

Dölle, Swantje

LERNnetze - Lernunterstützung im technischen Sachunterricht. Förderung technikbezogener Lernprozesse durch kognitiv aktivierende und inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung

Kassel : kassel university press 2024, 277 S. - (Dissertation, Universität Kassel, 2024)



Quellenangabe/ Reference:

Dölle, Swantje: LERNnetze - Lernunterstützung im technischen Sachunterricht. Förderung technikbezogener Lernprozesse durch kognitiv aktivierende und inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung. Kassel : kassel university press 2024, 277 S. - (Dissertation, Universität Kassel, 2024) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-322549 - DOI: 10.25656/01:32254; 10.17170/kobra-2024091310831

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-322549>

<https://doi.org/10.25656/01:32254>

in Kooperation mit / in cooperation with:



<http://kup.uni-kassel.de>

Nutzungsbedingungen

Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de> - Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen sowie Abwandlungen und Bearbeitungen des Werkes bzw. Inhaltes anfertigen, solange sie den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen und die daraufhin neu entstandenen Werke bzw. Inhalte nur unter Verwendung von Lizenzbedingungen weitergeben, die mit denen dieses Lizenzvertrags identisch, vergleichbar oder kompatibel sind. Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

This document is published under following Creative Commons-License: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> - You may copy, distribute and transmit, adapt or exhibit the work or its contents in public and alter, transform, or change this work as long as you attribute the work in the manner specified by the author or licensor. New resulting works or contents must be distributed pursuant to this license or an identical or comparable license.

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



Kontakt / Contact:

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

Swantje Dölle

LERNnetze – Lernunterstützung im technischen Sachunterricht

Förderung technikbezogener Lernprozesse durch kognitiv
aktivierende und inhaltlich strukturierende Maßnahmen
der Lernunterstützung

kassel
university



press

Swantje Dölle

LERNnetze – Lernunterstützung im technischen Sachunterricht

Förderung technikbezogener Lernprozesse durch kognitiv aktivierende und inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Mathematik und Naturwissenschaften der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Philosophie (Dr. phil.) angenommen.

Erstgutachterin: Prof. Dr. Rita Wodzinski, Universität Kassel
Zweitgutachter: Prof. Dr. Martin Hänze, Universität Kassel

Tag der mündlichen Prüfung: 29. August 2024

Eingereicht als Dissertation unter dem Titel: LERNnetze - Lernunterstützung im technischen Sachunterricht



Diese Veröffentlichung – ausgenommen Zitate und anderweitig gekennzeichnete Teile – ist unter der Creative-Commons-Lizenz Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International (CC BY-SA 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.de>) lizenziert.

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

Zugl.: Kassel, Univ., Diss. 2024
ISBN 978-3-7376-1195-4 (print)
DOI: <https://doi.org/10.17170/kobra-2024091310831>

© 2024, kassel university press, Diagonale 10, 34127 Kassel
<https://kup.uni-kassel.de> | kup@uni-kassel.de

Druck und Verarbeitung: PMLS, Ellenbacher Straße 11, 34123 Kassel
Printed in Germany

Zusammenfassung

Die Umsetzung technikbezogener Lehr- und Lernprozesse ist mit besonderen didaktischen Herausforderungen verbunden. Zum einen sind technische Funktionszusammenhänge zumeist komplex und nicht unmittelbar durchschaubar. Zum anderen ist sozialisationsbedingt von äußerst heterogenen Lernvoraussetzungen auszugehen. Neben den Unterschieden im inhaltsbezogenen Vorwissen sind hier insbesondere auch die geschlechterstereotypen Divergenzen in den technikbezogenen Überzeugungen und Einstellungen zu berücksichtigen (vgl. Ziefle & Jakobs, 2009; Adenstedt, 2021).

Diese Forschungsarbeit geht der Frage nach, wie technikbezogene Lernprozesse gefördert werden können und welches Maß an Lernunterstützung sich für Lernende mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen als lernwirksam erweist.

Ziel des explorativen Forschungsansatzes ist es, erste Einsichten in die Wirkweise unterschiedlich intensiver Lernunterstützungsgrade zu gewinnen. Das Forschungsprojekt folgt dabei den Prinzipien der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung (vgl. Prediger et al. 2012). Insgesamt wurden drei Teilstudien durchgeführt.

In der ersten Teilstudie wurde ein spezielles Lehr-Lernarrangement zur Funktionsweise von Getrieben entwickelt und in iterativen Erhebungszyklen auf die Angebotsnutzung hin überprüft. Für dieses sogenannte LERNnetz wurden durch additive Stufung von aktivierenden und strukturierenden Unterstützungsmaßnahmen nach Adamina et al. (2017) drei unterschiedliche Grade der Lernunterstützung generiert.

Zur Erhebung der inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen zur Funktionsweise von Getrieben wurden im Rahmen der zweiten Teilstudie problemzentrierte Einzelinterviews mit 155 Schülerinnen und Schülern aus dritten Grundschulklassen durchgeführt. Die Lernenden nutzten zur Dokumentation ihres Vorwissens Sachzeichnungen, die mittels evaluativ-strukturierender Inhaltsanalyse ausgewertet wurden. Anhand der Befunde werden geschlechtsspezifische Auffälligkeiten deutlich. So gelingt es mehr Jungen als Mädchen, die Funktionsprinzipien zur Weiterleitung der Bewegung folgerichtig darzulegen.

In der dritten Teilstudie wurde untersucht, wie sich die verschiedenen Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und das Lernerleben von Schülerinnen und Schülern aus dritten Grundschulklassen auswirken. Die Erhebung wurde in einem Pre-/ Post-/ Follow-up-Kontrollgruppendesign mit insgesamt 80 Lernenden durchgeführt. Die Ergebnisse belegen, dass sich ein hohes Maß an Lernunterstützung positiv auf die inhaltspezifischen Lernergebnisse und einen nachhaltigen Wissensaufbau auswirkt. In Bezug auf das motivational-affektive Lernerleben zeigen sich hier allerdings einschränkende Befunde. Auffällig erscheinen dabei vor allem die geschlechtsspezifischen Unterschiede in den vorgenommenen Einschätzungen. So nehmen sich Jungen bei intensiver Lernunterstützung als weniger kompetent wahr. Auf Seiten der Mädchen zeigen sich hingegen tendenzielle Abweichungen im Hinblick auf das empfundene situationale Interesse. Auf Basis der hier ermittelten „lokalen“ Lehr-Lerntheorien können sowohl Empfehlungen zur Gestaltung technikbezogener Lehr-Lernprozesse als auch Ansatzpunkte für weiterführende Forschungsprojekte abgeleitet werden.

Abstract

The implementation of technology-related teaching and learning processes is associated with special didactic challenges. On the one hand, technical functional relationships are usually complex and not immediately transparent. On the other hand, it can be assumed that the learning conditions are extremely heterogeneous due to socialisation. In addition to the differences in content-related prior knowledge, the gender-stereotypical divergences in technology-related beliefs and attitudes must also be taken into account here (cf. Ziefle & Jakobs, 2009; Adenstedt, 2021).

This research examines the question of how technology-related learning processes can be promoted and what degree of learning support proves to be effective for learners with different learning conditions.

The aim of the exploratory research approach is to gain initial insights into the mode of action of different levels of learning support. The research project follows the principles of design-based research (cf. Prediger et al. 2012). A total of three sub-studies were conducted.

In the first sub-study, a special teaching-learning arrangement on the functioning of gearboxes was developed and tested in iterative survey cycles for the use of the offer. For this so-called LERNnetz, three different degrees of learning support were generated by additive grading of activating and structuring support measures according to Adamina et al. (2017).

In order to ascertain the content-related learning prerequisites for the functioning of gears, problem-centred individual interviews were conducted with 155 pupils from third primary school classes as part of the second sub-study. To document their previous knowledge, the learners used drawings, which were evaluated by means of evaluative-structuring content analysis. The findings reveal gender-specific conspicuous features. For example, more boys than girls succeed in correctly explaining the functional principles for the transmission of the movement.

The third sub-study examined how different levels of learning support under different learning conditions affect the learning outcomes and learning experience of third-grade primary school students. The survey was conducted in a pre-/post-/follow-up control group design with a total of 80 students. The results show that a high level of learning support has a positive effect on content-specific learning outcomes and sustainable knowledge acquisition. However, there are limiting findings with regard to the motivational-affective learning experience. The gender-specific differences in the assessments made are particularly striking. Boys perceive themselves as less competent when receiving intensive learning support. On the other hand, girls tend to show deviations in terms of perceived situational interest. On the basis of the "local" teaching and learning theories identified here, recommendations for the design of technology-related teaching and learning processes as well as starting points for further research projects can be derived.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Abstract

1	Einleitung.....	9
2	Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule.....	12
2.1	Aufgaben und Ziele technischen Lernens im Sachunterricht	14
2.1.1	Zum Technikbegriff	15
2.1.2	Lehr- und Lerninhalte.....	15
2.2	Perspektivenspezifische Herausforderungen	17
2.2.1	Heterogene inhaltsbezogene Lernvoraussetzungen – Hintergründe und Befunde	18
2.2.2	Motivational-affektive Lernvoraussetzungen – Hintergründe und Befunde.....	22
3	Lernunterstützung durch LERNnetze	25
3.1	Verknüpfung von Herausforderung und Unterstützung.....	26
3.2	Aktivierung und Strukturierung: Basisdimensionen der Unterrichtsqualität	29
3.2.1	Inhaltlich strukturieren – Theoretische Hintergründe und empirische Befunde	29
3.2.1.1	Zur unterrichtlichen Umsetzung inhaltlicher Strukturierungsmaßnahmen	29
3.2.1.2	Forschungsbefunde zur Lernwirksamkeit der inhaltlichen Strukturierung	31
3.2.2	Kognitiv aktivieren - Theoretische Hintergründe und empirische Befunde	32
3.2.2.1	Zur unterrichtlichen Umsetzung kognitiver Aktivierungsmaßnahmen	33
3.2.2.2	Kognitive Aktivierung und Conceptual Change.....	34
3.2.2.3	Forschungsbefunde zur Lernwirksamkeit der kognitiven Aktivierung	35
3.3	Aktivieren und Strukturieren im LERNnetz	37
4	Zum Forschungsprojekt LERNnetze	40
4.1	Spezifika und Zielsetzungen der Entwicklungsforschung	41
4.2	Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell	42
4.2.1	Lerngegenstände spezifizieren und strukturieren	43
4.2.2	Design (weiter)entwickeln	44
4.2.3	Design-Experimente durchführen und auswerten	44
4.2.4	Lokale Theorien zu Lehr-Lernprozessen (weiter)entwickeln.....	45
5	LERNnetze I: Entwicklung eines Lehr-Lernarrangements mit unterschiedlichen Graden der Lernunterstützung.....	46
5.1	Das LERNnetz zum Kurbelkarussell.....	46
5.1.1	Spezifizierung des Lerngegenstandes	47
5.1.1.1	Zur Funktionsweise von Zahnradgetrieben	47
5.1.1.2	Zur Funktionsweise von Zugmittelgetrieben	48
5.1.1.3	Das Kurbelkarussell – Funktionsweise und didaktische Hintergründe	49

5.1.2	Strukturierung des Lerngegenstandes	50
5.1.3	Konkretisierung des intendierten Kompetenzzuwachses.....	52
5.2	Pilotierung des entwickelten Lehr-Lernarrangements	53
5.2.1	Durchführung der Pilotierung	53
5.2.2	Ergebnisse der Pilotierung	54
5.3	Generierung unterschiedlicher Grade der Lernunterstützung	55
5.3.1	Implizite Lernunterstützung.....	55
5.3.2	Moderat explizite Lernunterstützung	58
5.3.3	Intensiv explizite Lernunterstützung	59
5.4	Erprobung der Lernunterstützungsmaßnahmen und Überprüfung der Angebotsnutzung	60
5.4.1	Konkretisierung der Forschungsfrage	60
5.4.2	Erhebungsdesign und methodische Schritte	62
5.4.3	Datenerhebung und -auswertung.....	63
5.4.4	Durchführung der Erhebung	64
5.4.5	Darlegung und Interpretation der Ergebnisse	65
5.4.5.1	Implizite Lernunterstützungsmaßnahmen	65
5.4.5.2	Moderat explizite Lernunterstützungsmaßnahmen	70
5.4.5.3	Intensiv explizite Lernunterstützungsmaßnahmen	73
5.4.6	Zusammenfassung und Diskussion der Befunde	74
6	LERNnetze II: Analyse der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben	77
6.1	Konkretisierung der Zielsetzung und Ableitung der Forschungsfragen.....	77
6.2	Studiendesign und methodische Schritte	78
6.3	Methoden der Datengewinnung und -auswertung	79
6.3.1	Erfassung der sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen	79
6.3.1.1	Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen	80
6.3.1.2	Weitere sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen	81
6.3.1.3	Erfassung der bereits behandelten Unterrichtsinhalte	82
6.3.2	Erhebung der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben	82
6.3.2.1	Zur Nutzung von Sachzeichnungen als Erhebungsinstrument	84
6.3.2.2	Zur Interpretation von Sachzeichnungen	84
6.3.3	Analyse der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktions- weise von Getrieben	86
6.3.3.1	Deduktiv entwickelte Kategorien.....	87
6.3.3.2	Konsensuelles Codieren und Kontrolle der Intercoder-Übereinstimmung	88

6.3.3.3	Auswertungsverfahren	89
6.4	Durchführung der Erhebung	89
6.5	Darlegung und Interpretation der Ergebnisse	91
6.5.1	Weiterleitung der Bewegung.....	91
6.5.1.1	Darlegung der Befunde: Verwendete Bauteile.....	92
6.5.1.2	Interpretation der Befunde: Verwendete Bauteile	97
6.5.1.3	Darlegung der Befunde: Position der Bauteile	98
6.5.1.4	Interpretation der Befunde: Position der Bauteile	99
6.5.1.5	Darlegung der Befunde: Funktionsfähige Verbindung der Bauteile.....	100
6.5.1.6	Interpretation der Befunde: Funktionsfähige Verbindung der Bauteile	102
6.5.1.7	Darlegung der Befunde: Funktionsfähige Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen.....	103
6.5.1.8	Interpretation der Befunde: Funktionsfähige Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen.....	104
6.5.1.9	Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien.....	105
6.5.1.10	Interpretation der Befunde.....	112
6.5.2	Variation der Drehzahl.....	114
6.5.2.1	Darlegung der Befunde.....	114
6.5.2.2	Interpretation der Befunde.....	119
6.5.3	Variation der Drehrichtung.....	119
6.5.3.1	Darlegung der Befunde.....	120
6.5.3.2	Interpretation der Befunde.....	125
6.5.4	Zusammenfassung der Befunde und Reflexion des methodischen Vorgehens	125
7	LERNnetze III: Ergebnis- und prozessorientierte Wirkanalyse.....	128
7.1	Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand	128
7.2	Zielsetzung und Konkretisierung der Forschungsfragen.....	129
7.3	Studiendesign.....	131
7.3.1	Auswahlverfahren und Gruppenzusammensetzung	132
7.3.1.1	Sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen	132
7.3.1.2	Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen	133
7.3.2	Kontrolle der Treatmentbedingungen	133
7.3.2.1	Implizite Lernunterstützungsbedingungen	134
7.3.2.2	Moderate und intensive Lernunterstützungsbedingungen.....	135
7.4	Methoden der Datengewinnung und -auswertung.....	136
7.4.1	Erfassung und Analyse der inhaltspezifischen Lernergebnisse	136
7.4.2	Erfassung und Analyse des Lernerlebens.....	138
7.4.2.1	Anpassung und Konzeption des Fragebogens	139

7.4.2.2	Einschätzung des Lernerlebens und Auswahl der Ratingskala	142
7.4.2.3	Auswertung des Fragebogens.....	142
7.5	Durchführung der Erhebung	144
7.5.1	Zusammensetzung der Treatmentgruppen und der Kontrollgruppe	145
7.5.2	Einhaltung der Treatmentbedingungen.....	148
7.5.3	Pandemiebedingte Abweichungen vom Erhebungsablauf.....	149
7.6	Ergebnisse	150
7.6.1	Inhaltsspezifische Lernergebnisse	150
7.6.1.1	Darlegung der Ergebnisse: Weiterleitung der Bewegung.....	150
7.6.1.2	Interpretation der Ergebnisse: Weiterleitung der Bewegung	154
7.6.1.3	Darlegung der Ergebnisse: Variation der Drehzahl.....	155
7.6.1.4	Interpretation der Ergebnisse: Variation der Drehzahl	160
7.6.1.5	Darlegung der Ergebnisse: Variation der Drehrichtung.....	160
7.6.1.6	Interpretation der Ergebnisse: Variation der Drehrichtung	165
7.6.1.7	Darlegung der Ergebnisse: Transferaufgaben.....	165
7.6.1.8	Interpretation der Ergebnisse: Transferaufgaben	168
7.6.2	Lernerleben	169
7.6.2.1	Darlegung der Ergebnisse: Typologie des Lernerlebens	169
7.6.2.2	Interpretation der Ergebnisse: Typologie des Lernerlebens.....	172
7.6.2.3	Darlegung der Ergebnisse: Treatment- und Typenzugehörigkeit.....	173
7.6.2.4	Interpretation der Ergebnisse: Treatment- und Typenzugehörigkeit	176
7.6.2.5	Darlegung und Interpretation der Befunde: Anstrengungsbezogene Belastung	178
7.6.2.6	Darlegung und Interpretation der Befunde: Kognitives Engagement	180
7.6.2.7	Darlegung und Interpretation der Befunde: Intrinsische Motivation und situationales Interesse	183
7.6.3	Zusammenfassung und Diskussion der Gesamtbefunde.....	187
7.6.3.1	Lerntheoretische Implikationen.....	187
7.6.3.2	Unterrichtspraktische Implikationen	190
7.6.3.3	Reflexion des methodischen Vorgehens.....	192
8	Schlussbetrachtung und Ausblick	195
	Literaturverzeichnis.....	198
	ANHANG	207

1 Einleitung

Bereits in der Grundschule müssen Kinder [...] die Möglichkeit haben, sich mit Technik [auseinanderzusetzen], sich selbst als Agierende und Kreative, nicht nur als Reagierende und Bedienende zu erleben und anhand einfacher Systeme technische Funktions- und Wirkungsweisen zu erfahren. Sie müssen exemplarisch und an überschaubaren Beispielen durch eigenes Handeln die Einwirkungsmöglichkeiten des Menschen auf die gemachte Welt und die Entwicklung technischer Systeme nachvollziehen können. (Zolg, 1997, S. 7)

Diese in den 1990er Jahren formulierten Ansprüche an den Sachunterricht verdeutlichen die Notwendigkeit und die Potenziale einer frühen technischen Bildung. In Anbetracht der rasant fortschreitenden Technisierung kommt der Forderung nach einer umfassenderen Implementierung technikbezogener Lernprozesse aus aktueller Perspektive eine noch zentralere Bedeutung zu.

Kinder wachsen in einer zunehmend digitalen und technisierten Welt auf. Sie erfahren bereits früh, dass technische Geräte den Alltag erleichtern und bereichern können. Zumeist beschränkt sich ihr Umgang mit Technik jedoch auf ein Bedienungswissen. Die zugrunde liegenden Funktionszusammenhänge bleiben unerkannt und abstrakt (Möller, 2020). Dabei interessiert es Kinder in der Regel sehr zu erfahren, wie die Dinge funktionieren und hergestellt werden oder welche Werkzeuge und Maschinen Menschen früher genutzt haben. In der Spiel- und Lebenswelt bieten sich ihnen zudem kaum mehr Gelegenheiten, eigene Fertigungsprozesse durchzuführen oder technische Lösungen zu (er-)finden und sich somit selbst als technisch-produktive Persönlichkeiten zu erleben. Dies kann zu einer Überschätzung technischer Systeme, aber auch zu Hemmnissen und Ängsten führen.

Da sich die Vorstellungen über die eigenen technikbezogenen Fähigkeiten, aber auch die Haltungen gegenüber Technik bereits im Kindesalter manifestieren, müssen schon im Unterricht der Grundschule Möglichkeiten geschaffen werden, eine allgemeine technische Grundbildung (Technological Literacy) aufzubauen, die langfristig dazu befähigt, an einer von Technik geprägten Welt teilzuhaben (Landwehr, Mammes & Murmann, 2021). Neben dem Erwerb inhaltsbezogener Kompetenzen ist damit insbesondere auch die Förderung motivational-affektiver Persönlichkeitsmerkmale verbunden. Der Sachunterricht als für alle verbindliches Unterrichtsfach nimmt hier nach wie vor eine zentrale Schlüsselrolle ein. Zu den zentralen Aufgaben der technischen Bildung im Sachunterricht der Grundschule gehört es, durch Verstehenserlebnisse und Kompetenzerfahrungen eine kritische und rationale Einstellung zur Technik aufzubauen, das technikbezogene Selbstkonzept zu stärken und Technikinteresse zu fördern (Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts [GDSU], 2013; Möller, 2020).

Die Umsetzung technikbezogener Lernprozesse ist allerdings in doppelter Weise mit didaktischen Herausforderungen verbunden. So sind die technischen Wirk- und Bedingungsbeziehungen zumeist komplex und häufig nicht unmittelbar durchschaubar. Es stellt sich daher die Frage, wie die Funktionsbeziehungen lern- und verstehbar gemacht

und die Schülerinnen und Schüler zur gezielten Analyse angeregt sowie bei der Erkundung technischer Gegenstände unterstützt werden können. Die Befunde der empirischen Unterrichtsforschung belegen in diesem Zusammenhang die Bedeutung kognitiv aktivierender und inhaltlich strukturierender Maßnahmen der Lernunterstützung (vgl. Kunter & Voss, 2011; Lipowsky, 2020). Im Bereich des technischen Lernens ist sozialisationsbedingt jedoch von äußerst heterogenen Lernvoraussetzungen auszugehen. Neben den Unterschieden im inhaltsbezogenen Vorwissen sind hier insbesondere auch die geschlechterstereotypen Divergenzen in den technikbezogenen Überzeugungen und Einstellungen zu berücksichtigen (vgl. Ziefle & Jakobs, 2009). Da erwartbar erscheint, dass aus den unterschiedlichen Lernvoraussetzungen ebenso heterogene Lernbedürfnisse resultieren, bleibt somit zu überprüfen, welches Maß an Lernunterstützung sich im Bereich des technischen Lernens individuell als lernwirksam erweist und inwieweit Art und Umfang der Lernunterstützung adaptiv auf die Bedürfnisse der Lernenden abgestimmt werden müssen.

In der vorliegenden Arbeit sollen diese fachspezifischen Desiderate mithilfe eines explorativen, hypothesengenerierenden Forschungsansatzes konkretisiert werden. Den Prinzipien der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung folgend werden dabei Unterrichtsentwicklung und Forschung verknüpft. Im Rahmen des Forschungsprojektes wird ein spezielles Lehr-Lernarrangement zur Funktionsweise von Zahnrad- und Zugmittelgetrieben am Beispiel eines Kurbelkarussellmodells entwickelt. Für dieses sogenannte *LERNnetz* werden durch additive Stufung von aktivierenden und strukturierenden Unterstützungsmaßnahmen drei unterschiedliche Grade der Lernunterstützung generiert.

Ziel der Forschungsarbeit ist es, Einsichten in die Wirkweise der unterschiedlich intensiven Lernunterstützungsgrade zu gewinnen, um auf dieser Basis Impulse zur Gestaltung und Förderung technikbezogener Lernprozesse und Ansatzpunkte für weiterführende Forschungsprojekte ableiten zu können. Erkenntnisleitend ist dabei die Frage, wie sich die verschiedenen Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lerneingangsvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und auf das Lernerleben von Schülerinnen und Schülern aus dritten Grundschulklassen auswirken.

Das Forschungsprojekt umfasst insgesamt drei Teilstudien.

In der ersten Teilstudie *LERNnetze I* wird das Lehr-Lernarrangement zum Kurbelkarussell entwickelt und überprüft, inwieweit die zur Generierung der unterschiedlichen Unterstützungsgrade ausgewählten Maßnahmen von den Lernenden in intendierter Weise genutzt werden können.

Die Erhebung und Analyse der inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben wird in der Teilstudie *LERNnetze II* vorgenommen.

Im Rahmen der dritten Teilstudie *LERNnetze III* erfolgt die ergebnis- und prozessorientierte Wirkanalyse der verschiedenen Lernunterstützungsgrade. Der Forschungsfokus liegt hierbei auf der Ermittlung und Konkretisierung der Unterschiede, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung in den Lernergebnissen und im Lernerleben der Schülerinnen und Schüler zeigen.

Im Folgenden wird zunächst näher auf die Aufgaben, Ziele und Herausforderungen der technischen Bildung im Sachunterricht eingegangen (s. Kap. 2).

Daran anschließend werden die Spezifika und lerntheoretischen Hintergründe des im Kontext dieser Arbeit entwickelten Lehr-Lernarrangements vorgestellt (s. Kap. 3).

In Kapitel 4 werden die methodologischen Hintergründe des Entwicklungsforschungsprojektes LERNnetze dargelegt. Die im Rahmen des Forschungsprojektes durchgeführten Teilstudien werden getrennt voneinander in den Kapiteln 5, 6 und 7 vorgestellt. Dabei wird ausführlich auf das jeweilige Studiendesign, die spezifischen Forschungsfragen und -methoden sowie auf die ermittelten Befunde eingegangen.

Die Arbeit endet mit einer zusammenfassenden Schlussbetrachtung (s. Kap. 8).

2 Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule

Das technische Lernen stellt einen verbindlichen Bereich des Sachunterrichts dar und wird in den Lehrplänen der meisten Bundesländer als grundlegendes Inhaltsfeld benannt (Möller, 2020). Auch im Perspektivrahmen Sachunterricht der Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts wird die *technische Perspektive* als einer von fünf elementaren fachbezogenen Inhaltsbereichen aufgeführt (s. Tab. 1).

