhten Anforderungsniveau an. Die Anzahl der insgesamt übernommenen Aufgaben beläuft sich damit auf 24 der 25 eingesetzten Aufgaben. Die neu entwickelte Aufgabe ist in der Abbildung durch einen kleinen roten Balken dargestellt. Die Autoren fügen mit dieser eine als schwierig markierte Programmieraufgabe für das iterative Lösen der Differentialgleichung einer gedämpften harmonischen Schwingung hinzu und binden damit ein neues Medium ein. Die geringere Zahl von Aufgaben im Vergleich zur Vorgängerversion kann hauptsächlich auf das ersatzlose Aussortieren der sieben Aufgaben von 1982 zurückgeführt werden.

Durch die verstärkte Differenzierung in der vierten Auflage des Schulbuchs kommen insbesondere neue und veränderte Niveaueinstufungen dazu. Diese werden nicht im Detail dargestellt, da sich die verschiedenen Skalen schlecht vergleichen lassen. An den Aufgaben selber ändert sich kaum etwas, wie auch der Abbildung zu entnehmen ist. Mit 23 von 25 Aufgaben werden nahezu alle Aufgaben übernommen. Das erste Erscheinen dieser Aufgaben verteilt sich auf vier von 1966, sechs von 1982, zwölf von 1988 und die neue Aufgabe aus 1998. Die beiden neu erstellten Aufgaben der vierten Auflage entstammen dem Themenbereich der Überlagerung von Schwingungen und sind mit einem Stern markiert, was hier einer schwierigen Aufgabe auf grundlegendem Niveau entspricht.

Dem Trend einer annähernd kompletten Übernahme vorheriger Aufgaben folgt die fünfte Ausgabe nicht. Stattdessen finden wieder verstärkt neue Aufgaben Eingang in das Schulbuch, wie in Abbildung 5 anhand des grünen Balkens zu erkennen ist. Neun der 22 Aufgaben kommen zum ersten Mal zum Einsatz. Zusätzlich dazu sind noch eine Aufgabe aus dem Jahr 1966, drei aus 1982, acht aus 1988 und die im Jahr 1998 erstellte Programmieraufgabe berücksichtigt worden, sodass der Anteil von übernommenen Aufgaben 59% beträgt.

Qualitative Ergebnisse

Die inhaltlichen Veränderungen der übernommenen Aufgaben wurden ebenfalls in den Analysebögen vermerkt, jeweils bezogen auf die letztmalige Verwendung der Aufgabe. Im Anschluss daran wurden ähnliche Anpassungen zusammengefasst und daraus sechs übergeordnete Kategorien entwickelt. Abbildung 6 stellt für die verschiedenen Auflagen dar, auf welche Art die übernommenen Aufgaben im Vergleich zum letztmaligen Einsatz abgewandelt wurden. In die Kategorie der *minimalen Umformulierung* wurden Anpassungen eingeordnet, die kleinere sprachliche Umformulierungen aufweisen, wie zum Beispiel der Austausch des

Wortes „aufgehängt“ durch das Wort „angehängt“. In einigen Aufgaben wird der *symbolische Schriftsatz* angepasst, was sich in den meisten Fällen auf die Schreibweise von Brüchen auswirkt, den Inhalt und die mathematische oder physikalische Bedeutung jedoch nicht verändert. Für solche Änderungen wurde die Kategorie *mathematisch-physikalische Bedeutung* aufgenommen, in die Anpassungen eingeordnet wurden, die die Bearbeitung der Aufgabe beeinflussen können. Dazu gehört beispielsweise die präzisere Formulierung, die Befreiung von inhaltlichen Fehlern oder auch eine Hinweisgabe für die Lernenden. Eine solche Veränderung ist zum Beispiel bei einer Aufgabe zur Resonanz zu beobachten, bei welcher die Energieübertragung bei einer bestimmten Phasendifferenz in der angepassten Aufgabe als „besonders groß“ anstelle von „besonders günstig“ beschrieben wird. Weitere Kategorien sind die *Operationalisierung* von Aufgaben, die *exakt gleiche Verwendung* sowie die *Neugestaltung*. Bei einer Neugestaltung verändert sich die geforderte Lösung.

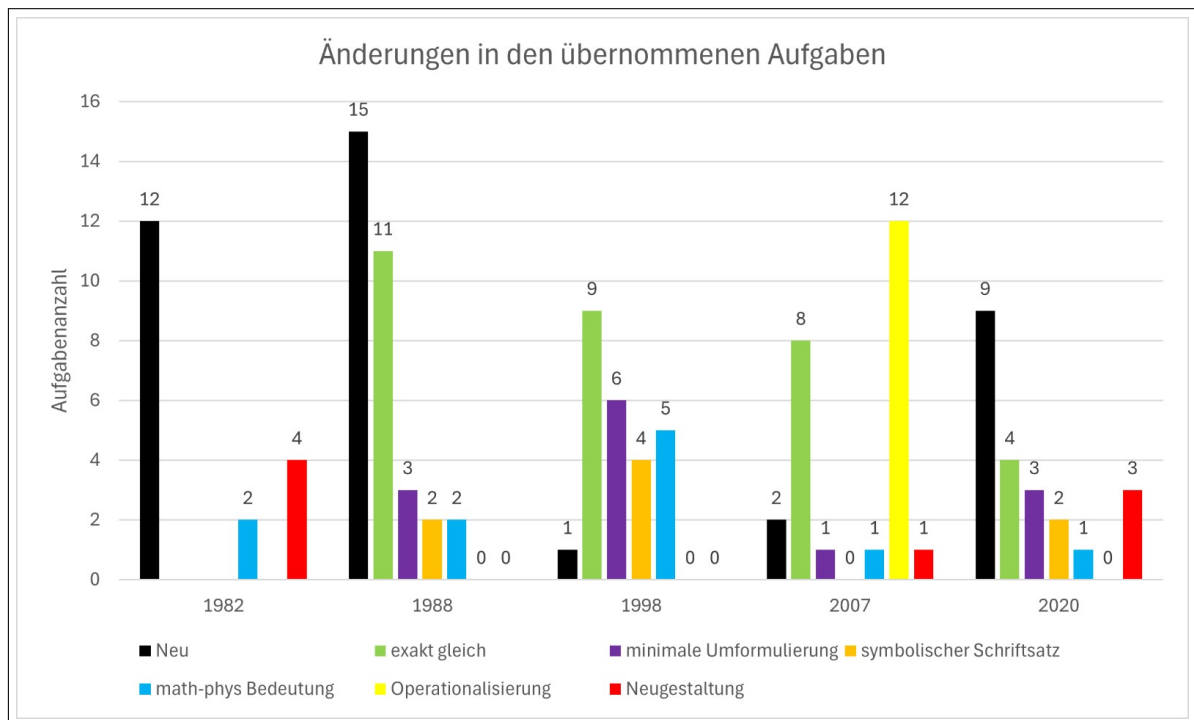


Abbildung 6: Qualitative Veränderungen bei übernommenen Aufgaben

Für die in der ersten Auflage des „Metzler Physik“-Buchs übernommenen Aufgaben werden in vier Fällen Neugestaltungen vorgenommen und in den beiden anderen Fällen die mathematisch-physikalische Bedeutung angepasst. In der zweiten Auflage des Schulbuchs werden elf Aufgaben wortgleich übernommen, während fünf eher geringe Anpassungen auf Textebene aufweisen und wiederum zwei Mal die mathematisch-physikalische Bedeutung verändert wird. In der dritten Auflage, die nahezu alle ihre Aufgaben aus dem Jahr 1988 übernimmt, werden für die meisten Übernahmen kleinere Bearbeitungen auf sprachlicher oder symbolischer Ebene vorgenommen. In fünf Aufgaben werden Fehler behoben oder Angaben präzisiert, sodass sich die mathematisch-physikalische Bedeutung verändert. Zusätzlich dazu werden neun Aufgaben wortgleich übernommen. Für die vierte Auflage sind

es in dieser Kategorie acht, auffällig ist jedoch die Anzahl von zwölf Aufgaben, die vor der Übernahme operationalisiert werden, was hier das einzige Mal überhaupt in der Schulbuchreihe geschieht. Während die fünfte Auflage des Buchs wieder verstärkt auf eigene Aufgaben setzt, werden neun Aufgaben mit keinen oder geringen Anpassungen übernommen, drei ältere Aufgaben allerdings auch einer Neugestaltung unterzogen.

Beantwortung der Forschungsfrage 2

Die Übernahme von Aufgaben aus älteren Auflagen ist zentraler Bestandteil der untersuchten Schulbuchreihe. Das zeigen nicht zuletzt die beiden Auflagen von 1998 und 2007, in denen zusammen lediglich drei neue Aufgaben zum Einsatz kommen. Selbst in der aktuellsten Ausgabe von 2020 sind mehr als die Hälfte aller Aufgaben bereits mehr als 30 Jahre lang in Verwendung. Inhaltliche Anpassungen werden bei einem Teil der Aufgaben durchgeführt, verändern den Charakter der Aufgaben in den überwiegenden Fällen jedoch nicht. Dennoch zeigt das Beispiel der Operationalisierung von zwölf Aufgaben für die Ausgabe von 2007, dass der Verlag auf große Veränderungen im Bildungswesen reagiert: Die Operationalisierung von Aufgaben spielt eine wichtige Rolle im Zusammenhang mit einem kompetenzorientierten Unterricht (Sorger & Reitbrecht, 2018, S. 1 f.). Kritisch lässt sich hingegen ansprechen, dass die Operationalisierung von Aufgaben mit vergleichsweise geringem Aufwand verbunden ist. Von den zwölf operationalisierten Aufgaben werden allerdings zwei nur in abgeänderter beziehungsweise völliger Neugestaltung und weitere drei überhaupt nicht mehr in der aktuellen Auflage eingesetzt, für die stattdessen neun neue Aufgaben konzipiert wurden. Es liegt insofern nahe, dass weiterer Handlungsbedarf bei der Gestaltung angemessener Aufgaben für den kompetenzorientierten Unterricht gesehen wurde, Schüler:innen jedoch 13 Jahre auf eine neue Buchauflage warten mussten.

5.3 Auswertungen des Analysebogens

Die weiteren Ergebnisse basieren auf den Auswertungen des Analysebogens. In diesen schlägt sich der hohe Anteil übernommener und in der Regel allenfalls minimal veränderter Aufgaben nieder, da viele der Kategorien mit denselben oder ähnlichen Ausprägungen versehen werden mussten. Aus diesem Grund sollen die Gesamtvergleiche zwischen den Ausgaben im Folgenden eher kurz dargelegt werden und im Anschluss ein fokussierter Blick auf ausgewählte Teilergebnisse erfolgen.

Da es in dem Schulbuch aus dem Jahr 1949 nur eine Aufgabe gibt, wird diese nicht in die weiteren Vergleiche einbezogen, sie soll daher an dieser Stelle kurz Erwähnung finden. Es handelt sich um eine mit sieben Wörtern kurze Aufgabe, die darin besteht, zwei bereits vollständig durchgearbeitete Beispiele dimensionsmäßig zu überprüfen. Insofern ist bis auf die mit 2,7 Silben pro Wort hohe durchschnittliche Silbenzahl kein weiteres einschränkendes Merkmal bei der Textverständlichkeit festzustellen. Die Aufgabe ist nicht kontextualisiert und eine Kurzantwort ausreichend. Ein Lösungsweg wird nicht vorgeschrieben, die Aufga-

be der Überprüfung legt aber einen rechnerischen Weg nahe. Bei diesem haben die Anforderungsmerkmale *Kenntnis von Definitionen und Gesetzen* (Einheiten der Größen müssen bekannt sein) und *Rechenfertigkeiten* entscheidende Bedeutung.

5.3.1 Ergebnisse zur Textverständlichkeit

Analyse aller Aufgaben

Mit der Satzlänge und der Silbenzahl konnten zwei Merkmale der sprachlichen Einfachheit objektiviert werden. Die Auszählungen ergaben über alle Auflagen hinweg in der großen Mehrzahl sehr lange Sätze. Dies wird in Abbildung 7 erkennbar. Die geringste durchschnittliche Wortzahl weisen mit 18,8 (bei einer Standardabweichung von 8,4) die Sätze des Buchs aus dem Jahr 1998 auf. Damit liegen sie bereits deutlich über den zwölf Wörtern, die kurze

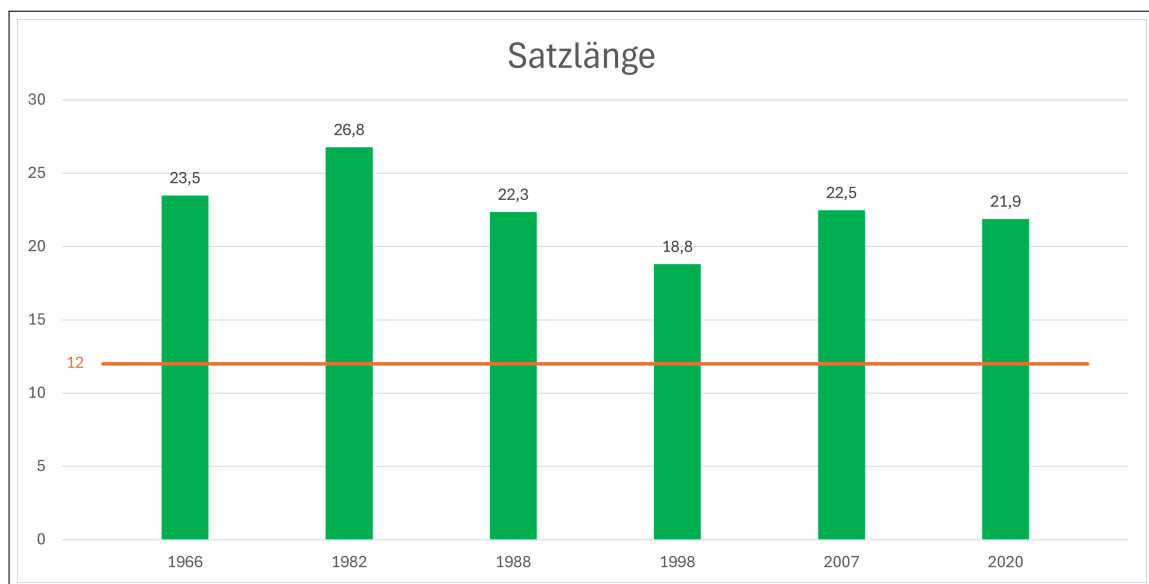


Abbildung 7: Durchschnittliche Anzahl der Wörter pro Satz in den Aufgaben der verschiedenen Auflagen.

Sätze charakterisieren. Der höchste durchschnittliche Wert wurde in der Ausgabe von 1982 erfasst, dort beträgt er 26,8 Wörter (Standardabweichung 19,7). Die Standardabweichungen der anderen Auflagen liegen ebenfalls zwischen den zuvor genannten, die Streuung um die Mittelwerte ist insofern hoch. Die Mediane liegen ebenfalls bei allen Auflagen in einem Bereich zwischen 2,5 bis 5 unter den Mittelwerten. Insgesamt ist für das Merkmal der Satzlänge kein klarer zeitlicher Trend erkennbar, wenn auch die beiden ersten Auflagen die höchsten Werte aufweisen. Die langen Sätze sind auch darauf zurückzuführen, dass bei mathematischen Zusätzen wie Gleichungen die Zählung einzelner Elemente als ganzes Wort einfluss. Die Satzstruktur hingegen wird bei 57% aller Aufgaben als einfach bewertet und nur bei 14% als kompliziert. Es braucht allerdings keine komplizierten Satzstrukturen, um längere Sätze zu konstruieren. So finden sich im Bereich der mittleren Einschätzungen beispielsweise einfache aneinandergereihte Hauptsatzstrukturen, die ebenfalls mehr als zwanzig Wörter umfassen. Eine Darstellung dieses Merkmals über die Auflagen hinweg findet sich in Abbil-

dung 8. Auch hier gibt es keinen deutlichen Trend im Zeitablauf. Als Positivbeispiel für den

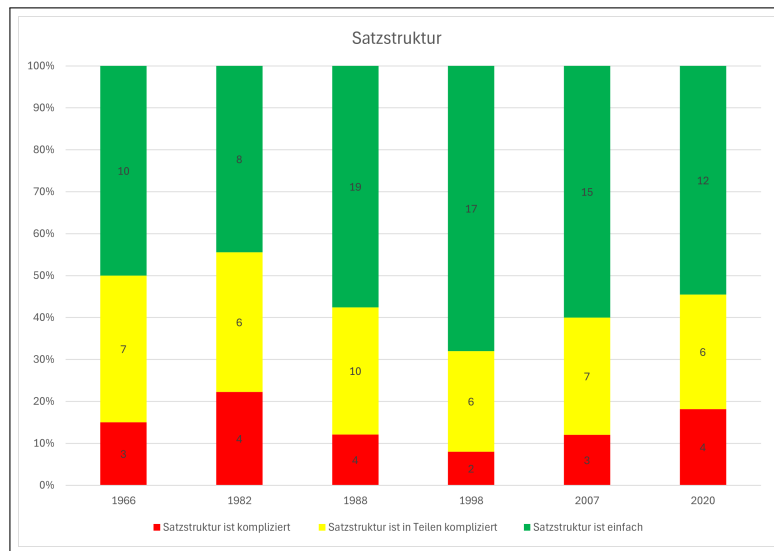


Abbildung 8: Verwendung einfacher und komplizierter Satzstrukturen in den Auflagen.