Tab. 1: Die fünf Perspektiven des Sachunterrichts (GDSU, 2013)

Sozialwissenschaftliche Perspektive (Politik – Wirtschaft – Soziales)
Naturwissenschaftliche Perspektive (belebte und unbelebte Natur)
Geographische Perspektive (Räume – Naturgrundlagen – Lebenssituationen)
Historische Perspektive (Zeit – Wandel)
Technische Perspektive (Technik – Arbeit)

Vielperspektivität ist für den Sachunterricht kennzeichnend. Anders als etwa im Fach Deutsch oder Mathematik lässt sich hier kein singulärer disziplinärer Zusammenhang ableiten (Wiesemann & Wille, 2014). Die Fächer Politik, Physik, Biologie, Chemie, Geographie, Geschichte und Technik bilden vielmehr gemeinsam und gleichberechtigt die vielfältigen inhaltsbezogenen Zugänge des Faches ab. Thomas (2022) betont, dass aus dieser Vielperspektivität keine starre fachliche Aufgliederung resultieren dürfe. Es gilt vielmehr, die Lebenswelt der Kinder vielperspektivisch zu beleuchten und die unterschiedlichen Fachbezüge dabei möglichst ausgewogen zu berücksichtigen. Die einzelnen Perspektiven leisten in diesem Sinne einen Beitrag dazu, „dass sich Inhalte des Sachunterrichts, die zunächst als Fragen, Phänomene, Alltagserfahrungen oder Medienereignisse Eingang in den Unterricht finden, strukturiert erschließen lassen“ (Thomas, 2022, S. 273). Im Kompetenzmodell des Perspektivrahmens werden daher sowohl *perspektivenbezogene* Themenbereiche sowie Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen aufgeführt als auch *perspektivenvernetzende* Themenbereiche und *perspektivenübergreifende* Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen benannt (vgl. GDSU, 2013).

Ziel des Sachunterrichts ist es, „Schülerinnen und Schüler darin zu unterstützen, ihre natürliche, kulturelle, soziale und technische Umwelt sachbezogen zu verstehen, sie sich auf dieser Grundlage bildungswirksam zu erschließen und sich darin zu orientieren, mitzuwirken und zu handeln“ (GDSU, 2013, S. 9). Aus diesem Bildungsanspruch resultiert eine anspruchsvolle „*doppelte Anschlussaufgabe*“ (GDSU, 2013, S. 10). Einerseits muss die Anschlussfähigkeit an die Lernvoraussetzungen, Interessen und Fragen der Kinder gewährleistet werden. Andererseits müssen die Lehr- und Lerninhalte anschlussfähig sein an die jeweiligen fachwissenschaftlichen Konzepte, da im Sachunterricht die Grundlagen für den Fachunterricht an den weiterführenden Schulen gelegt werden.

Bei der Auswahl der Unterrichtsinhalte sollten daher sowohl die lebensweltliche Dimension als auch die fachliche Perspektive eines Themenfeldes in den Blick genommen werden. Mit Hilfe dieser „bipolaren Betrachtungsweise“ (Kahlert, 2001, S. 48) kann es gelingen, Kind *und* Sache gleichermaßen zu berücksichtigen.

Im Sinne des kompetenzorientierten Unterrichts geht es im Sachunterricht dabei weniger um das Abarbeiten eines stringent festgelegten Inhaltskanons. Die Inhalte besitzen hier *exemplarischen* Charakter. Ausgewählt werden sollten Lerngegenstände, die sich als *bedeutsam*, *ergiebig* und *zugänglich* erweisen (Köhnlein, 2012). Jedes dieser Kriterien umfasst eine Reihe von Aspekten, die für die Umsetzung der sachunterrichtlichen Bildungsziele von entscheidender Bedeutung sind (s. Abb. 1). Anhand dieser Kriterien kann die doppelte Anschlussfähigkeit gewährleistet und einer Trivialisierung des Unterrichts sowie einer inhaltlichen Überfrachtung vorgebeugt werden.

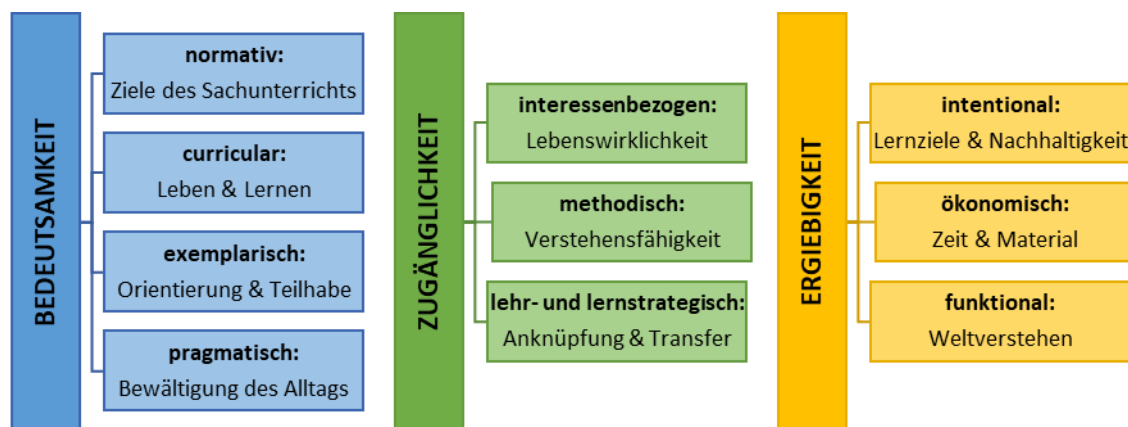


Abb. 1: Kriterien zur Inhaltsauswahl im Sachunterricht nach Köhnlein (2012)

Gemäß Köhnlein (2012) ist bei vergleichbarer Bedeutsamkeit und Zugänglichkeit eines Unterrichtsinhaltes derjenige auszuwählen, „welcher der Intention der Lernziele und dem Erfordernis der Nachhaltigkeit des Gelernten am besten entspricht“ (S. 30). Dem Sachunterricht kommt dabei durchaus auch eine herantragende Funktion zu (Kahlert, 2016). Neben dem Aufgreifen der vorhandenen Interessen der Kinder, gilt es auch, „für Neues [zu] öffnen und Interessen [zu] entwickeln“ (Kahlert, 2016, S. 25). Dies bedeutet, dass auch Sachverhalte, die nicht der direkten Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler entstammen, thematisiert und somit in den Erfahrungshorizont der Lernenden gerückt werden sollten. Im Hinblick auf das technische Lernen kommt diesem Aspekt eine zentrale Bedeutung zu. Da es Kindern im Alltag zunehmend an Gelegenheiten fehlt, technisch-praktisch zu handeln und Einsichten in Funktionsmechanismen zu erlangen, sollte dies im Unterricht aufgegriffen und ermöglicht werden. Die Umsetzung der doppelten Anschlussfähigkeit ist im Bereich des technischen Lernens allerdings mit besonderen Herausforderungen verbunden.

Im Folgenden werden zunächst die Aufgaben und Ziele der technischen Bildung im Sachunterricht näher erläutert. Daran anschließend wird genauer auf die perspektiven-spezifischen Herausforderungen eingegangen (s. Kap. 2.2).

2.1 Aufgaben und Ziele technischen Lernens im Sachunterricht

Zu den zentralen Aufgaben einer frühen technischen Bildung im Sachunterricht gehört es, „Kindern Zugänge zu technischem Handeln und Denken [zu] ermöglichen“ (GDSU 2013, S. 63). Auf diese Weise können die aus einer mangelnden Techniksozialisation entstehenden Erfahrungs- und Handlungsdefizite ausgeglichen und eine technische Grundbildung (Technological Literacy) aufgebaut werden (Mammes, Zolg & Dölle, 2022).

Möller und Wyssen (2018) betonen, dass eine allgemeine technische Bildung sich nicht darauf beschränkt, spezielle berufsbezogene Fachinhalte zu vermitteln. In Anbetracht der zunehmenden Technisierung geht es vielmehr darum, technikmündige Individuen auszubilden, die erfolgreich an einer technikorientierten Gesellschaft teilhaben können (Landwehr et al., 2021). Da sich die Vorstellungen über die eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten bereits im Kindesalter entwickeln, ist eine entsprechend frühe Auseinandersetzung mit Technik notwendig. Dem Sachunterricht kommt hier eine besondere Bedeutung zu, da er als ein für alle verbindliches Unterrichtsfach die Techniksozialisation entscheidend beeinflussen kann. Neben der Ausbildung einer technisch-praktischen Handlungsfähigkeit und der Analyse technischer Funktionsprinzipien geht es dabei insbesondere auch um das Erschließen von Technikfolgen und den Abbau von Ängsten und Hemmnissen im Umgang mit Technik (s. Abb. 2).



Abb. 2: Ziele des technischen Lernens im Sachunterricht (GDSU, 2013; Möller, 2020)

Eine so verstandene technische Bildung wirkt sich nicht nur auf die inhaltsspezifischen Kompetenzen, sondern vor allem auch auf die technikbezogenen Einstellungen aus und liefert somit einen wesentlichen Beitrag zur Persönlichkeitsentwicklung (Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung [DGTB], 2018).

2.1.1 Zum Technikbegriff

Die Zielsetzungen des technischen Lernens im Sachunterricht beruhen auf einem soziokulturellen Technikverständnis (vgl. Ropohl, 2009). Über die verschiedenen technischen Geräte und Maschinen hinaus spielen hier vor allem die Entwicklung und Nutzung von Technik durch den Menschen sowie die Analyse der Bedingungsbeziehungen zwischen Technik, Arbeit, Wirtschaft, Naturwissenschaft und Gesellschaft eine zentrale Rolle (Möller & Wyssen, 2018). Gemäß Ropohl (2009) umfasst Technik „(a) die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme), (b) die Menge menschlicher Handlungen und Einrichtungen, in denen Sachsysteme entstehen und (c) die Menge menschlicher Handlungen, in denen Sachsysteme verwendet werden“ (S. 31). Während sich ein enges Technikverständnis lediglich auf die technischen Artefakte beschränkt, bezieht dieser breitere Technikbegriff auch den Menschen sowie die soziokulturellen Entstehungs- und Verwendungskontexte von Technik mit ein. Aus dieser Definition leitet Ropohl drei Dimensionen der Technik ab, die jeweils aus verschiedenen Erkenntnisperspektiven betrachtet werden können (s. Abb. 3).

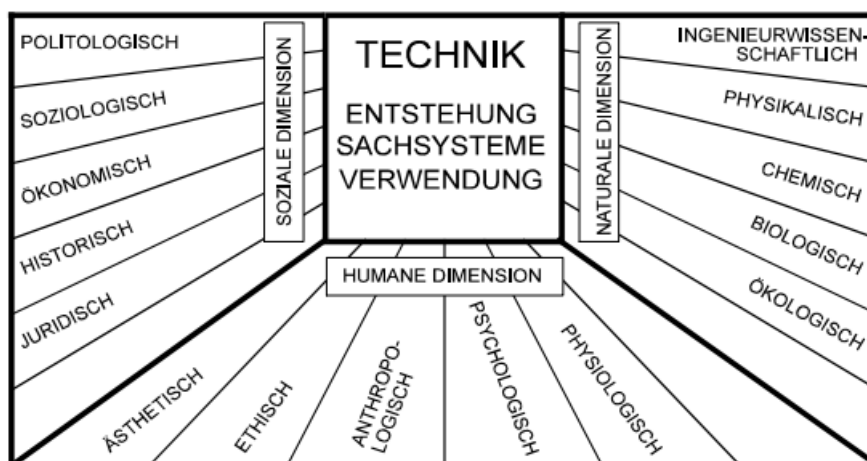


Abb. 3: Dimensionen und Erkenntnisperspektiven der Technik (Ropohl, 2009, S. 32)

„Die Technik führt [somit] kein isoliertes Eigenleben“ (Ropohl, 2009, S. 44), sondern ist immer eingebettet in die Bedingungsbeziehungen und das Beziehungsgeflecht von Natur, Mensch und Gesellschaft. Dieses interdisziplinäre Technikverständnis entspricht der Konzeption des vielperspektivischen Sachunterrichts und spiegelt sich in den technikbezogenen Inhaltsfeldern und Kompetenzbereichen wider.

2.1.2 Lehr- und Lerninhalte

Dem Bildungsanspruch des Sachunterrichts folgend werden im Bereich des technischen Lernens nicht nur deklarative, sondern auch prozedurale Dimensionen kompetenten Handelns fokussiert (GDSU, 2013). Die perspektivenbezogenen Themenbereiche bilden die inhaltlich zu denkende Dimension ab, die perspektivenbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen beziehen sich auf die prozeduralen Fähigkeiten und Fertigkeiten (s. Tab. 2).

Tab. 2: Technikbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (GDSU, 2013)

Technikbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen
Technik konstruieren und herstellen
Technik und Arbeit erkunden und analysieren
Technik nutzen
Technik bewerten
Technik kommunizieren

Die technikbezogenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen umfassen das technisch-praktische Handeln, das auf Verstehen ausgerichtete Analysieren sowie das Nutzen, Bewerten und Kommunizieren von Technik. Diese Ausrichtung deckt sich sowohl mit den internationalen Standards for Technological and Engineering Literacy (vgl. International Technology and Engineering Educators Association [ITEEA], 2020) als auch mit den *Dimensionen technischer Fähigkeiten*, die im Grundsatzpapier der Deutschen Gesellschaft für Technische Bildung aufgeführt werden (vgl. DGTB, 2018). Unterschieden wird hier zwischen der *kognitiven Dimension* (Wissen und Verstehen), der *aktionalen Dimension* (Handeln und Können) und der *evaluativen Dimension* (Beurteilen und Bewerten).

Die prozeduralen Kompetenzen werden in der Auseinandersetzung mit konkreten technischen Inhalten erworben (GDSU, 2013). Im Perspektivrahmen Sachunterricht werden fünf Themenbereiche aufgeführt, welche die doppelte Anschlussfähigkeit berücksichtigen und sich als bedeutsam, ergiebig und zugänglich erweisen. Auch die von der Deutschen Gesellschaft für Technische Bildung exemplarisch vorgeschlagenen Handlungsfelder berücksichtigen zum einen die fachlichen Strukturen und bieten zum anderen lebensweltliche Bezüge (s. Tab. 3).

Tab. 3: Technikbezogene Themenbereiche und Handlungsfelder (DGTB, 2018; GDSU, 2013)

Technikbezogene Themenbereiche (GDSU, 2013)
Stabilität bei technischen Gebilden
Werkzeuge, Geräte und Maschinen
Arbeitsstätten und Berufe
Umwandlung und Nutzung von Energie
Technische Erfindungen
Technische Handlungsfelder (DGTB, 2018)
Arbeit und Produktion
Bauen und Wohnen
Transport und Verkehr
Versorgung und Entsorgung
Information und Kommunikation
Haushalt und Freizeit

Die vorgeschlagenen Themenbereiche und Handlungsfelder bieten zudem vielfältige Verknüpfungsmöglichkeiten zu den weiteren Perspektiven des Sachunterrichts. So ist etwa der Themenbereich *Technische Erfindungen* eng vernetzt mit der historischen Perspektive, während der Themenbereich *Umwandlung und Nutzung von Energie* perspektivenübergreifende Bezüge zur naturwissenschaftlichen Perspektive bietet. Das Handlungsfeld *Information und Kommunikation* wiederum verknüpft die technische mit der sozialwissenschaftlichen und der historischen Perspektive.

Trotz dieser durchdachten Auswahl der Unterrichtsinhalte bleibt die Umsetzung technikbezogener Lehr- und Lernsituation mit besonderen Herausforderungen verbunden. Da sich die technischen Funktions- und Handlungszusammenhänge häufig nicht unmittelbar erschließen lassen, müssen die Erkenntnisprozesse der Lernenden entsprechend angeregt und unterstützt werden. Im Bereich des technischen Lernens ist sozialisationsbedingt jedoch von äußerst heterogenen inhaltsbezogenen sowie motivational-affektiven Lernvoraussetzungen auszugehen. Um Art und Umfang der Lernunterstützung an die Lernbedürfnisse anpassen zu können, ist es somit erforderlich, die ausgewählten Lernunterstützungsmaßnahmen im Hinblick auf ihre Angemessenheit und Passung zu überprüfen.

2.2 Perspektivenspezifische Herausforderungen

Sozialisationsbedingt zeigen sich im Bereich des technischen Lernens nicht nur deutliche Disparitäten im inhaltsbezogenen Vorwissen, es bestehen auch prägnante geschlechtsspezifische Unterschiede in der Einschätzung der technikbezogenen Kompetenzen sowie in den motivational-affektiven Einstellungen gegenüber Technik. Als ursächlich hierfür müssen insbesondere die bestehenden Geschlechterstereotype betrachtet werden, die weiblichen Personen eine geringere Begabung im Bereich der Naturwissenschaften und der Technik zuschreiben als männlichen (Gilbert, 2021). Diese geschlechterstereotypen Annahmen werden in alltäglichen Situationen etwa über „typische“ Spielzeuge oder Äußerungen zu „typischerweise“ vorliegenden Kompetenzen und Interessen immer wieder reproduziert und wirken sich dementsprechend auf das eigene Rollenverständnis und -verhalten, aber auch auf die Rollenerwartung aus, die anderen Personen gegenüber eingenommen wird (vgl. Gilbert, 2021). Darüber hinaus mangelt es an weiblichen Rollenvorbildern, die zeigen, dass die Stereotype überwindbar sind und sich auch Frauen und Mädchen erfolgreich mit technischen Sachverhalten auseinandersetzen können (Vincent & Janneck, 2012).

Auch die heterogenen inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen lassen sich unter anderem auf die bestehenden Geschlechterstereotype zurückführen. Zu berücksichtigen ist darüber hinaus, dass es generell schwieriger wird, Einsichten in Funktionsmechanismen zu gewinnen. Technische Geräte und Spielzeuge bieten nur wenig Möglichkeiten des eigenen Entdeckens und auch Produktionsprozesse sind zumeist nicht mehr einsehbar (Landwehr et al., 2021). Der Umgang mit Technik bleibt somit in der Regel auf ein Bedienungs- und Umgangswissen beschränkt (Möller, 2020). Nur selten verfügen Kinder über bereits ausgeprägte Vorstellungen zu technischen Funktionsweisen (Möller & Wyssen, 2018). Bieten sich ihnen aber technikbezogene Lernanlässe, so kann durchaus ein domänenspezifisches Expertenwissen

aufgebaut werden (vgl. Adamina, Kübler, Kalcsics, Bietenhard & Engeli, 2018). Studienergebnisse belegen in diesem Zusammenhang, dass auch das Niveau der technischen Problemlösekompetenz von der vielfältigen Auseinandersetzung mit Technik abhängt (Baumert, 1996). Da Jungen sozialisationsbedingt weit häufiger die Gelegenheit erhalten, sich in ihrer Spiel- und Lebenswelt mit Technik zu beschäftigen, bieten sich ihnen im Hinblick auf den Aufbau technikbezogener Fähigkeiten und Fertigkeiten klare Vorteile gegenüber den Mädchen.

Für die Unterrichtsgestaltung stellen nicht nur die inhaltsbezogenen Disparitäten, sondern vor allem auch die vorliegenden geschlechterstereotypen Unterschiede in den technikbezogenen Überzeugungen und Einstellungen eine besondere Herausforderung dar. So erscheint erwartbar, dass sich in Abhängigkeit der heterogenen Lernvoraussetzungen eine differenzielle Wirkung des Unterrichts zeigt (vgl. Kunter & Ewald, 2016). Es stellt sich demnach die Frage, inwieweit es möglich ist, technikbezogenen Unterricht so anzupassen, dass die Lernenden gleichermaßen davon profitieren können. Im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit soll dieses Desiderat über die Entwicklung eines speziellen Lehr-Lernarrangements mit unterschiedlichen Graden der Lernunterstützung aufgegriffen und konkretisiert werden.

Im Folgenden wird zunächst näher auf die Hintergründe und Befunde zu den inhaltsbezogenen sowie zu den motivational-affektiven Lernvoraussetzungen im Bereich des technischen Lernens eingegangen. Die Spezifika des im Kontext des Forschungsprojektes entwickelten *LERNnetzes zum Kurbelkarussell* werden daran anschließend vorgestellt und erläutert (s. Kap. 3).

2.2.1 Heterogene inhaltsbezogene Lernvoraussetzungen – Hintergründe und Befunde

Bislang existieren nur wenige Studien, die sich mit den technikbezogenen Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern der Grundschule auseinandersetzen (Möller & Wyssen, 2018). Die vorliegenden Forschungsarbeiten beziehen sich schwerpunktmäßig auf die Funktionsweise von technischen Geräten und Maschinen. Um die Darlegung der technikbezogenen Vorstellungen zu erleichtern, wurden im Rahmen dieser Untersuchungen Sachzeichnungen als Erhebungsinstrument genutzt (vgl. Kap. 6.3.2.1).

In der von Biester (1991) durchgeführten Studie erhielten neun- und zehnjährige Kinder den Auftrag, aus der Vorstellung aufzuzeichnen, was nötig ist, damit sich das Hinterrad eines Fahrrades dreht. Die Schülerinnen und Schüler zeichneten daraufhin das komplette Fahrrad mit vielen Einzelheiten wie Klingel, Lampe und Schutzblech (s. Abb. 4). Die Getriebefunktion wurde lediglich von einem Drittel der Kinder erfasst.

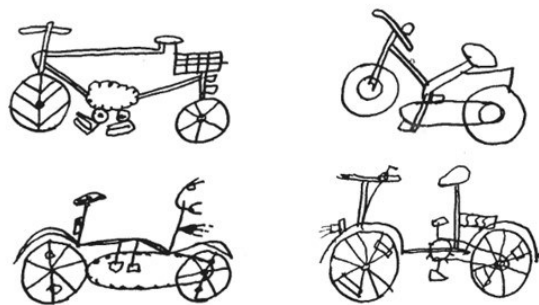


Abb. 4: Sachzeichnungen zur Funktionsweise des Fahrrades (Biester, 1991, S. 51)

In einer weiteren Erhebung zum Fahrrad konnten anhand der Sachzeichnungen zwei Formen des technischen Denkens abgeleitet werden (vgl. Ullrich, 1994). 90 Kinder der Klassenstufen 1 bis 4 wurden hier angeregt, sich und ihr Fahrrad zu zeichnen. Die Analyse der Zeichnungen zeigte, dass die technikbezogenen Vorstellungen der Kinder sich zum einen auf den konstruktiven Aufbau des Rades richten. Ullrich (1994) bezeichnet dies als *technisch-konstruktives Denken*. Die Kinder bilden die wesentlichen Teile des Fahrrades, wie Räder, Rahmen, Sattel und Lenker ab. Zum anderen beziehen sich die technikbezogenen Vorstellungen auf den funktionalen Aufbau des Rades. Einzelne Elemente des Rades, wie Tretkurbel und Kettenrad oder Kette und Hinterrad, werden zueinander in Beziehung gesetzt. Diese Form des technischen Denkens wird als *technisch-funktional* bezeichnet (Ullrich, 1994).

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sich beide Formen des technischen Denkens im Laufe der Grundschulzeit weiterentwickeln (s. Abb. 5).

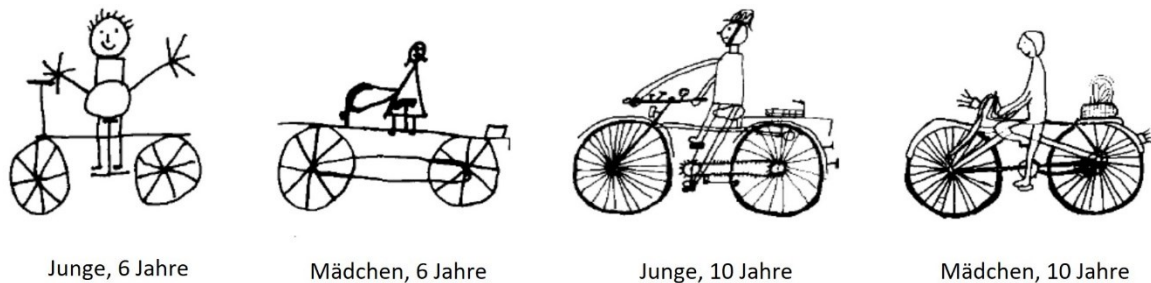


Abb. 5: Fahrradzeichnung von Schülerinnen und Schülern der 1. und 4. Jahrgangsstufe (Ullrich, 1994, S. 18)

Beim technisch-konstruktiven Denken ist ein Prozess zunehmender Differenzierung zu erkennen. „Die Gliederungsfähigkeit nimmt zu, und immer mehr Teile werden erfa[ss]t“ (Ullrich, 1994, S. 16). Das technisch-funktionale Denken entwickelt sich in einem Prozess der Integration. Die Wirkzusammenhänge werden zunehmend entdeckt und Teilelemente funktional verbunden. Gemäß Ullrich vollzieht sich diese Entwicklung langsamer als die des technisch-konstruktiven Denkens. Innerhalb einer Altersstufe konnten erhebliche Unterschiede in den technikbezogenen Vorstellungen festgestellt werden. Es wurde aber auch ersichtlich, dass die Entwicklung des technischen Denkens durch gezielte Lernangebote gefördert werden kann.

Die Vorstellungen von Dritt- und Viertklässlern zur Funktionsweise der Handbohrmaschine wurden von Möller (1991) erhoben. Es zeigten sich auch hier erhebliche Unterschiede in den Konzepten der Schülerinnen und Schüler (s. Abb. 6). Während einige Kinder die Funktionsweise unter Berücksichtigung des Drehebene[n]wechsels und der Drehzahländerung bereits korrekt darlegen konnten (s. Zeichnung C), besaßen andere noch keine Vorstellung vom konstruktiven und funktionalen Aufbau der Handbohrmaschine (s. Zeichnung A).

Anhand der vorgenommenen Videodokumentation konnte zudem nachgewiesen werden, dass die Vorstellungen zur Funktionsweise häufig erst während des Zeichnens und Beschreibens entwickelt wurden und die Kinder zumeist noch nicht über fest verankerte Vorstellungen verfügten. Bei der Lösungsfindung griffen sie vielmehr auf Elemente zurück, die sie bereits in

der Lebenswelt kennengelernt hatten (Möller & Wyssen, 2018). In einigen Fällen sind daher auch Analogien zum Kettengetriebe des Fahrrades erkennbar (s. Zeichnung B).

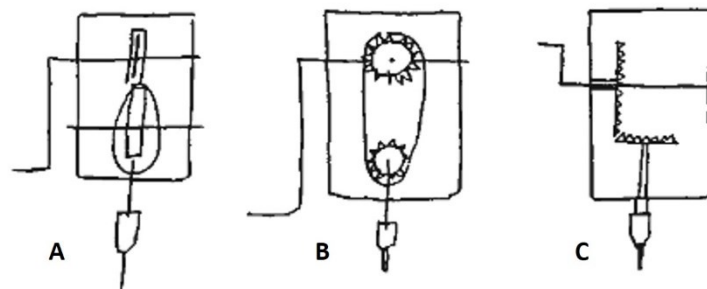


Abb. 6: Sachzeichnungen zur Funktionsweise der Handbohrmaschine (Möller, 1991, S. 370, 369 und 372)

Die Vorstellungen von Kindern zur Funktionsweise des Staubsaugers untersuchte Zolg (2001) anhand der Sachzeichnungen von 67 Kindern aus 3. und 4. Grundschulklassen. In Anlehnung an Ullrich (1994) erfolgte die Analyse unter Berücksichtigung technisch-konstruktiver und technisch-funktionaler Kriterien. Erhoben wurde zum einen, welche Bestandteile des Staubsaugers abgebildet werden und zum anderen, wie die Elemente funktional angeordnet und verknüpft sind. Zusätzlich wurde ermittelt, inwieweit sich geschlechtsspezifische Unterschiede im technischen Verständnis zum Staubsauger zeigen.

Die Beurteilung des technisch-funktionalen Niveaus der Zeichnungen erfolgte mittels deduktiver Kategorienbildung (s. Tab. 4).

Tab. 4: Kategorien zur Beurteilung der Vorstellungen zur Funktionsweise des Staubsaugers (Zolg, 2001)

Kategorie	Bezeichnung	Konkretisierung
I	Einige Elemente für Funktion <u>ohne Verknüpfung</u>	Einige für die Funktion wichtige Elemente werden additiv dargestellt, aber nicht funktionell verbunden.
II	Alle Elemente für Funktion <u>ohne Verknüpfung</u>	Alle für die Funktion notwendigen Elemente werden aufgeführt, aber nicht funktionell verbunden.
III	Einige Elemente für Funktion <u>teilweise mit Verknüpfung</u>	Einige für die Funktion wesentliche Elemente wurden dargestellt und teilweise verbunden.
IV	Dargestellte Elemente <u>mit Verknüpfung</u>	Einige für die Funktion wesentliche Elemente wurden dargestellt und funktionsfähig verbunden.
V	Alle Elemente für Funktion <u>mit Verknüpfung</u>	Alle für die Funktion wichtigen Elemente wurden dargestellt und funktionsfähig miteinander verbunden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen erhebliche Unterschiede im technisch-funktionalen Denken der Kinder. So stellten 46% der Mädchen und 14% der Jungen keinerlei funktionale Verbindung zwischen den Elementen her, wohingegen 12% der Mädchen und 17% der Jungen bereits alle zur Funktion wichtigen Elemente abbildeten und funktionsfähig miteinander verbanden (s. Tab. 5).

Tab. 5: Ergebnisse der qualitativen Inhaltsanalyse der Sachzeichnungen zum Staubsauger (Zolg, 2001)

Kategorie	Anzahl Mädchen in %	Anzahl Jungen in %
I	46	14
II	12	3
III	18	41
IV	12	25
V	12	17

Darüber hinaus konnten insgesamt deutliche Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen festgestellt werden. Während 83 % der Jungen die eingezeichneten Elemente bereits in einen Funktionszusammenhang brachten und ihre Sachzeichnungen dementsprechend den Kategorien III, IV und V zugeordnet werden konnten, war dies nur bei 42% der Mädchen der Fall.

Die hier ermittelten geschlechtsspezifischen Unterschiede in den technikbezogenen Vorstellungen decken sich mit den Befunden einer repräsentativen Studie zur technischen Problemlösefähigkeit, die mit insgesamt 531 Schülerinnen und Schülern der vierten Jahrgangsstufe aus Deutschland und Amerika durchgeführt wurde (vgl. Baumert, 1996). Im Kontext der CROSSTEL-Studie (Intra and Cross Cultural Relationships between Television Habits and Attributions, Self-Efficacy, Persistence and Success in Problem Solving) wurden drei technische Problemlöseaufgaben entwickelt. Die Lernenden erhielten zum einen die Aufgabe, eine *Brücke* mit Holzbausteinen zu konstruieren, die einer Belastung mit einem zwei-Kilo-Gewicht standhalten konnte. Da die Spannweite der Brücke größer war als die Länge der einzelnen Bausteine, mussten die Steine so positioniert werden, dass die angreifenden Kräfte verteilt werden konnten (Baumert, 1996). Treppen- oder Gegengewichtskonstruktionen führten hier nicht zum Ziel und die entscheidenden Punkte für die Kräfteverteilung wurden erst dann erkennbar, wenn man die Brücke einstürzen ließ (s. Abb. 7).

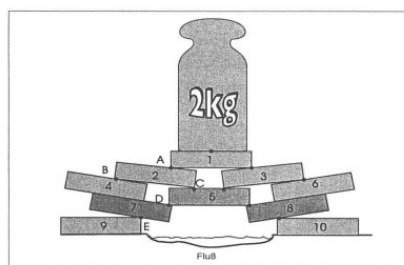


Abb. 7: Die Brückenaufgabe erforderte die Überprüfung der Lösungsansätze (Aus: Baumert, 1996, S. 194)

Zum anderen erhielten die Lernenden die Aufgabe, das *Getriebe einer Windmaschine* zeichnerisch darzustellen (s. Abb. 8). Neben dem Drehebenenwechsel musste hier auch das Übersetzungsverhältnis korrekt umgesetzt werden (Baumert, 1996). Der Propeller sollte sich schnell, die Kurbel langsam drehen.

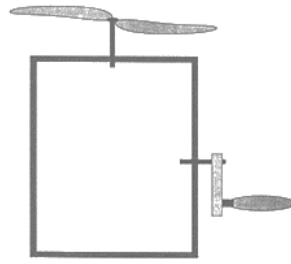


Abb. 8: Die Windmaschine wurde als Blackbox dargestellt (Baumert, 1996, S. 194)

Die dritte Aufgabe bestand darin, aus Knete, Trinkhalmen und Zahnstochern einen *Turm* zu konstruieren, „der so hoch wie möglich, aber gleichzeitig stabil genug sein sollte, um einen kleinen, mit Murmeln gefüllten Container tragen zu können“ (Baumert, 1996, S. 195).

Als Kontrollaufgabe wurde zudem eine Aufgabe mit algorithmischer Problemstellung ausgewählt.

Anhand der Ergebnisse zeigte sich, dass die teilnehmenden Mädchen beider Länder sowohl bei der Brückenkonstruktion als auch bei der Windmaschinenaufgabe weit schlechter abschnitten als die Jungen. Bei der Lösung der algorithmischen Kontrollaufgabe und auch bei der kreativen Turmkonstruktion aus Alltagsmaterialien ergaben sich hingegen keine geschlechtsspezifischen Unterschiede. Aus diesen deutlichen Befunden die technisch-konstruktiven Aufgaben betreffend schlussfolgert Baumert (1996), dass „am Ende der Grundschulzeit [...] der im engeren Sinne technische Bereich bereits eine deutliche Domäne der Jungen [ist]“ (S. 201).

2.2.2 Motivational-affektive Lernvoraussetzungen – Hintergründe und Befunde

Hallström, Elvstrand und Hellberg (2015) konnten im Rahmen einer qualitativen Studie an schwedischen Vorschulen nachweisen, dass sich geschlechtsspezifische Unterschiede im Umgang mit Technik bereits im Kindergartenalter manifestieren. Anhand der Beobachtungen beim freien Bauspiel von 5- und 6-Jährigen zeigten sich bei Mädchen und Jungen Unterschiede in der Auswahl der Spielzeuge, in der Ausrichtung der Konstruktionsprozesse sowie im technikbezogenen Selbstbewusstsein. Während die Mädchen zumeist Dinge bauten, die im Kontext ihrer Spielhandlung einem bestimmten Zweck dienten (z.B. einen Zaun für das Tiergehege), stand bei den Jungen das Konstruieren selbst im Mittelpunkt des Interesses. Die Jungen nutzten darüber hinaus häufiger „typische“ Spielzeuge wie Autos oder Kräne und agierten beim Experimentieren und Konstruieren insgesamt selbstbewusster und aktiver. Die Mädchen hingegen zeigten ein geringeres technisches Selbstvertrauen und übernahmen eher Assistenzrollen, indem sie den Jungen beispielsweise Bausteine anreichten.

Die hier bereits erkennbar werdenden geschlechtsspezifischen Unterschiede im *technikbezogenen Selbstkonzept* konnten von Gabriel-Busse, Pereira Kastens und Kucharz (2018) auch im Hinblick auf den Sachunterricht bestätigt werden. Untersucht wurde, inwieweit die Lernenden im Sachunterricht in der Lage sind, nach den einzelnen Fachperspektiven differenzierbare akademische Selbstkonzepte auszubilden. Überprüft wurde in diesem Zusammenhang zudem, inwieweit sich in den Selbstkonzeptfacetten Geschlechterunterschiede nachweisen lassen. An der Fragebogenerhebung nahmen 305 Schülerinnen und

Schüler der dritten und vierten Jahrgangsstufe teil. Die Befunde belegen, dass fachspezifische Fähigkeitsselbstkonzepte gemäß der fünf Perspektiven des Sachunterrichts entwickelt werden konnten. Geschlechtsspezifische Selbstkonzeptunterschiede zeigten sich dabei einzig im Bereich Technik. Jungen wiesen hier ein signifikant höheres Selbstkonzept auf als Mädchen. Die Ergebnisse einer Internetbefragung, die von Ziefle und Jakobs (2009) im Rahmen einer Teilstudie mit insgesamt 175 Kindern und Jugendlichen im Alter von 10 bis 20 Jahren durchgeführt wurde, verdeutlichen, dass sich die bestehenden Geschlechterunterschiede nicht nur in den Selbsteinschätzungen der technischen Fähigkeiten und Fertigkeiten, sondern auch in den motivational-affektiven Einstellungen gegenüber Technik zeigen. Die teilnehmenden Schülerinnen schätzten ihre technikbezogenen Kompetenzen, aber auch ihr *Technikinteresse* und ihre *Technikbegeisterung* signifikant geringer ein als die Schüler. Zudem belegen die Ergebnisse, dass die *Angst im Umgang mit Technik* sowie die *Abneigung gegenüber der Auseinandersetzung mit Technik* bei den Schülerinnen deutlicher ausgeprägt war.

Geschlechtsspezifische Unterschiede zu Ungunsten der Mädchen zeigen sich darüber hinaus auch in den *Attributionsmustern* (Adenstedt, 2021; Baumert & Geiser, 1996). Im Rahmen einer Erhebung zum technikbezogenen Selbstkonzept untersuchte Adenstedt (2021), inwieweit Lernende selbstwertschützende oder selbstwertbedrohende Erklärungen für Erfolge oder Misserfolge bei technischen Aufgaben wählen. An der Erhebung nahmen 498 Schülerinnen und Schüler der dritten und vierten Jahrgangsstufe teil. Die Ergebnisse belegen signifikante geschlechtsspezifische Unterschiede im Hinblick auf die Misserfolgsattributionen. Mädchen begründeten ihren Misserfolg hauptsächlich mit ihren mangelnden Fähigkeiten. Die Jungen führten ihr Versagen mehrheitlich auf den Zufall zurück.

Auch in der Untersuchung von Baumert und Geiser (1996), die im Kontext der CROSSTEL-Studie durchgeführt wurde, zeigten sich diese Attributionsmuster. Jungen wählten hier ebenfalls überwiegend selbstwertschützende Erklärungen. Mädchen nutzten mehrheitlich selbstwertbedrohende Attribuierungen. Diese Befunde deuten darauf hin, dass Mädchen ihre technikbezogenen Kompetenzen bereits im Grundschulalter als festgelegt und nicht beeinflussbar betrachten. Dweck und Leggett (1988) prägten für diese spezielle Ausrichtung der impliziten Theorien den Begriff des *Fixed Mindset*. Während Lernende mit *Growth Mindset* davon ausgehen, dass Fähigkeiten veränderbar sind und auf Rückschläge mit erhöhter Anstrengung reagieren, führen Schülerinnen und Schüler mit *Fixed Mindset* ihre Misserfolge auf mangelnde Fähigkeiten zurück, die sie auch durch vermehrte Anstrengung nicht verändern können (Dweck & Leggett, 1988; Gilbert, 2021). Studienergebnisse zeigen jedoch, dass sich die impliziten Theorien der Lernenden durchaus positiv beeinflussen lassen (Aronson, Fried & Good, 2002; Canning, Muenks, Green & Murphy, 2019). Ausschlaggebend hierfür ist insbesondere das „aktive Vertreten eines *Growth Mindset*“ (Gilbert, 2021, S. 81), welches sich vor allem in den Rückmeldungen der Lehrperson, aber auch in der didaktischen Gestaltung der Lernumgebungen widerspiegelt (vgl. Aronson et al., 2002; Canning et al., 2019).

Im Hinblick auf das technische Lernen bestätigen die Befunde von Vincent und Janneck (2012), dass vor allem Mädchen auf *ermutigende Lernerlebnisse* und *bestärkende Rückmeldungen* angewiesen zu sein scheinen. Im Rahmen einer Interviewstudie zum technikbezogenen Selbstkonzept von Frauen und Männern in technischen Berufsfeldern wurden 35 Personen (18

Frauen und 17 Männer) unter anderem auch zu den positiven Einflussfaktoren bei der Entwicklung von Technikinteresse und Technikkompetenz befragt. Während die Männer in diesem Zusammenhang mehrheitlich die frühe Auseinandersetzung mit Technik anführten, betonten die Frauen darüber hinaus die Bedeutung von Erfolgserlebnissen und positivem Feedback als unterstützende und bestärkende Faktoren für die weitere Beschäftigung mit Technik.

3 Lernunterstützung durch LERNnetze

LERNnetze bezeichnen spezielle Lehr-Lernarrangements, die theoriebasiert in der unterrichtlichen Praxis für den technischen Sachunterricht entwickelt wurden (Dölle, 2021a, 2021b). Jedes LERNnetz besteht aus einer problemzentrierten Einstiegssequenz, verschiedenen Aufgaben und Versuchen, die das zentrale Phänomen verdeutlichen, sowie Reflexions- und Transferphasen (s. Abb. 9). In Abhängigkeit von der inhaltlichen Ausrichtung kann die Anzahl der Arbeits-, Reflexions- und Transferphasen variieren.

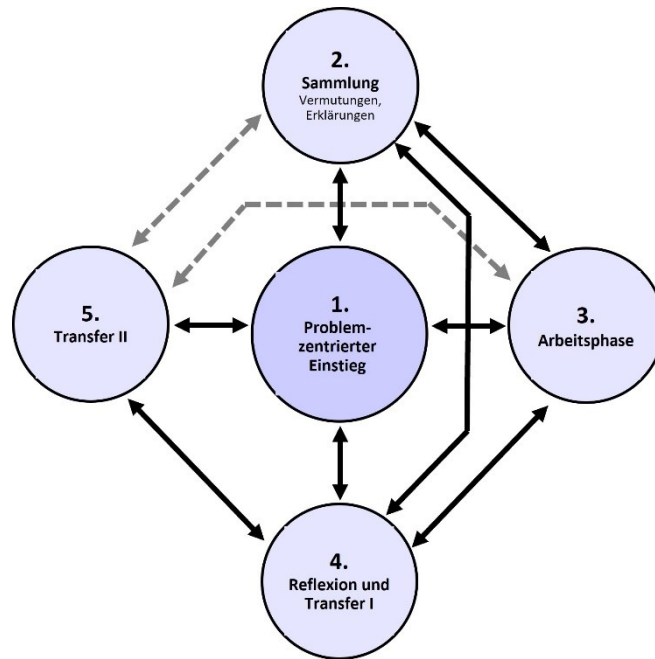


Abb. 9: Problem- und transferorientierter Aufbau eines LERNnetzes

LERNnetze knüpfen an die Konzeption der *Phänomenkreise* an, die von Spreckelsen (1997) für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht entwickelt wurde. Ein Phänomenkreis besteht aus einer Reihe von Versuchen, die zum gleichen physikalischen Funktionsprinzip gehören. Die Schülerinnen und Schüler werden in diesem Lehr-Lernarrangement angeregt, die Versuche vergleichend zu betrachten, um Ähnlichkeiten und Zusammenhänge eigenständig entdecken und Erklärungen generieren zu können. Zurückzuführen ist dieser didaktische Ansatz auf Martin Wagenschein, der im Rahmen seiner Konzeption des genetischen Lernens unter anderem den Leitsatz prägte „Man bleibe bei den Phänomenen, solange wie möglich, und verbinde sie verstehend untereinander“ (Wagenschein, 1971, S. 193).

Neben dem Ableiten von Analogien wird in einem LERNnetz jedoch verstärkt die Anwendung des erworbenen Wissens fokussiert. Die Lernenden werden hier zusätzlich angeregt, ihre Erkenntnisse auf eine zentrale Problemstellung und auf weiterführende Phänomene zu übertragen. Diese transfer- und problemorientierte Ausrichtung eines LERNnetzes wird durch die Implementierung kognitiv aktivierender und inhaltlich strukturierender Maßnahmen der Lernunterstützung gewährleistet (vgl. Adamina, Möller, Steffensky, Sunder & Wyssen, 2017). Unterrichtskonzeptionen, die in dieser Weise Konstruktion und Instruktion miteinander

verknüpfen werden von Möller (2001) als *moderat konstruktivistische Ansätze mit instruktiven Anteilen* bezeichnet. Reinmann und Mandl (2006) nutzen in diesem Zusammenhang den Begriff der *integrierten Lernumgebungen* und verdeutlichen somit, „dass der Vorgang des Instruierens seitens der Lehrenden und der Vorgang des Konstruierens seitens der Lernenden“ (S. 637) sich in der Praxis keinesfalls ausschließen.

Kennzeichnend für ein LERNnetz ist, dass die einzelnen Bearbeitungsphasen nicht isoliert nebeneinanderstehen, sondern auf unterschiedlichen Ebenen direkt oder indirekt miteinander verknüpft sind. Aus der so entstehenden Netzstruktur und der Verknüpfung einer herausfordernden Aufgabenstellung mit unterstützenden Maßnahmen resultiert schließlich auch die Bezeichnung für das Lehr-Lernarrangement. Um hervorzuheben, dass ein LERNnetz darauf abzielt, die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler zu unterstützen, wird das Bestimmungswort des Kompositums in Großbuchstaben wiedergegeben.

3.1 Verknüpfung von Herausforderung und Unterstützung

LERNnetze weisen enge Bezüge zum *entdeckenden Lernen* nach Bruner (1961) und zu *problemorientierten Lehr- und Lernformen* auf, da auch hier authentische und komplexe Problemstellungen als Ausgangspunkte für die unterrichtliche Auseinandersetzung genutzt werden (vgl. Reinmann & Mandl, 2006). Im Sinne des *Guided Discovery Learning*, des angeleiteten entdeckenden Lernens, werden in einem LERNnetz allerdings gezielt Strukturierungs- und Aktivierungsmaßnahmen integriert, um die individuelle Wissenskonstruktion der Lernenden anzuregen und zu unterstützen (vgl. de Jong & van Joolingen, 1998; Mayer, 2004). Die Befunde der empirischen Unterrichtsforschung belegen die Bedeutung der hier vorgenommenen Verknüpfung normativer Prinzipien eines „guten Unterrichts“ mit den lerntheoretischen Erkenntnissen eines „effektiven Unterrichts“ (Berliner, 2005; Kunter & Ewald, 2016). So bezeichnet Berliner (2005) Unterricht erst dann als „qualitätsvoll“, wenn er sowohl pädagogischen Wertvorstellungen entspricht als auch die Lernziele erreicht.

Entdeckende und problemorientierte Lernumgebungen orientieren sich in besonderem Maße an den Bedürfnissen der Lernenden. Im Gegensatz zu einer rezeptiven Vermittlung von Wissen kommt den Schülerinnen und Schülern hier die Aufgabe zu, Konzepte und Prinzipien eigenständig zu generieren (Renkl, 2020). Auf diese Weise kann der Erwerb transferierbaren Wissens gefördert werden. Studienbefunde und auch die Ergebnisse von Schulleistungsuntersuchungen verdeutlichen, dass eine zu wenig anwendungsbezogene und abstrakte Form der Wissensvermittlung häufig zu „trägem“ Wissen führt, das nicht in konkreten Problemsituationen angewendet oder auf außerschulische Kontexte übertragen werden kann (Gruber, Mandl & Renkl, 2000). Seit Ende der 1980er Jahre wurden daher auch in den verschiedenen Ansätzen des *situierten Lernens* komplexe und authentische Problemstellungen in den Mittelpunkt der unterrichtlichen Auseinandersetzung gestellt (vgl. Cognition and Technology Group at Vanderbilt [CTGV], 1992; Collins, Brown & Newman, 1989; Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1991). Aufgrund ihres hohen Aufforderungscharakters besitzen erkundende Lernformen zudem das Potential, das Interesse der Lernenden zu wecken und ihre

intrinsische Motivation zu steigern (vgl. Stark, Gruber & Mandl, 1998). Die Erfahrung eigenständig Probleme lösen zu können, kann sich darüber hinaus positiv auf die Selbstwirksamkeitserwartung und das Selbstkonzept auswirken.

Es hat sich allerdings auch gezeigt, dass Schülerinnen und Schüler bei entdeckenden und problemorientierten Lernumgebungen in besonderem Maße auf die Unterstützung durch die Lehrperson angewiesen sind, um erfolgreich lernen zu können (Lipowsky, 2020).

Anhand der Ergebnisse von de Jong und van Joolingen (1998), die Untersuchungen zum entdeckenden Lernen mit Computersimulationen durchführten, wurde deutlich, dass die Lernenden ohne instruktionale Unterstützung nicht die gewünschten Lernergebnisse erzielten. Das Aufstellen und Überprüfen von Hypothesen sowie die experimentelle Beweisführung bereitete den Lernenden bei freier Exploration erhebliche Schwierigkeiten. Die Bedeutung instruktionaler Unterstützungsmaßnahmen konnte auch Mayer (2004) anhand verschiedener Studien zum entdeckenden Lernen belegen. Sowohl im Hinblick auf den Erwerb von Problemlöse- und Programmierfähigkeiten als auch in Bezug auf die Entwicklung des Invarianzkonzeptes erwies sich dabei die Kombination aus selbstgesteuertem Lernen und Anleitung durch die Lehrkraft (Guided Discovery) als weit lernwirksamer als das selbstgesteuerte entdeckende Lernen (Pure Discovery).

Mandl (2010) verweist darauf, dass die Anforderungen komplexer Lernumgebungen häufig nicht den kognitiven Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler entsprechen. Die hieraus resultierenden *Passungsprobleme* können insbesondere bei Lernenden mit ungünstigen Lernvoraussetzungen zu Überforderung führen und nicht nur kognitive, sondern auch motivational-affektive Lernergebnisse negativ beeinträchtigen (Stark et al., 1998). Neben der inhaltlichen Komplexität, stellen insbesondere die erforderlichen prozeduralen und sprachlichen Fähigkeiten und Fertigkeiten eine Herausforderung für die Lernenden dar (Reiser, 2004).

Kirschner, Sweller und Clark (2006) führen die geringere Effektivität unangeleiteter komplexer Lernumgebungen auf die Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses zurück. Gemäß der *Cognitive Load-Theorie* (Sweller, 1988; Sweller, VanMerriënboer & Paas, F. G. W. C., 1998) werden drei Formen der kognitiven Belastung unterschieden. Während sich die *intrinsische Belastung* (Intrinsic Load) aus der Komplexität des Lernmaterials in Relation zu dem bereits vorhandenen Vorwissen der Lernenden ergibt, entsteht die *extrinsische Belastung* (Extraneous Load) durch Lernvorgaben und die instruktionale Gestaltung der Lernumgebung. Die *lernbezogene Belastung* (Germane Load) resultiert aus den initiierten Lernprozessen. Ziel der instruktionalen Gestaltung von Lehr-Lernarrangements sollte es sein, die extrinsische Belastung möglichst gering zu halten, damit die Lernenden ihre kognitive Kapazität für die eigentlichen Lernprozesse nutzen zu können (Renkl, Gruber, Weber, Lerche & Schweizer, 2003).

Wie es gelingen kann, Lernende zum Lösen komplexer Probleme zu befähigen, wurde von Wood, Bruner und Ross (1976) bereits in den 1970er Jahren anhand des Konzepts des *Scaffolding* verdeutlicht. Diese adaptive Form der Lernunterstützung gleicht einem Lerngerüst, welches von der Lehrkraft aufgebaut wird, um Lernenden bei der Bewältigung problemorientierter Aufgaben zu helfen, die über ihren aktuellen Entwicklungsstand hinausgehen (Reiser, 2004). Das Prinzip des Scaffolding ist eng mit der soziokulturellen Theorie

Vygotskys (1978) verbunden und orientiert sich an der potenziellen Entwicklung der Lernenden, die durch die Anleitung von Erwachsenen oder durch Zusammenarbeit mit fortgeschritteneren Gleichaltrigen erreicht werden kann. Die Distanz zwischen dem, was Lernende bereits beherrschen, und dem, was sie durch pädagogische Unterstützung zu leisten vermögen, bezeichnet Vygotsky (1978) als *Zone der nächsten Entwicklung*. Scaffoldingmaßnahmen setzen hier an und zielen darauf ab, die individuelle Wissenskonstruktion durch instruktionale Maßnahmen zu unterstützen. Auf diese Weise kann ein möglichst optimales Herausforderungsniveau geschaffen und sowohl Unter- als auch Überforderung vermieden werden. Die von Wood et al. (1976) beschriebenen Unterstützungsmaßnahmen beziehen sich zum einen auf die Strukturierung des Lerngegenstandes, indem beispielsweise Wahlmöglichkeiten reduziert oder Modellierungen genutzt werden und zum anderen auf die Aktivierung der Lernenden, indem Maßnahmen zur Aufmerksamkeitsfokussierung eingesetzt oder die Schülerinnen und Schüler auf Widersprüche hingewiesen werden. Reiser (2004) umschreibt diese komplementären Mechanismen des Scaffolding als *Problematisieren* (Problematising) und *Strukturieren* (Structuring) und entwickelte auf dieser Basis ein Scaffolding-Konzept zur Lernunterstützung durch Softwareprogramme (Software Scaffolding).

Die in einem LERNnetz implementierten inhaltlich strukturierenden und kognitiv aktivierenden Maßnahmen der Lernunterstützung wurden von Adamina et al. (2017) auf Grundlage des Scaffolding-Konzeptes von Reiser (2004) und in Anlehnung an Kleickmann (2012) für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht abgeleitet (s. Tab. 6). Aufgrund der vielfältigen Spezifizierungsmöglichkeiten bieten diese Unterstützungsmaßnahmen aber ebenso gewinnbringende Ansatzpunkte zur Lernunterstützung im technischen Sachunterricht.