Anteil einfacher Satzstrukturen kann die Ausgabe des Jahres 1998 genannt werden, in der 68% der Aufgaben eine einfache Satzstruktur aufweisen.

Die Silbenzahl beträgt im Durchschnitt 1,9 pro Wort bei allen Auflagen mit Ausnahme der aus dem Jahr 1966, wo sie bei 1,8 liegt. Die Standardabweichung liegt ohne größere Abweichungen zwischen 0,2 und 0,3. In insgesamt 53% der Fälle lag die durchschnittliche Silbenzahl damit über dem Literaturwert für einfache Texte von 1,8 pro Wort. Dies kann nicht wie zuvor in einen einfachen Zusammenhang mit der Zählung mathematischer Symbole gebracht werden, da sowohl Symbole mit einer Silbe als auch mit zwei oder drei Silben gezählt wurden und dies einer genaueren Analyse bedürfte. Zu einer hohen Silbenzahl trägt das häufige Vorkommen von Fachwörtern wie Amplitude, Elongation und Periodendauer bei. Diese im Unterricht ausreichend zu thematisieren, ist insofern nicht nur dem physikalischen Verständnis förderlich, sondern kann durch Verankerungen im Wortschatz der Lernenden zudem beim Verstehen von Texten helfen.

Die weiteren erhobenen Merkmale der sprachlichen Einfachheit sind die Verwendung aktiver oder passiver Sprache sowie der Einsatz von Substantivierungen. Physikalische Fachbegriffe wurden in die letztgenannte Kategorie nicht eingeordnet. Insgesamt wurde lediglich bei acht Aufgaben, die sich über alle Auflagen verteilen, keine positive Einschätzung bei Subjektivierungen vorgenommen. Eine deutliche Mehrheit der Aufgaben greift in den analysierten Schulbüchern auf eine aktive Sprache zurück. Dies ist in der Abbildung 9 illustriert. Mit sechs Mal (27%) wurden Passivkonstruktionen in der neuesten Auflage am häufigsten negativ eingeschätzt, bei den anderen Ausgaben schwanken die Werte zwischen zwei und vier. Den höchsten Anteil von Aufgaben mit aktiver Sprache weist mit 80% erneut die Ausgabe aus dem Jahr 1998 auf, der geringste Anteil (59%) besteht in der neuesten Auflage. Eine mittlere Ausprägung für Elemente aktiver und passiver Sprache wurde sieben Mal in der

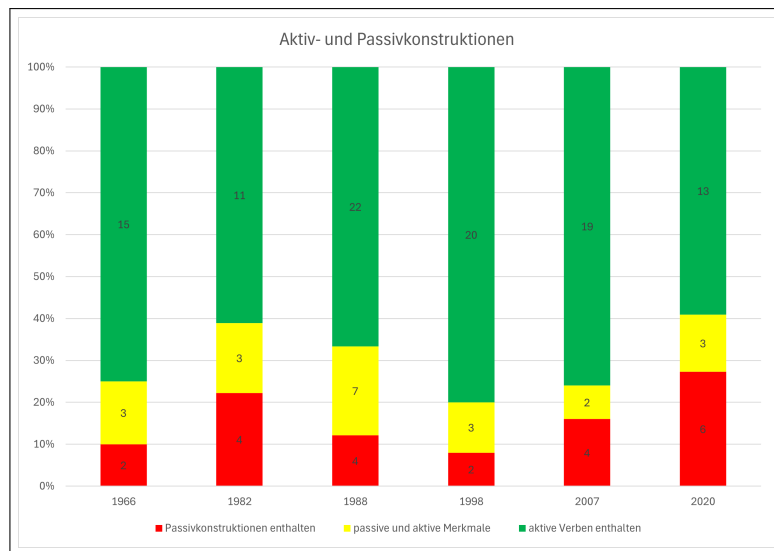


Abbildung 9: Verwendung aktiver und passiver Sprache in den Auflagen.

Auflage aus dem Jahr 1988 ausgewählt, aufgrund der vielen Aufgaben in diesem Buch wirkt sich dies dennoch nur auf ein Drittel aller Aufgaben aus. Ein grundsätzlicher Trend in der Verwendung aktiver oder passiver Sprache lässt sich allerdings nicht feststellen.

Die Gesamteinschätzungen der sprachlichen Einfachheit wurden bei 41% aller Aufgaben mit mittlerer Ausprägung versehen, weil in diesen Fällen gegenläufige Einschätzungen bei verschiedenen Merkmalen vorgenommen wurden. Bei 36% der Aufgaben überwog der Eindruck von sprachlicher Einfachheit. Diese Angaben sind allerdings einerseits aufgrund der nicht quantifizierbaren Einflüsse auf die Textverständlichkeit der einzelnen Merkmale nicht aussagekräftig. Andererseits wurden auch nicht alle denkbaren Merkmale erhoben, sodass keine Vollständigkeit vorliegt.

Die Gliederung und Ordnung der Aufgaben lässt sich schwerlich zu einem aussagekräftigen Gesamteindruck fassen. Grund hierfür sind viele Aufgaben, die aus einem oder zwei Sätzen bestehen und von Absätzen oder Hervorhebungen nicht unbedingt stark profitieren würden. Dennoch wurden 23% der Aufgaben mit einem positiven Gesamteindruck bewertet, daher soll zunächst der Gesamtüberblick zeigen, auf welchem der drei Merkmale dieser Kategorie diese Einschätzung in den meisten Fällen zurückzuführen ist. Hervorhebungen von Wörtern oder Satzteilen konnten bei 26% der Aufgaben festgestellt werden. Absätze als strukturierendes Element weisen annähernd 34% der Aufgaben auf. Für das Merkmal der Abgrenzung von Teilaufgaben wurde zunächst festgestellt, wie viele der Aufgaben aus mehreren trennbaren Arbeitsaufträgen bestanden. Dies sind 98 von 143 (69%). In knapp 80% dieser Aufgaben nutzen die Verfasser die Gelegenheit zu einer Abgrenzung durch neue Sätze oder Markierungen in Form von a), b) und c). Diese sind allerdings bei mehreren Aufgaben in den Fließtext integriert, sodass noch stärkere Abgrenzungen häufig möglich gewesen wären. Dies wurde über den Analysebogen allerdings nicht erfasst.

Der Vergleich der gliedernden Merkmale zwischen den verschiedenen Ausgaben zeigt den zunehmenden Einsatz von Hervorhebungen im Zeitablauf, wie in Abbildung 10 an den prozentualen Anteilen zu erkennen ist. Inhaltlich lässt sich dies daran festmachen, dass in den

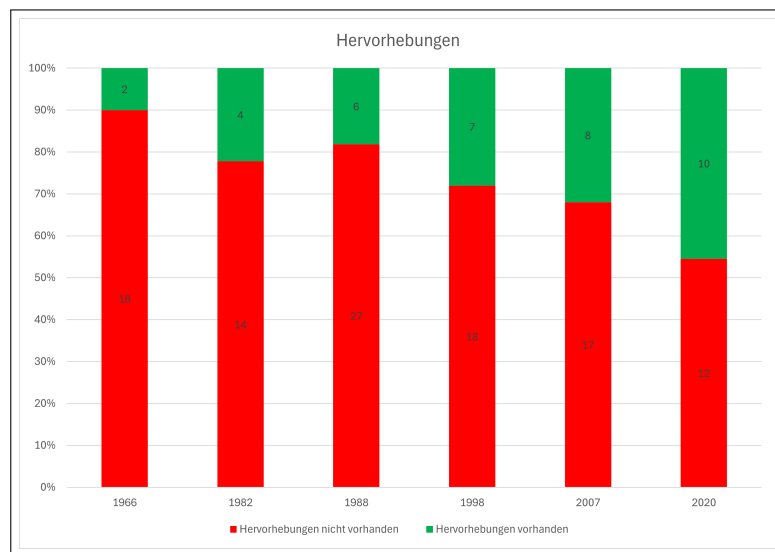


Abbildung 10: Verwendung von Hervorhebungen in den Aufgaben der verschiedenen Auflagen.

früheren Buchauflagen lediglich Verweise auf andere Aufgaben oder Versuche und Abbildungen in kursiver Schrift hervorgehoben wurden. Bei der dritten Auflage aus dem Jahr 1998 sind diese Bezüge nicht mehr hervorgehoben, stattdessen aber die Abgrenzung von Teilaufgaben durch den Fettdruck bei alphabetischen Aufzählungen. In der aktuellsten Ausgabe sind zusätzlich dazu auch wieder die Verweise durch Fettdruck hervorgehoben, sodass hier 45% aller Aufgaben solche Elemente enthalten. Wichtige Wörter oder Satzteile werden in keinem der Bücher herausgestellt.

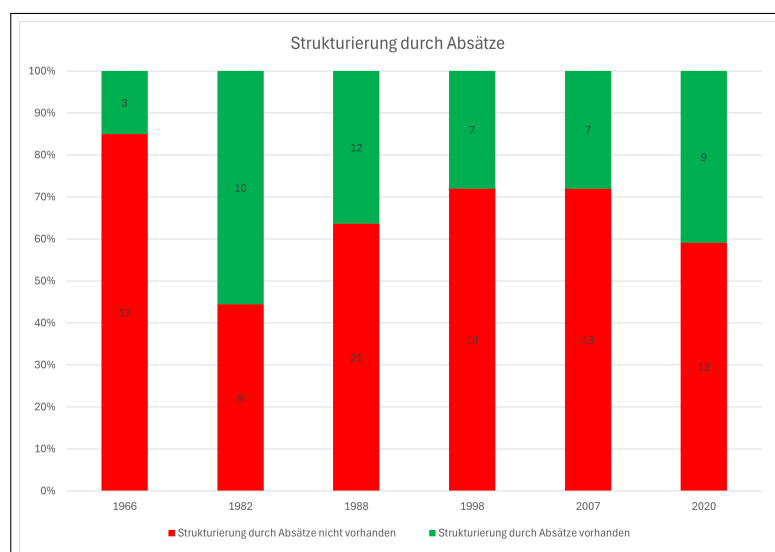


Abbildung 11: Strukturierung durch Absätze

Bei der Verwendung von Absätzen sticht die Ausgabe von 1982 aus der Menge heraus, wie in Abbildung 11 zu sehen ist. In diesem Buch enthalten etwa 56% aller Aufgaben Absätze. Dies ist nicht nur eine deutliche Zunahme im Vergleich zur Vorgängerauflage, sondern auch der mit Abstand höchste Wert. Ein deutlicher zeitlicher Trend kann insgesamt nicht aus der Abbildung geschlossen werden. In der aktuellsten Auflage sind 41% der Aufgaben durch Absätze strukturiert, in den Jahren zuvor waren es 28 (2007 und 1998) sowie 36 Prozent bei der Auflage aus dem Jahr 1988.

Als abschließendes Merkmal der Strukturierung von Aufgaben wurde erhoben, ob Teilaufgaben voneinander abgegrenzt werden. Die Ergebnisse sind in Abbildung 12 dargestellt. Auch hier sind keine signifikanten Veränderungen im Zeitablauf zu sehen. Insgesamt 69%



Abbildung 12: Verwendung von Teilaufgaben (links) und deren Abgrenzung voneinander (rechts) in den verschiedenen Auflagen.

aller Aufgaben arbeiten mit Teilaufgaben, von diesem Wert weichen nach unten mit 64% am stärksten die Ausgaben der Jahre 1988 bis 2007 ab, nach oben die Auflagen der Jahre 1982 und 2020 mit 78% beziehungsweise 77%. Eine Betrachtung der Aufgaben, die Teilaufgaben enthalten, zeigt im zeitlichen Verlauf eine zunehmende Tendenz in den Auflagen, diese auch voneinander abzugrenzen. Dies war in der Ausgabe von 1966 nur bei zwei Aufgaben deutlich der Fall, bei fünf weiteren gibt es abgrenzende Elemente wie Lücken oder alphabetische Aufzählungen, diese sind allerdings in den fließenden Text der Aufgaben integriert. In der aktuellsten Auflage hingegen werden bei neun Aufgaben (53%) deutliche Abgrenzungen vorgenommen.

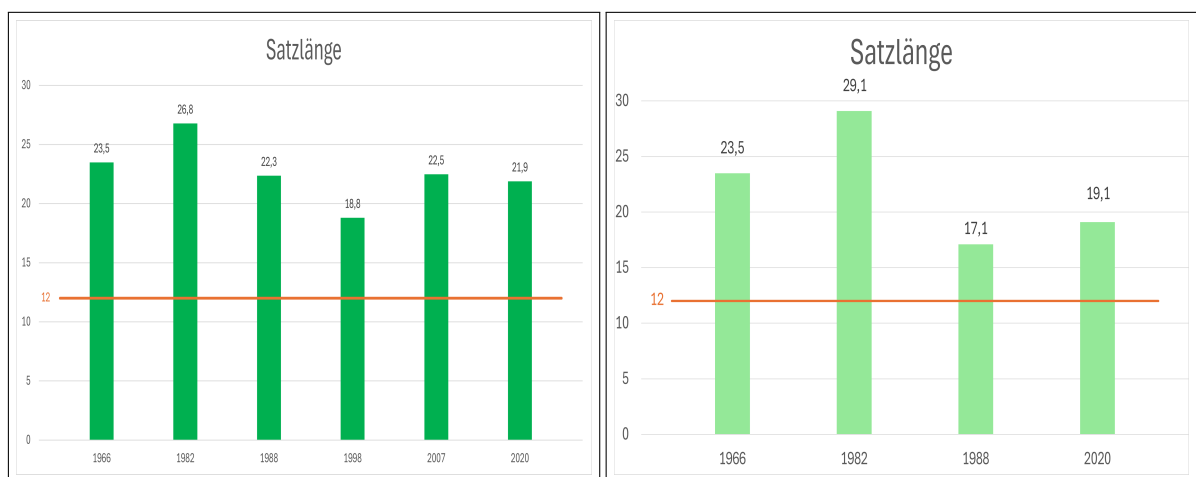
Als letztes Merkmal der Textverständlichkeit wurden anregende Zusätze erfasst, die allgemein in Texten eher mittlere Ausprägungen aufweisen sollten, da sie nicht nur das Interesse anregen können, sondern in zu hoher Zahl verwirrend oder ablenkend wirken können. In den

untersuchten Aufgaben werden lediglich vereinzelt über alle Auflagen hinweg Verweise auf Abbildungen und Versuche gemacht sowie Beispiele genannt, sodass die Textverständlichkeit durch dieses Merkmal nicht signifikant beeinflusst wird.

Insgesamt kann für den Bereich der Textverständlichkeit festgehalten werden, dass es kaum eindeutige zeitliche Tendenzen in den Merkmalen gibt. Dies deutet darauf hin, dass die wiederholte Verwendung von gleichen respektive leicht abgewandelten Aufgaben die Ergebnisse dominiert. Dieser Eindruck wird unterstützt von den zeitlichen Änderungen bei der Verwendung von Hervorhebungen sowie Abgrenzungen. Dies sind Aspekte, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand für den Verlag an bestehenden Aufgaben vorgenommen werden können. Daher sollen im Folgenden nochmals gezielt Gruppen von Aufgaben untersucht werden, die für die verschiedenen Ausgaben vollständig neu konzipiert wurden. Dafür bieten sich die Ausgaben der Jahre 1966, 1982, 1988 und 2020 an, in denen zwischen neun und 20 Aufgaben zum ersten Mal verwendet wurden. Die Ausgaben aus den Jahren 1998 und 2007 sollen ausgeklammert werden, da sie lediglich eine beziehungsweise zwei neue Aufgaben enthalten, die Trends verfälschen könnten.