Tab. 6: Aktivierende und strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung nach Adamina et al. (2017)

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (KA) (Adamina et al., 2017)		Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (IS) (Adamina et al., 2017)	
KA 1	Vorhandene Vorstellungen erschließen	IS 1	Sequenzieren
KA 2	Kognitive Konflikte auslösen	IS 2	Zielklarheit schaffen
KA 3	Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln	IS 3	Auf sprachliche Klarheit achten
KA 4	Anwendung von Konzepten ermöglichen	IS 4	Hervorheben
KA 5	Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen	IS 5	Zusammenfassen
KA 6	Über Lerninhalte und –wege nachdenken	IS 6	Veranschaulichen
KA 7	Herausfordernde Aufgaben stellen	IS 7	Modellieren

Im Folgenden werden zunächst die theoretischen Hintergründe und empirischen Befunde zur inhaltlichen Strukturierung und kognitiven Aktivierung dargelegt. Die konkrete Auswahl und Umsetzung der Unterstützungsmaßnahmen im LERNnetz werden daran anschließend erläutert.

3.2 Aktivierung und Strukturierung: Basisdimensionen der Unterrichtsqualität

Die Forschungsergebnisse zeigen, dass die Oberflächenmerkmale des Unterrichts wie der Einsatz verschiedener, durchaus als „schülerorientiert“ geltender, Methoden, Medien oder Sozialformen kognitive wie affektive Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler nicht entscheidend beeinflussen (Klieme, 2006). Als zentral für den Lernerfolg erweist sich vielmehr die Qualität der tiefenstrukturellen Unterrichtsmerkmale. Diese beziehen sich auf den Lehr-Lernprozess, die Auseinandersetzung der Lernenden mit dem Lernstoff, die Interaktion der Lernenden und die Interaktion zwischen Lehrenden und Lernenden (Kunter & Voss, 2011). Neben der effizienten Klassenführung gelten die konstruktive Unterstützung und die kognitive Aktivierung als Basisdimensionen der Unterrichtsqualität. Die konstruktive Unterstützung der Lernenden ist dabei sowohl auf emotionaler als auch auf kognitiver Ebene von der Lehrperson umzusetzen. Sie bezieht sich zum einen auf eine wertschätzende Grundhaltung und zum anderen auf eine angemessene Strukturierung der Lerninhalte (Gold, 2015).

Während die effiziente Klassenführung und auch die Schaffung eines lernförderlichen Klimas fachunabhängige Merkmale darstellen, sind die kognitive Aktivierung und die inhaltliche Strukturierung in spezifische fachliche und fachdidaktische Kontexte eingebettet und müssen dementsprechend fach- und unterrichtsgegenstandsbezogen konkretisiert werden (Meschede, Steffensky, Wolters & Möller, 2015).

3.2.1 Inhaltlich strukturieren – Theoretische Hintergründe und empirische Befunde

Die Strukturierung des Unterrichts zählt zu den Basisdimensionen der Unterrichtsqualität. In der Unterrichtsforschung wird dieses Merkmal allerdings auf sehr unterschiedliche Weise operationalisiert (Gold, 2015; Lipowsky, 2020). Gemäß Lipowsky (2020) können drei Bedeutungsvarianten unterschieden werden. Während sich die *didaktische Strukturierung* auf die Gliederung und Sequenzierung des Unterrichts bezieht, werden unter der *Strukturierung auf Verhaltensebene* Maßnahmen verstanden, die der Schaffung einer störungsfreien Arbeitsatmosphäre und einer effizienten Klassenführung dienen. Die *kognitionspsychologisch verstandene Strukturierung* fokussiert hingegen die Förderung der individuellen Wissenskonstruktion. Durch strukturierende Hinweise, Fragen und Zusammenfassungen der Lehrperson soll es den Lernenden ermöglicht werden, die relevanten Aspekte des Unterrichtsgegenstandes zu erschließen, bestehende Konzepte zu erweitern und neue Lerninhalte zu integrieren.

Die im Kontext dieser Arbeit relevante *inhaltliche Strukturierung* verbindet die didaktische mit der kognitionspsychologischen Strukturierung (Möller, 2016). Inhaltliche Strukturierungsmaßnahmen beziehen sich demgemäß sowohl auf die didaktische Aufbereitung des Lerninhalts als auch auf die Unterstützung der Lernenden im Unterrichtsprozess. Sie sind vor und während des Unterrichts zu berücksichtigen (Kleickmann, 2012).

3.2.1.1 Zur unterrichtlichen Umsetzung inhaltlicher Strukturierungsmaßnahmen

In der Planungsphase des Unterrichts dienen inhaltliche Strukturierungsmaßnahmen der Vorstrukturierung und Anpassung des Lerngegenstandes an die Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler. Aufgrund der Komplexität technischer Wirk- und Bedingungs-

zusammenhänge kommt dieser Form der Lernunterstützung im technischen Sachunterricht eine besondere Relevanz zu. Neben der Sequenzierung und der Antizipation möglicher sprach- und verständnisbezogener Schwierigkeiten verweisen Kleickmann (2012) und Adamina et al. (2017) in diesem Zusammenhang auch auf die Bedeutung der Auswahl geeigneter Repräsentationsformen (s. Tab. 7). Um die Komplexität eines Unterrichtsthemas zu reduzieren, kann unter Berücksichtigung der fachlichen Angemessenheit zudem eine didaktische Reduktion oder Vereinfachung der Lerninhalte vorgenommen werden (Kleickmann, 2012).

Tab. 7: Inhaltliche Strukturierung in der Planungsphase des Unterrichts (Adamina et al., 2017; Kleickmann, 2012)

Inhaltliche Strukturierungsmaßnahmen vor dem Unterricht nach Kleickmann (2012) und Adamina et al. (2017)	
Themenspezifische Verständnisschwierigkeiten antizipieren Mögliche Lernschwierigkeiten überdenken Schülervorstellungen und kognitive Lernvoraussetzungen einbeziehen	
Didaktische Reduktion Auswahl bzw. Vernachlässigung von bestimmten Aspekten eines Themas Vereinfachung der Komplexität	
Sequenzieren Eine Gliederung in überschaubare Teilbereiche vornehmen Abfolgen festlegen	
Auf sprachliche Klarheit achten Auswahl von klaren, lernenden- und sachgemäßen Formulierungen Antizipation möglicher sprachlicher Hürden	
Veranschaulichen Auswahl konkret-handelnder, ikonischer oder symbolischer Repräsentationsformen, Verständnisunterstützende Analogien auswählen	

Im unterrichtlichen Interaktionsgeschehen zeichnet sich die inhaltliche Strukturierung durch das Hervorheben wichtiger Äußerungen der Lernenden, durch das Zusammenfassen und Sichtbarmachen von Zusammenhängen sowie durch das modellhafte Vormachen durch die Lehrperson aus (Adamina et al., 2017; Kleickmann, 2012). Auch die Schaffung von Klarheit über das fachliche Lernziel und die Fokussierung der Unterrichtsgespräche auf das zentrale Thema stellen elementare Strukturierungsmaßnahmen dar.

Da inhaltliche Strukturierungsmaßnahmen dazu dienen, die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler zu unterstützen, werden sie häufig auch als *kognitive Strukturierungsmaßnahmen* bezeichnet. Trotz grundlegender Ähnlichkeiten wird bei genauerer Betrachtung allerdings deutlich, dass diesen beiden Konstrukten unterschiedliche Operationalisierungen zu Grunde liegen. So schlagen Einsiedler und Hardy (2010) vor, unter kognitiver Strukturierung prozessorientierte Maßnahmen zu verstehen, die im Kern auf die Anregung und Unterstützung der kognitiven Prozesse der Lernenden gerichtet sind. Diesem umfassenden Begriffsverständnis folgend werden auch kognitiv aktivierende Maßnahmen der Lernunterstützung der kognitiven Strukturierung zugeordnet. Die inhaltliche Strukturierung zielt hingegen primär darauf ab, „den [jeweiligen] Lerngegenstand besser lern- und verstehbar zu machen“ (Kleickmann, 2012, S. 8). Um eine umfassendere Berücksichtigung dieser inhaltsbezogenen Ausrichtung der Lernunterstützung zu erreichen, wird in Anlehnung an

Adamina et al. (2017) und Möller (2016) auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit bewusst zwischen inhaltlich strukturierenden und kognitiv aktivierenden Maßnahmen der Lernunterstützung unterschieden (s. Kap. 3.3).

3.2.1.2 Forschungsbefunde zur Lernwirksamkeit der inhaltlichen Strukturierung

Für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht konnte die Lernwirksamkeit inhaltlicher Strukturierungsmaßnahmen im Rahmen des Forschungsprogramms BIQUA (Bildungsqualität von Schule) bereits nachgewiesen werden (Hardy, Jonen, Möller & Stern, 2006; Möller, Jonen, Hardy & Stern, 2002). In der BIQUA-Schulstudie wurde untersucht, ob Maßnahmen der inhaltlichen Strukturierung in konstruktivistisch orientierten Lernsituationen den Aufbau physikalischer Basiskonzepte und den Abbau von Fehlkzepten zum Thema Schwimmen und Sinken fördern können. Ausgehend von einer komplexen und problemorientierten Fragestellung „Wie kommt es, dass ein schweres Schiff aus Eisen nicht untergeht?“ wurden zwei Unterrichtseinheiten für Schülerinnen und Schüler aus dritten Grundschulklassen entwickelt, die sich im Grad der Strukturierung unterschieden (Möller, 2016). In dem stärker strukturierten Unterricht (MIT-Unterricht) wurde eine inhaltliche Sequenzierung durch aufeinander aufbauende Teilfragen vorgenommen. Der weniger strukturierte Unterricht (OHNE-Unterricht) glich in seinem Aufbau einem Werkstattangebot. Den Schülerinnen und Schülern standen die gleichen Materialien und Versuche zur Verfügung, die Reihenfolge der Bearbeitung blieb aber den Lernenden überlassen. Die Lehrperson gab hier nur bei Bedarf strukturierende Hilfen. Darüber hinaus wurde auch die Strukturierung der Gesprächsführung variiert. Im MIT-Unterricht unterstützte die Lehrperson durch Zusammenfassungen, sie problematisierte, indem sie auf Widersprüche hinwies, und sie fokussierte die Aufmerksamkeit der Lernenden durch Nachfragen und zusätzliche Veranschaulichungen (Hardy et al., 2006; Möller et al., 2002; Möller, 2016).

Zur Überprüfung des kognitiven Lernzuwachses wurde in einem Prä-Post-Follow-up-Design jeweils direkt vor und nach dem Unterricht sowie nach einem Jahr ein Leistungstest eingesetzt. Zusätzlich zum Post-Test wurde zudem ein Transfer-Test durchgeführt. Die Ergebnisse von Prä- und Posttests zeigen, dass im Vergleich zur Kontrollgruppe in beiden Unterrichtsgruppen eine signifikante Verbesserung der Leistung im Hinblick auf die Ablehnung von Fehlkzepten und die Annahme von belastbaren Konzepten erzielt werden konnte (Möller et al., 2002). Den höchsten Lernzuwachs wies dabei die MIT-Gruppe auf. Auch im Transfer-Test schnitt die MIT-Gruppe erfolgreicher ab als die OHNE-Gruppe, was sich in der vermehrten Verwendung physikalisch angemessenerer Konzepte zeigte (Hardy et al., 2006).

Besonders deutlich wird die Überlegenheit des Unterrichts mit höherem Strukturierungsgrad jedoch im Hinblick auf einen nachhaltigen Wissensaufbau. Die Ergebnisse des Follow-up-Tests belegen diesbezüglich erhebliche Unterschiede zwischen der MIT- und der OHNE-Gruppe. Nach einem Jahr nutzte die MIT-Gruppe signifikant häufiger anspruchsvolle wissenschaftliche Konzepte zur Erklärung des Schwimmens und Sinkens und signifikant weniger Fehlkzepten als die OHNE-Gruppe (Hardy et al., 2006). Während die MIT-Gruppe das über den Unterricht aufgebaute konzeptuelle Verständnis im Vergleich von Post- zu Follow-up-Testung somit halten konnte, zeigte sich bei der OHNE-Gruppe ein gegenteiliges Bild. Die Nutzung von Fehlkzepten

stieg hier im Vergleich von Post- zu Follow-up-Test signifikant an (Hardy et al., 2006; Möller, 2016).

Im Rahmen einer Teilstudie wurde zudem überprüft, unter welchen Strukturierungsbedingungen sowohl kognitive als auch motivationale und selbstbezogene Zielsetzungen erreicht werden können (Blumberg, Möller, Jonen & Hardy, 2003). Die Erfassung der nichtleistungsbezogenen Dimensionen erfolgte vor und nach Durchführung des Unterrichts mithilfe eines Fragebogens. Anhand der Ergebnisse zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf das Interesse, die fremdbestimmte Motivation und die selbstbezogene Kognition. Deutliche Unterschiede zugunsten der MIT-Gruppe konnten jedoch in Bezug auf die selbstbestimmte Motivation, die Erfolgszuversicht sowie auf das Empfinden von Kompetenz und Engagement ermittelt werden. Auch im Hinblick auf die multikriteriale Zielerreichung erwies sich demnach die konstruktivistisch orientierte Lernumgebung mit einem höheren Maß an Strukturierung gegenüber der Lernumgebung mit geringerer Strukturierung als überlegen (Möller, 2016).

Der Frage nach differenziellen Effekten von Strukturierung ging eine weitere Teilstudie nach (Blumberg, Möller & Hardy, 2004). Untersucht wurde, wie sich die Lernumgebungen mit hoher und geringer Strukturierung bei leistungsstarken und leistungsschwachen Schülerinnen und Schülern auf kognitive sowie motivationale und selbstbezogene Zielsetzungen auswirken. Die Leistungsunterschiede bezogen sich hier auf die Problemlösefähigkeit der Lernenden und wurden über Einschätzungen der Lehrpersonen erfasst. Im Hinblick auf die kognitiven Lernergebnisse zeigte sich, dass leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler in der Lernumgebung mit starker Strukturierung einen signifikant höheren Lernzuwachs erzielten als bei geringer Strukturierung. Leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler profitierten hingegen gleichermaßen von beiden Lernumgebungen (Möller et al., 2002).

Auch in Bezug auf das Erreichen motivationaler und selbstbezogener Zielkriterien zeigten sich die Vorteile des Unterrichts mit Strukturierung für die leistungsschwächeren Schülerinnen und Schüler (Blumberg et al., 2004). Lernende mit geringeren Problemlösefähigkeiten schätzten sich im MIT-Unterricht signifikant kompetenter, selbstwirksamer und engagierter ein als im OHNE-Unterricht. Bei den leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern zeigen sich hingegen keine Unterschiede zwischen den beiden Lernumgebungen. Die Befunde verdeutlichen, dass insbesondere leistungsschwächere Kinder strukturierende Lernunterstützungsmaßnahmen benötigen, um erfolgreich lernen zu können. Leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler scheinen dagegen weniger auf Strukturierungen angewiesen zu sein (Möller, 2016).

3.2.2 Kognitiv aktivieren - Theoretische Hintergründe und empirische Befunde

Als kognitiv aktivierend wird ein Unterricht betrachtet, der die Lernenden „zum vertieften Nachdenken und zu einer elaborierten Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand anregt“ (Lipowsky, 2020, S. 92). Kleickmann (2012) verweist darauf, dass man konsequenterweise eher vom *Potenzial zur kognitiven Aktivierung* sprechen sollte, da gemäß des Angebots-Nutzungs-Modells unterrichtliche Angebote keine lineare Wirkung erzielen, sondern von den Lernenden individuell genutzt werden.

Das Konstrukt der kognitiven Aktivierung weist enge Bezüge zu kognitiv-konstruktivistischen Lehr-Lerntheorien auf (Lipowsky, 2020). Lernen wird aus dieser Perspektive als kognitiv-aktiver Konstruktionsprozess betrachtet, bei dem bereits vorhandene Vorstellungen erweitert, mit neuen Lerninhalten verknüpft oder umstrukturiert werden (Reusser, 2006). Die kognitiv-konstruktivistische Sichtweise schließt an die kognitionspsychologischen Theorien von Piaget (1985) und Aebli (1961) an. Unter Bezugnahme auf die Entwicklungstheorie Vygotskys wurde sie zu einer sozial-konstruktivistischen Sichtweise erweitert (Möller, 2019). Reinmann und Mandl (2006) sprechen daher von einem wissensbasierten Konstruktivismus und beschreiben den Wissenserwerb als aktiven, selbstgesteuerten und konstruktiven, aber auch als emotionalen und sozialen Prozess. Kognitiv aktivierende Lernunterstützungsmaßnahmen gilt es dementsprechend nicht nur im Zuge der Unterrichtsplanung, sondern auch während des Unterrichts zu berücksichtigen (Kleickmann, 2012).

3.2.2.1 Zur unterrichtlichen Umsetzung kognitiver Aktivierungsmaßnahmen

Gemäß Adamina et al. (2017) und Kleickmann (2012) lassen sich fünf aktivierende Lernunterstützungsmaßnahmen zusammenfassen, die Lernende während des Unterrichts anregen können, vorhandene Vorstellungen zu hinterfragen und zu erweitern (s. Tab. 8).

Tab. 8: Kognitive Aktivierung im unterrichtlichen Interaktionsgeschehen (Adamina et al., 2017; Kleickmann, 2012)

Kognitive Aktivierungsmaßnahmen während des Unterrichts nach Kleickmann (2012) und Adamina et al. (2017)
Kognitive Konflikte auslösen Problematisieren, auf Widersprüche und offene Fragen hinweisen, Fehlvorstellungen in Frage stellen
Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen Diskussionen zwischen den Kindern anregen, Rückfragen stellen, zu Aussagen die Meinungen von anderen erfragen
Vorstellungen aufbauen und weiterentwickeln Anregen Ähnliches und Unähnliches herauszuarbeiten, zum Erkennen von Regelmäßigkeiten motivieren, Generalisierbarkeit überprüfen
Anwendung von Konzepten ermöglichen Zum Übertragen erworbenen Wissens auf andere Situationen und Beispiele anregen, Gelegenheiten zum Üben schaffen
Über Lerninhalte und -wege nachdenken Anregen, die Entwicklung des eigenen Wissens und Könnens zu reflektieren, über hilfreiche Strategien beim Lernen nachdenken

Im unterrichtlichen Interaktionsgeschehen zielen diese Aktivierungsmaßnahmen darauf ab, Vorstellungen und Vorstellungsmängel bewusst zu machen, Ko-Konstruktionsprozesse zu initiieren und den Dialog in der Lerngemeinschaft zu fördern (Möller, 2016).

Im Rahmen der Unterrichtsplanung sollten darüber hinaus herausfordernde und problemhaltige Aufgabenstellungen entwickelt werden, die das Interesse und die Neugier der Lernenden wecken und sie motivieren, sich mit dem Lerngegenstand auseinanderzusetzen (Adamina et al., 2017; Kleickmann, 2012). Um gewährleisten zu können, dass das Herausforderungsniveau der zu bewältigenden Aufgabe die Schülerinnen und Schüler weder

über- noch unterfordert, sollte im Vorfeld auch das Vorwissen der Lernenden erhoben werden. Diese Bewusstmachung der eigenen Vorstellungen stellt zudem eine weitere kognitive Aktivierungsmaßnahme dar.

3.2.2.2 Kognitive Aktivierung und Conceptual Change

Aus naturwissenschaftsdidaktischer Perspektive kommt der kognitiv aktivierenden Lernunterstützung eine besondere Relevanz zu. Möller (2019) betont, dass Lernen im naturwissenschaftlichen Kontext als Veränderung der bislang bestehenden Konzepte betrachtet wird. Häufig stimmen die Vorstellungen der Lernenden zu Phänomenen der belebten und unbelebten Natur noch nicht mit den wissenschaftlichen Sichtweisen überein, besitzen aber für die Schülerinnen und Schüler eine hohe Glaubwürdigkeit. Wodzinski (2006) verdeutlicht, dass vor allem die tief verwurzelten Präkonzepte, die sogenannten *deep structures*, den Aufbau neuer Wissensstrukturen beeinträchtigen und Lernschwierigkeiten verursachen können. Seit Mitte der 1970er Jahre wird daher im Rahmen der Conceptual Change-Forschung untersucht, wie es gelingen kann, die Konzepte der Lernenden in wissenschaftliche Sichtweisen zu überführen (Duit, 1995). Im Ansatz von Posner, Strike, Hewson und Gertzog (1982) wurde vor allem die Provokation kognitiver Konflikte als zentral angesehen. Untersuchungen belegten allerdings, dass diese radikale Vorgehensweise vor allem bei jüngeren Kindern zu Verunsicherung führen kann. In der Folgezeit wurde der als *cold conceptual change* bezeichnete Ansatz von Posner et al. daher weiterentwickelt und differenziert. Im Sinne eines *weak conceptual change* geht Carey (1985) von einer kontinuierlichen Wissensveränderung durch Umstrukturierung aus. Pintrich, Marx und Boyle (1993) betonen zusätzlich die Bedeutung motivationaler und situationaler Faktoren. Palincsar (1998) unterstreicht die Bedeutung kooperativer Lern- und Denkprozesse. Auch Duit (1995) weist darauf hin, dass Konzeptveränderungen in lernförderliche Bedingungen einzubetten sind. Die Kombination aus aktivierenden und strukturierenden Lernunterstützungsmaßnahmen scheint hierfür einen adäquaten Rahmen zu bieten.

Dies trifft auch auf die Vermittlung technischer Lerninhalte zu. Anders als in den Naturwissenschaften ist im Bereich des frühen technischen Lernens allerdings nicht von tief verankerten Präkonzepten auszugehen. Die Forschungsbefunde zeigen vielmehr, dass Schülerinnen und Schüler der Grundschule ihre Vorstellungen zu technischen Funktionsprinzipien eher spontan konstruieren und dabei auf Elemente zurückgreifen, die sie aus ihrer Lebenswelt kennen (Möller & Wyssen, 2018). Man spricht in diesem Zusammenhang von *Ad-hoc-Konstruktionen* oder *current constructions* (Möller, 2019). Kognitiv aktivierende Maßnahmen können Lernende dabei unterstützen, erste Vorstellungen zu technischen Wirkprinzipien aufzubauen. Auf diese Weise werden dann auch Vorstellungslücken bewusst, was zu einer vertieften Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand sowie zur Ausdifferenzierung und Erweiterung der eigenen Konzepte anregen kann. Zentral erscheint dabei auch hier die Kombination aus Aktivierung und Strukturierung.

3.2.2.3 Forschungsbefunde zur Lernwirksamkeit der kognitiven Aktivierung

Im Vergleich zur Strukturierung stellt die kognitive Aktivierung ein „vergleichsweise junges Konstrukt [...] der Unterrichtsforschung“ dar (Lipowsky, 2020, S. 92). Eingeführt wurde das Unterrichtsmerkmal in Zusammenhang mit den Ergebnissen der TIMS-Videostudie (Trends in International Mathematics and Science Study). Im Vergleich des Mathematikunterrichts verschiedener Länder zeigte sich hier, dass in Deutschland herausfordernde Aufgabenformate in einem kleinschrittigen, eher lehrerzentrierten Verfahren erarbeitet wurden. In Japan wurden die Lernenden hingegen in höherem Maße kognitiv aktiviert und angeregt, eigenständig Lösungen zu entwickeln (Klieme, Schümer & Knoll, 2001; Pauli & Reusser, 2006).

Auch weitere Studien, die sich mit der Wirkung kognitiv aktivierenden Unterrichts beschäftigen, beziehen sich vor allem auf das Fach Mathematik und die Naturwissenschaften. Die kognitive Aktivierung der Lernenden wird in den einzelnen Studien allerdings auf unterschiedliche Weise konzeptualisiert und operationalisiert (Lipowsky, 2020). Zudem werden zur Erfassung des Unterrichtsmerkmals verschiedene Quellen genutzt. Neben der Befragung der Lernenden kann die Beurteilung der kognitiven Aktivierung auch durch Lehrpersonen oder mittels externer Unterrichtsbeobachtung vorgenommen werden (Fauth, Decristan, Rieser, Klieme & Büttner, 2014a). Helmke (2010) bezeichnet die Beobachtung als „Königsweg zur Beschreibung und Bewertung des Unterrichts“ (S. 288). Zur Erfassung der tiefenstrukturellen Qualitätsmerkmale werden dabei vornehmlich hoch inferente Ratingverfahren verwendet. Diese Schätzverfahren erfordern ein hohes Maß an interpretativen Schlussfolgerungen auf Seiten der Beobachtenden, da die Qualität einzelner Unterrichtssequenzen auf einer vorab festgelegten Skala eingeschätzt werden muss (Lotz, Gabriel & Lipowsky, 2013). Inwieweit die Lernenden tatsächlich kognitiv aktiviert werden, entzieht sich allerdings der direkten Beobachtung und wird daher mit Hilfe verschiedener Indikatoren erfasst, die mit den Aktivierungsmaßnahmen auf Angebotsseite korrespondieren (s. Tab. 9).

Tab. 9: Indikatoren zur Erfassung der kognitiven Aktivierung der Lernenden nach Lipowsky (2020)

Indikatoren zur Erfassung der kognitiven Aktivierung auf Nutzungsseite nach Lipowsky (2020)	
Die Lernenden	
	▪ tauschen Argumente aus.
	▪ stellen Analogien her.
	▪ erläutern, vergleichen und beurteilen ihre Lösungen.
	▪ formulieren Vermutungen.
	▪ stellen Fragen und hinterfragen Sachverhalte.
	▪ erbringen Transferleistungen.

Lipowsky et al. (2009) konnten im Rahmen einer Erhebung zum Satz des Pythagoras einen positiven Effekt der kognitiven Aktivierung auf die Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler nachweisen. Die Einschätzung der Aktivierung erfolgte hier durch externe Beobachtung mittels hoch inferenten Verfahrens.

Auch im Rahmen des Forschungsprojektes COACTIV (Cognitive Activation in the Mathematics Classroom and Professional Competence of Teachers) zeigte sich, dass die mathematischen Leistungen von Lernenden der Sekundarstufe I durch ein hohes Potenzial zur kognitiven

Aktivierung gefördert werden konnten (Kunter & Baumert, 2011). Die kognitive Aktivierung wurde in diesem Fall über das Anforderungsniveau der in den Klassenarbeiten verwendeten Aufgaben erfasst.