Analyse von Gruppen neuer Aufgaben

Eine Analyse der sprachlichen Einfachheit der neuen Aufgaben in den vier fokussierten Auflagen bringt größere Unterschiede in den Merkmalen hervor. Dies ist für die durchschnittliche Satzlänge in Abbildung 13 zu erkennen, wo sie den vorherigen Ergebnissen gegenübergestellt wird. Im Vergleich zur durchschnittlichen Länge der Wörter aller Aufgaben (Abb. 13a) nimmt die Satzlänge in Abbildung 13b für das Jahr 1982 um mehr als zwei Wörter auf 29,1 (Standardabweichung 22,8; Median 21,9) zu. In den zeitlich nachfolgenden Auflagen sinkt sie dagegen. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt bei der Ausgabe von



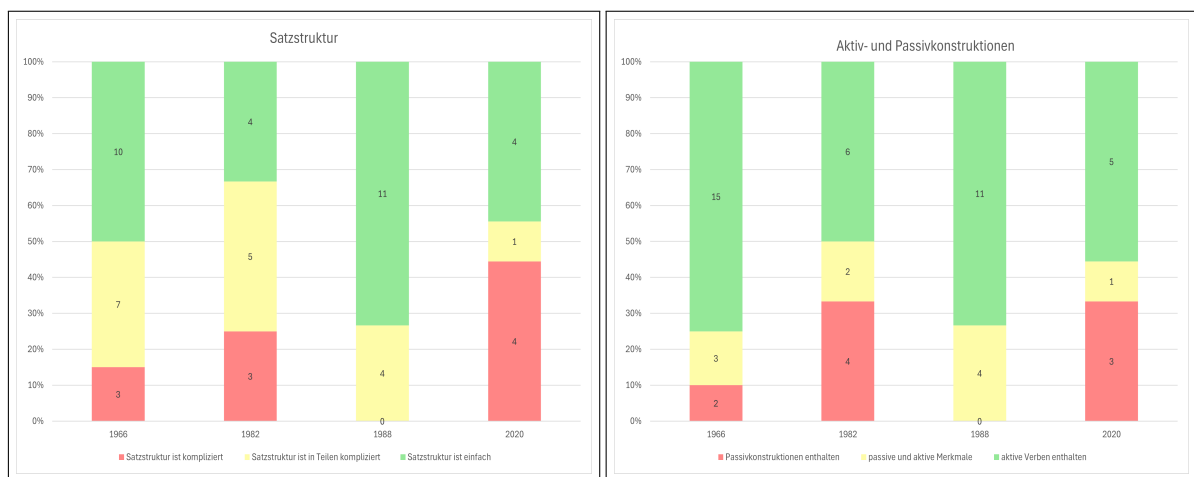
(a) Durchschnittliche Satzlänge aller Aufgaben. (b) Durchschnittliche Satzlänge neuer Aufgaben.

Abbildung 13: Durchschnittliche Satzlängen aller Aufgaben im Vergleich mit neuen Aufgaben.

1988, wo er mehr als 5 Wörter ausmacht. Die durchschnittliche Satzlänge liegt bei den neu

erstellten Aufgaben in diesem Buch bei 17,1 bei einer Standardabweichung von 8,7. Der Median beträgt 15. Die für das Jahr 2020 erstellten Aufgaben weisen eine Satzlänge von durchschnittlich 19,1 Wörtern auf, mit der im Kontext dieser Analyse geringen Streuung von 5,4 und einem Median von 18,3. Dennoch bleibt festzustellen, dass der Literaturwert für verständliche Texte von zwölf Wörtern pro Satz weiter deutlich unter den durchschnittlichen Ergebnissen liegt, wobei das Argument der Zählung mathematischer Symbole wie zuvor vorgebracht werden kann. Die durchschnittliche Silbenzahl bei neuen Aufgaben verändert sich im Vergleich zu der Gesamtanalyse lediglich bei der Auflage aus dem Jahr 1988, wo sie von 1,9 auf 2,0 steigt.

Die Analyse der Satzstruktur in den neuen Aufgaben zeigt starke Schwankungen zwischen den Auflagen, ohne dass dabei ein zeitlicher Trend erkennbar wäre. Dies kann anhand der Abbildung 14a nachvollzogen werden. Besonders auffällig ist die Verwendung sprachlich einfacher Strukturen in der Ausgabe von 1988, in der 73% der Aufgaben positiv bewertet wurden. In der aktuellsten Auflage werden keine Aufgaben mit komplizierter Sprachstruktur



(a) Einfache und komplizierte Satzstrukturen

(b) Aktive und passive Sprache

Abbildung 14: Verwendung von einfachen und komplizierten Satzstrukturen im Vergleich mit aktiver und passiver Sprache in den neuen Aufgaben der Auflagen.

aus vorherigen Auflagen übernommen (siehe Abb. 8), dafür aber nahezu die Hälfte der neu entworfenen Aufgaben mit komplizierter Sprachstruktur gestaltet. Dies äußert sich auch in der Verwendung von Passivkonstruktionen, dargestellt in Abbildung 14b. Diese kommen in der aktuellen Auflage in drei der neuen Aufgaben vor. Insgesamt zeigen diese beiden Merkmalsausprägungen Übereinstimmungen, wie ein Vergleich der Balken in Abbildung 14

verdeutlicht. Die aus den einzelnen Merkmalen gewonnenen Gesamteinschätzungen zur sprachlichen Einfachheit werden in Abbildung 15 präsentiert. Bei diesen ergaben sich vermehrt mittlere Einstufungen, da gegenläufige Ausprägungen von Merkmalen einen durchwachsenen Eindruck hinterließen. Aus dem vorher genannten Grund der unvollständigen Erhebung von die sprachliche Einfachheit beeinflussenden Merkmalen soll dies jedoch nicht überin-

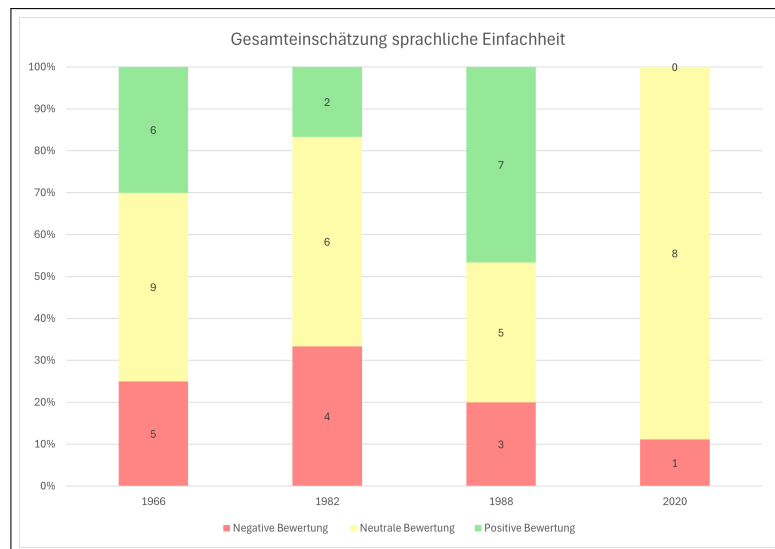
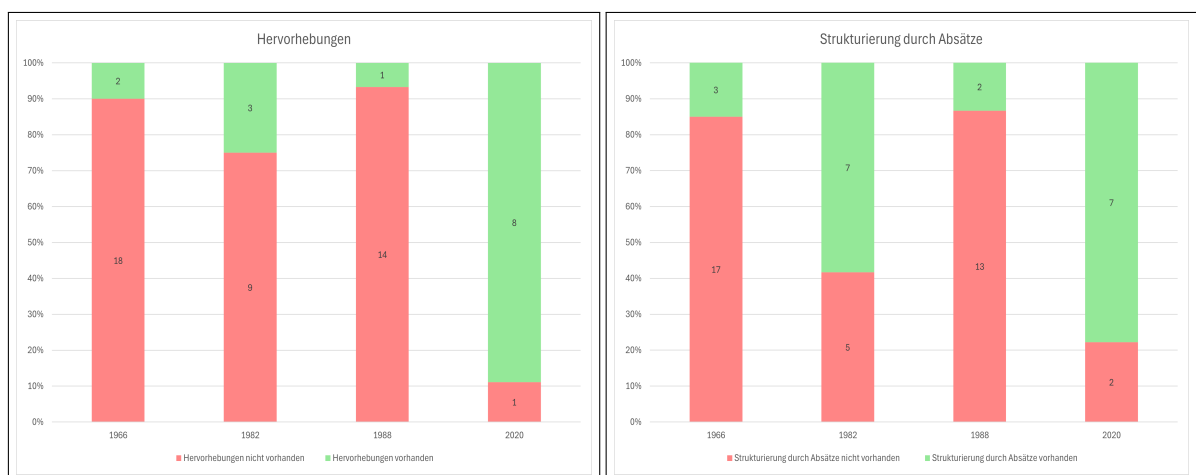


Abbildung 15: Gesamteinschätzungen zur sprachlichen Einfachheit der Aufgaben in den neuen Auflagen.

terpretiert werden. Interessant ist dennoch, dass in der neuesten Auflage keine der hinzugekommenen Aufgaben einen vollständig positiven Gesamteindruck hinterlassen konnte.

Die Gliederung und Ordnung der neuen Aufgaben in den Auflagen im zeitlichen Vergleich kann die Eindrücke aus dem Gesamtvergleich unterstützen. Dies zeigt die Abbildung 16a, in der zu erkennen ist, dass bis auf eine Ausnahme in der aktuellsten Version des Schulbuchs alle Aufgaben Hervorhebungen aufweisen. Dies ist eine deutliche Veränderung gegenüber den Aufgaben der vergangenen Jahrzehnte, wobei sich diese Änderungen nahezu vollständig auf den Fettdruck von alphabetischen Aufzählungen konzentrieren. Ein ähnliches Ergebnis



(a) Verwendung von Hervorhebungen

(b) Verwendung von Absätzen.

Abbildung 16: Verwendung von Hervorhebungen und strukturierenden Absätzen in den neuen Aufgaben der Auflagen.

kann bei den Strukturierungen durch Absätze genannt werden, die es nur in zwei eher kurzen Aufgaben in der Auflage von 2020 nicht gibt. Der ebenfalls hohe Wert bei den Aufgaben

aus dem Jahr 1982 konnte bereits aus der Abbildung 11 gefolgert werden, unterscheidet sich in Abbildung 16b aber nochmals deutlicher von den Aufgaben aus dem Jahr 1966. Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede zwischen diesen beiden Auflagen könnte das geänderte Layout und der Umstieg auf zweispaltigen Textsatz sein, der den Platz in einer Zeile bei der Darstellung insbesondere mathematischer Ausdrücke teilweise so begrenzt, dass vor dem Schreiben selbiger zunächst ein Absatz gesetzt wurde.

Die Gliederung und Ordnung abschließen soll die Analyse der Einbindung von Teilaufgaben, die in Abbildung 17 wiederum zweigeteilt dargestellt wird. Auch hier weisen die neuen

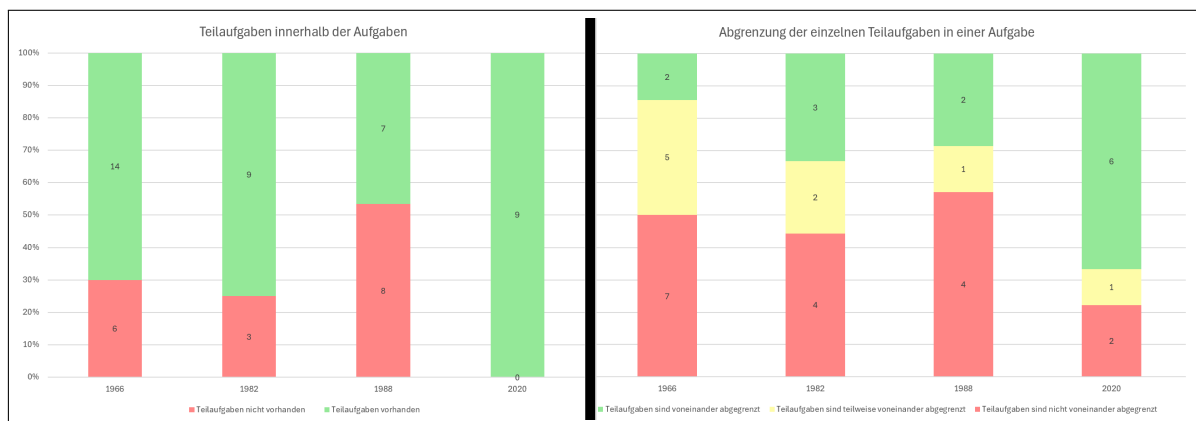


Abbildung 17: Verwendung von Teilaufgaben (links) und deren Abgrenzung voneinander (rechts) in den neuen Aufgaben der Auflagen.

Aufgaben der aktuellen Version den Höchstwert auf, da hier alle Aufgaben mit Teilaufgaben arbeiten. Bei den weiteren Auflagen liegen die älteren bei etwa 70%, während das Buch von 1988 weniger als 50% seiner Aufgaben mit Teilaufgaben konzipierte. Bezogen auf auf diejenigen Aufgaben mit Teilaufgaben weist erneut die jüngste Auflage mit sechs von neun den höchsten Wert sowie prozentualen Anteil bei Abgrenzungen auf und unterscheidet sich damit sichtlich von den älteren Auflagen.

Beantwortung der Forschungsfrage 3

Mithilfe der Ergebnisse der vorigen Analysen wird im Folgenden zusammenfassend auf die dritte Forschungsfrage eingegangen, inwiefern sich die Textverständlichkeit im zeitlichen Verlauf gewandelt hat. Eine erste Erkenntnis ist, dass anregende Zusätze eine zu vernachlässigende Rolle über die gesamte Schulbuchreihe einnehmen. Für die sprachliche Einfachheit konnten keine klaren Entwicklungen über den Zeitablauf festgestellt werden. Insbesondere die Silbenzahl war über die Auflagen vergleichbar, zudem waren nahezu keine Substantivierungen außerhalb der Fachbegriffe zu finden. In den Gesamtvergleichen hatte die mehrfache Verwendung vieler Aufgaben einen angleichenden Effekt. Die Betrachtung der neuen Aufgaben in den vier fokussierten Auflagen ließ die Tendenz erkennen, dass die Satzlänge in neueren Auflagen kürzer ist als in älteren. Die durchschnittlichen Satzlengthen zwischen den Büchern aus den Jahren 1966 und 2020, die sich noch am wenigsten unterscheiden, wei-

sen einen Unterschied von mehr als vier Worten auf. Insgesamt liegen alle Bücher deutlich über den für eine einfache Sprache empfohlenen Werten für die Satzlänge. Die Satzstruktur unterliegt größeren Schwankungen ohne erkennbaren Trend. Während die neuen Aufgaben des Jahres 1988 vorwiegend einfache Strukturen nutzen, sind vier der neuen Aufgaben aus 2020 kompliziert strukturiert. Ähnlich fallen die Ergebnisse bei der Verwendung aktiver und passiver Sprache aus.

Ein deutlicheres Ergebnis kann im Bereich der Gliederung und Ordnung festgehalten werden. Hervorhebungen nehmen im zeitlichen Verlauf ebenso zu wie die Abgrenzung von Teilaufgaben. Anzumerken ist dabei, dass beide Merkmale im Zusammenhang stehen, da die zunehmende Hervorhebung in den Aufgaben nahezu ausschließlich auf fett gedruckte Buchstaben bei alphabetischen Aufzählungen zurückgeht, die zur Abgrenzung von Teilaufgaben genutzt werden. Für eine Einschätzung der Entwicklung der Strukturierung durch Absätze ließ der Gesamteindruck keine ausreichenden Schlüsse zu. Die Fokussierung auf die neuen Aufgaben zeigt jedoch auffallend häufige Verwendungen in den Ausgaben der Jahre 1982 und 2020. Während dies für die ältere Auflage möglicherweise durch den Wechsel des Layouts erklärt werden kann, rundet die Nutzung in der aktuellen Auflage den Eindruck ab, dass in dieser Aspekte der Strukturierung einen hohen Stellenwert einnehmen.