Praetorius, Pauli, Reusser, Rakoczy und Klieme (2014) wiesen im Rahmen einer Studie zum Mathematikunterricht nach, dass die kognitive Aktivierung im Vergleich zu den beiden anderen Basisdimensionen eine geringere Stabilität aufweist. Analysiert wurden in diesem Zusammenhang fünf videographierte Unterrichtssequenzen von insgesamt 38 Lehrpersonen. Während die von einer Lehrkraft umgesetzte Klassenführung und auch die konstruktive Unterstützung über die verschiedenen Lektionen kaum variierten, zeigte sich bei der kognitiven Aktivierung von Lektion zu Lektion eine hohe Variabilität. Praetorius et al. schlussfolgern daraus, dass die kognitive Aktivierung stärker vom jeweiligen Unterrichtsinhalt und auch von der betreffenden Unterrichtssequenz abhängt. So scheint, bezogen auf das Fach Mathematik, in Einführungsstunden ein höheres Maß an kognitiver Aktivierung erforderlich zu sein, als dies in Übungsstunden der Fall ist.

Für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht konnte die Bedeutung kognitiver Aktivierungsmaßnahmen anhand eines weiteren Forschungsprojektes zum Themenbereich Schwimmen und Sinken belegt werden (Fauth et al., 2014a, 2014b). Neben der kognitiven Aktivierung war der Forschungsfokus hier auch auf die Klassenführung und das unterstützende Klima gerichtet. Untersucht wurde, welche Zusammenhänge sich zwischen den Urteilen von Lernenden, Lehrpersonen und extern Beobachtenden zu den drei Basisdimensionen der Unterrichtsqualität zeigen. Das besondere Forschungsinteresse galt dabei der Frage, wessen Urteile die Leistungen der Schülerinnen und Schüler vorhersagen können (Fauth et al., 2014a). Gezielter in den Blick genommen wurden dabei vor allem die Urteile der Lernenden. Erhoben wurde in diesem Zusammenhang, welche Effekte die von den Lernenden eingeschätzte Lehrqualität auf die kognitiven Lernergebnisse und die Entwicklung des fachbezogenen Interesses hat (Fauth et al., 2014b). Das Forschungsprojekt basiert auf Daten von 1070 Lernenden der dritten Jahrgangsstufe und 54 Lehrpersonen. Zu 53 Klassen lagen zudem Daten von externen Beobachterinnen und Beobachtern vor. Die teilnehmenden Lehrpersonen führten in ihren Klassen zwei Unterrichtseinheiten zum Schwimmen und Sinken durch. Behandelt wurde zum einen das Dichtekonzept und zum anderen die Themenbereiche Verdrängung und Auftrieb. Jede Einheit umfasste 4,5 Doppelstunden und basierte auf Unterrichtsmaterialien, die von Jonen und Möller (2005) im Kontext der BIQUA-Studie entwickelt wurden (vgl. Hardy et al., 2006; Möller et al., 2002). Nach Durchführung der ersten Unterrichtseinheit schätzten die Lehrpersonen und Lernenden die kognitive Aktivierung, das Lernklima sowie die Klassenführung mithilfe spezieller Fragebögen ein. Zusätzlich wurde die Unterrichtsqualität einer Doppelstunde durch externe Beobachterinnen und Beobachter mittels hoch inferenter Ratingitems beurteilt. Die inhaltsbezogenen Kenntnisse zum Themenbereich Schwimmen und Sinken und das Interesse der Lernenden am naturwissenschaftlichen Arbeiten wurden in einer Prä- und Postbefragung vor und nach den Unterrichtseinheiten erhoben.

Im Rahmen der Studie zeigten sich positive Effekte der kognitiven Aktivierung auf motivationale wie kognitive Lernziele. So konnte der Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler zum

Themenbereich Schwimmen und Sinken durch das von den Beobachtenden eingeschätzte Potenzial zur kognitiven Aktivierung vorhergesagt werden (Fauth et al., 2014a). Positive Zusammenhänge wurden zudem zwischen der aus Sicht der Lernenden eingeschätzten kognitiven Aktivierung und der Entwicklung des naturwissenschaftlichen Interesses deutlich (Fauth et al., 2014b).

Inwieweit auch leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler von kognitiv aktivierenden Lehr- und Lernformaten profitieren, untersuchten Zohar und Dori (2003) anhand von vier Studien zum naturwissenschaftlichen Lernen. Im Rahmen der einzelnen Studien wurden mit Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe Unterrichtsprojekte durchgeführt, die auf die Förderung der naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen abzielten. Nach Zohar und Dori (2003) fordern Lehrkräfte leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler seltener kognitiv heraus, um eine Überlastung zu vermeiden. Anhand der Studienergebnisse konnte jedoch belegt werden, dass sowohl leistungsstarke als auch leistungsschwächere Lernende von den kognitiv aktivierenden Lernumgebungen profitieren und ihre naturwissenschaftlichen Kompetenzen weiterentwickeln. Eine differenzielle Wirkung der eingesetzten kognitiv anspruchsvollen Aufgabenformate konnte somit nicht bestätigt werden.

3.3 Aktivieren und Strukturieren im LERNnetz

Die empirischen Befunde belegen die Lernwirksamkeit der kognitiven Aktivierung und der inhaltlichen Strukturierung. Über die Entwicklung von Lehr- Lernarrangements gilt es nun, diese Erkenntnisse der Grundlagenforschung für die unterrichtliche Praxis nutzbar zu machen (vgl. Prediger et al., 2012; Reusser, 2011). In einem LERNnetz werden daher gezielt Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen integriert, um den Unterrichtsgegenstand für die Lernenden besser lern- und verstehbar zu machen und sie zum Nachdenken und Erforschen anzuregen (s. Tab. 10).

Tab. 10: Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen im LERNnetz

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (KA) (Adamina et al., 2017)		Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (IS) (Adamina et al., 2017)	
KA 1	Vorhandene Vorstellungen erschließen	IS 1	Sequenzieren
KA 4	Anwendung von Konzepten ermöglichen	IS 2	Zielklarheit schaffen
KA 7	Herausfordernde Aufgaben stellen	IS 3	Auf sprachliche Klarheit achten
		IS 6	Veranschaulichen

Die Aufteilung in Maßnahmen der Aktivierung und der Strukturierung ist dabei allerdings „als ein (lediglich) heuristisches Mittel zu betrachten [...]“ (Möller, 2016, S. 58). Auch Kleickmann (2012) weist darauf hin, dass eine klare Trennung beider Konstrukte kaum möglich ist. So können auch inhaltlich strukturierende Maßnahmen aktivierend wirken und umgekehrt. Es ist demnach davon auszugehen, dass vor allem durch die Berücksichtigung und Kombination

beider Merkmalsbereiche eine adäquate Form der Lernunterstützung erreicht werden kann (Gold, 2015; Möller, 2016).

Der Aufbau eines LERNnetzes liefert gewissermaßen eine didaktische Vorlage, die in Abhängigkeit vom jeweiligen Unterrichtsthema lerngegenstandsspezifisch konkretisiert werden muss (s. Abb. 10).

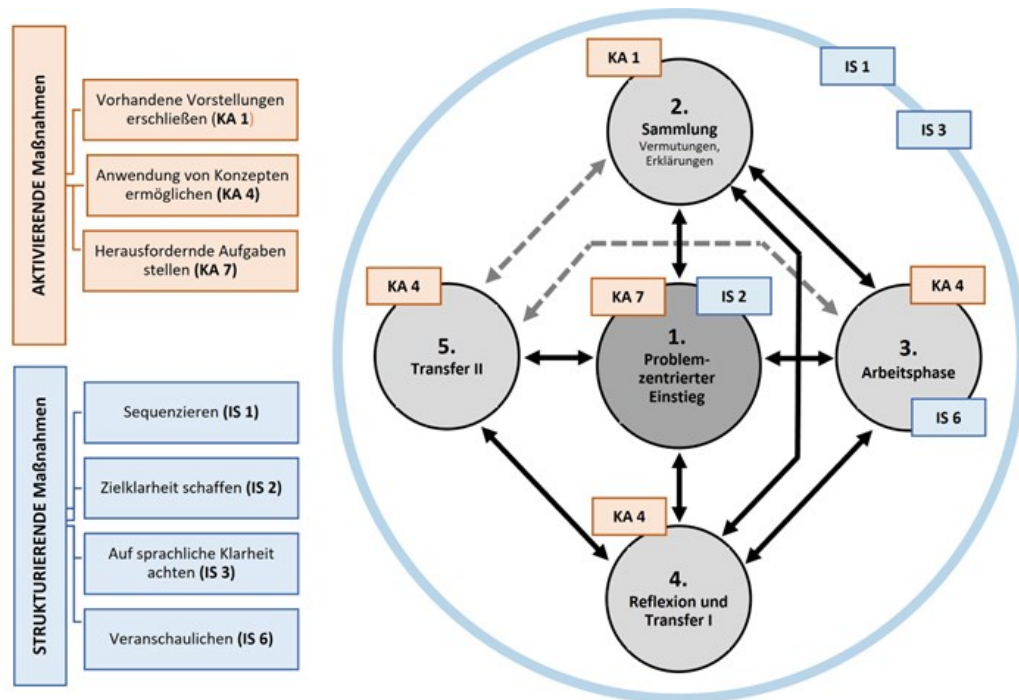


Abb. 10: Strukturierende und aktivierende Lernunterstützungsmaßnahmen in einem LERNnetz

Die problemzentrierte Einstiegsphase dient der Aufmerksamkeitsfokussierung und soll die Schülerinnen und Schüler anregen, sich mit der Fragestellung auseinanderzusetzen und diese zu fokussieren (*Herausfordernde Aufgaben stellen / Zielklarheit schaffen*). Die Vermutungen, Ideen und Lösungsansätze der Lernenden werden in der Sammlungsphase erhoben und dokumentiert (*Vorhandene Vorstellungen erschließen*). In der Erarbeitungsphase werden die grundlegenden Hintergründe durch geeignete Repräsentationsformen veranschaulicht (*Veranschaulichen*). Zudem sind die einzelnen Phasen eines LERNnetzes direkt oder indirekt miteinander vernetzt (*Sequenzieren*). Die Bearbeitung und vor allem der Vergleich der einzelnen Aufgaben und Versuche soll es den Lernenden ermöglichen, Zusammenhänge und Analogien zu erkennen sowie Erklärungen, Gesetzmäßigkeiten und Funktionsprinzipien ableiten und übertragen zu können (*Anwendung von Konzepten ermöglichen*). Phasenübergreifend wird zudem darauf geachtet, klare, sach- und lernendengemäße Formulierungen zu verwenden (*Auf sprachliche Klarheit achten*).

Auf dieser Basis wird im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit ein Lehr-Lernarrangement zur Funktionsweise von Zahnrad- und Zugmittelgetrieben entwickelt (s. Kap. 5). In Anbetracht der erwartbar heterogenen inhaltsspezifischen sowie motivational-affektiven Lernvoraussetzungen werden für dieses LERNnetz zum Kurbelkarussell durch Hinzunahme

weiterer Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen drei unterschiedliche Grade der Lernunterstützung generiert. Diese Anpassung der Lernunterstützung an die Lern- und Leistungsvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler stellt ein zentrales Element in der Konzeption des Scaffoldings dar. In einem systematischen Review konnten van de Pol, Volman und Beishuizen (2010) drei charakteristische Merkmale des Scaffoldings identifizieren. Neben der *individuellen und situationalen Passung* (Contingency) zeichnen sich Scaffolding-Prozesse demnach durch die *allmähliche Verringerung* (Fading) und die *Rückgabe der Verantwortung* (Transfer of responsibility) aus. Anhand dieser elementaren Merkmale wird deutlich, dass die Lernunterstützung durch Scaffolding nur auf bestimmte Zeit angelegt ist. In einem LERNetz werden Scaffoldingmaßnahmen jedoch fest verankert. Trotz weitreichender Überschneidungen ist die Lernunterstützung durch LERNnetze daher nicht per se mit der Lernunterstützung durch Scaffolding gleichzusetzen.

Über die Entwicklung des LERNnetzes mit unterschiedlichen Unterstützungsgraden und die Analyse der jeweils initiierten Lernprozesse kann jedoch konkretisiert werden, inwieweit es erforderlich ist, das Maß an Unterstützung und Verantwortungsübernahme zu variieren. Auf dieser Grundlage können dann konkrete Hinweise und Handlungsempfehlungen zur adaptiven Unterrichtsgestaltung abgeleitet werden, die den Prinzipien des Scaffoldings nachkommen.

4 Zum Forschungsprojekt LERNnetze

Im Forschungsprojekt LERNnetze werden die in der Unterrichtspraxis auftretenden fachdidaktischen Herausforderungen im Bereich des frühen technischen Lernens mit den Erkenntnissen der Lehr-Lernforschung verknüpft. Ziel ist es, über die Entwicklung eines Lehr-Lernarrangements mit unterschiedlichen Lernunterstützungsgraden und die Erforschung der jeweils initiierten Lernprozesse sowohl Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis als auch Einblicke in die Bedingungsbeziehungen technikkbezogener Lernprozesse zu gewinnen (s. Abb. 11). Ansätze, die in dieser Weise Forschung und praxisrelevante Unterrichtsentwicklung miteinander verbinden, werden im deutschsprachigen Raum als *Entwicklungsforschung* bezeichnet (Prediger et al., 2012). Im internationalen Diskurs hat sich die Bezeichnung *Design-Based Research* etabliert (vgl. Barab & Squire, 2004).

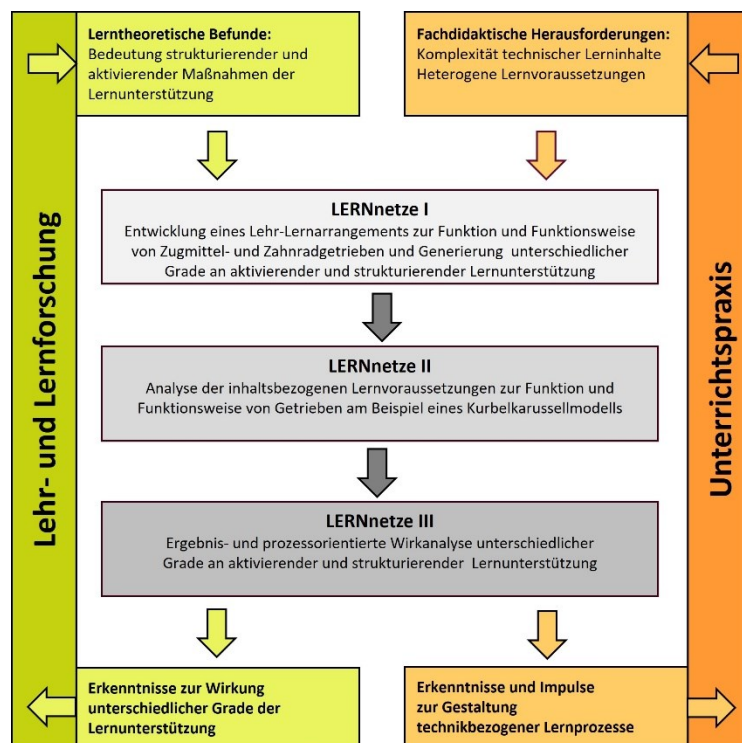


Abb. 11: Übersicht über das Entwicklungsforschungsprojekt LERNnetze und die zugehörigen Teilstudien

„Didaktisch-psychologische Theorie und unterrichtliche Praxis erfordern sich gegenseitig“ – anhand dieser Aussage Hans Aebli (1961, S. 12) lässt sich die hier vorgenommene Verknüpfung von Forschung und Entwicklungsarbeit treffend charakterisieren. Die Erkenntnisse der Grundlagenforschung werden dabei nicht nur eindimensional auf die Unterrichtspraxis übertragen. Über die theoriebasierte Entwicklung von Lernumgebungen und die forschungsgeleitete Analyse der resultierenden Lernprozesse werden Theorie und Praxis vielmehr wechselseitig aufeinander bezogen (vgl. Hußmann, Thiele, Hinz, Prediger & Ralle, 2013). Auf diesem Wege können einerseits praxisrelevante Kenntnisse zur Gestaltung von Lehr-Lernarrangements abgeleitet, andererseits aber auch theoretische Einsichten erlangt werden, die neue Perspektiven für die Grundlagenforschung eröffnen.

4.1 Spezifika und Zielsetzungen der Entwicklungsforschung

In den letzten Jahren werden die Lehr-Lernwissenschaften verstärkt als *angewandte Wissenschaften* verstanden „zu deren Kerngeschäft es auch gehört, mit den Mitteln wissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung konstruktiv zu einer Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis beizutragen“ (Prediger et al., 2012, S. 452).

Unterrichtsforschung sollte somit nicht nur kausales Erklärungswissen generieren, sondern auch Reflexions- und Handlungswissen für die unterrichtliche Praxis hervorbringen (Reusser, 2011). Auf diese Weise kann die im Bildungsbereich bestehende Kluft zwischen Theorie und Praxis vermindert werden. So verdeutlicht Einsiedler (2011), dass die universitäre Grundlagenforschung überwiegend auf den Erkenntnisgewinn ausgerichtet ist, während sich im Bereich der Bildungspraxis die Frage nach dem Nutzen aus der Forschung stellt. Die Entwicklungsforschung schließt diese Lücke und kombiniert *Erkenntnisforschung* und *Nutzenforschung*. Im Sinne einer *nutzenorientierten Grundlagenforschung* sollen hier sowohl theoretische Erkenntnisse erzielt als auch evidenzbasierte Empfehlungen für didaktisches Handeln abgeleitet werden (Einsiedler, 2011).

Kahlert und Zierer (2011) nutzen zur Veranschaulichung dieser unterschiedlichen Ansätze die von Flechsig (1991) beschriebenen didaktischen Modelle. *Praxisbeschreibungen* liefern demnach konkrete Handlungshinweise zur Gestaltung von Unterricht, werden allerdings ohne theoretische Fundierung aus Einzelsituationen abgeleitet. *Kategorialmodelle* bilden wiederum die wissenschaftlich abgesicherten Ansprüche ab, ohne allerdings Hinweise zur unterrichtlichen Umsetzung zu beinhalten. *Arbeitsmodelle* hingegen verbinden diese beiden Positionen, da sie auf Basis theoretischer Befunde Empfehlungen für die unterrichtliche Praxis hervorbringen.

Während sich die *Didaktische Entwicklungsforschung* auf eher allgemeine erziehungswissenschaftliche Fragen zur Unterrichtsgestaltung bezieht, ist mit der *Fachdidaktischen Entwicklungsforschung* immer auch die Spezifizierung und Strukturierung eines fachlichen Lerngegenstandes verbunden (Prediger et al., 2012).

Die Notwendigkeit zur Weiterentwicklung des Unterrichts ergibt sich vor allem aus der zunehmenden Heterogenität der Lernenden (Kunter & Ewald, 2016). Um den heterogenen Lernvoraussetzungen und -bedürfnissen der Schülerinnen und Schüler gerecht werden zu können, muss der Unterricht weiterentwickelt und individualisiert werden. Hierzu bedarf es unter anderem auch konkreter Entwicklungsforschungsprojekte, in deren Rahmen Lehr-Lernprozesse theoriebasiert gestaltet, erprobt und im Hinblick auf die individuelle Angebotsnutzung evaluiert werden (vgl. Reusser, 2011). Auf diese Weise kann konkretisiert werden, inwieweit die Schülerinnen und Schüler gleichermaßen von einem Unterrichtsangebot profitieren und welche Maßnahmen zur individuellen Weiterentwicklung des Unterrichts erforderlich erscheinen.

Da gemäß Kunter und Ewald (2016) davon auszugehen ist, dass der steigenden Heterogenität der Schülerschaft durchaus durch die Variation der Interaktionsqualität entsprochen werden kann, sollte insbesondere die differenzielle Wirkung der tiefenstrukturellen Unterrichtsmerkmale näher untersucht werden. So deuten die bisherigen Befunde darauf hin, dass vor allem leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler von einem hohen Maß an Unterrichtsqualität profitieren. Es erscheint aber auch relevant zu überprüfen, „ob im

Unterricht ein ‚immer mehr = immer besser‘ tatsächlich zutrifft [...]“ (Kunter & Ewald, 2016, S. 25). Im Bereich des technischen Lernens kommt dem Aspekt der differenziellen Wirkung des Unterrichts aufgrund der heterogenen inhaltsbezogenen und motivational-affektiven Lernvoraussetzungen eine besondere Bedeutung zu. Im Rahmen des Entwicklungsforschungsprojektes LERNnetze wird daher der Frage nachgegangen, welches Maß an kognitiv aktivierender und inhaltlich strukturierender Lernunterstützung sich bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen als lernwirksam erweist. Die Forschungsarbeit folgt dabei den Prinzipien des Forschungs- und Nachwuchskollegs für Fachdidaktische Entwicklungsforschung der Technischen Universität Dortmund. Im Folgenden werden daher zunächst die Spezifika der Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell näher betrachtet.

4.2 Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell

Das interdisziplinäre Forschungs- und Nachwuchskolleg Fachdidaktische Entwicklungsforschung zu diagnosegeleiteten Lehr-Lernprozessen (FUNKEN) wurde im Jahr 2010 an der Technischen Universität Dortmund gegründet, „um den [dort bereits bestehenden] Ansatz einer [...] theoriebezogenen und empiriegestützten, aber der Unterrichtsentwicklung verpflichteten Fachdidaktik weiter zu stärken [...]“ (Prediger et al., 2012, S. 453).

Charakteristisch für die Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell ist zum einen die Orientierung am Lerngegenstand und zum anderen die Orientierung am Lernprozess (s. Abb. 12). Zudem werden Erforschung und Entwicklung wie auch in anderen Ansätzen der empirischen Entwicklungsforschung durch mehrfach zu durchlaufende iterative Zyklen miteinander vernetzt.

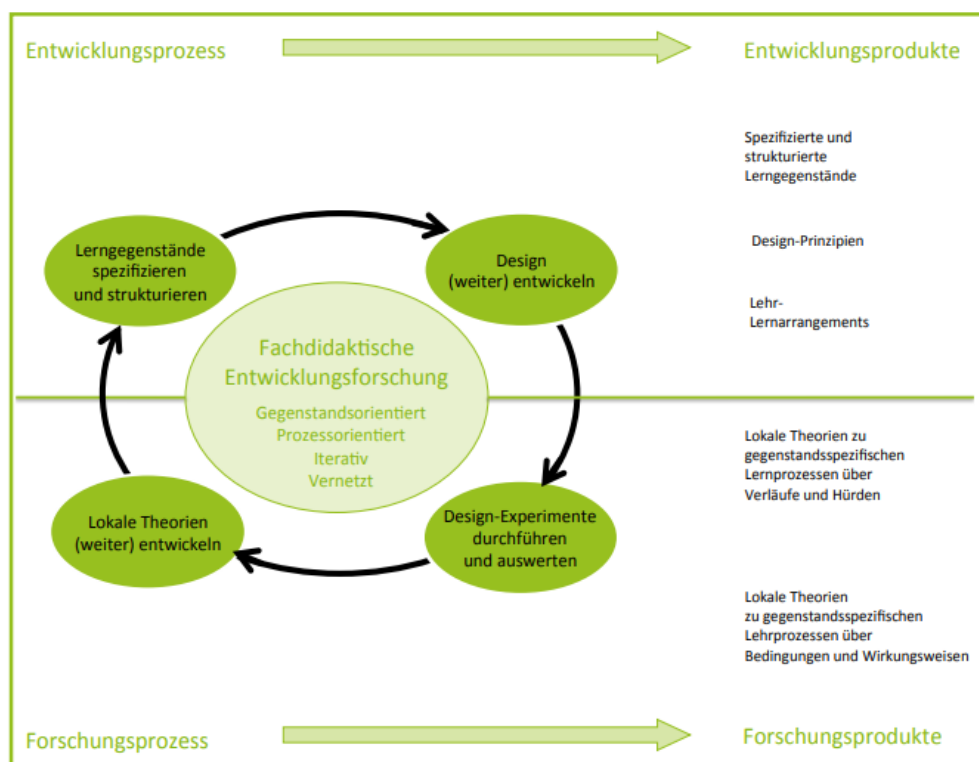


Abb. 12: Zyklus der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell (Prediger et al., 2012, S. 453)

„Gegenstandsorientiert, prozessorientiert, iterativ und vernetzt“ so fassen Prediger et al. (2012, S. 453) die Spezifika des Dortmunder Modells zusammen, die sich auch in den vier Arbeitsbereichen widerspiegeln (s. Abb. 12).

Hußmann et al. (2013) betonen, dass die im Zyklus der Entwicklungsforschung relevanten Arbeitsbereiche keine chronologischen und für sich abgeschlossenen Arbeitsschritte darstellen. In der Regel gestalten sich die Übergänge fließend, wobei einzelne Schritte durchaus mehrfach durchlaufen werden können. Auch der Ausgangspunkt der Forschungsprojekte kann dementsprechend unterschiedlich verortet sein. Vielfach wird allerdings im Bereich der Entwicklung neuer Lehr-Lernarrangements angesetzt, was gemäß Prediger et al. (2012) dem innovierenden Charakter des Design-Based Research entspricht.

Kennzeichnend für die Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell ist dabei die differenzierte Auseinandersetzung mit dem jeweiligen Lerngegenstand (*Lerngegenstände spezifizieren und strukturieren*). Auf dieser Basis und unter Einbezug empirischer und theoretischer Befunde werden konkrete Lehr-Lernarrangements erarbeitet (*Design (weiter)entwickeln*). Die Erprobung und Überprüfung der Unterrichtsarrangements erfolgt in der Regel in iterativen Forschungszyklen (*Design-Experimente durchführen und auswerten*). Der Fokus ist dabei auf die Lehr-Lernprozesse gerichtet. Anhand der Befunde können Hürden im Lernprozess der Schülerinnen und Schüler identifiziert und Optimierungen am Lehr-Lernarrangement vorgenommen werden, die es dann erneut zu überprüfen gilt. Erweist sich ein Unterrichtsdesign schließlich als tragfähig, können tiefergehend auch die Wirkungsweisen und -bedingungen des Lehr-Lernarrangements analysiert werden. Die so entstehenden *lokalen Lehr-Lerntheorien* stellen gemäß Prediger et al. (2012) die Grundlage für den nächsten Zyklus im Entwicklungsforschungsprozess dar (*Lokale Theorien (weiter)entwickeln*).