5.3.2 Ergebnisse zu Kontexten

Die vierte Forschungsfrage zielt auf die Verwendung von lebensweltbezogenen Kontexten in der zeitlichen Entwicklung ab. Die Darstellung dieser in Abbildung 18 verdeutlicht, dass diese in den analysierten Schulbüchern zumindest im Themenbereich der mechanischen Schwingungen keine Rolle spielen. Leidglich bei einer einzigen Aufgabe, die in den Aufla-

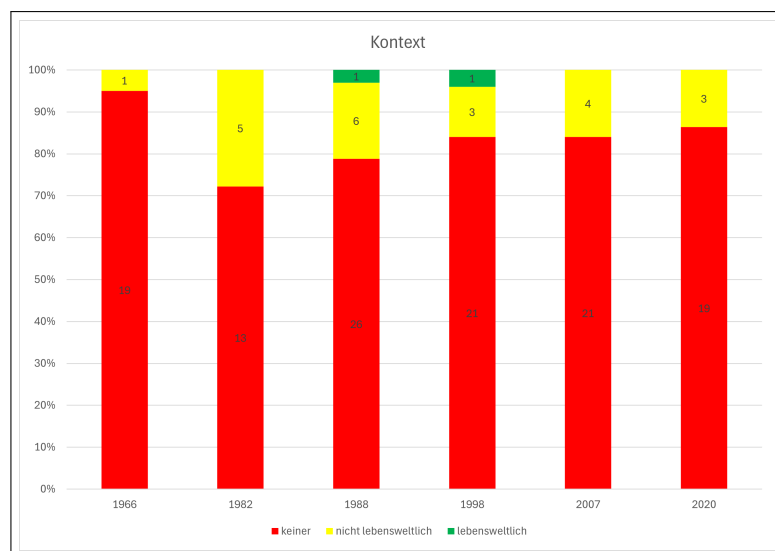


Abbildung 18: Verwendung von Kontexten in den verschiedenen Auflagen.

gen von 1988 und 1998 verwendet wird, kann ein solcher attestiert werden. In dieser Aufgabe geht es um die Eigenschaften von Resonanzkörpern im Kontext der Musik. Darüber hinaus

werden gelegentlich nicht lebensweltliche Kontexte eingesetzt, wie zum Beispiel bei der Berechnung der Schwingungsdauer im Gravitationstunnel. Mit diesen Ausführungen kann die vierte Forschungsfrage somit bereits als beantwortet gelten.

5.3.3 Ergebnisse zu Antwortformaten und Lösungswegen von Aufgaben

Das Antwortformat kann durch die Ausprägungen *Kurzantwort* und *erweitertes Antwortformat* bereits vollständig charakterisiert werden, da es keine geschlossenen Antwortformate zum Thema mechanische Schwingungen in den Schulbüchern gibt. Die Ergebnisse dieser Erhebung werden in Abbildung 19 gezeigt. Über die verschiedenen Auflagen ist in der Ge-



(a) Antwortformate aller Aufgaben der Auflagen. (b) Antwortformate bei den neuen Aufgaben.

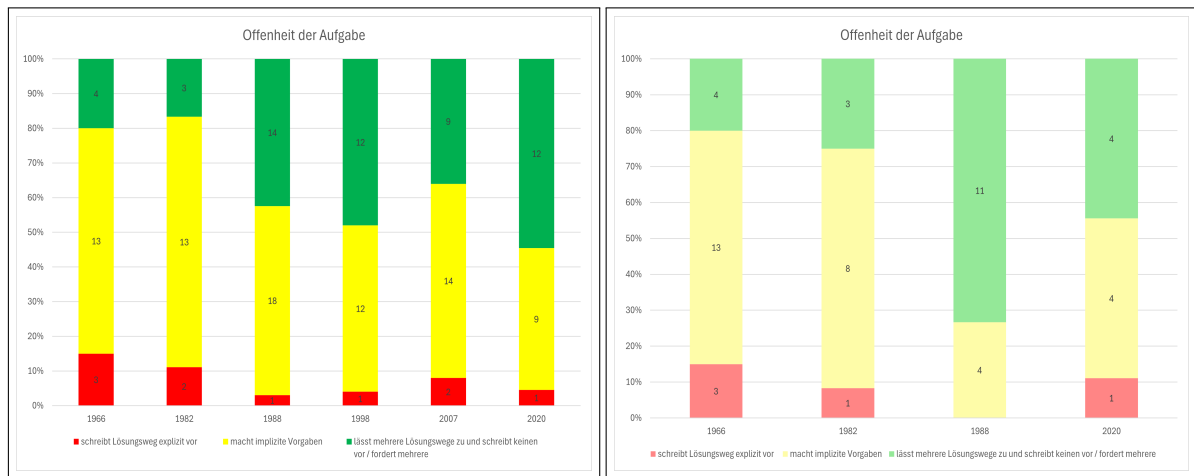
Abbildung 19: Antwortformate in der zeitlichen Entwicklung.

samtdarstellung in Abbildung 19a zwischen den Jahren 1966 und 1988 eine prozentuale Zunahme von Aufgaben mit Kurzantworten festzustellen. Während in der ersten der Auflagen noch 65% der Aufgaben (13 von 20) über längere, mehrschrittige Rechnungen und Ausführungen zu beantworten waren, konnten 1998 64% der Aufgaben (16 von 25) über eine kurze Rechnung oder einen Satz beantwortet werden. Über die nächsten beiden Auflagen kehrt sich dieser Trend wieder um, sodass in der aktuellen Auflage jeweils die Hälfte der Aufgaben den beiden Antwortformaten zugeordnet werden kann. Die Fokussierung auf die neuen Aufgaben der Schulbücher lässt ebenfalls keinen bestimmten Trend erkennen. Bei drei der vier untersuchten Auflagen nehmen die prozentualen Anteile der Aufgaben erweiterten Antwortformats Werte zwischen 56 und 65 an. Diese Differenz kann in absoluten Zahlen ausgedrückt bereits durch die Anpassung von einer Aufgabe überwunden werden und ist daher nicht als signifikant zu bewerten. Einzig die im Jahr 1988 neu dazugekommenen Aufgaben weisen einen deutlich höheren Anteil (73%) an Antworten im Bereich des Kurzformats auf.

Ergebnisse zur Offenheit der Lösungswege

Die Offenheit der Lösungswege wurde auf einer vierstufigen Skala bewertet. Die in Abbildung 20 zusammengestellten Ergebnisse zeigen allerdings, dass nur drei verschiedene Aus-

prägungen erkannt wurden. Keine der untersuchten Aufgaben thematisierte unterschiedliche Lösungswege in der Aufgabenstellung. Des Weiteren ist zu erkennen, dass der Lösungsweg



(a) Offenheit aller Aufgaben der Auflagen.

(b) Offenheit bei den neuen Aufgaben.

Abbildung 20: Offenheit der Lösungswege in der zeitlichen Entwicklung.

in allen Auflagen nur in seltenen Fällen explizit vorgeschrieben wird, wobei dies am häufigsten in der ältesten analysierten Auflage der Fall ist. Als Beispiel für eine Aufgabe mit vorgeschriebenem Lösungsweg kann die Berechnung einer Überlagerungsschwingung dienen, die mithilfe eines zur Verfügung gestellten Additionstheorems der Trigonometrie gelöst werden soll. Von einem zeitlichen Trend kann bei dieser Ausprägung auch bei Betrachtung nur der neuen Aufgaben (Abb. 20b) nicht gesprochen werden.

Bei den beiden verbleibenden Lösungswegen lässt sich bei der in Abbildung 20a dargestellten zeitlichen Entwicklung feststellen, dass eine Verlagerung von Aufgaben mit überwiegend impliziten Vorgaben zu offenen Aufgaben insbesondere im Vergleich der beiden ältesten mit den weiteren Auflagen stattfindet. Über die jüngsten vier Auflagen schwanken die Anteile in dieser gemeinsamen Darstellung allerdings. Dennoch ist er mit 55% bei der aktuellsten Auflage am größten. Ein anderes Bild zeigt dagegen die Fokussierung neuer Aufgaben in den Auflagen. Hier weicht die Ausgabe von 1988 deutlich von den anderen ab, da sie genauso viele offene Aufgaben konzipiert wie die anderen drei Auflagen im Verbund und diese einen Anteil von 73% in dieser Auflage ausmachen. Bei der aktuellsten Auflage halten sich die offenen und die mit impliziten Vorgaben verwendeten Aufgaben hingegen die Waage.

Ergebnisse zur Art der Lösungswege

Eine vernachlässigbare Rolle bei den von den analysierten Aufgaben angeregten Lösungswegen spielen bei einer ersten Betrachtung der Abbildung 21 halbquantitative sowie experimentelle Wege. Erstere kommen dort gar nicht vor, letztere finden sich explizit lediglich bei zwei Aufgaben aus dem Jahr 1966. In blauer Farbe hinterlegt sind in den Diagrammen jedoch Aufgaben, bei denen mehrere Lösungswege angeregt werden. Eine Aufschlüsselung dieser Kombinationen für alle Aufgaben (Abb. 21a) erweitert somit die rein theoretischen,

rein rechnerischen und rein experimentellen Lösungen der Auflagen. Für 1966 repräsentiert der blaue Balken zwei Aufgaben mit experimentell-theoretischen Lösungen, sodass für dieses Jahr insgesamt vier Lösungswege experimentelle Anteile umfassen. Im Jahr 1982 ergänzt eine rechnerisch-theoretische sowie eine halbquantitativ-theoretische Lösung die bestehende Struktur. Damit dominieren in den beiden ältesten Auflagen theoretische und rechnerische Lösungen zu gleichen Anteilen. In den vier weiteren Auflagen verändern sich die Anteile



(a) Lösungswege aller Aufgaben der Auflagen.

(b) Lösungswege bei den neuen Aufgaben.

Abbildung 21: Arten der Lösungswege in der zeitlichen Entwicklung.

zwischen rechnerischen und theoretischen Lösungen durch die weiteren Lösungswege der Kombinationen kaum. Daher sollen hier lediglich die halbquantitativen und experimentellen Lösungen ergänzt werden. Im Jahr 1988 ergänzen jeweils zwei dieser Wege die bestehenden. In der Auflage von 1998 sind beide Wege ein Mal zu verzeichnen und im Jahr 2007 kommt eine weitere halbquantitative Lösung dazu. In der aktuellsten Auflage hingegen ergänzen zwei experimentelle Lösungswege die Ergebnisse. Verteilt auf alle Auflagen sind die fünf halbquantitativen und neun experimentellen Lösungswege somit weiterhin deutlich in der Minderheit. Halbquantitative Methoden waren zwar regelmäßig Bestandteil der Aufgaben, für die Lösungswege waren dabei jedoch tiefergehende theoretische Überlegungen notwendig, sodass die theoretische Lösung in diesen Fällen bevorzugt wurde. Insgesamt dominieren rechnerische Lösungen in der Erhebung, ohne dass in der zeitlichen Entwicklung ein klarer Trend zu erkennen ist.

Der fokussiertere Blick auf die neuen Aufgaben in Abbildung 21b ändert diesen Eindruck ebenfalls nicht. Ein vergleichsweise großer Teil der Aufgaben des Jahres 1988 weist dort mehrere Lösungsarten auf. Durch diese werden auch die beiden halbquantitativen Lösungen repräsentiert. Mehr als die Hälfte der neuen Aufgaben aus dem Jahr 2020 ist theoretisch zu lösen, eine experimentelle Lösung wird hier durch die Kombinationslösung hinzugefügt.

Experimentelle Anteile

Die experimentellen Anteile in den vier Aufgaben aus dem Jahr 1966 verteilen sich auf drei organisierte und ein konzeptuelles Vorgehen. Für die beiden Aufgaben mit experimentellen Lösungen des Jahres 1988 sowie der weiteren aus dem Jahr 1998 ist der Anteil konzeptuell. In der aktuellsten Auflage muss organisiert vorgegangen werden. Damit gibt zunächst einmal keine der Aufgaben eine detaillierte Versuchsbeschreibung mit in die Aufgabenstellung, die ein imitatorisches Experimentieren ermöglichen würde. Für einige der erkannten experimentellen Lösungen mit konzeptuellen Anteilen gibt es näher liegende theoretische Lösungswege, die von den Aufgaben eher angedacht zu sein scheinen.

Beantwortung der Forschungsfrage 5

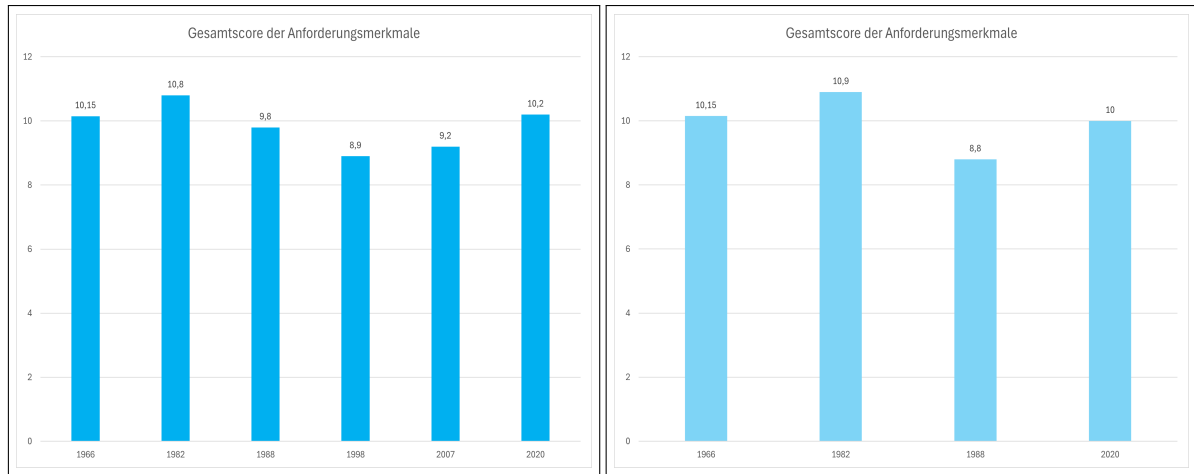
Zusammenfassend lässt sich die Frage nach den Veränderungen des Antwortformats und der Lösungswege wie folgt beantworten. In den Antwortformaten verlagerte sich in den Ausgaben von 1966 bis 1998 der Fokus auf Kurzantworten, seither kehrt sich dieser Trend um, was auch die Betrachtung neuer Aufgaben in den vier Auflagen unterstützt. In der aktuellsten Ausgabe halten sich die Formate in etwa die Waage. Aufgabenstellungen thematisieren in keinem Fall mehrere Lösungswege, machen selten Vorschriften zur Lösung, häufig aber implizite Vorgaben. Im Vergleich der beiden ältesten Auflagen mit den vier neuesten kann eine Entwicklung zu eher offenen Wegen festgestellt werden, ohne dass innerhalb dieser klare zeitliche Trends zu sehen sind. Die Ausgabe von 1988 sticht bei den neu konzipierten Aufgaben durch den hohen Anteil von 73% offener Fragen heraus. Die Analyse der Art der Lösungswege zeigt nur bei fünf Aufgaben in allen Büchern rein halbquantitative Lösungen. Auch experimentelle Lösungen kommen selten vor und finden sich in vier von neun Fällen in der ersten Auflage von 1966. Die experimentellen Anteile sind dabei organisiert und konzeptuell, imitatorisches Arbeiten ist nicht angelegt. Insgesamt dominieren theoretische und rechnerische Lösungen deutlich, ohne dass im Zeitablauf klare Tendenzen zu erkennen sind.

5.3.4 Ergebnisse zu den Anforderungsmerkmalen

Die 17 auf einer Skala von 0 (ohne Bedeutung) bis 2 (entscheidend für erfolgreiche Bearbeitung) untersuchten Anforderungsmerkmale der Aufgaben wurden für jede der Aufgaben zu einem Gesamtscore zusammengefasst. Dabei gab es mehrere Aufgaben, für die lediglich eine Summe von vier ermittelt wurde. Diese ähneln sich insofern, als dass bei ihnen mit der *Kenntnis von Definitionen und Gesetzen* sowie *Rechenfertigkeiten* zwei Fähigkeiten ausreichend und entscheidend für die Beantwortung sind. Am anderen Ende der Skala steht eine Aufgabe, für die eine Summe von 22 ermittelt wurde. Dabei handelt es sich um eine Aufgabe aus dem Jahr 1966, für die zunächst ein Versuch zu einer gedämpften Schwingung durchgeführt werden soll, dessen Ergebnisse auf halblogarithmischem Papier festgehalten werden und dann durch Berechnung der rücktreibenden Kraft nachzuweisen ist, dass eine gedämpfte harmonische Schwingung vorliegt. Bei der Lösung solcher Aufgaben kommen naturgemäß

vielen verschiedenen Anforderungsmerkmalen hohe Bedeutungen zu.

Die durchschnittlichen Summen der Anforderungsmerkmale aller Aufgaben werden in Abbildung 22a dargestellt. Die Mittelwerte legen im zeitlichen Verlauf keine signifikanten Ent-



(a) Durchschnittliche Scores aller Aufgaben.

(b) Durchschnittliche Scores neuer Aufgaben.

Abbildung 22: Durchschnittliche Gesamtscores der Anforderungsmerkmale im Zeitablauf.

wicklungen nahe. Sie unterscheiden sich im Zeitablauf nicht signifikant voneinander. Am höchsten ist der Wert mit 10,8 (Standardabweichung 3,8) im Jahr 1982, am niedrigsten im Jahr 1998 mit 8,9 (Standardabweichung 3,6). Die Mediane unterscheiden sich bei allen Auflagen ebenfalls kaum nennenswert von den Mittelwerten und liegen zwischen 9 (2007) und 10 (1982, 1988, 2020). Eine Fokussierung auf die neu konzipierten Aufgaben wie in Abbildung 22b verändert diese Beurteilung nicht, da diese für drei Auflagen nahezu deckungsgleich sind. Lediglich bei der Ausgabe von 1988 ändern sich Mittelwert und Median um die Differenz von 1 nach unten.

Nachfolgend werden die einzelnen Anforderungsmerkmale in ihrer zeitlichen Entwicklung analysiert, beginnend mit der *Kenntnis von Definitionen und Gesetzen*. Es ist ein Kennzeichen über alle Schulbuchauflagen hinweg, dass diese Anforderung entscheidende Bedeutung hat. Insgesamt gibt es nur fünf Aufgabenlösungen, bei denen dieses Merkmal nicht mit dieser Ausprägung in die Summe eingeht (zwei Mal Ausprägung 1, drei Mal Ausprägung 0). Erklären lässt sich dies mit dem Schulbuch als Medium, in das die Aufgaben eingebettet sind. Diese verfügen in den Informationstexten um die Aufgaben herum über die benötigten Definitionen und Gesetze, sodass eine nochmalige Erwähnung in den Aufgabenstellungen unnötig erscheint.

Ein differenzierteres Bild ergibt sich für das Anforderungsmerkmal *qualitatives Begriffsverständnis*, dessen zeitliche Entwicklung über alle Aufgaben in Abbildung 23a abgebildet ist. Für den Großteil der Aufgabenlösungen nimmt es eine wichtige Rolle ein, wobei die Anteile mit entscheidender Bedeutung deutlich gegenüber denen mit mittlerer Bedeutung überwiegen. Bei etwa 47% der Aufgaben des Jahres 1998 hat das Merkmal keine Bedeutung, dies



Abbildung 23: Bedeutung des *qualitativen Begriffsverständnisses* in den Aufgaben.

ist der höchste Anteil unter den Auflagen. Am geringsten ist der Anteil ohne Bedeutung in der aktuellsten Auflage, wo ein qualitatives Begriffsverständnis nur bei 25% der Aufgaben keine Rolle spielt. Davon abgesehen unterliegen die Werte Schwankungen, die keinen bestimmten Trend in der zeitlichen Entwicklung nahelegen. Dies gilt auch für die Entwicklung bei den neuen Aufgaben in Abbildung 23b, sofern die Ausgabe aus dem Jahr 1988 nicht als Ausreißer behandelt wird. Hier kommt dem qualitativen Begriffsverständnis nur vier Mal entscheidende Bedeutung zu, während dies bei acht der neun Lösungswege für 2020 der Fall ist.

Das dritte Anforderungsmerkmal umfasst die *Rechenfertigkeiten* der Lernenden. Für dieses weichen die Einschätzungen insbesondere für die älteste Auflage von den weiteren Auflagen ab, wie in der Abbildung 24a zu sehen ist. Bei 35% der Aufgabenlösungen spielen Rechenfertigkeiten keine Rolle. Hier gibt es Überschneidungen mit dem im Vergleich zu den anderen Auflagen höheren Anteil von Aufgaben mit experimentellem Anteil. Bei den wei-

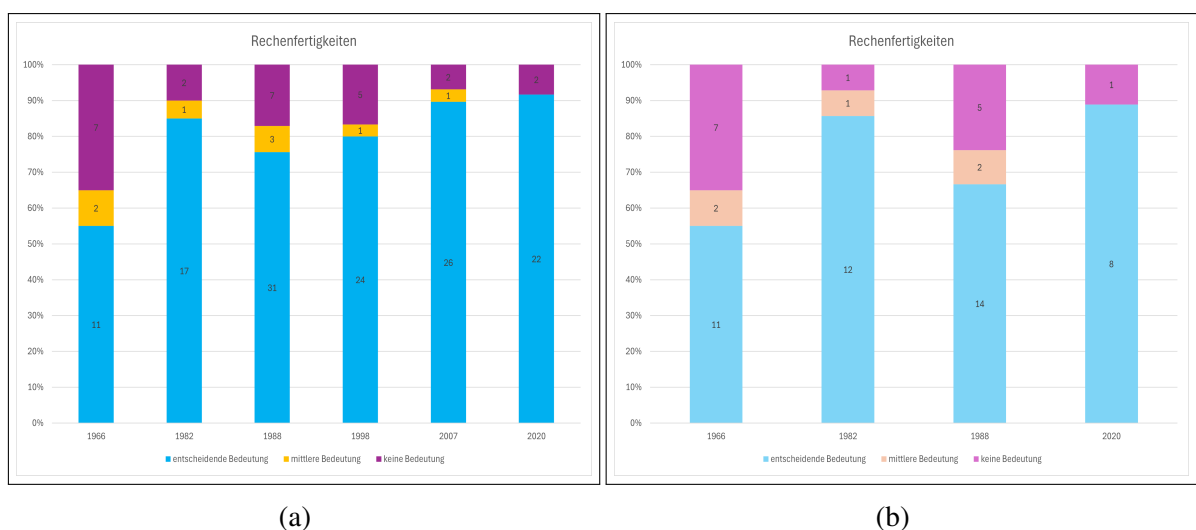
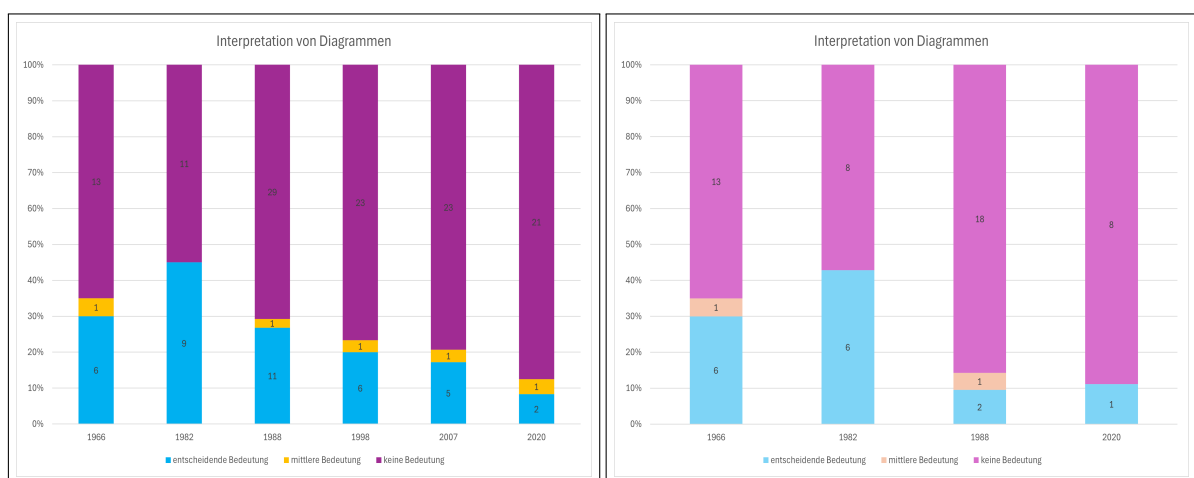


Abbildung 24: Bedeutung der *Rechenfertigkeiten* in den Aufgaben.

teren Auflagen kommt dem Merkmal in der überwiegenden Mehrzahl eine entscheidende Bedeutung zu, mit Anteilen zwischen 76% (1988) und 92% (2020). Der hohe Anteil im Jahr 2020 ist auch auf die neuen Aufgaben zurückzuführen, wie Abbildung 24b zeigt. Annähernd ähnliche Bedeutung hat es unter den neuen Aufgaben von 1982.

In Abbildung 25 sind die zeitlichen Veränderungen in der Bewertung des Merkmals *Interpretation von Diagrammen* abgebildet. Die gemeinsame Darstellung (Abb. 25a) zeigt dabei eine abnehmende Bedeutung über die Auflagen. Von einem Höchstwert von 45% entscheidender Bedeutung in den Aufgaben im Jahr 1982 nehmen die Anteile der Aufgaben jeweils zu, bei denen dieses Merkmal keine Bedeutung hat. Im Jahr 2020 beträgt ihr Anteil annähernd 88%. Die Fokussierung auf ausschließlich neue Aufgaben kann diese Eindrücke nicht

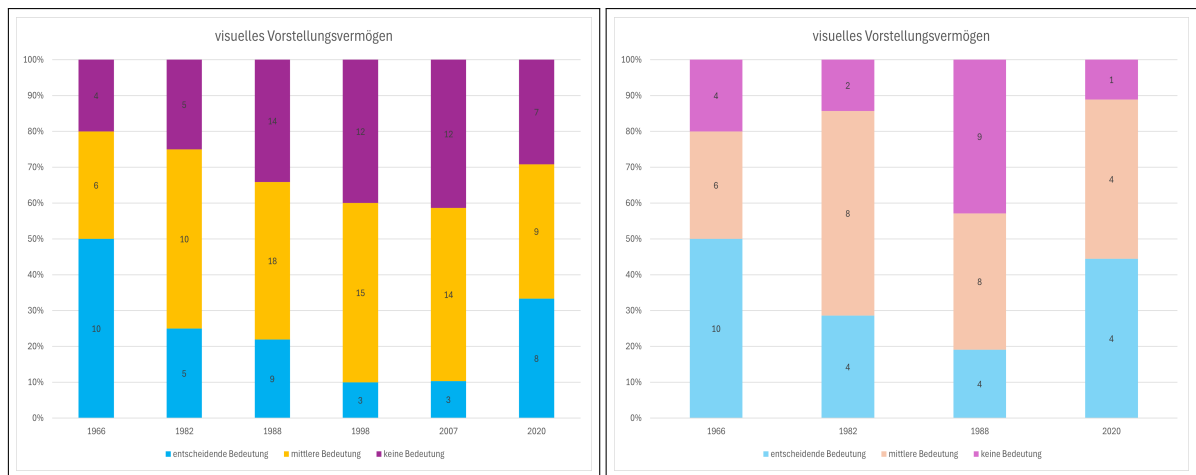


(a) Bedeutung für alle Aufgaben. (b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 25: Bedeutung der *Interpretation von Diagrammen* in den Aufgaben.

entkräften, darin steigen die Anteile von Aufgaben ohne die Anforderung der graphischen Interpretation von Diagrammen in allen neueren Auflagen sogar noch an, bei der Ausgabe von 1982 allerdings weniger stark als bei den anderen.

Mit dem Merkmal *visuelles Vorstellungsvermögen* liegt erstmals eine Anforderung vor, die bei allen Auflagen mit Ausnahme der von 1966 überwiegend mittlere Bedeutung bei der Lösung der Aufgaben einnimmt. Dies ist grundsätzlich erwartbar, da die Bearbeitung von Aufgaben, für die mathematische Darstellungen sowie qualitatives Begriffsverständnis bedeutende Rollen einnehmen, durch Vorstellungsvermögen häufig unterstützt werden kann. Wie in Abbildung 26a zu erkennen, kommt dem Merkmal bei der Bearbeitung der Aufgaben des Buchs aus dem Jahr 1966 dabei in 50% der Fälle sogar entscheidende Bedeutung zu, wodurch es sich deutlich von den weiteren Ausgaben abhebt. Viele der Aufgaben in dieser Auflage nehmen Bezug auf Experimente, wodurch sich dies möglicherweise erklären lässt. Im weiteren Verlauf fällt der Anteil der Aufgaben, in denen dieser Anforderung entscheidende Bedeutung zukommt zugunsten von Aufgaben, bei denen das Merkmal keine Rolle spielt, bis sich dieser Trend in der neuesten Auflage wieder deutlich umkehrt. Eine



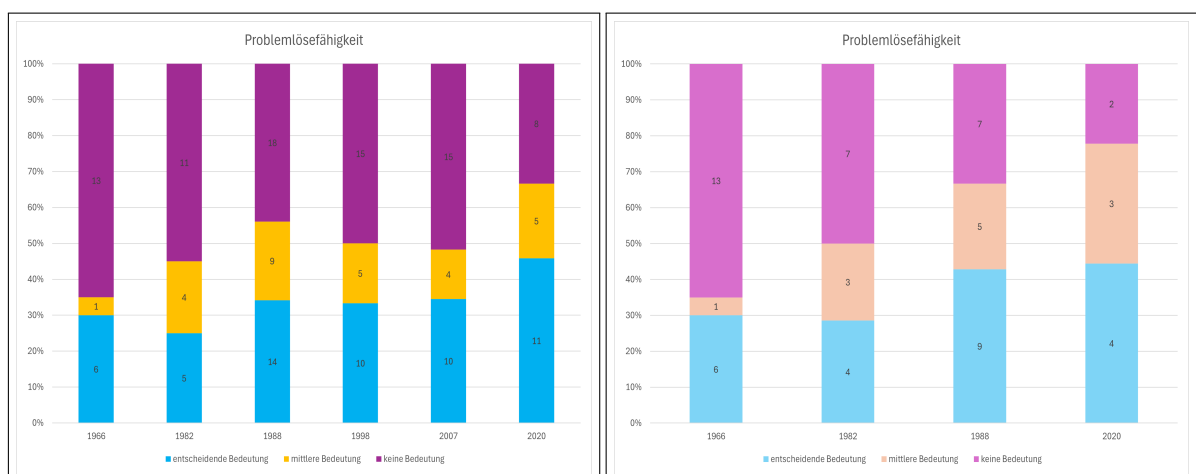
(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 26: Bedeutung des *visuellen Vorstellungsvermögens* in den Aufgaben.

Betrachtung ausschließlich der neuen Aufgaben in Abbildung 26b legt dagegen wie bereits häufiger eine Abweichung von der Ausgabe des Jahres 1988 von den anderen Auflagen nahe, da hier insbesondere ein deutlich höherer Anteil an Aufgaben (43%) dazukommt, bei denen das visuelle Vorstellungsvermögen keine Rolle spielt. Bei den anderen drei Büchern ist das Merkmal hingegen in mindestens 80% der Fälle von Bedeutung.

Je mehr die Lösungsfindung einer Aufgabe zur Anforderung wird, desto höher ist das Merkmal der *Problemlösefähigkeit* ausgeprägt. In Abbildung 27a ist dessen zeitliche Entwicklung unter den analysierten Aufgaben aufgetragen. Der Verlauf zeigt insgesamt eine ansteigende Tendenz der Bedeutung dieser Fähigkeit, sofern die Merkmalsausprägungen 1 und 2 als Basis betrachtet wird. wenn auch nicht konsequent zwischen allen Auflagen. Hauptverant-



(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

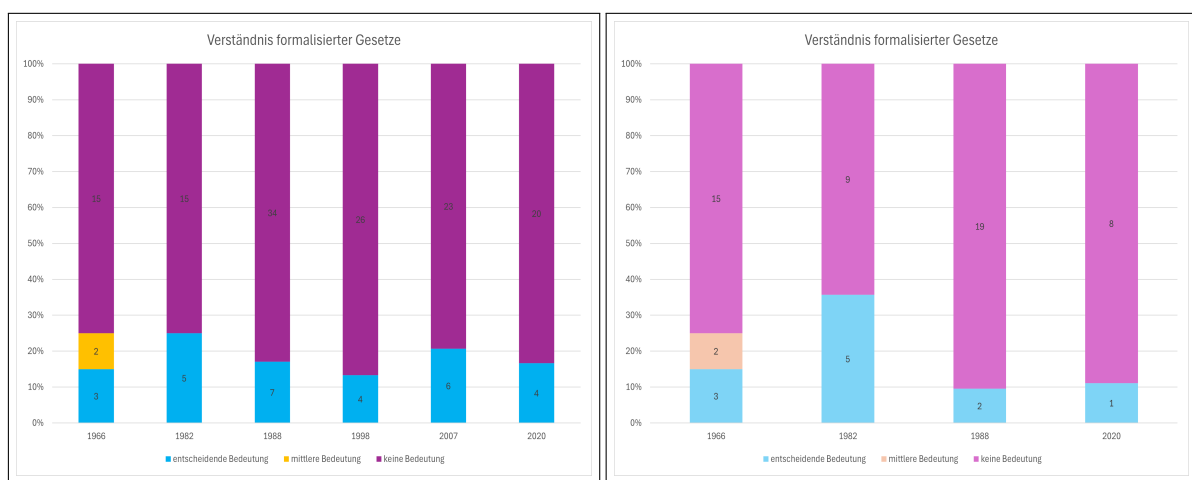
(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 27: Bedeutung der *Problemlösefähigkeiten* in den Aufgaben.

wortlich für diesen leichten Trend ist insbesondere die neueste Auflage, in der Problemlösefähigkeit bei 46% der Aufgaben eine zentrale Stellung einnimmt. Ohne diesen Wert ließe

sich eher auf kleinere Schwankungen in den Bedeutungen zwischen Auflagen schließen. Ein Einbezug nur der in Abbildung 27b dargestellten neuen Aufgaben im Hinblick auf dieses Merkmal lässt vorwiegend die mit zwei geringe Zahl von Lösungen in der Auflage von 2020 auffallen, bei denen das Problemlösen keine Rolle spielt. Der Eindruck wachsender Bedeutung des Merkmals im Zeitablauf tritt in dieser Darstellung noch deutlicher hervor.