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Arbeitsschritte näher beschrieben und die jeweilige Umsetzung im Forschungsprojekt LERNnetze vorgestellt.

4.2.1 Lerngegenstände spezifizieren und strukturieren

Die unter Berücksichtigung der Lernendenperspektive vorzunehmende Konkretisierung und Aufbereitung der Lerngegenstände knüpft an die Konzeption der *Design Science* nach Wittmann (1995) an. Hußmann et al. (2013) betonen, dass die Spezifizierung und Strukturierung der Lerngegenstände im Dortmunder Modell nicht als gegeben hingenommen, sondern im Zuge des Entwicklungs- und Forschungsprozesses kontinuierlich angepasst werden. Im Rahmen der Spezifizierung wird dabei Bezugnehmend auf die bisherige Theoriebildung festgelegt, welche Lerninhalte ausgewählt und vertieft werden sollen (Prediger et al., 2012). Zur Strukturierung gehört es, die Lerninhalte auf geeignete Weise zu sequenzieren und didaktisch zu reduzieren. Zudem gilt es, unterstützende Methoden und Repräsentationsformen auszuwählen. Im vorliegenden Forschungsprojekt wird die Strukturierung der fachlichen Lerninhalte durch den problem- und transferorientierten Aufbau eines LERNnetzes bestimmt (s. Kap. 5.1.2). Zur weiteren Spezifizierung des Lerngegenstandes werden in der Teilstudie LERNnetze II die inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen von Grundschülerinnen und Grundschülern zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben erhoben (s. Kap. 6). Die hier ermittelten Ergebnisse fließen allerdings nicht direkt in die Entwicklung des Lehr-

Lernarrangements ein, sondern werden im Kontext der Teilstudie LERNnetze III genutzt, um den individuellen Lernzuwachs der Schülerinnen und Schüler bestimmen zu können (s. Kap. 7).

4.2.2 Design (weiter)entwickeln

Die Entwicklung der Lehr-Lernarrangements ist eng mit der Strukturierung des jeweiligen Lerngegenstandes verknüpft. Prediger et al. (2012) bezeichnen diesen Arbeitsschritt als kreativen Akt, da Unterrichtsmethoden und -prinzipien, Sozialformen, Lehr-Lernmittel und Aufgabenstellungen hier theoriebasiert sowie erkenntnisorientiert ausgewählt, neu kombiniert oder gestaltet werden. Im Laufe des Erprobungsprozesses erfolgt dann die ebenso kreative Ausdifferenzierung und Weiterentwicklung des Unterrichtsdesigns.

Im Forschungsprojekt LERNnetze wird die Entwicklung des Lehr-Lernarrangements zum Kurbelkarussell in der Teilstudie LERNnetze I vorgenommen. Auf Basis der theoriebasiert entwickelten Struktur eines LERNnetzes werden durch additive Stufung zusätzlicher Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen drei unterschiedliche Grade der Lernunterstützung generiert und lerngegenstandsspezifisch konkretisiert (s. Kap. 5.3).

4.2.3 Design-Experimente durchführen und auswerten

Die prozessorientierte Erprobung und Untersuchung der entwickelten Lehr-Lernarrangements gehört zu den charakteristischen Merkmalen der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. In sogenannten Design-Experimenten wird analysiert, welche Lernprozesse durch die Unterrichtsettings initiiert werden (vgl. Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble, 2003). Auf diese Weise können die Lernumgebungen weiterentwickelt und an die Bedürfnisse der Lernenden angepasst werden. In den ersten Erhebungszyklen wird zumeist überprüft, inwieweit die Aufgabenstellungen von den Schülerinnen und Schülern verstanden und in intendierter Weise genutzt werden. Darauf aufbauend schließt die Analyse der Zielerreichung an (Prediger et al., 2012).

Diese Vorgehensweise wird auch im Forschungsprojekt LERNnetze umgesetzt. Die Erprobung und Weiterentwicklung des Lehr-Lernarrangements mit unterschiedlichen Unterstützungsgraden wird im Rahmen der Teilstudie LERNnetze I in iterativen Erhebungszyklen vorgenommen (s. Kap. 5.4). In der Teilstudie LERNnetze III erfolgt die ergebnisorientierte Analyse des inhaltspezifischen Lernzuwachses in einem Pre-/Post-/Follow-up-Kontrollgruppendesign. Das Lernerleben der Schülerinnen und Schüler wird prozessorientiert direkt nach der Intervention erhoben.

Wie im Dortmunder Modell üblich finden die Design-Experimente nicht im regulären Klassenunterricht, sondern in Kleingruppen statt. Unter diesen Bedingungen kann „zunächst einmal eine erfolgreiche Erprobung im überschaubareren Rahmen sicher gestellt werden [...]“ (Prediger et al., 2012, S. 455). Zudem lassen sich die individuellen Lernprozesse auf diese Weise besser beobachten und begleiten. Die Studienleitung übernimmt dabei typischerweise sowohl die Lehr- als auch die Forschungstätigkeit.

Dem explorativen Charakter der Entwicklungsforschung entsprechend erfolgt die Auswertung der Design-Experimente zumeist mit qualitativen Verfahren (Prediger et al., 2012). Auch im Rahmen der Teilstudie LERNnetze III werden das Lernerleben sowie die inhaltspezifischen

Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler mittels qualitativer Inhaltsanalysen ermittelt. In der Teilstudie LERNnetze I werden die im Kontext der teilstandardisierten Unterrichtsbeobachtung ermittelten Einschätzungen quantitativ ausgewertet.

4.2.4 Lokale Theorien zu Lehr-Lernprozessen (weiter)entwickeln

Die über die Design-Experimente erhobenen Befunde „bilden eine erste Schicht einer empirisch abgesicherten lokalen Lehr-Lern-Theorie [...]“ (Prediger et al., 2012, S. 455). Auf Grundlage dieser Theorie können Veränderungen am Lehr-Lernarrangement oder auch am Lerngegenstand selbst vorgenommen werden (Hußmann et al., 2013). In weiteren Erhebungszyklen werden die Theorien dann erneut überprüft und ausdifferenziert.

Auf Ebene der Unterrichtsentwicklung entstehen so erprobte Lernumgebungen, die nach entsprechendem Transfer auf die Klassenebene in der Praxis eingesetzt werden können. Zudem werden im Zuge der Entwicklungsforschung neue Design-Prinzipien entworfen und Lerngegenstände spezifiziert und strukturiert. Auch diese *Entwicklungsprodukte* liefern wesentliche fachdidaktische Impulse zur Gestaltung von Unterricht.

Auf Forschungsebene resultieren zunehmend empirisch abgesicherte lokale Theorien zu den Verläufen und Hürden sowie zu den Bedingungen und Wirkungsweisen der untersuchten Lehr-Lernprozesse (Prediger et al., 2012). Diese *Forschungsprodukte* sind allerdings kontextbezogen und lassen sich nicht ohne Weiteres auf andere Lerngegenstände übertragen. Aufgrund der zumeist geringen Probandenzahl können zudem häufig nur eingeschränkte Aussagen zur Repräsentativität sowie zur statistischen Signifikanz der Ergebnisse getroffen werden. Entwicklungsforschungsermittelte Befunde sind somit nicht per se verallgemeinerbar, liefern aber konkrete Einblicke in die individuellen Lernprozesse und tragen auf diese Weise zur Theorieentwicklung bei (Prediger et al., 2012). So können auf Basis der lokalen Lehr-Lern-Theorien Hypothesen für breiter angelegte quantitative Wirkstudien abgeleitet werden.

In der Teilstudie LERNnetze III wird bewusst dieser explorative und hypothesengenerierende Forschungsansatz verfolgt. Konkretisiert werden soll, welche Unterschiede sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung in den Lernergebnissen und im Lernerleben von Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen zeigen.

5 LERNnetze I: Entwicklung eines Lehr-Lernarrangements mit unterschiedlichen Graden der Lernunterstützung

Im Rahmen der Teilstudie LERNnetze I wurde ein spezielles Lehr-Lernarrangement zur Funktionsweise von Zugmittel- und Zahnradgetrieben entwickelt.¹ Für dieses *LERNnetz zum Kurbelkarussell* wurden im Zuge des Entwicklungsprozesses durch additive Stufung von Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen drei unterschiedliche Grade der Lernunterstützung generiert (s. Abb. 13).

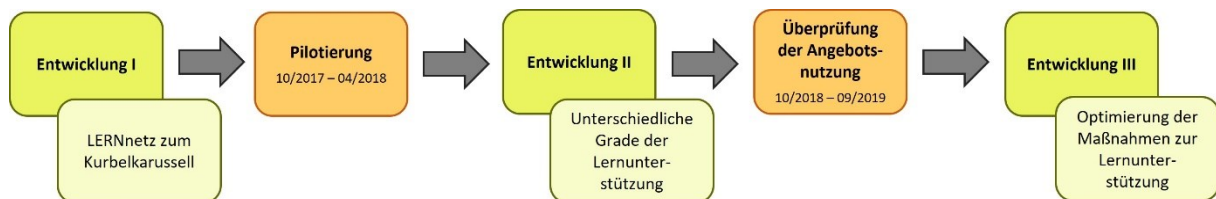


Abb. 13: Ablauf der Teilstudie LERNnetze I im Überblick

Die jeweils ausgewählten Unterstützungsmaßnahmen wurden zunächst lerngegenstands-spezifisch konkretisiert (s. Kap. 5.3). In iterativen Erhebungszyklen erfolgte daran anschließend die Erprobung der Maßnahmen und die Überprüfung der Angebotsnutzung (s. Kap. 5.4). Auf Basis der erzielten Befunde wurde in einem letzten Entwicklungsschritt die Optimierung der eingesetzten Lernunterstützungsmaßnahmen vorgenommen.

Im Folgenden wird näher auf die Spezifika des Lehr-Lernarrangements eingegangen.

5.1 Das LERNnetz zum Kurbelkarussell

Im Mittelpunkt des im Kontext dieser Arbeit entwickelten LERNnetzes steht ein Blackbox-Karussellmodell mit einer bedruckten Karussellscheibe und einer Kurbel (Dölle, 2021b). Der Korpus dieses sogenannten *Kurbelkarussells* besteht aus einem Karton mit aufklappbarem Deckel (s. Abb. 14).



Abb. 14: Das Kurbelkarussell als Blackbox und Getriebemodelle

¹ Einige Inhalte dieses Kapitels wurden bereits im Rahmen der Beiträge „Technik erkunden und analysieren“ (Dölle, 2021b) und „LERNnetze - Lernunterstützung im technischen Sachunterricht“ (Dölle, 2021a) veröffentlicht.

Über die Auseinandersetzung mit diesem einfachen mechanischen Gegenstand sollen die Lernenden unterstützt werden, die Funktion und die Funktionsweise von Riemen- und Zahnradgetrieben zu entdecken und auf Geräte und Maschinen aus der Alltagswelt zu übertragen. Die Funktionsprinzipien des Karussells bleiben den Schülerinnen und Schülern allerdings vorerst verborgen. Angeregt durch die Blackbox gilt es im Rahmen des Unterrichts mithilfe verschiedener Getriebemodelle herauszufinden, wie die Bewegung von der Kurbel an das Karussell *weitergeleitet* wird und wie die *Drehrichtung* und die *Drehgeschwindigkeit* des Karussells verändert werden können.

5.1.1 Spezifizierung des Lerngegenstandes

Als Getriebe werden die Übertragungselemente in Geräten und Maschinen bezeichnet. Sie leiten die von den Antriebselementen ausgehende Bewegung an die Arbeitselemente weiter (Ullrich & Klante, 1994). Durch ein Getriebe kann zudem die *Drehzahl* verändert, die *Drehrichtung* umgekehrt, die *Drehebene* gewechselt und eine *Bewegungsart* in eine andere umgewandelt werden. Aus sachunterrichts- und technikdidaktischer Perspektive stellt die Auseinandersetzung mit der Funktion und Funktionsweise von Getrieben ein ergiebiges, bedeutsames und zugängliches Inhaltsfeld dar (vgl. Köhnlein, 2012). Im Sinne einer didaktischen Reduktion sollten dabei allerdings Getriebeformen und -funktionen ausgewählt werden, die für Kinder durchschaubar sind (Dölle, 2021b). Zugmittel- und Zahnradgetriebe bieten sich hier in besonderer Weise an, da die grundlegenden technischen Funktionsprinzipien mithilfe entsprechender Materialien und Modelle kind- und sachgerecht veranschaulicht, und von den Lernenden handelnd nachvollzogen werden können. Zudem ergeben sich Einblicke in die Funktionsweisen von Geräten und Maschinen, die Kindern aus der täglichen Lebenswelt bekannt sind. Die Handbohrmaschine, das Handrührgerät, die Brotmaschine oder auch die Salatschleuder verfügen über Zahnradgetriebe. Häufig sind diese Geräte jedoch als Blackbox konstruiert und die Übertragungselemente und Funktionsprinzipien daher nicht unmittelbar ersichtlich.

5.1.1.1 Zur Funktionsweise von Zahnradgetrieben

Bei einem Zahnradgetriebe werden Bewegungen durch das Ineinandergreifen der Zähne weitergeleitet. Liegen die Wellen dabei parallel zueinander, wie bei der manuell betriebenen Brotmaschine oder der Salatschleuder, spricht man von einem *Stirnradgetriebe*. Manuell betriebene Handbohrmaschinen oder Handrührgeräte verfügen hingegen zumeist über ein *Winkelgetriebe*. Die Wellen liegen hier rechtwinklig zueinander. Auf diese Weise kann die Drehebene verändert werden (Ullrich & Klante, 1994).

Die Drehrichtung des Arbeitselements wird bei einem Zahnradgetriebe über die Anzahl der Zahnräder variiert. Bei einer geraden Anzahl von Zahnrädern wird die Drehrichtung verändert, bei einer ungeraden Anzahl von Zahnrädern wird die Drehrichtung beibehalten (Ullrich & Klante, 1994).

Die Änderung der Drehgeschwindigkeit oder Drehzahl eines Arbeitselements wird durch Variation der Radumfänge erreicht. Das Verhältnis der Drehzahlen zweier Wellen wird als

Übersetzung bezeichnet. Zu unterscheiden sind die Übersetzung ins Schnelle und ins Langsame sowie die gleichbleibende Übersetzung (s. Tab. 11).

Tab. 11: Übersetzungsverhältnisse beim Zahnradgetriebe (Aus: Dölle, 2021b, S. 165)

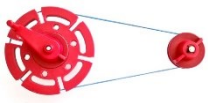
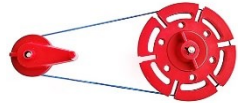
Übersetzung ins Schnelle	Übersetzung ins Langsame
 Antriebsrad: 40 Zähne ($d = 5 \text{ cm}$) Abtriebsrad: 10 Zähne ($d = 1,25 \text{ cm}$) Eine Umdrehung des Antriebsrades bewirkt vier Umdrehungen des Abtriebsrades. Übersetzungsverhältnis: 1:4	 Antriebsrad: 20 Zähne ($d = 2,5 \text{ cm}$) Abtriebsrad: 40 Zähne ($d = 5 \text{ cm}$) Eine Umdrehung des Antriebsrades bewirkt eine halbe Umdrehung des Abtriebsrades. Übersetzungsverhältnis: 2:1

5.1.1.2 Zur Funktionsweise von Zugmittelgetrieben

Zu den Zugmittelgetrieben zählen das Ketten- und das Riemengetriebe. Sie werden eingesetzt, wenn Bewegungen über größere Distanz weitergeleitet werden müssen. Bei einem Kettengetriebe werden Kettenräder (Kettenblatt und Ritzel) über eine Kette als Zugmittel *formschlüssig* verbunden. Bei einem Riemengetriebe werden die Riemenscheiben *kraftschlüssig* mit einem Riemen verbunden (Ullrich & Klante, 1994).

Die Drehrichtung wird hier über die Kreuzung oder Öffnung des Riemens variiert. Bei offenem Riemetrieb bleibt die Drehrichtung gleich, bei gekreuztem Riemetrieb wird die Drehrichtung umgekehrt. Wie beim Zahnradgetriebe wird eine Änderung der Drehzahl sowohl beim Ketten- als auch beim Riemengetriebe über die Variation der Radumfänge erreicht (s. Tab. 12)

Tab. 12: Übersetzungsverhältnisse beim Zugmittelgetriebe (Aus: Dölle, 2021b, S. 165)

Übersetzung ins Schnelle	Übersetzung ins Langsame
 Antriebsrad: $d = 5 \text{ cm}$ Abtriebsrad: $d = 2,5 \text{ cm}$ Eine Umdrehung des Antriebsrades bewirkt zwei Umdrehungen des Abtriebsrades Übersetzungsverhältnis: 1:2	 Antriebsrad: $d = 2,5 \text{ cm}$ Abtriebsrad: $d = 5 \text{ cm}$ Eine Umdrehung des Antriebsrades bewirkt eine halbe Umdrehung des Abtriebsrades. Übersetzungsverhältnis: 2:1

Während einigen Kindern das Kettengetriebe durch das Fahrrad bereits bekannt sein dürfte, ist die Funktionsweise von Riemengetrieben in der Lebenswelt nur selten direkt ersichtlich. Sie werden unter anderem in Wasch- oder Nähmaschinen genutzt. Auch die Lichtmaschine in Kraftfahrzeugen wird über ein Riemengetriebe angetrieben.

5.1.1.3 Das Kurbelkarussell – Funktionsweise und didaktische Hintergründe

Auch beim Kurbelkarussellmodell sorgt ein Getriebe dafür, dass die Bewegung weitergeleitet wird und die Drehzahl sowie die Drehrichtung von Kurbel und Karussell variiert werden können. Grundsätzlich könnten hier sowohl ein Riemen- als auch ein Zahnradgetriebe genutzt werden. Da es beim Riemengetriebe jedoch über die Variation des Riemens recht schnell und unauffällig gelingt, die Drehzahl- und Drehrichtungseinstellungen zu verändern, wurde diese Getriebevariante ausgewählt (s. Abb. 15). Das LERNnetz zum Kurbelkarussell umfasst aber auch Aufgaben zum Zahnradgetriebe (s. Kap. 5.1.2).

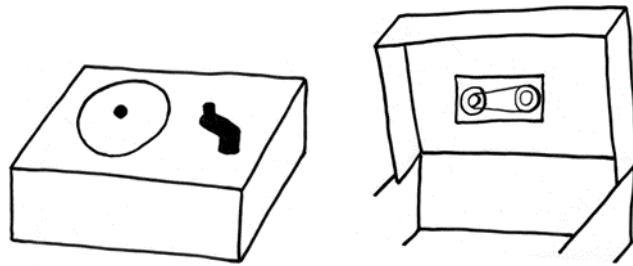


Abb. 15: Skizzen vom geschlossenen und geöffneten Kurbelkarussell (Aus: Dölle, 2021b, S. 166)

Für den Bau eines Kurbelkarussells eignen sich die Materialien der verschiedenen Baukastensysteme wie zum Beispiel Fischertechnik oder LEGO. Die hier genutzten Bauteile (Kurbel, Wellen, Bausteine und doppelte Riemenscheiben) stammen aus dem Baukastenset „Erste einfache Maschinen“ von LEGO.

Anhand des Kurbelkarussellmodells kann der Aufbau von technischen Geräten und Maschinen exemplarisch verdeutlicht werden. Der *Antrieb*, das *Getriebe* und die *Arbeitselemente* können anschließend auch bei anderen Geräten und Maschinen identifiziert und im Hinblick auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede verglichen werden (vgl. Dölle, 2021b). Das Karussell eignet sich hier in besonderer Weise, da es den Kindern von Besuchen auf dem Spielplatz, dem Jahrmarkt oder auch als Spielzeug bekannt ist und sie zumeist positive Erlebnisse damit verbinden. Ausgewählt wurde das Kurbelkarussell aber vor allem, um sowohl Jungen als auch Mädchen einen Zugang zu dem Lerngegenstand zu bieten. So hat sich gezeigt, dass Jungen eher die technischen Funktionszusammenhänge fokussieren, während sich das Interesse der Mädchen auf die Zusammenhänge zwischen Mensch und Technik richtet (Hallström et al., 2015; Kaiser, 1986). Es bietet sich daher an, einen Lerngegenstand auszuwählen, der sowohl genuin technische, aber auch vielperspektivische Zugänge bietet und die unterschiedlichen soziokulturellen Bedingungsbeziehungen berücksichtigt (vgl. Möller, 1998; Ropohl, 2009; Zolg, 1997). Auf diese Weise soll zudem gewährleistet werden, dass Mädchen der technikbezogenen Lernsituation möglichst offen und unbefangen begegnen und die Stereotype in Bezug auf Gender und Technik nicht aktiviert werden (vgl. Gilbert, 2021).

5.1.2 Strukturierung des Lerngegenstandes

Dem grundlegenden Aufbau eines LERNnetzes entsprechend erfolgt die Strukturierung des Lehr-Lernarrangements zum Kurbelkarussell problem- und transferorientiert (s. Abb. 16).

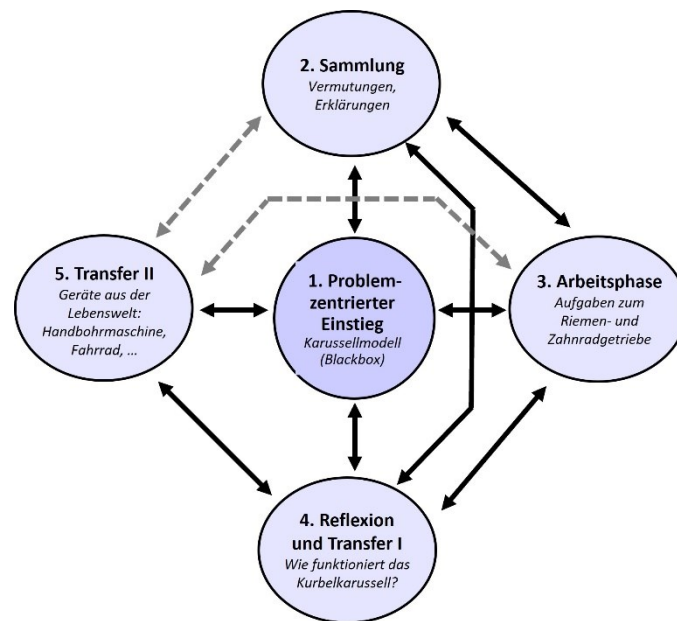


Abb. 16: Grundlegender Aufbau des LERNnetzes zum Kurbelkarussell

Die für ein LERNnetz obligatorischen Strukturierungs- und Aktivierungsmaßnahmen werden implementiert und lerngegenstandsspezifisch konkretisiert (s. Tab. 13).

Tab. 13: Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen im LERNnetz zum Kurbelkarussell

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell
KA 1	Vorhandene Vorstellungen erschließen	Sammlung der Ideen und Vermutungen Anfertigung einer Sachzeichnung
KA 4	Anwendung von Konzepten ermöglichen	Transferorientierte und vernetzte Aufgaben: Montageaufgaben zum Riemen- und Zahnradgetriebe > Blackbox > Alltagsgeräte
KA 7	Herausfordernde Aufgaben stellen	Kurbelkarussell als Blackbox
IS 1	Sequenzierung	Transferorientierte und vernetzende Strukturierung der Lerninhalte
IS 2	Zielklarheit	Fokussierung der Forscherfragen
IS 3	Auf sprachliche Klarheit achten	Verwendung kind- und sachgerechter Formulierungen: z.B. Drehrichtung, Drehgeschwindigkeit
IS 6	Veranschaulichen	Montageaufgaben mit Riemenscheiben und Zahnradern

Da sich sogenannte *Lückenprobleme* besonders eignen, um Lernprozesse zu initiieren, wurde das Karussellmodell bewusst als Blackbox konstruiert (vgl. Möller, 1998). In der Einstiegsphase wird das Kurbelkarussell präsentiert und die Schülerinnen und Schüler aufgefordert zu vermuten, was passiert, wenn man an der Kurbel dreht. Hieraus ergibt sich die erste Forscherfrage²: *Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?* In einer ersten Sammlungsphase werden die Ideen und Vermutungen besprochen.

Zur Dokumentation der eigenen Ideen und Vermutungen zu dieser Problemstellung erhalten die Schülerinnen und Schüler in der Sammlungsphase den Auftrag, eine Sachzeichnung anzufertigen. Durch dieses zeichnerische Bewusstmachen der technikbezogenen Vorstellungen sollen die Lernenden angeregt werden, sich vertiefend mit den Funktionsprinzipien auseinanderzusetzen und eigene Vorstellungsmängel zu entdecken (s. Kap. 6.3.2.1).

Nach der Präsentation der Sachzeichnungen werden die weiteren Änderungen der Karusselleinstellungen vorgeführt. Ausgehend von der Grundeinstellung (gleichbleibende Übersetzung – gleiche Drehrichtung) wird zunächst die Drehzahl erhöht und dann verringert und daran anschließend die Drehrichtung verändert. Dazu öffnet die Lehrperson jeweils den Kartondeckel und nimmt die entsprechenden Änderungen am Riemengetriebe vor, ohne dass die Schülerinnen und Schüler dies sehen können. Aus den Beobachtungen der Lernenden ergeben sich die weiteren Forscherfragen: *Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? Wie kann die Drehrichtung geändert werden?*

Die Fragen werden auf einem Plakat festgehalten und gemeinsam mit der übergeordneten Forscherfrage im Klassenraum ausgehängt (s. Tab. 14).

Tab. 14: Forscherfragen zum Kurbelkarussell

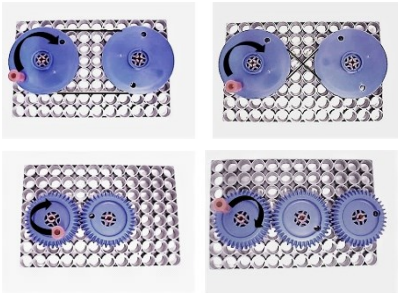
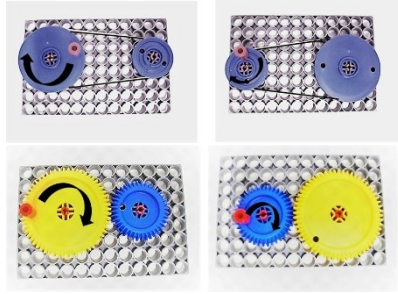
Übergeordnete Forscherfrage	Wie funktioniert das Kurbelkarussell?
Forscherfrage zur Weiterleitung	Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?
Forscherfrage zur Drehzahl	Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?
Forscherfrage zur Drehrichtung	Wie kann die Drehrichtung geändert werden?