Ein *Verständnis formalisierter Gesetze* wird im zeitlichen Verlauf nur bei wenigen Aufgaben gefordert, wie in Abbildung 28 gezeigt wird. Ihr Anteil unterliegt kleinen Schwankungen, bleibt aber über alle Ausgaben bei einem Wert von höchstens 25%, der bei den ersten beiden Auflagen exakt erreicht wird. Zwischen den vier neueren Auflagen gibt es dagegen Schwankungen ohne klaren Trend zwischen 13 und 21 Prozent. Eine Analyse der neuen Aufgaben



(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

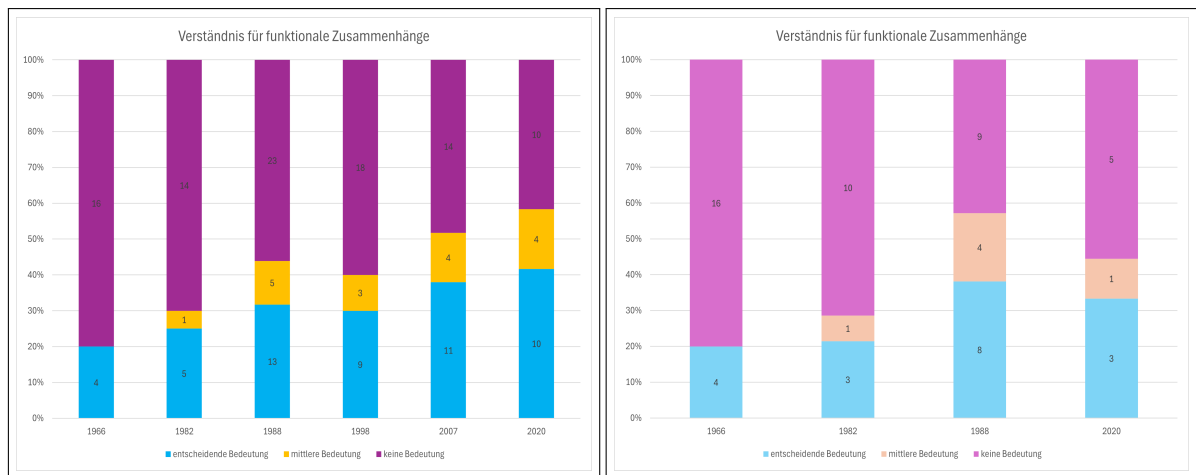
(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 28: Bedeutung des *Verständnisses formalisierter Gesetze* in den Aufgaben.

zeigt noch deutlichere Unterschiede zwischen den beiden älteren auf der einen und den beiden neueren Auflagen auf der anderen Seite. Bei letzteren hat das Verständnis formalisierter Gesetze nur in etwa zehn Prozent der Fälle wichtige Bedeutung, bei den Aufgaben aus dem Jahr 1982 dagegen bei 36%.

Eine zunehmende Bedeutung für die Lösung von Aufgaben in den Schulbüchern weist das Merkmal *Verständnis für funktionale Zusammenhänge* auf. Dies ist in Abbildung 29a zu erkennen. Erst in den neuesten beiden Auflagen spielt dieses Verständnis allerdings eine Rolle bei mehr als der Hälfte der untersuchten Aufgaben, im Jahr 2020 liegt der Anteil bei etwa 58% und damit am höchsten. Unter den neu konzipierten Aufgaben in dieser Auflage liegt er mit 44% allerdings unter dem des Jahres 1988 (57%). In den beiden älteren Auflagen kommt dem Verständnis für funktionale Zusammenhänge dagegen in über 70% der analysierten Aufgaben keine Bedeutung zu (Abb. 29b).

Das Anforderungsmerkmal *Verständnis für Alltagssituationen* hat in der aktuellen Auflage von 2020 bei fünf von 24 Lösungswegen eine Bedeutung, was den höchsten absoluten und prozentualen (21%) Werten über die Schulbuchreihe entspricht. In den weiteren Auflagen



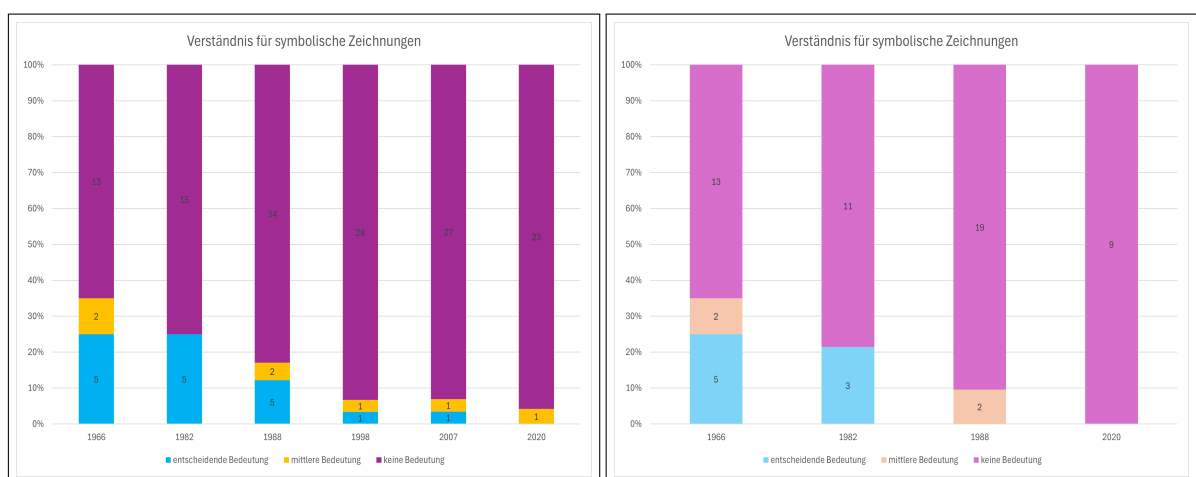
(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 29: Bedeutung des *Verständnisses für funktionale Zusammenhänge* in den Aufgaben.

hat das Merkmal jeweils bei um die 90% der Aufgaben keine Bedeutung. Daran ändern die Betrachtungen der ausschließlich neuen Aufgaben ebenfalls nichts. Ein möglicher Gründe dafür ist das Fehlen von Kontextualisierungen, die spezielle Alltagssituationen überhaupt erst in den Fokus bringen.

Beim Anforderungsmerkmal *Verständnis für experimentelle Situationen* verhält es sich ähnlich wie dem vorherigen, bei kleineren Schwankungen spielt dieses im Zeitablauf bei um die 90% der Aufgaben keine Rolle. Eine Ausnahme davon ist die Ausgabe aus dem Jahr 1966, bei der für 45% der Lösungen ein solches Verständnis zumindest hilfreich ist. Auch hier sind Rückbezüge auf Versuche sowie die höhere Zahl von Aufgaben mit experimentellen Anteilen eine Erklärung für diese Abweichung. Deutlichere Veränderungen können im Bereich



(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

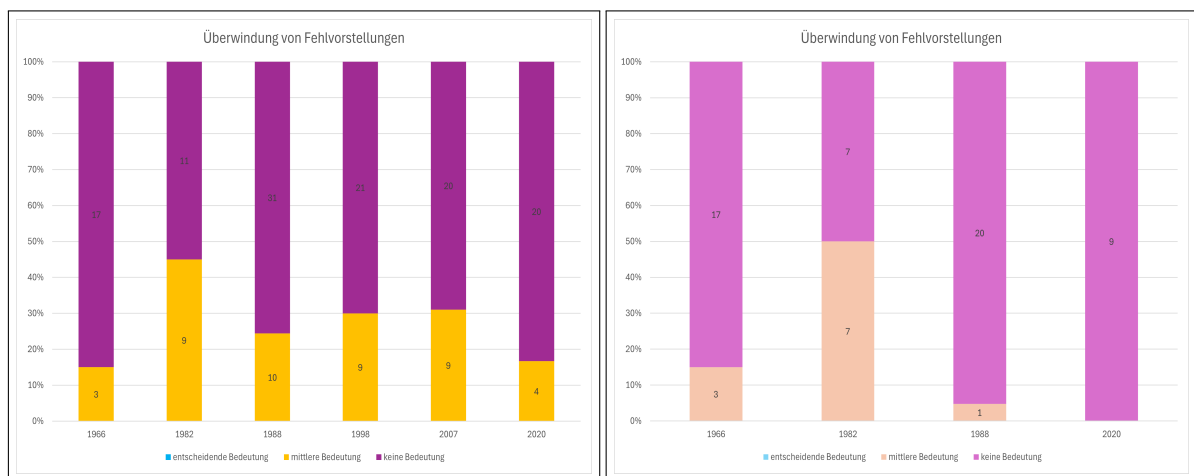
Abbildung 30: Bedeutung des *Verständnisses für symbolische Zeichnungen* in den Aufgaben.

des *Verständnisses für symbolische Zeichnungen* festgehalten werden. Wie die Abbildung 30a illustriert, ist dies bei 35% der Lösungen von Aufgaben der Ausgabe des Jahres 1966

von Bedeutung und nimmt über die nächsten drei Auflagen schrittweise ab, bis die Anteile sich in den neuesten Auflagen auf weniger als 10% belaufen.

Dieser Trend vollzieht sich gleichermaßen bei der isolierten Analyse der neuen Aufgaben der Bücher, in der aktuellsten kommen überhaupt keine Aufgaben mit diesem Anforderungsmerkmal dazu. Erneut tragen in der ersten Auflage mehrere Aufgaben, die Verweise auf im Buch illustrierte Versuchsaufbauten enthalten, zum höheren Anteil bei.

Bei dem Merkmal der *Überwindung von Fehlvorstellungen* wurden den Aufgaben keine entscheidenden Bedeutungen zugeordnet. Es finden sich keine Aufgabenstellungen, die auf eindeutige Weise typische Fehlvorstellungen provozieren. Dagegen sind in allen Auflagen Aufgaben enthalten, mit denen sich Fehlvorstellungen thematisieren lassen. Dies veranschaulichen die Grafiken in Abbildung 31. Ihr Anteil unterliegt mit Ausnahme der Auflage des Jahres 1982 Schwankungen zwischen 15 und 31%. Der davon mit 45% deutlich nach oben



(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 31: Bedeutung der *Überwindung von Fehlvorstellungen* in den Aufgaben.

abweichende Wert des Jahres 1982 ist insbesondere auf die Einbindung von sieben neuen solcher Aufgaben zurückzuführen, wie Abbildung 31b verdeutlicht. In den neuen Aufgaben der aktuellsten Auflage kommt Fehlvorstellungen dagegen in dieser Erhebung keine Bedeutung zu.

Das Anforderungsmerkmal *Kenntnis älterer Unterrichtsinhalte* wurde lediglich auf Inhalte bezogen, die nicht unmittelbar aus dem Themenbereich der Schwingungen stammen. Dazu zählt im physikalischen Bereich beispielsweise das Archimedische Prinzip, das bei einer Schwingung zur Herleitung der rücktreibenden Kraft zu nutzen ist. Spezielle mathematische Kenntnisse wie trigonometrische Identitäten oder der Cosinussatz wurden ebenfalls in die Erhebung einbezogen, nicht aber die eng mit dem Themenbereich verknüpften Inhalte wie Kenntnisse über die Sinusfunktion. Die Aufgaben aus dem Jahr 1982 weichen auch bei diesem Merkmal am deutlichsten von denen der weiteren Auflagen ab. Bei 30% sind Vorkenntnisse hier von Bedeutung, während sie bei mindestens 79% der Aufgaben in den weiteren

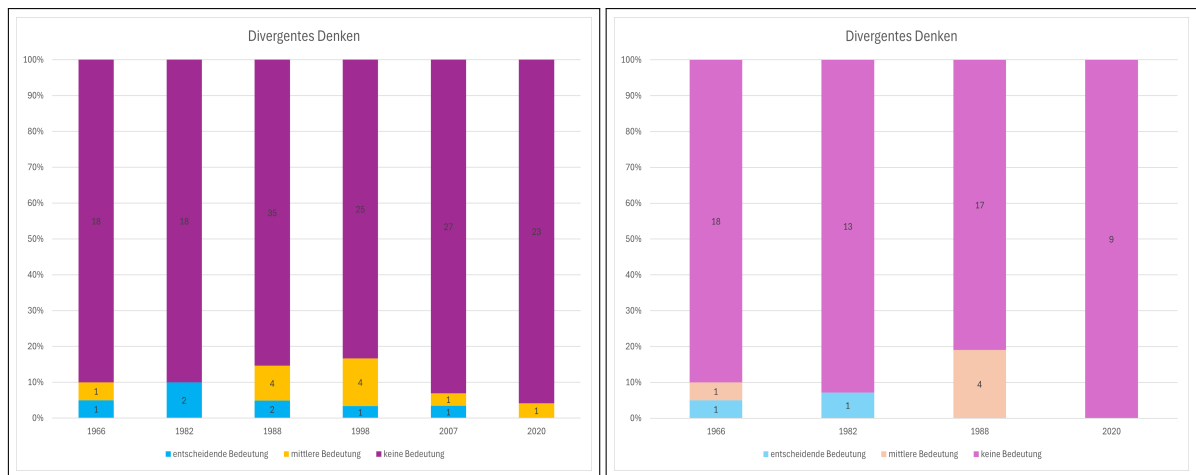
Auflagen keine Rolle spielen. Für die neuen Aufgaben des Jahres 2020 sind durchweg keine älteren Unterrichtsinhalte wichtig für die Lösungsfindung.

Die Analyse des Anforderungsmerkmals *Fähigkeit zur Kooperation* ergibt in den Auflagen der Jahre 1982 und 2007 keinerlei Bedeutung in allen Aufgaben. Dies sind die Auflagen, in denen keine experimentellen Anteile zu verzeichnen sind, bei denen eine Kooperation mit der Ausprägung 1 für sinnvoll erachtet wurde. Auch bei den weiteren Auflagen konnten lediglich aufgrund dieser experimentellen Anteile bei neun Lösungswegen mittlere Ausprägungen vermerkt werden, von denen folglich die Mehrheit in dem Schulbuch aus dem Jahr 1966 zu finden ist. Gruppenarbeiten werden daher in den Aufgabenstellungen der Schulbuchreihe nicht angeregt.

Eine große Bedeutung des Anforderungsmerkmals *Umgang mit mentalen Modellen* kann durch die Analyse der Aufgaben ebenfalls nicht festgestellt werden. Die Anteile von Lösungswegen, bei denen dieses Merkmal eine Rolle spielt, liegen mit leichten Schwankungen in der Größenordnung von 10%. Drei von 20 Wegen (15%) betrifft dies für das Buch des Jahres 1966, zwei von 29 (7%) im Jahr 2007. Bei den neuen Aufgaben kommen in der aktuellsten Auflage wiederum keine Aufgaben mit Bedeutung für den Umgang mit mentalen Modellen dazu. Ein Grund für diese geringe Bedeutung spielt die klare Abgrenzung vom Merkmal des visuellen Vorstellungsvermögens, um im Rahmen der Arbeit eine trennscharfe Einschätzung vornehmen zu können. Es zeigt sich, dass die mentale Simulation von beispielsweise verschiedenen Voraussetzungen eines Prozesses unter den analysierten Aufgaben kaum angeregt wird.

Die Ausprägungen des Merkmals *divergentes Denken* bewegen sich auf ähnlich niedrigem Niveau wie es in mehreren der vorigen Ausführungen bereits beschrieben wurde. Beispielfür diese Gruppe von Merkmalen wird die zeitliche Entwicklung für dieses in Abbildung 32 veranschaulicht. Die Anteile von Aufgaben die möglichst mehrere oder viele Lösungswege einfordern, schwanken auf niedrigem Niveau ohne eindeutige Tendenzen. Erneut kann dem Merkmal bei den neuen Aufgaben der Ausgabe aus dem Jahr 2020 keine Bedeutung zugeschrieben werden.