In der Arbeitsphase erhalten die Schülerinnen und Schüler ein Forscherheft mit strukturierten Montageaufgaben zum Riemen- und zum Zahnradgetriebe, welche die grundlegenden Konstruktions- und Funktionsprinzipien veranschaulichen und die Lernenden unterstützen sollen, Gesetzmäßigkeiten und Zusammenhänge abzuleiten und auf das Kurbelkarussell zu übertragen (s. Tab. 15).

Die Aufgaben umfassen im Schwerpunkt die Bereiche Drehrichtung und Übersetzung. Zunächst muss das abgebildete Getriebemodell nachgebaut werden, dann erfolgt die Erprobung und Bearbeitung der Beobachtungsaufträge.

² Bei Komposita wie „Forscherfragen“ oder „Beobachterurteile“ wird zur sprachlichen Vereinfachung auf eine gendergerechte Formulierung verzichtet.

Tab. 15: Montageaufgaben zur Drehrichtung und zur Übersetzung

Aufgabe	Getriebemodelle Drehrichtung	Beobachtungsauftrag
1		Drehe an der Kurbel. Was kannst du beobachten? Achte auf die Richtung, in die sich die Scheiben drehen. Was fällt dir auf?
Aufgabe	Getriebemodelle Übersetzung	Beobachtungsauftrag
2		Drehe die erste Scheibe einmal herum. Wie oft dreht sich die zweite Scheibe? Woran könnte das liegen?

Montageaufgaben stellen nach Schmayl und Wilkening (1995) eine Sonderform der Konstruktionsaufgabe dar. Der Fokus ist auch hier auf das zweckgerichtete Erfinden, Entwerfen und Konstruieren gerichtet. Anders als bei Konstruktionsaufgaben werden jedoch nicht die üblichen Werkstoffe genutzt, sondern vorgefertigte Bauteile mit genauer Passform. So „kann sich der Problemlösungsproze[ss] ganz auf das Erfinden oder Nacherfinden technischer Funktionszusammenhänge konzentrieren“ (Schmayl & Wilkening, 1995, S. 151).

Die auf diese Weise gewonnenen Erkenntnisse werden in der Reflexions- und Transferphase I gesammelt und besprochen. Zur Kontrolle wird abschließend das Kurbelkarussell geöffnet, genauer betrachtet und erprobt.

In der Transferphase II werden schließlich Geräte und Maschinen aus der alltäglichen Lebenswelt in den Blick genommen. Am Beispiel des Fahrrades und der manuell betriebenen Handbohrmaschine sollen die gewonnen Erkenntnisse angewandt, erweitert und gefestigt werden.

5.1.3 Konkretisierung des intendierten Kompetenzzuwachses

Das Lehr-Lernarrangement zum Kurbelkarussell fokussiert die Förderung der im Perspektivrahmen Sachunterricht ausgewiesenen Denk-, Arbeits- und Handlungsweise *Technik und Arbeit erkunden und analysieren* (vgl. GDSU, 2013). Der inhaltliche Schwerpunkt des Lehr-Lernarrangements liegt auf dem Themenbereich *Werkzeuge, Geräte und Maschinen*. Da im Rahmen der unterrichtlichen Auseinandersetzung die Analyseprozesse mit konkreten Handlungsprozessen verknüpft werden, wird zudem der Kompetenzerwerb im Bereich *Technik konstruieren und herstellen* unterstützt. In den Sammlungs-, Reflexions- und Transferphasen werden die Schülerinnen und Schüler angeregt, *Technik zu bewerten* und *Technik zu kommunizieren* (s. Tab. 16).

Tab. 16: Intendierter Kompetenzzuwachs im LERNnetz zum Kurbelkarussell

Technikbezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (GDSU, 2013)	Intendierter Kompetenzzuwachs
	Die Schülerinnen und Schüler können
Technik erkunden und analysieren	- die Funktion und die Funktionsweise von Zugmittel- und Zahnradgetrieben erkunden und analysieren. - die erlangten Erkenntnisse auf weitere Geräte und Maschinen übertragen und anwenden.
Technik konstruieren und herstellen	- Montageprozesse zum Riemen- und Zahnradgetriebe durchführen. - technische Lösungen zur Veränderung der Drehzahl und der Drehrichtung finden.
Technik kommunizieren	- Ideen, Vermutungen und Erklärungen zu technischen Funktionszusammenhängen unter Nutzung von Sprache, Zeichnung und Demonstration verständlich vermitteln, diskutieren und dokumentieren.
Technik bewerten	- eigene und fremde Problemlösungen im Hinblick auf den technischen Zweck vergleichen und bewerten.

Das entwickelte Lehr-Lernarrangement zielt aber auch darauf ab, Ängste und Hemmnisse im Umgang mit Technik abzubauen, das technikbezogene Selbstkonzept zu stärken und Interesse für Technik zu entwickeln (vgl. GDSU, 2013; Möller, 2020). Inwieweit sich das LERNnetz zum Kurbelkarussell grundlegend eignet, um die intendierte multikriteriale Zielerreichung zu gewährleisten, wurde im Rahmen der Pilotierung zusammenfassend überprüft.

5.2 Pilotierung des entwickelten Lehr-Lernarrangements

Angebots-Nutzungs-Modelle verdeutlichen, dass die Qualität unterrichtlicher Wirkungen sowohl von der *Qualität des Bildungsangebots*, aber vor allem auch von der *Qualität der Angebotsnutzung* bestimmt wird (Reusser & Pauli, 2010). Schülerinnen und Schüler nutzen ein unterrichtliches Angebot je nach Wahrnehmung und Interpretation und gemäß ihres individuellen Lernpotenzials, ihrer Vorkenntnisse, ihrer Motivation und ihres Selbstkonzeptes (Helmke, 2010). Nicht alles, was *gelehrt* wird, wird somit automatisch auch *gelernt* oder in intendierter Weise *genutzt*. Im Zuge der Unterrichtsentwicklung ist es daher unerlässlich, Unterrichtsangebote im Hinblick auf die resultierenden Lernaktivitäten zu analysieren. Auf diese Weise können Rückschlüsse auf die Gestaltung der Lehr- Lernsituationen gezogen und Optimierungen vorgenommen werden. Dies wird bei der Entwicklung des LERNnetzes zum Kurbelkarussell zum einen über die Pilotierung des Lehr-Lernarrangements und zum anderen über die Überprüfung der generierten Lernunterstützungsgrade gewährleistet (s. Kap. 5.4). Ziel der Pilotierung war es, die grundlegende Eignung des Lehr-Lernarrangements zu überprüfen und Optimierungsbedarfe aufzudecken. Im Folgenden werden die Durchführung der Pilotierung sowie die ermittelten Befunde zusammenfassend vorgestellt.

5.2.1 Durchführung der Pilotierung

Im Rahmen der Pilotierung wurde das LERNnetz zum Kurbelkarussell mit einer dritten Grundschulklasse (n=26) erprobt. Die Erhebung wurde im Wintersemester 2017/18 im Kontext einer praxisorientierten Seminarveranstaltung im Studienfach Sachunterricht vorgenommen.

Zur Durchführung wurden die Schülerinnen und Schüler unter Berücksichtigung ihrer sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen in vier jeweils leistungsheterogene Kleingruppen aufgeteilt. Die Gruppierung erfolgte durch die Sachunterrichtslehrkraft.

In jeder Kleingruppe wurde der Unterricht zum Kurbelkarussell von der Studienleiterin durchgeführt. Mittels teilstandardisierter Beobachtung beobachteten jeweils vier Studierende das Unterrichtsgeschehen und schätzten die *kognitive Aktivierung*, die *intrinsische Motivation* und die *kognitive Belastung* der Lernenden ein. Untersucht wurde zudem, inwieweit *Ko-Konstruktionsprozesse* initiiert werden konnten. Die jeweiligen Einschätzungsbögen wurden theoriebasiert von den Studierenden entwickelt. Zusätzlich zur Einschätzung der jeweiligen verhaltensnahen Indikatoren wurden im Manual auch weitere Beobachtungen und Optimierungsbedarfe dokumentiert.

5.2.2 Ergebnisse der Pilotierung

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Schülerinnen und Schüler angeregt werden konnten und motiviert waren, das Funktionsprinzip des Kurbelkarussells zu entdecken. Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten nicht festgestellt werden.

Die Lernenden tauschten sich darüber hinaus untereinander aus und arbeiteten ko-konstruktiv. Während der Arbeitsphase wurde die kognitive Belastung allerdings als hoch eingeschätzt, was sich im weiteren Verlauf auf die Motivation und die kognitive Aktivierung der Lernenden auswirkte. Auf Basis der Beobachtungen konnten jedoch konkrete Ursachen und Hemmnisse abgeleitet werden, sodass die grundlegende Eignung des Lehr-Lernarrangements dennoch bestätigt werden kann. Zum einen erschienen die Arbeitsaufträge zur Erarbeitung des Drehrichtungswechsels und der Übersetzungsverhältnisse zu offen formuliert und für die Lernenden nicht klar verständlich. Zum anderen erschwerte die vorgenommene Sequenzierung die Erfassung der Lerninhalte. Da die Montageaufgaben zum Riemen- und zum Zahnradgetriebe hier parallel bearbeitet wurden, fiel es den Lernenden schwer, die Funktionsprinzipien abzuleiten. Besondere Schwierigkeiten bereitete es den Schülerinnen und Schülern zudem, die Übersetzungsverhältnisse zu verbalisieren.

Es schien daher erforderlich, die verwendeten Lernunterstützungsmaßnahmen zu optimieren. Anhand der Lernvoraussetzungen wurde darüber hinaus deutlich, dass das Maß an Lernunterstützung erhöht werden sollte. So zeigte sich, dass die Mehrzahl der Lernenden die Funktionsweise des Kurbelkarussells vor der unterrichtlichen Auseinandersetzung noch nicht korrekt herleiten konnte. Lediglich eine Schülerin und ein Schüler verfügten über fachlich adäquate Lösungsansätze. Es gab zudem aber auch Lernende, die noch keinerlei Vermutungen zur Funktionsweise einbringen konnten. Zusätzlich zur Optimierung der bereits in einem LERNnetz implementierten Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen wurden daher in einem nächsten Entwicklungsschritt weitere Unterstützungsmaßnahmen nach Adamina et al. (2017) ausgewählt und lerngegenstandsspezifisch konkretisiert. Im Folgenden wird genauer auf die Lernunterstützungsgrade und deren unterrichtliche Umsetzung eingegangen.

5.3 Generierung unterschiedlicher Grade der Lernunterstützung

Durch die Hinzunahme zusätzlicher Unterstützungsmaßnahmen wurden für das LERNnetz zum Kurbelkarussell drei unterschiedliche Grade der Lernunterstützung generiert (s. Abb. 17).

IMPLIZITE Lernunterstützung	MODERAT EXPLIZITE Lernunterstützung	INTENSIV EXPLIZITE Lernunterstützung
KA 1: Vorhandene Vorstellungen erschließen KA 4: Anwendung von Konzepten ermöglichen KA 7: Herausfordernde Aufgaben stellen IS 1: Sequenzieren IS 2: Zielklarheit schaffen IS 3: Auf sprachliche Klarheit achten IS 6: Veranschaulichen	KA 3: Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln KA 5: Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen IS 4: Hervorheben KA 1: Vorhandene Vorstellungen erschließen KA 4: Anwendung von Konzepten ermöglichen KA 7: Herausfordernde Aufgaben stellen IS 1: Sequenzieren IS 2: Zielklarheit schaffen IS 3: Auf sprachliche Klarheit achten IS 6: Veranschaulichen	KA 2: Kognitive Konflikte auslösen KA 6: Über Lerninhalte und -wege nachdenken IS 5: Zusammenfassen IS 7: Modellieren KA 3: Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln KA 5: Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen IS 4: Hervorheben KA 1: Vorhandene Vorstellungen erschließen KA 4: Anwendung von Konzepten ermöglichen KA 7: Herausfordernde Aufgaben stellen IS 1: Sequenzieren IS 2: Zielklarheit schaffen IS 3: Auf sprachliche Klarheit achten IS 6: Veranschaulichen

Abb. 17: Additiver Aufbau der unterschiedlichen Lernunterstützungsgrade

Die Unterstützungsgrade bauen additiv aufeinander auf und sind sowohl quantitativ als auch qualitativ gestuft. Zum einen nimmt die Anzahl der Maßnahmen stetig zu, zum anderen erhöht sich die kognitive Intensität der Aktivierungsmaßnahmen sowie die instruktionale Intensität der Strukturierungsmaßnahmen. Während sich die *implizite* Lernunterstützung aus der problem- und transferorientierten Struktur des LERNnetzes ergibt, werden bei den LERNnetzen mit *moderat expliziter* und *intensiv expliziter* Lernunterstützung in der Reflexions- und Transferphase I weitere Maßnahmen ergänzt.

5.3.1 Implizite Lernunterstützung

Die implizite Lernunterstützung wird durch die für ein LERNnetz obligatorischen Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen umgesetzt (s. Kap. 3.3). Um die intendierte problem- und transferorientierte Auseinandersetzung der Schülerinnen und Schüler mit den Lerninhalten gewährleisten zu können, scheint es aber erforderlich, die spezifischen Unterstützungsmaßnahmen weiterzuentwickeln. Besondere Optimierungsbedarfe zeigten sich im Rahmen der Pilotierung im Hinblick auf die Sequenzierung (IS 1), die Veranschaulichung (IS 6), das

Anwenden von Konzepten (KA 4) und die sprachliche Klarheit (IS 3). Diese Maßnahmen werden entsprechend ergänzt oder variiert (s. Tab. 17).

Tab. 17: Implizite Lernunterstützung: Maßnahmen und Konkretisierung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell
KA 1	Vorhandene Vorstellungen erschließen	Sammlung der Ideen und Vermutungen Anfertigung einer Sachzeichnung
KA 4	Anwendung von Konzepten ermöglichen	<i>Transferorientierte und vernetzte Aufgaben:</i> <i>Montageaufgaben zum Riemen- und Zahnrad-</i> <i>getriebe > Mini-Karussells > Blackbox ></i> <i>Doppelkarussell > Alltagsgeräte</i>
KA 7	Herausfordernde Aufgaben stellen	Kurbelkarussell als Blackbox
IS 1	Sequenzierung	<i>Transferorientierte und vernetzende</i> <i>Strukturierung der Lerninhalte:</i> 1. Aufgaben zum Riemengetriebe 2. Aufgabe zum Zahnradgetriebe
IS 2	Zielklarheit	Fokussierung der Forscherfragen
IS 3	Auf sprachliche Klarheit achten	<i>Verwendung kind- und sachgerechter</i> <i>Formulierungen: z.B. Vorgabe von</i> <i>Antwortmöglichkeiten zur Verbalisierung der</i> <i>Drehrichtungs- und Übersetzungsverhältnisse</i>
IS 6	Veranschaulichen	<i>Montageaufgaben mit Riemenscheiben und</i> <i>Zahnradern, Bausatz zum Mini-Karussell</i>

Um die Funktionsprinzipien veranschaulichen zu können, werden die Aufgaben zum Riemen- und zum Zahnradgetriebe nun getrennt voneinander bearbeitet (s. Tab. 18). Zur Erleichterung der Verbalisierung der beobachteten Drehrichtungs- und Übersetzungsverhältnisse werden zudem verschiedene Antwortmöglichkeiten vorgegeben.

Tab. 18: Aufgaben zur Veranschaulichung der Funktionsprinzipien von Riemengetrieben (Aus: Dölle, 2021b, S. 170)

Aufgabe	Getriebemodelle Drehrichtung	Beobachtungsauftrag
1 A		Drehe die erste Scheibe. In welche Richtung dreht sich die zweite Scheibe? O In die gleiche Richtung O In die andere Richtung
Aufgabe	Getriebemodelle Übersetzung	Beobachtungsauftrag
1 B		Drehe die erste Scheibe genau einmal herum. Wie oft dreht sich die zweite Scheibe? O Auch einmal O Weniger als einmal O Mehr als einmal

Um die Anwendung der gewonnenen Erkenntnisse anzuregen, erhalten die Lernenden zusätzlich noch den Auftrag, ein Mini-Karussell zu konstruieren (s. Tab. 19). Die hierfür

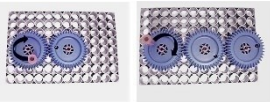
erforderlichen Bauteile werden vorstrukturiert und als Bausatz ausgegeben. Anhand des Mini-Karussells sollen nun auch eigenständig technische Lösungen zur Veränderung der Drehzahl und der Drehrichtung gefunden werden.

Tab. 19: Montageauftrag: Mini-Karussell mit Riemengetriebe (Aus: Dölle, 2021b, S. 170)

Aufgabe	Montageauftrag Mini-Karussell	Montagematerial
1 C	Baue ein Karussell. Das Karussell soll sich - öfter drehen als die Kurbel. - in die gleiche Richtung drehen	

Die Arbeits- und Beobachtungsaufträge zum Zahnradgetriebe werden analog zu denen des Riemengetriebes gestaltet (s. Tab. 20). Auf diese Weise sollen die Ähnlichkeiten in den Wirkprinzipien, aber auch die Unterschiede in der technischen Umsetzung verdeutlicht werden.

Tab. 20: Getriebemodelle und Montagematerialien Zahnradgetriebe (Aus: Dölle, 2021b, S. 171)

Getriebemodelle 2 A Drehrichtung	Getriebemodelle 2 B Übersetzung	Montagematerial 2 C Mini-Karussell
		

Zur Unterstützung der Transferfähigkeit wird mit dem *Doppelkarussell* schließlich noch eine weitere Transferphase eingebaut (s. Abb. 17).

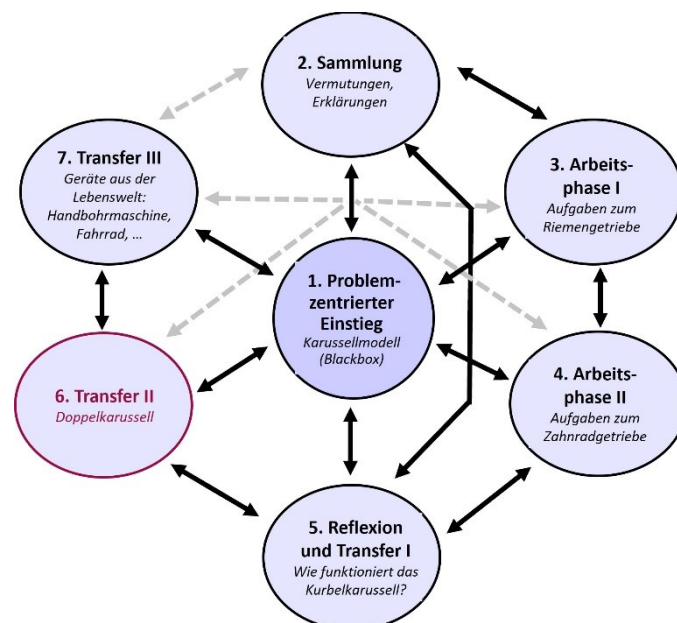


Abb. 17: Optimierter Aufbau des LERNnetzes zum Kurbelkarussell

Über ein weiteres Blackbox-Modell sollen die Lernenden in dieser zusätzlichen Transferphase noch einmal angeregt werden, ihr Wissen anzuwenden und zu erweitern. Das hierfür eingesetzte Doppelkarussell besitzt eine Kurbel, aber zwei Karussellscheiben (s. Abb. 18).

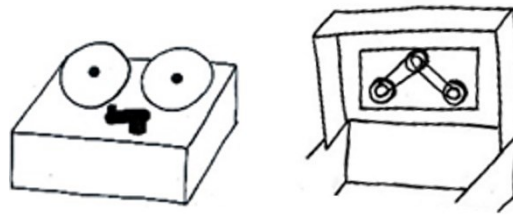


Abb. 18: Skizze vom Doppelkarussell mit geschlossenem und geöffnetem Deckel (Aus: Dölle, 2021b, S. 172)

Nach Sammlung der Vermutungen der Schülerinnen und Schüler zur Funktionsweise wird das Doppelkarussell erprobt. Dabei zeigt sich, dass sich eine der Scheiben schneller dreht als die andere. Dies soll die Lernenden zusätzlich kognitiv herausfordern und zum Überdenken der Lösungsvorschläge veranlassen.

5.3.2 Moderat explizite Lernunterstützung

Beim LERNnetz mit moderat expliziter Lernunterstützung werden in der Reflexions- und Transferphase I zusätzlich zwei weitere Aktivierungsmaßnahmen sowie eine Strukturierungsmaßnahme genutzt (s. Tab. 21). Die Lehrkraft agiert hier expliziter, aber in moderater Weise. Wichtige Äußerungen der Lernenden werden wiederholt und hervorgehoben.

Tab. 21: Moderat explizite Lernunterstützung: Maßnahmen und Konkretisierung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell
KA 3	Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln	Die Getriebemodelle werden vergleichend betrachtet, auf Gemeinsamkeiten überprüft und gruppiert.
KA 5	Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen	Die Lehrkraft erfragt nach der Öffnung der Blackbox, wie eine bestimmte Übersetzung und Drehrichtung realisiert werden kann. Zur Antwortfindung sollen sich die Lernenden austauschen.
IS 4	Hervorheben	Die Lehrkraft hebt wichtige Äußerungen hervor.

Um den Aufbau und die Weiterentwicklung der technikbezogenen Vorstellungen zu unterstützen, werden die verschiedenen Getriebemodelle, die zuvor in der Arbeitsphase genutzt wurden, zudem vergleichend betrachtet (s. Abb. 19). Über die Fragestellung „*Welche Aufgaben haben etwas gemeinsam?*“ sollen die Schülerinnen und Schüler angeregt werden, die Analogien in den Funktionsprinzipien von Riemen- und Zahnradgetriebe zu entdecken und entsprechende „Getriebepaare“ zu bilden. Spreckelsen (1992) bezeichnet diese Form der

Analogiebildung als *genotypisch*. Im Gegensatz dazu beziehen sich *phänotypische* Analogien auf Ähnlichkeiten und Gemeinsamkeiten im äußeren Erscheinungsbild.

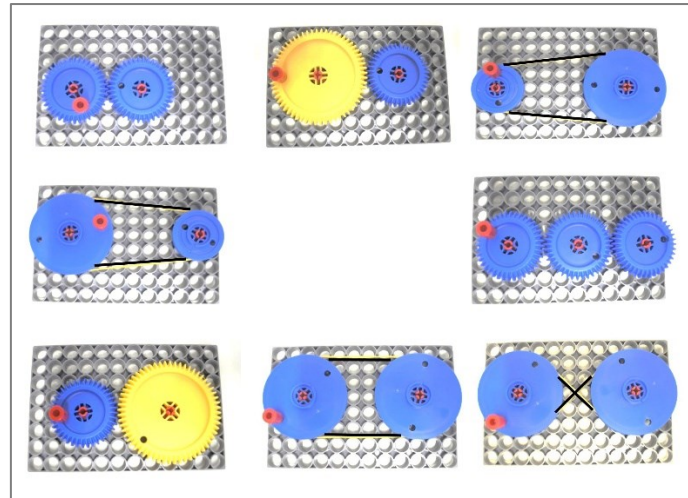


Abb. 19: Verschiedene Getriebemodelle im Überblick zur Anregung der genotypischen Analogiebildung

Nach der Öffnung des Kurbelkarussells werden die Lernenden darüber hinaus angeregt, sich darüber auszutauschen, wie eine bestimmte Karusselleinstellung umgesetzt werden kann. Gemäß der Vorgabe der Übersetzungs- und Drehrichtungsverhältnisse durch die Lehrkraft (z.B. „Das Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Es soll sich in die andere Richtung drehen.“) sollen die erforderlichen Riemenvariationen ko-konstruktiv ermittelt werden.

5.3.3 Intensiv explizite Lernunterstützung

Zur Umsetzung der intensiv expliziten Lernunterstützung werden zwei weitere Aktivierungs- sowie zwei Strukturierungsmaßnahmen integriert (s. Tab. 22).

Tab. 22: Intensiv explizite Lernunterstützung: Maßnahmen und Konkretisierung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell
KA 6	Über Lerninhalte und -wege nachdenken	Die Lernenden erhalten ihre Sachzeichnung zurück und sollen benennen, ob und welche Änderungen sie nun vornehmen würden.
KA 2	Kognitive Konflikte auslösen	Die Lehrkraft problematisiert, indem sie auf Widersprüche und offene Fragen hinweist und Rückfragen stellt.
IS 5	Zusammenfassen	Die Lehrkraft fasst die Beiträge der Lernenden und bisherige Erkenntnisse zusammen.
IS 7	Modellieren	Die Lehrkraft agiert modellierend, indem sie laut denkt, Lösungen vorzeigt und erläutert: „Wenn ich den Riemen also so kreuze, dann ändert sich die Richtung.“

Die Lehrkraft agiert in der Reflexions- und Transferphase I verstärkt explizit: Sie fasst zusammen, modelliert und problematisiert. Durch den Rückbezug auf die angefertigte Sachzeichnung soll zudem die Gelegenheit geschaffen werden, über Veränderungen in den eigenen Vorstellungen nachzudenken.

5.4 Erprobung der Lernunterstützungsmaßnahmen und Überprüfung der Angebotsnutzung

Da nicht davon auszugehen ist, dass die entwickelten Unterrichtsangebote automatisch in intendierter Weise von den Lernenden genutzt werden (können), gilt es zu überprüfen, inwieweit die ausgewählten Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen tatsächlich zum Nachdenken über den technischen Lehrgegenstand anregen und darin unterstützen, die Funktions- und Konstruktionsprinzipien nachzuvollziehen. Im Rahmen des nächsten Entwicklungsschrittes werden die jeweils zugeordneten Lernunterstützungsmaßnahmen daher erprobt und im Hinblick auf die Angebotsnutzung untersucht.

Die zentrale Forschungsfrage lautet:

Inwieweit werden die lerngegenstandsspezifisch konkretisierten Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen von den Schülerinnen und Schülern in intendierter Weise genutzt?