Das abschließende Merkmal *Natur der Naturwissenschaften* wurde als Ersatz für das Merkmal *naturwissenschaftliche Arbeitsweisen* eingeführt, da bei letzterem befürchtet wurde, damit insbesondere diejenigen Aufgaben zu charakterisieren, die bereits durch das Anforderungsmerkmal *Verständnis für experimentelle Situationen* erfasst werden. Durch diese Anpassung sollten Aufgaben gekennzeichnet werden, die erkenntnis- und wissenschaftstheoretische Fragen aufwerfen. Solche Anteile enthalten aber lediglich fünf Aufgaben des gesamten Untersuchungsmaterials verteilt auf drei Auflagen. Insofern ist keine Bedeutung solcher Inhalte im Rahmen dieser Arbeit festzustellen.



(a) Bedeutung für alle Aufgaben.

(b) Bedeutung für neue Aufgaben.

Abbildung 32: Bedeutung des *divergenten Denkens* in den Aufgaben.

Beantwortung der Forschungsfrage 6

Insgesamt kann für die Beantwortung der sechsten Forschungsfrage nach Veränderungen der Anforderungsmerkmale im Zeitablauf festgehalten werden, dass keine signifikanten Entwicklungen bei den Mittelwerten der ermittelten Scores zu verzeichnen sind (Abb. 22).

Bei vielen der einzelnen Anforderungsmerkmale können darüber hinaus ebenfalls keine deutlichen Veränderungen erkannt werden, es zeigt sich allerdings, dass mehrere Merkmale kaum eine Bedeutung in dieser Untersuchung gespielt haben. Dies betrifft insbesondere das *Verständnis für Alltagssituationen*, das *Verständnis für experimentelle Situationen*, die *Fähigkeit zur Kooperation*, den *Umgang mit mentalen Modellen*, das *divergente Denken* sowie die *Natur der Naturwissenschaften*.

Abnahmen im zeitlichen Verlauf verzeichnen die Bedeutungen der Anforderungsmerkmale der *Interpretation von Diagrammen* und des *Verständnisses für symbolische Zeichnungen*. Diese Kombination ist verständlich, da die beiden Merkmale eng zusammenhängen. So gibt es beispielsweise Aufgaben in den Schulbüchern, bei denen das Einzeichnen von Geschwindigkeitsvektoren in Schwingungsverläufe gefordert wird, sodass beide Merkmale eine entscheidende Bedeutung haben respektive verlieren, wenn solche Aufgaben im Zeitablauf weniger werden. Darüber hinaus nimmt auch das Merkmal *visuelles Vorstellungsvermögen* zunächst ab, bevor sich dieser Trend in der aktuellen Auflage umkehrt.

Zunehmende Tendenzen wurden insbesondere bei den Anforderungsmerkmalen *Rechenfertigkeiten* (auf einem bereits beginnend hohen Niveau), *Problemlösefähigkeit* (in der aktuellen Auflage bei zwei Dritteln der Aufgaben von Bedeutung) und *Verständnis für funktionale Zusammenhänge* (in der aktuellsten Auflage bei 58% der Aufgaben von Bedeutung) festgestellt. Dies ist insofern interessant, als dass die Problemlösefähigkeit ein Anforderungsmerkmal darstellt, das im Zuge der Forderungen nach einer neuen Aufgabenkultur nach den zuvor beschriebenen internationalen Vergleichsstudien zur Jahrtausendwende verstärkt gefordert

wird. Auf der anderen Seite sind die Rechenfertigkeiten und das Verständnis für funktionale Zusammenhänge Kennzeichen von Aufgaben, die vermehrt kritisiert werden. Dazu betitelt Schecker und Klieme (2001) einen Beitrag mit Empfehlungen zur Umsetzung einer neuen Aufgabenkultur mit den Worten: „Mehr Denken, weniger Rechnen.“

6 Limitationen

Im folgenden Abschnitt sollen sowohl Aspekte des eigenen Vorgehens bei der Erstellung und Anwendung des Kategoriensystems kritisch reflektiert werden als auch daran anknüpfend Vorschläge zur Verbesserung oder Anpassung gemacht werden. Für die Analyse der Schulbuchaufgaben wurde ein Kategoriensystem verwendet, das auf Grundlage wissenschaftlicher Arbeiten insbesondere der Physikdidaktik entwickelt wurde. Dennoch erfolgt im Rahmen einer Masterarbeit stets eine Reduzierung auf einige wenige Aspekte.

Das Themengebiet der Aufgabenanalyse in Schulbüchern wurde hier mit dem Fokus auf aufgabenimmanente Kriterien umgesetzt. Denkbar wären jedoch auch vielfältige andere Zugänge. So stehen Schulbuchaufgaben beispielsweise in Beziehungen mit anderen Elementen wie Informationstexten und können im Zusammenwirken untersucht werden. In dieser Arbeit wurde sich darauf beschränkt, eine rein strukturelle Analyse der Einbettung der Aufgaben in die Bücher vorzunehmen. Im weiteren Verlauf wurde unter anderem im Schulbuch aus dem Jahr 1966 festgestellt, dass einige der Aufgaben aufeinander aufbauen und somit auch die inhaltliche Reihenfolge von Aufgaben einen Einfluss auf die Bearbeitung haben kann. Dieser wurde nicht untersucht. Ein weiterer möglicher Fokus hätte auf Einflussfaktoren gesellschaftlicher Veränderungen im historischen Kontext gelegt werden können. Da dies den Rahmen der Arbeit verlassen hätte, wurden die Vorwörter der Schulbücher in die Vorstellung des Untersuchungsmaterials mit aufgenommen, um zumindest einige didaktische Leitideen der Autoren anreißen zu können. Diese hatten jedoch keinen Einfluss auf die eigentliche Analyse.

Einschränkungen mussten ebenfalls bei der Auswahl von Kategorien vorgenommen werden. So wurde beispielsweise auf die Einordnung in Kompetenzmodelle verzichtet. Kritisch diskutieren lässt sich insbesondere die Auswahl von Merkmalen der Textverständlichkeit in unterschiedlicher Hinsicht. Zunächst ist der tatsächliche Einfluss der verwendeten einzelnen Merkmale auf die Textverständlichkeit unklar. Der Versuch, aus diesen Merkmalen Gesamteinschätzungen abzuleiten, sorgte bei den Analysen daher in einigen Fällen für Bewertungsprobleme, wenn gegenläufige Einschätzungen mehrerer dieser Kriterien vorgenommen wurden. Dies führte in Konsequenz dazu, den Gesamteinschätzungen keine Bedeutung beizumessen. Stattdessen wurde sich auf die Ausprägungen der einzelnen Kriterien fokussiert. Dabei wiederum wurde im Laufe der Analysen hinterfragt, ob diese unterschiedliche Aspekte oder sich bedingende bewerteten. Als Beispiel hierfür können die Kriterien der

Satzstruktur und die der Verwendung aktiver oder passiver Sprache angeführt werden. Passivkonstruktionen könnten einen komplizierteren Satzbau implizieren. Zudem zeigte sich in der Analyse, dass das Kriterium der Subjektivierungen keinen Mehrwert aufwies. Stattdessen hätten beispielsweise die Fachwörter erhoben und in Beziehung zur Silbenzahl gesetzt werden können. Dies führt zu einem abschließenden limitierenden Faktor im Bereich der Textverständlichkeit. Da eine Vielzahl von Merkmalen die Textverständlichkeit beeinflussen, kann über die erhobenen Merkmale keine Vollständigkeit erreicht werden, sondern nur Teilaspekte analysiert werden.

Die Analyse der Aufgaben zeigte darüber hinaus einen hohen Anteil mathematischer Inhalte. Die Behandlung von einzelnen Elementen als eigenständige Wörter wurde getroffen, da dies dem einfachen Lesen nahekam. Die deutlichen Auswirkungen auf die Satzlänge sowie die Literatur zu diesem Thema lassen es jedoch sinnvoll erscheinen, mathematische Inhalte auf komplexere Weise in die Textverständlichkeit einfließen zu lassen (Bednorz, 2021). Zudem gibt es häufig verschiedene Möglichkeiten des Lesens mathematischer Ausdrücke, die sich auf die Satzlänge auswirken (z. B. Ignorieren von Bruchstrichen oder Lesen als „geteilt durch“).

Für zukünftige Untersuchungen könnten zudem Anpassungen des Kategoriensystems an Schulbuchspezifika vorgenommen werden. In dieser Arbeit zeigte sich beispielsweise das Anforderungsmerkmal der *Kenntnisse von Definitionen und Gesetzen* als wenig aussagekräftig. Die hohe Bedeutung dieses Merkmals ist darauf zurückzuführen, dass im Kontext von Schulbuchaufgaben auch die Informationstexte der Bücher eine wichtige Funktion einnehmen. Sie enthalten oftmals auf der gleichen Buchseite Definitionen oder Formeln, die in den Aufgaben verwendet werden sollen und daher in diesen keine gesonderte Erwähnung finden.

Weitere Limitationen ergeben sich aus subjektiven Einschätzungen verschiedener Kriterien der Textverständlichkeit sowie auch der Anforderungsmerkmale. Diese beeinflussen die Gütekriterien von Auswertungen. Sie lassen sich bei einer Einzelarbeit bei allen Bemühungen der Objektivität jedoch nicht vermeiden. Versuche, dieser Tatsache entgegenzuwirken, bestanden unter anderem in weniger fein ausdifferenzierten Ausprägungen von Skalen, der möglichst trennscharfen Definition von Merkmalen und bei der Bewertung von Anforderungsmerkmalen dem kleinschrittigen Lösen der Aufgaben, um Anforderungen genauer einschätzen zu können. Es erscheint allerdings sinnvoll, mehrere Expert:innen unabhängig voneinander Einschätzungen vornehmen zu lassen und über diese anschließend nochmals in Beratungen zu gehen.

Limitationen ergeben sich des Weiteren noch aus dem Untersuchungsmaterial selbst. Die Tatsache, dass die untersuchten Schulbücher alle einer bestimmten Reihe angehören, kann zwar dazu führen, dass die Aufgaben besser vergleichbar sind. Auf der anderen Seite kann den gefundenen Ergebnissen jedoch keinesfalls Anspruch auf Allgemeingültigkeit zugespro-

chen werden. Dies wird noch dadurch verstärkt, dass mit den mechanischen Schwingungen lediglich ein spezifischer Themenbereich untersucht wurde, der sich auf einzelne Anforderungsmerkmale im Besonderen auswirken kann.

7 Fazit

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Aufgaben des Themenbereichs der mechanischen Schwingungen in den einzelnen Ausgaben einer zehnbändigen Schulbuchreihe für die Oberstufe, deren Erscheinungsjahre sich über 100 Jahre erstrecken, analysiert. Ziel war es, sowohl die Einbettung der Aufgaben in den Büchern, die quantitative und qualitative Übernahme von Aufgaben sowie die Verständlichkeit der Aufgabentexte im zeitlichen Verlauf zu untersuchen. Ebenso wurde die zeitliche Veränderung des Kontexts, der Anforderungen an das Antwortformat und der Lösungswege der Aufgaben sowie einer Reihe von Anforderungsmerkmalen analysiert.

Hierzu wurde auf Basis des bereits in der Forschung genutzten Kategoriensystems von Fischer und Draxler (2007) ein auf den Rahmen und das Untersuchungsmaterial angepasster Analysebogen zur Einschätzung von Physikaufgaben entwickelt. Aufgrund von mehrfach sprachlich leicht abgewandelt eingesetzten Aufgaben im Verlauf der untersuchten Schulbuchreihe, flossen in diesen Bogen Aspekte des Hamburger Verständlichkeitskonzepts zur Einordnung der Textverständlichkeit ein.

In Bezug auf die erste Forschungsfrage lässt sich festhalten, dass sich die Einbettung der Aufgaben in den Schulbüchern im Verlauf der unterschiedlichen Ausgaben so verändert, dass sich das Physikbuch von einem Lehrwerk, welches primär die Lehrenden unterstützen soll, zu einem schüler:innenorientierten Lern- und Arbeitsbuch entwickelt. Dies stimmt auch mit den jeweiligen Vorworten der Autoren überein und geht mit einer zunehmenden Differenzierung der Aufgaben in ein grundlegendes und erweitertes Anforderungsniveau einher, wobei die letzte Auflage aus dem Jahr 2020 eine Ausnahme darstellt, da diese die Aufgaben nicht differenziert.

Die Übernahme von Aufgaben aus vorherigen Auflagen der Schulbuchreihe lässt sich seit erstmaligem Auftauchen eines umfassenderen Aufgabenkatalogs im Jahr 1966 fortwährend beobachten, sodass in der aktuellsten Auflage mehr als die Hälfte der Aufgaben erstmalig vor mehr als 30 Jahren auftauchten. Qualitative Änderungen treten zwar auf, das grundlegende Ziel der Aufgabe wird dabei aber nicht verändert. Auffallend ist allerdings die erst- und einmalige Operationalisierung von zwölf Aufgaben im Jahr 2007, welche sich durch die bildungspolitische Verschiebung von Aufgabengestaltungen mit Fokus auf Kompetenzorientierung zurückführen lässt.

Hinsichtlich der dritten Forschungsfrage, also der Textverständlichkeit der Aufgaben, ist zu beobachten, dass die sprachliche Einfachheit sich im Verlauf der Zeit nicht eindeutig in eine Richtung entwickelt hat, wobei bei Betrachtung der jeweils neuen Aufgaben in den Auflagen

eine Tendenz zu kürzeren Satzlängen festzustellen ist. Trotzdem liegt die durchschnittliche (neue) Aufgabe in allen Büchern deutlich über dem empfohlenen Wert für die Satzlänge bei einfacher Sprache. In Bezug auf die Gliederung und Ordnung zeigt sich ein eindeutigeres Bild, sodass im zeitlichen Verlauf sowohl die Hervorhebungen als auch die Abgrenzung von Teilaufgaben zunehmen, wobei sich letzteres durch ersteres erklären lässt, da die Teilaufgaben durch fett gedruckte alphabetische Aufzählungszeichen hervorgehoben sind. Ebenfalls ist bei den neuen Aufgaben vor allem im Jahr 1982 sowie 2020 eine erhöhte Nutzung von Absätzen zu beobachten, was insgesamt den Schluss zulässt, dass in der aktuellsten Auflage die Strukturierung von Aufgaben eine erhöhte Rolle spielt.

Zur vierten Forschungsfrage ist festzuhalten, dass im Themenbereich der mechanischen Schwingungen lebensweltliche Kontexte keine Rolle spielen und auch nicht lebensweltliche Kontexte nur selten auftreten.

Das Antwortformat sowie die Lösungswege von Aufgaben veränderten sich im zeitlichen Verlauf derart, dass bei ersteren bis 1998 eine Entwicklung hin zu Kurzantworten zu beobachten ist, sich diese allerdings anschließend umkehrt. Die Analyse der angeregten Lösungswege zeigt, dass halbquantitative sowie experimentelle Lösungen nur selten gefragt sind, während theoretische und rechnerische Lösungswege im Zentrum stehen, ohne dass eine zeitliche Tendenz zu erkennen ist. Ein Vergleich der Lösungswege der beiden ältesten Auflagen mit denen der vier jüngsten zeigt dabei eine Entwicklung zu eher offenen Wegen. Schließlich gab es bei der Analyse der Anforderungsmerkmale der Aufgaben keine signifikanten Veränderungen der Gesamtscores, allerdings teilweise Entwicklungen bei der Einzelbetrachtung der Anforderungsmerkmale. Eine zunehmende Bedeutung ist hierbei dem Merkmal *Rechenfertigkeiten*, der *Problemlösefähigkeit* sowie dem *Verständnis für funktionale Zusammenhänge* zuzuschreiben. Hingegen verlieren die Merkmale *Interpretation von Diagrammen*, *visuelles Vorstellungsvermögen* und *Verständnis für symbolische Zeichnungen* an Bedeutung.

Ein interessanter Aspekt bei der Entwicklung der Aufgaben im zeitlichen Verlauf ist im Hinblick auf die Kompetenzorientierung im Physikunterricht die Überarbeitung von Aufgaben, sodass diese mithilfe von Operatoren formuliert sind. Im Zuge einer weiterführenden Forschung zu Schulbüchern könnte daher insbesondere die Operationalisierung von Aufgaben näher untersucht werden, sowohl in Bezug auf andere Themenbereiche als auch unterschiedliche Physikbücher. Ein weiterer interessanter Forschungsansatz ergibt sich aus einer genaueren Analyse der Aufgabenübernahmen der jüngsten beiden Auflagen. Im Jahr 2002 ging der Schroedel Verlag in der Westermann Gruppe auf, wurde in der vierten Auflage von 2007 aber noch als Marke weiter genutzt. Von den dort operationalisierten Aufgaben wurden vier im Jahr 2020 aus dem Buch genommen, bei mehreren anderen zudem Um- oder Neugestaltungen vorgenommen. Dies wirft die Frage auf, ob die Operationalisierungen eine schnelle Lösung waren und eigentlich erkannter Handlungsbedarf zur Umsetzung der bildungspolitischen Veränderungen erst weitere 13 Jahre und damit eine gesamte Schüler:innengeneration

nach Erscheinen der vierten Auflage umgesetzt wurde. Weiterführende Forschungen könnten sich mit der Frage beschäftigen, inwiefern wirtschaftliche Interessen, träge institutionelle Strukturen, Verwerfungen in Folge von Verlagsumstrukturierungen oder Wettbewerbsdruck einen Einfluss auf die Gestaltung und Übernahme von Aufgaben haben.