Ziel der Erhebung ist es, die Nutzung der einzelnen Lernunterstützungsmaßnahmen zunehmend zu optimieren und empirisch abzusichern. Auf Ebene der Unterrichtsentwicklung entstehen so erprobte Lehr-Lernarrangements mit jeweils unterschiedlichen Graden der Lernunterstützung. Darüber hinaus können auf Basis der Befunde Impulse zur Gestaltung von Lehr- und Lernsituationen im technischen Sachunterricht über das konkrete Thema der Kurbelkarusselle hinaus abgeleitet werden. Im Kontext des Forschungsprojektes LERNnetze ist die hier vorgenommene Absicherung der Angebotsnutzung unumgänglich, um die Qualität der Teilstudie LERNnetze III gewährleisten zu können, in deren Rahmen die spezifische Wirkung der Lernunterstützungsgrade untersucht werden soll (s. Kap. 7).

5.4.1 Konkretisierung der Forschungsfrage

Entsprechend der unterschiedlichen Unterstützungsmaßnahmen gliedert sich die übergeordnete Forschungsfrage in weitere spezifischere Fragestellungen auf (s. Tab. 23-25).

Im Bereich der impliziten Lernunterstützung beziehen sich die konkretisierten Forschungsfragen zum Teil auf verschiedene Aspekte der Angebotsnutzung (s. Tab. 23). So wird im Hinblick auf die Anwendung der Konzepte (KA 4) überprüft, inwieweit die Lernenden einen Transfer zu den beiden Mini-Karussells und zu dem Kurbelkarussellmodell leisten können. Die Anschaulichkeit der Montagematerialien zum Zahnrad- und zum Riemengetriebe (IS 6) wird in Bezug auf das Entdecken der Funktionsprinzipien, aber auch hinsichtlich der Anwendung der Prinzipien zur Montage der Mini-Karussells überprüft.

Im Bereich der moderat expliziten Lernunterstützung wird die prozessbezogene Strukturierungsmaßnahme Hervorheben (IS 4) nicht im Hinblick auf die Angebotsnutzung

überprüft, da hier keine direkte Reaktion der Lernenden erwartbar erscheint. Dasselbe gilt für das Zusammenfassen (IS 5) im Bereich der intensiv expliziten Lernunterstützung.

Tab. 23: Konkretisierung der Forschungsfragen: Implizite Lernunterstützung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Forschungsfragen zur Überprüfung der Angebotsnutzung
KA 1	Vorhandene Vorstellungen erschließen	Inwieweit legen die Lernenden ihr Vorwissen dar?
KA 4	Anwendung von Konzepten ermöglichen	Inwieweit können die Lernenden die Funktionsprinzipien auf das - Mini-Karussell (Riemen) - Mini-Karussell (Zahnrad) - Blackbox-Kurbelkarussellmodell übertragen?
KA 7	Herausfordernde Aufgaben stellen	Inwieweit setzen sich die Lernenden mit den Funktions- und Konstruktionsprinzipien auseinander und bearbeiten die Aufgabe?
IS 1	Sequenzierung	Inwieweit können die Lernenden die Abfolge der Inhalte nachvollziehen?
IS 2	Zielklarheit	Inwieweit fokussieren die Lernenden die Forscherfragen zum Kurbelkarussell?
IS 3	Auf sprachliche Klarheit achten	Inwieweit können die Lernenden die sprachlichen Anweisungen nachvollziehen?
IS 6	Veranschaulichen	Inwieweit sind die Montagematerialien zum Riemengetriebe und zum Zahnradgetriebe so anschaulich, dass die Funktionsprinzipien entdeckt werden können? Inwieweit sind die Montagematerialien zum Mini-Karussell (Riemen) und zum Mini-Karussell (Zahnrad) so anschaulich, dass die Funktionsprinzipien angewendet werden, und ein Karussell konstruiert werden kann?

Tab. 24: Konkretisierung der Forschungsfragen: Moderat explizite Lernunterstützung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Forschungsfragen zur Überprüfung der Angebotsnutzung
KA 3	Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln	Inwieweit benennen die Lernenden genotypische Ähnlichkeiten in den Funktionsprinzipien der Getriebemodelle?
KA 5	Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen	Inwieweit tauschen sich die Lernenden zur Antwortfindung aus?

Tab. 25: Konkretisierung der Forschungsfragen: Intensiv explizite Lernunterstützung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Forschungsfragen zur Überprüfung der Angebotsnutzung
KA 6	Über Lerninhalte und -wege nachdenken	Inwieweit benennen die Lernenden, ob und welche Änderungen sie in der Sachzeichnung vornehmen würden?
KA 2	Kognitive Konflikte auslösen	Inwieweit reagieren die Lernenden auf die Problematisierungen der Lehrkraft?
IS 7	Modellieren	Inwieweit reagieren die Lernenden auf die Modellierungen der Lehrkraft?

5.4.2 Erhebungsdesign und methodische Schritte

Zur Erprobung und Überprüfung der konkretisierten Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen werden die LERNNetze mit impliziter, moderat expliziter und intensiv expliziter Lernunterstützung in iterativen Erhebungszyklen mit Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufe 3 durchgeführt (s. Abb. 20).

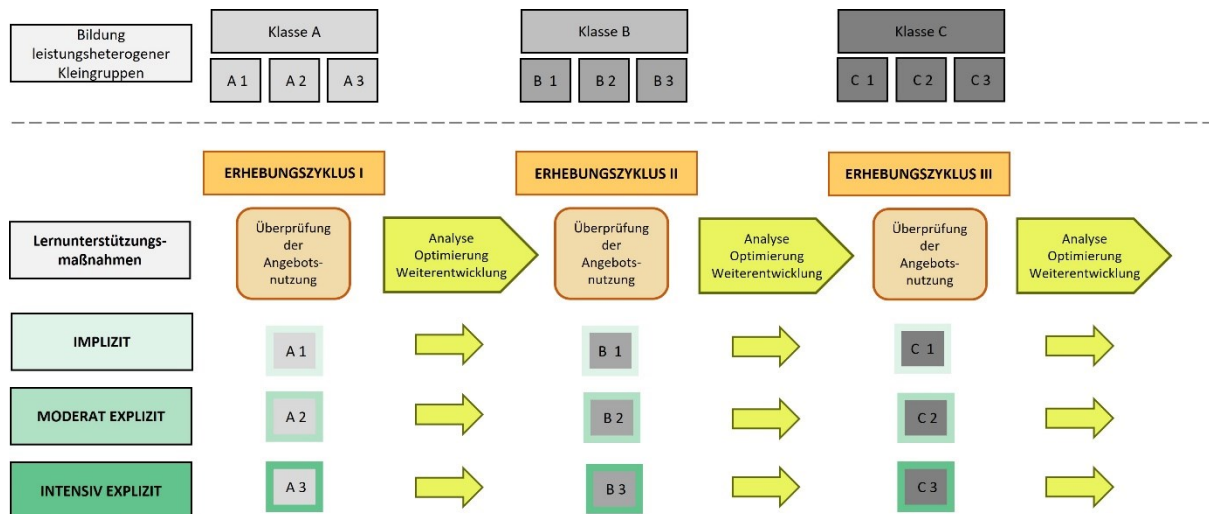


Abb. 20: Erhebungsdesign zur Überprüfung und Weiterentwicklung der Lernunterstützungsmaßnahmen

Die drei teilnehmenden Klassen A, B und C werden gemäß der kognitiven sachunterrichtsspezifischen Lerneingangsvoraussetzungen in jeweils drei leistungsheterogene Kleingruppen eingeteilt. Der hierfür entwickelte Einschätzungsbogen basiert im Schwerpunkt auf den perspektivenübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen des Sachunterrichts (vgl. GDSU, 2013). Die Einschätzung wird von den jeweiligen Sachunterrichtslehrkräften vorgenommen (s. Kap. 6.3.1). Die gebildeten Kleingruppen werden zufällig den LERNNetzen mit impliziter, moderater oder intensiver Lernunterstützung zugeordnet. Die unterrichtliche Umsetzung erfolgt anhand von vorab entwickelten Unterrichtsmanualen (s. Anhang A 1 – A 3, S. 208 ff.). Um den zeitlichen Rahmen der Erhebung überschaubar zu halten, wird auf die Transferphase III verzichtet. Die Intervention endet somit mit der Präsentation und Besprechung des Doppelkarussells (vgl. Abb. 17).

Die Überprüfung der Unterstützungsmaßnahmen wird mittels teilstandardisierter Beobachtung vorgenommen. Zwei geschulte Personen begleiten den Unterricht hospitierend und schätzen die Angebotsnutzung durch die Lernenden mit Hilfe eines Beobachtungsmanuals ein (s. Kap. 5.4.3). Den Prinzipien der fachdidaktischen Entwicklungsforschung folgend werden die im ersten Erhebungszyklus gewonnenen Ergebnisse ausgewertet, Entwicklungspotenziale abgeleitet und Optimierungen vorgenommen. In den anschließenden zweiten und dritten Erhebungszyklen erfolgt dann eine erneute Überprüfung der Unterstützungsmaßnahmen und gegebenenfalls auch eine nochmalige Weiterentwicklung.

5.4.3 Datenerhebung und -auswertung

Als Erhebungsinstrument wurden teilstandardisierte Beobachtungsmanuale entwickelt. In den Manualen werden die jeweiligen Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen aufgeführt und ihre konkrete Umsetzung im LERNnetz dargelegt (s. Anhang A 4 – A 6, S. 220 ff.).

Zur Überprüfung der intendierten Nutzung wurden verhaltensnahe und beobachtbare Indikatoren generiert. Diese Items beschreiben eine idealtypische Nutzung der jeweiligen Aktivierungs- oder Strukturierungsmaßnahmen (s. Tab. 26).

Tab. 26: Auszug aus dem Beobachtungsmanual intensiv explizite Lernunterstützung

Kognitiv anregende Maßnahme der Lernunterstützung (nach Adamina et al. 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	NUTZUNG: Intendierte Nutzung auf Seite der Lernenden
Über Lerninhalte und -wege nachdenken (KA 6) Gelegenheiten schaffen, über Veränderungen des eigenen Wissens nachzudenken.	In der Transferphase I erhalten die Lernenden ihre Sachzeichnung zurück. Sie sollen benennen, was sie nun anders darstellen und einzeichnen würden.	Die Lernenden benennen Änderungen bzw. Ergänzungen zu ihrer Zeichnung.

Im Rahmen der Beobachtung wird eingeschätzt, inwieweit die tatsächliche Angebotsnutzung durch die Lernenden mit diesem Ideal übereinstimmt.

Die Einschätzung erfolgt unter Berücksichtigung der Verteilung des gezeigten Verhaltens innerhalb der Lerngruppe. Den Beobachtenden liegt eine fünfstufige Antwortskala vor. Im Rahmen der quantitativen Datenauswertung werden den jeweiligen Einschätzungen Zahlenwerte zugeordnet (s. Tab. 27). Höhere Zahlenwerte entsprechen dabei einer umfassenderen und adäquateren Nutzung der Unterrichtsangebote.

Tab. 27: Einschätzungsskala und zugehörige Zahlenwerte

Trifft nicht zu	Trifft teilweise zu	Trifft überwiegend zu	Trifft zu	Trifft völlig zu
1	2	3	4	5

Zur Gewährleistung der Objektivität und Reliabilität werden die Einschätzungen von zwei Beobachtenden vorgenommen. Die Durchführungsobjektivität und die Validität werden durch das Festlegen von Einschätzungsregeln und eine Beobachterschulung gesichert. Zusätzlich dient eine Probebeobachtung der interpersonalen Konsensbildung.

Die Ergebnisdarstellung erfolgt anhand der gemittelten Beobachterurteile. Eine Lernunterstützungsmaßnahme gilt als in intendierter Weise genutzt, wenn sie mehrheitlich einen Skalenmittelwert von mindestens 4 erreicht.

Zur Absicherung der hinreichenden Konkordanz der Urteile wird die tendenzielle Beobachterübereinstimmung kontrolliert (vgl. Gabriel, 2014). Wie bei hoch inferenten Verfahren üblich wird dabei nicht die absolute Übereinstimmung in den Einschätzungen berücksichtigt, sondern die ähnliche Tendenz bei der Vergabe der Werte. Einschätzungen gelten im Rahmen dieser Erhebung als tendenziell übereinstimmend, wenn die Differenz

zwischen den Urteilen nicht größer als 1 ist. Darüber hinaus wird festgelegt, dass mindestens 80% der Einschätzungen tendenziell übereinstimmen sollten.

Zusätzlich zu den standardisierten Einschätzungen umfasst das Beobachtungsmanual offene Beobachtungsfelder zu jeder Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahme. Die Beobachterinnen und Beobachter sind hier aufgefordert, konkrete Unterrichtssituationen zu schildern, Schüleräußerungen festzuhalten, die beobachtbaren Lernaktivitäten und wahrnehmbare Schwierigkeiten oder Hemmnisse, aber auch erkennbare Lernchancen zu dokumentieren. Im Rahmen der Analyse werden diese offenen Beobachtungsergebnisse genutzt, um die standardisierten Einschätzungen validieren und konkretisieren zu können. Die Befunde können so bestätigt, Ursachen und Optimierungsmöglichkeiten abgeleitet und bei der Weiterentwicklung berücksichtigt werden. Über das Beobachtungsmanual wird zudem kontrolliert, inwieweit die Lehrperson das Hervorheben, Zusammenfassen, Problematisieren und Modellieren in intendierter Weise umsetzt. Diese Absicherung erscheint notwendig, um ausschließen zu können, dass Hemmnisse in der Angebotsnutzung aus einer nicht sachgemäßen Instruktion resultieren.

5.4.4 Durchführung der Erhebung

Die drei eingeplanten Erhebungszyklen wurden von Oktober 2018 bis Dezember 2018 mit drei Klassen der Jahrgangsstufe 3 einer mehrzügigen Grundschule aus dem Raum Nordhessen durchgeführt. Aufgrund der hier ermittelten Befunde erschien es allerdings notwendig, die impliziten und die moderat expliziten Lernunterstützungsmaßnahmen nochmalig weiterzuentwickeln und über einen vierten Erhebungszyklus abzusichern. Diese zusätzliche Erhebung wurde im September 2019 mit einer weiteren 3. Klasse derselben Grundschule vorgenommen. Auch diese Lerngruppe wurde in drei heterogene Kleingruppen aufgeteilt. Um die Lernunterstützungsmaßnahmen jeweils dreifach überprüfen zu können, wurde mit jeder Kleingruppe zunächst die Angebotsnutzung der impliziten und anschließend daran die der moderat expliziten Maßnahmen überprüft. Diese Änderung im Erhebungsverlauf konnte umgesetzt werden, da die verschiedenen Lernunterstützungsgrade aufeinander aufbauen und die moderaten Maßnahmen erst in der Reflexionsphase zum Einsatz kommen.

Insgesamt nahmen 78 Schülerinnen und Schüler (44 Mädchen und 34 Jungen) an der Überprüfung der Angebotsnutzung teil (s. Tab. 28). Die Lernenden waren durchschnittlich 8,6 Jahre alt.

Tab. 28: Aufteilung und Durchschnittsalter der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler

Erprobung der Angebotsnutzung	Erhebungszyklen I - III Anzahl der Lernenden (Mädchen / Jungen)	Durchschn. Alter der Lernenden in Jahren	Erhebungszyklus IV Anzahl der Lernenden (Mädchen/Jungen)	Durchschn. Alter der Lernenden in Jahren
Implizite Maßnahmen	21 (12 / 9)	8,9	18 (6 / 12)	8,4
Moderat explizite Maßnahmen	20 (12 / 8)	8,4		
Intensiv explizite Maßnahmen	19 (14 / 5)	8,5	—	—

5.4.5 Darlegung und Interpretation der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Überprüfung und Weiterentwicklung der impliziten, moderaten und intensiven Lernunterstützungsmaßnahmen vorgestellt. Zur Verdeutlichung der zugrunde liegenden Entwicklungsprozesse erfolgt die Darstellung der Befunde rückblickend in der Reihenfolge der aufeinander aufbauenden Erhebungszyklen. Aufgrund der engen Vernetzung von Erforschung und Entwicklung werden dabei Darlegung und Interpretation der Befunde verknüpft. Beginnend beim ersten Erhebungszyklus werden die jeweiligen Ergebnisse anhand der gemittelten Beobachterurteile aufgeführt, die abgeleiteten Optimierungsbedarfe benannt und Maßnahmen zur Weiterentwicklung vorgestellt.

5.4.5.1 Implizite Lernunterstützungsmaßnahmen

Die impliziten Lernunterstützungsmaßnahmen wurden mit insgesamt sechs Kleingruppen erprobt und auf die Angebotsnutzung hin überprüft. Die vorliegenden Beobachterurteile weisen eine tendenzielle Übereinstimmung von 100% auf.

Die Ergebnisse des ersten Erhebungszyklus zeigen, dass die ausgewählten Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen von der Mehrheit der Lernenden in intendierter Weise genutzt werden konnten (s. Abb. 21). In Bezug auf die Forschungsfragen ein zufriedenstellendes Ergebnis, da sich insbesondere die auf Basis der Pilotierungsergebnisse vorgenommenen Weiterentwicklungen in den Bereichen sprachliche Klarheit (IS 3) und Sequenzierung (IS 1) zu bewähren scheinen (vgl. Kap. 5.3.1).

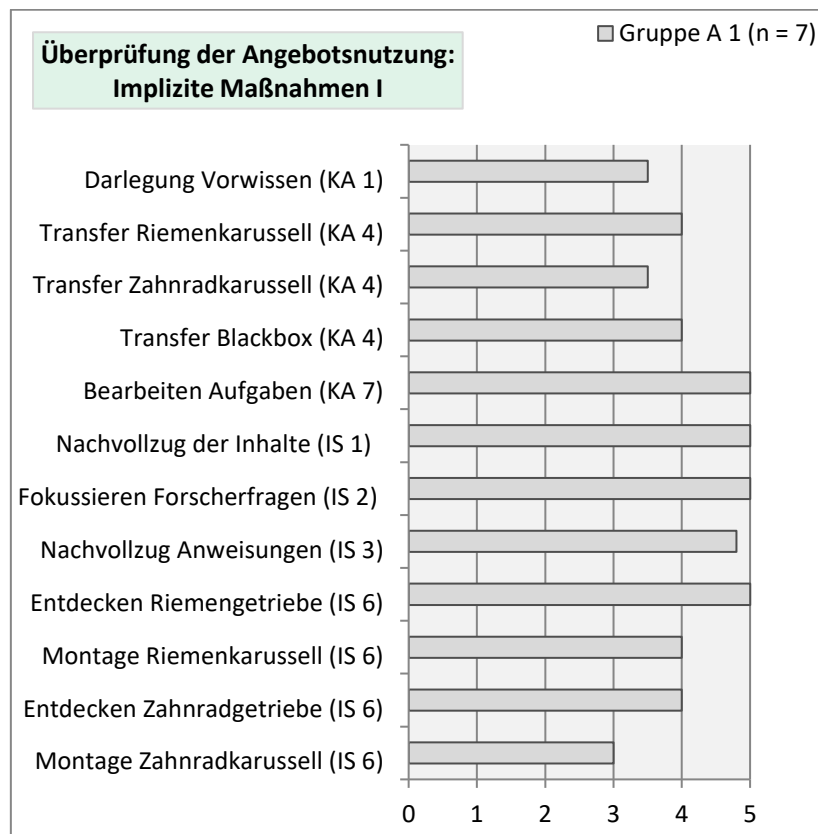


Abb. 21: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklus implizit I

Im Hinblick auf die Aktivierungsmaßnahme „Vorhandene Vorstellungen erschließen“ (KA 1) fällt auf, dass nicht alle Schülerinnen und Schüler ihre Vermutungen zum Funktionsprinzip des Kurbelkarussells verbal mitteilten. Eine Sachzeichnung wurde jedoch von allen Lernenden erstellt. Eine Weiterentwicklung erscheint daher nicht notwendig, zumal davon auszugehen ist, dass die Zurückhaltung in der Gesprächsphase auch auf das technikbezogene Selbstkonzept zurückzuführen sein könnte. Auch für die weiteren Erhebungszyklen wird daher festgelegt, dass die Darlegung des Vorwissens über die Anfertigung einer Sachzeichnung in intendierter Weise umgesetzt wird. Zur zusätzlichen Absicherung wird aber auch weiterhin kontrolliert, inwieweit die Vorstellungen auch mündlich dargelegt werden (s. Abb. 22 - 24).

Im Hinblick auf die Anschaulichkeit der Montagematerialien (IS 6) und die Anwendung der Konzepte (KA 4) belegen die Befunde einen Optimierungsbedarf. Während die Funktionsprinzipien des Riemengetriebes anhand der Materialien entdeckt, angewandt und übertragen werden konnten, war dies bei den Materialien zum Zahnradgetriebe nicht umfänglich der Fall. Die Eintragungen in den Beobachtungsprotokollen deuten hier auf einen Optimierungsbedarf hinsichtlich der Materialverwendung und der Konkretisierung des Beobachtungsauftrages hin. So zeigte sich in der unterrichtlichen Erprobung, dass die Erhöhungen auf der Unterseite der Steckplatten die Konstruktion des Mini-Karussells mit Zahnradgetriebe erschwerten. Es gelang einigen Schülerinnen und Schülern nicht, die Zahnräder funktionsfähig und blockadefrei zu verbinden. Im Zuge der Weiterentwicklung erscheint es daher notwendig, Informationen zur Handhabung der Steckplatten zu ergänzen (s. Tab. 29).

Tab. 29: Optimierung der Materialverwendung

Manual implizite Lernunterstützung I Erläuterungen zum Arbeitsauftrag	Manual implizite Lernunterstützung II Erläuterungen zum Arbeitsauftrag
„Im Aufgabenteil C sollt ihr selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen.“ (Zeigen der Materialien)	„Bei Aufgabe C sollst du selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen. Dabei ist wichtig, dass du die Kurbel und das Karussell in diese Löcher steckst, gebaut wird dann von der anderen Seite.“ (Zeigen der Löcher und der Materialien)

Darüber hinaus fiel auf, dass es den Schülerinnen und Schülern zum Teil Schwierigkeiten bereitete, die Drehrichtung und die Drehzahl zu bestimmen. Zur Erleichterung wird daher zum einen die Nutzung von Klebepunkten zur visuellen Unterstützung ergänzt und zum anderen der Beobachtungsauftrag konkretisiert (s. Tab. 30).

Tab. 30: Optimierung des Beobachtungsauftrages

Manual implizite Lernunterstützung I Erläuterungen zum Arbeitsauftrag	Manual implizite Lernunterstützung II Erläuterungen zum Arbeitsauftrag
„Im Aufgabenteil 1 A geht es um die Richtung, in die sich die zweite Scheibe dreht. Bei Aufgabe B geht es darum, wie oft sich die zweite Scheibe dreht.“	„Bei Aufgabe A sollst du bauen und beobachten, ob sich die zweite Scheibe in die gleiche Richtung dreht, wie die erste. Bei Aufgabe B sollst du bauen und beobachten, wie oft sich die zweite Scheibe dreht, wenn du die erste genau einmal herumdrehst. Klebe dazu einen Klebepunkt auf die zweite Scheibe, das hilft dir beim genauen Beobachten.“

Bedeutsam erscheint es hier vor allem, die Aufmerksamkeit der Lernenden auf den Vergleich der Scheiben bzw. Zahnräder zu lenken. Die am Beispiel des Riemengetriebes von der Lehrkraft vorgenommenen Erläuterungen (s. Tab. 30) sollen im anschließenden Unterrichtsverlauf von den Lernenden auch auf die Aufgaben zum Zahnradgetriebe übertragen werden.

Im zweiten Erhebungszyklus wurden die Weiterentwicklungen umgesetzt und erprobt (s. Abb. 22).

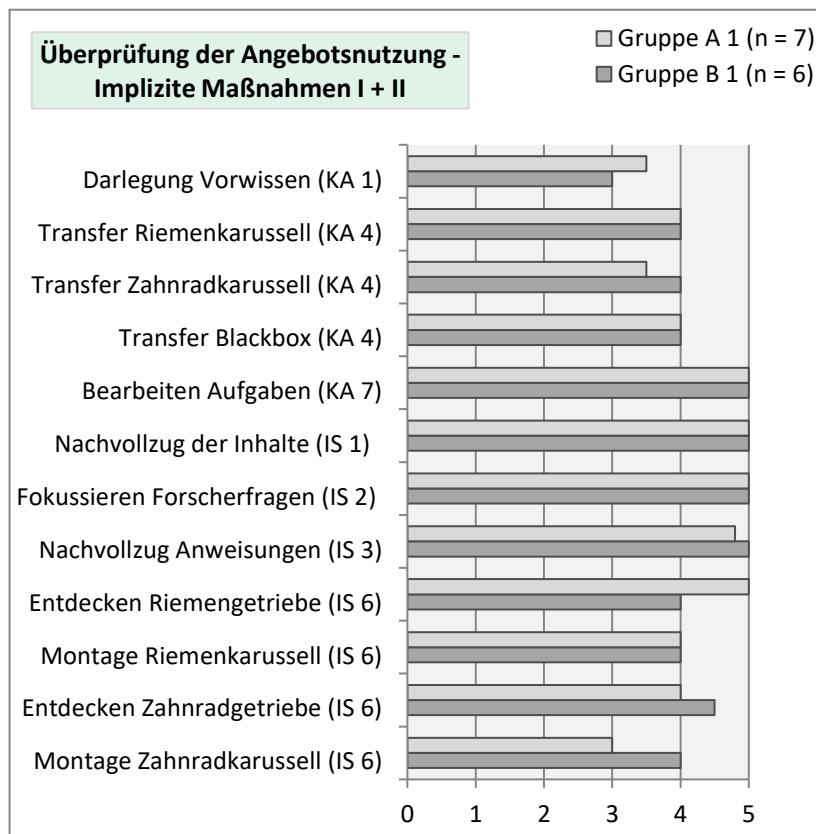


Abb. 22: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklen implizit I und II

Aus den Überprüfungsergebnissen lässt sich ableiten, dass die zusätzlichen Erläuterungen die Anschaulichkeit der Materialien erhöht und das Anwenden der Funktionsprinzipien des Zahnradgetriebes erleichtert haben. Zur Ergebnissicherung wurden die Maßnahmen daher noch einmal unverändert im Rahmen des dritten Erhebungszyklus überprüft (s. Abb. 23). Anhand der Ergebnisse des dritten Erhebungszyklus zeigen sich allerdings erneut Unterschiede in der Anschaulichkeit der Montagematerialien (IS 6). Zudem werden in Bezug auf die Anwendung der Konzepte (KA 4) geringere Werte erzielt als im Rahmen der ersten beiden Erhebungen. Die