Des Weiteren spielen Kontexte in der untersuchten Schulbuchreihe im Themenbereich der mechanischen Schwingungen eine sehr geringe Rolle. Da die Nutzung von Kontexten im Physikunterricht allerdings Vorteile in Bezug auf die Motivation der Lernenden und deren Einstellung zum Physikunterricht mit sich bringt (Hopf & Schecker, 2022, S. 97), kann die Erforschung des Einsatzes solcher Aufgaben ebenfalls Rückschlüsse auf die Entwicklung der Aufgabekultur in Lehrmaterialien zulassen. Um den Einsatz von (lebensweltlichen) Kontexten in Schulbüchern im Physikunterricht allgemein einschätzen zu können, wäre daher vermutlich ein anderes Thema oder die Analyse eines gesamten Schulbuches geeigneter und könnte in einer fortführenden Untersuchung fokussiert werden.

Literatur

- Bednorz, D. (2021). *Sprachliche Variationen von mathematischen Textaufgaben: Entwicklung eines Instruments zur Textanpassung für Textaufgaben im Mathematikunterricht*. doi:10.1007/978-3-658-33003-3
- Bölsterli Bardy, K. (2015). *Kompetenzorientierung in Schulbüchern für die Naturwissenschaften: Eine Analyse am Beispiel der Schweiz* (1. Aufl.). doi:10.1007/978-3-658-10251-7
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler: Limitierte Sonderausgabe* (7. Aufl.). doi:10.1007/978-3-642-12770-0
- Daud, N. S. N., Abd Karim, M. M., Hassan, S. W. N. W. & Rahman, N. A. (2015). Misconception and Difficulties in Introductory Physics Among High School and University Students: An Overview in Mechanics. *EDUCATUM - Journal of Science, Mathematics and Technology*, 2(1), 34–47.
- Doll, J. & Rehfinger, A. (2012). Historische Forschungsstränge der Schulbuchforschung und aktuelle Beispiele empirischer Schulbuchwirkungsforschung. In J. Doll, K. Frank, D. Fickermann & K. Schwippert (Hrsg.), *Schulbücher im Fokus: Nutzungen, Wirkungen und Evaluation* (S. 19–42). Münster: Waxmann.
- Draxler, D. (2006). *Aufgabendesign und basismodellorientierter Physikunterricht* (Dissertation, Universität Duisburg-Essen, Duisburg). abgerufen am 17. November 2025. Verfügbar unter https://duepublico2.uni-due.de/receive/duepublico_mods_00014098
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2002). Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In E. Kircher & W. B. Schneider (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (1. Aufl., S. 300–322). Berlin: Springer.
- Fischer, H. E. & Draxler, D. (2007). Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (2. Aufl., S. 639–655). Berlin: Springer.
- Fuchs, E. (2011). Aktuelle Entwicklungen der schulbuchbezogenen Forschung in Europa. *Bildung und Erziehung*, 64(1), 7–22. Verfügbar unter http://www.digizeitschriften.de/dms/img/?PID=PPN509215866_0064%7CLOG_0012
- Fuchs, E., Niehaus, I. & Stoletzki, A. (2014). *Das Schulbuch in der Forschung: Analysen und Empfehlungen für die Bildungspraxis*. Göttingen: V&R Unipress.
- Hacker, H. (1980). Didaktische Funktionen des Mediums Schulbuch. In H. Hacker (Hrsg.), *Das Schulbuch. Funktion und Verwendung im Unterricht* (S. 7–30). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Heer, N. (2011). Aufgaben im Schulbuch aus textlinguistischer Sicht. In E. Matthes & S. Schütze (Hrsg.), *Aufgaben im Schulbuch* (S. 43–55). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Heijnk, S. (1997). *Textoptimierung für Printmedien: Theorie und Praxis journalistischer Textproduktion*. doi:10.1007/978-3-322-87293-7

- Hiller, A. (2012). *Das Schulbuch zwischen Internet und Bildungspolitik: Konsequenzen für das Schulbuch als Leitmedium und die Rolle des Staates in der Schulbildung*. Marburg: Tectum Verlag.
- Himme, A. (2009). Gütekriterien der Messung: Reliabilität, Validität und Generalisierbarkeit. In S. Albers, D. Klapper, U. Konradt, A. Walter & J. Wolf (Hrsg.), *Methodik der empirischen Forschung* (3. Aufl., S. 485–500). doi:10.1007/978-3-322-96406-9_31
- Hopf, M. & Schecker, H. (2022). Aufgaben. In M. Hopf, H. Schecker, D. Höttecke & H. Wiesner (Hrsg.), *Physikdidaktik kompakt*. Hannover: Aulis Verlag.
- Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2009). Standards und Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (2. Aufl.). doi:10.1007/978-3-642-01602-8_21
- Kauertz, A. & Fischer, H. E. (2020). Aufgaben im Physikunterricht. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik — Grundlagen* (4. Aufl., S. 427–456). doi:10.1007/978-3-662-59490-2
- Kauertz, A., Löffler, P. & Fischer, H. E. (2015). Physikaufgaben. In E. Kircher, R. Girwidz & P. Häußler (Hrsg.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3. Aufl., S. 451–475). doi:10.1007/978-3-642-41745-0_14
- Kircher, E. (2020). Grundlagen der Physikdidaktik. In E. Kircher, R. Girwidz & H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik — Grundlagen* (4. Aufl., S. 25–77). doi:10.1007/978-3-662-59490-2_2
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's Taxonomy: An Overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212–218.
- Kulgemeyer, C. & Starauschek, E. (2014). Analyse der Verständlichkeit naturwissenschaftlicher Fachtexte. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Methoden in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 241–253). doi:10.1007/978-3-642-37827-0_20
- Langendorf, R., Lewing, J. & Schneider, S. (2019). Entwicklung und Anwendung eines Kategoriensystems zur Analyse von Lernaufgaben aus Physik- und INU-Schulbüchern. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Link, J.-W. (2018). Reformpädagogik im historischen Überblick. In H. Barz (Hrsg.), *Handbuch Bildungsreform und Reformpädagogik* (S. 25–38). doi:10.1007/978-3-658-07491-3_2
- Mader, S. & Bachinger, A. (2018). Klassisches Schulbuch meets MeBook. Entwicklung des Prototyps eines elektronischen Mathematikbuches. In M. Schuhen & M. Froitzheim (Hrsg.), *Das Elektronische Schulbuch: Fachdidaktische Anforderungen und Ideen treffen auf Lösungsvorschläge der Informatik* (S. 105–118). Berlin: LIT.
- Maier, U., Bohl, T., Kleinknecht, M. & Metz, K. (2013). Allgemeindidaktische Kategorien für die Analyse von Aufgaben. In M. Kleinknecht, T. Bohl, U. Maier & K. Metz (Hrsg.), *Lern- und Leistungsaufgaben im Unterricht. Fächerübergreifende Kriterien zur Auswahl und Analyse* (S. 9–46). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Menck, P. (2011). Aufgaben - der Dreh- und Angelpunkt von Unterricht. In E. Matthes & S. Schütze (Hrsg.), *Aufgaben im Schulbuch* (S. 19–29). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Milde, J. (2009). *Vermitteln und Verstehen: Zur Verständlichkeit von Wissenschaftsfilmen im Fernsehen*. doi:10.1007/978-3-531-91630-9_5
- Nerdel, C. (2017). Naturwissenschaftliches Arbeiten. In *Grundlagen der Naturwissenschaftsdidaktik - Kompetenzorientiert und aufgabenbasiert für Schule und Hochschule* (S. 113–148). doi:10.1007/978-3-662-53158-7_7
- Nerdel, C., Neumann, K., Stäudel, L. & Rehm, M. (2013). Fachdidaktische Analyse von Aufgaben in den Naturwissenschaften. In M. Kleinknecht, T. Bohl, U. Maier & K. Metz (Hrsg.), *Lern- und Leistungsaufgaben im Unterricht. Fächerübergreifende Kriterien zur Auswahl und Analyse* (S. 95–100). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Neumann, K. (2013). Fachdidaktische Aufgabenanalyse in Physik. In M. Kleinknecht, T. Bohl, U. Maier & K. Metz (Hrsg.), *Lern- und Leistungsaufgaben im Unterricht. Fächerübergreifende Kriterien zur Auswahl und Analyse* (S. 101–114). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Neumann, K., Kauertz, A., Lau, A., Notarp, H. & Fischer, H. (2007). Die Modellierung physikalischer Kompetenz und ihrer Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, 101–121.
- Nitz, S. & Fechner, S. (2018). Mentale Modelle. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 69–86). doi:10.1007/978-3-662-56320-5_5
- Parchmann, I. & Kuhn, J. (2018). Lernen im Kontext. In D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 193–207). doi:10.1007/978-3-662-56320-5_12
- Prestin, E. (2001). Textoptimierung: Von der Verständlichkeit zur Intentionsadäquatheit. In L. Sichelschmidt & H. Strohner (Hrsg.), *Sprache, Sinn und Situation: Festschrift für Gert Rickheit zum 60. Geburtstag* (S. 223–238). doi:10.1007/978-3-663-08962-9_14
- Rost, J., Carstensen, C. H., Bieber, G., Neubrand, M. & Prenzel, M. (2003). Naturwissenschaftliche Teilkompetenzen im Ländervergleich. In J. Baumert, C. Artelt, E. Klieme, M. Neubrand, M. Prenzel, U. Schiefele, ... M. Weiß (Hrsg.), *PISA 2000 — Ein differenzierter Blick auf die Länder der Bundesrepublik Deutschland* (S. 109–129). doi:10.1007/978-3-322-97590-4_5
- Schecker, H. & Duit, R. (2018). Schülervorstellungen und Physiklernen. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 1–21). doi:10.1007/978-3-662-57270-2_1
- Schecker, H., Fischer, H. E. & Wiesner, H. (2004). Physikunterricht in der gymnasialen Oberstufe. In H.-E. Tenorth (Hrsg.), *Kerncurriculum Oberstufe II - Biologie, Chemie, Physik, Geschichte, Politik* (S. 148–234). Weinheim: Beltz.

- Schecker, H. & Klieme, E. (2001). Mehr Denken, weniger Rechnen: Konsequenzen aus der internationalen Vergleichsstudie TIMSS für den Physikunterricht. *Physikalische Blätter*, 57.
- Schecker, H. & Parchmann, I. (2006). Modellierung naturwissenschaftlicher Kompetenz. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 45–66.
- Schecker, H. & Wilhelm, T. (2018). Schülervorstellungen in der Mechanik. In H. Schecker, T. Wilhelm, M. Hopf & R. Duit (Hrsg.), *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis* (S. 63–88). doi:10.1007/978-3-662-57270-2_1
- Sorger, B. & Reitbrecht, S. (2018). Operatoren als Marker der Kompetenzorientierung: Eine Analyse des österreichischen Curriculums der Sekundarstufe I. *R&E-SOURCE*, 1.
- Stöber, G. (2010). Schulbuchzulassung in Deutschland: Grundlagen, Verfahrensweisen und Diskussionen. *Eckert.Beiträge*, 2010(3). Verfügbar unter <http://www.edumeres.net/urn/urn:nbn:de:0220-2010-00146>
- Ullrich, H. (2008). Ursprünglich für die Schwachen. Die Schulen der klassischen Reformpädagogik - was sie waren und was aus ihnen geworden ist. In W. Lohfeld (Hrsg.), *Gute Schulen in schlechter Gesellschaft* (S. 79–107). doi:10.1007/978-3-531-91782-5_5
- Van Bien, N., Krause, E. & Chu, C. T. (2020). Problem Solving. In S. F. Kraus & E. Krause (Hrsg.), *Comparison of Mathematics and Physics Education I : Theoretical Foundations for Interdisciplinary Collaboration* (S. 345–368). doi:10.1007/978-3-658-29880-7_14
- Vollstädt, W. (2003). Die zukünftige Entwicklung von Lehr- und Lernmedien: Ergebnisse einer Delphi-Studie der Cornelsen-Stiftung „Lehren und Lernen“. In W. Vollstädt (Hrsg.), *Zur Zukunft der Lehr- und Lernmedien in der Schule: Eine Delphi-Studie in der Diskussion* (Bd. 31, S. 39–82). doi:10.1007/978-3-663-11920-3_3
- Wiater, W. (2002). Neue Anforderungen an das Lernen in der Schule. In C. Preiß & P. Wahler (Hrsg.), *Schule zwischen Lehrplan und Lebenswelt*. doi:10.1007/978-3-322-97524-9_6
- Wiater, W. (2003). Das Schulbuch als Gegenstand pädagogischer Forschung. In W. Wiater (Hrsg.), *Schulbuchforschung in Europa - Bestandsaufnahme und Zukunftsperspektive* (S. 11–21). doi:<https://doi.org/10.25656/01:25373>
- Wiater, W. (2011). Aufgaben im Schulbuch. In E. Matthes & S. Schütze (Hrsg.), *Aufgaben im Schulbuch* (S. 31–42). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Wiesner, H. (1994). Verbesserung des Lernerfolgs im Unterricht über Mechanik. Schülervorstellungen, Lernschwierigkeiten und fachdidaktische Folgerungen. *Physik in der Schule*, 32(4), 122–127.
- Wilhelm, T. & Kneisel, S. (2011). Vergleich und Analyse der Sachstruktur von Gymnasialschulbüchern im Anfangsunterricht Mechanik. *PhyDid B, Didaktik der Physik, Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*.
- Willer, J. (2003). *Didaktik des Physikunterrichts* (1. Aufl.). Frankfurt am Main: Deutsch.

- Wolf, K. D. (2018). Reformpädagogik und Medien: Innovationsimpulse durch digitale Medien? In H. Barz (Hrsg.), *Handbuch Bildungsreform und Reformpädagogik* (S. 99–112). doi:10.1007/978-3-658-07491-3_9
- Ziepprecht, K., Schwanewedel, J., Heitmann, P., Jansen, M., Fischer, H. E., Kauertz, A., ... Walpuski, M. (2017). Modellierung naturwissenschaftlicher Kommunikationskompetenz – ein fächerübergreifendes Modell zur Evaluation der Bildungsstandards. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 23, 113–125. doi:10.1007/s40573-017-0058-3

Schulbücher

- Bavink, B. (1926). *Oberstufe der Physik* (6. Aufl.). Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn.
- Bolz, J., Grehn, J., Krause, J., Krüger, H. K., Herwig Schmidt & Schwarze, H. (1998). *Metzler Physik* (3. Aufl.) (J. Grehn & J. Krause, Hrsg.). Hannover: Schroedel.
- Brenneke, R. (1949). *Lehrbuch der Physik für höhere Lehranstalten: Oberstufe* (9. Aufl.). Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn.
- Brenneke, R. & Wolski, L.-W. (1951). *Lehrbuch der Physik Band II: Für die Oberstufe der höheren Schulen* (10. Aufl.). Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn.
- Glas, G., Gomoletz, J., Kratzer, A., Krause, J., Lingemann, P., Peters, G., ... Seelmann, C. (2020). *Metzler Physik* (5. Aufl.) (J. Krause & J. Grehn, Hrsg.). Braunschweig: Westermann.
- Gomoletz, J., Grehn, J., Krause, J., Peters, G., Schmidt, H. K. & Schwarze, H. (2007). *Metzler Physik* (4. Aufl.) (J. Grehn & J. Krause, Hrsg.). Braunschweig: Schroedel.
- Grehn, J., von Hessberg, A., Holz, H.-G., Krause, J., Krüger, H. & Schmidt, H. K. (1982). *Metzler Physik: für den kursorientierten Unterricht in der gymnasialen Oberstufe* (1. Aufl.) (J. Grehn, Hrsg.). Stuttgart: J. B. Metzler.
- Grehn, J., von Hessberg, A., Holz, H.-G., Krause, J., Krüger, H. & Schmidt, H. K. (1988). *Metzler Physik* (2. Aufl.) (J. Grehn, Hrsg.). Stuttgart: J. B. Metzler.
- Harbeck, G., Grehn, J., Holz, H.-G. & Langensiepen, F. (1966). *Physik: Oberstufe* (R. Brenneke & G. Schuster, Hrsg.). Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn.
- Poske, F. (1911). *Oberstufe der Naturlehre: Physik nebst Astronomie und mathematischer Geographie* (3. Aufl.). Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn.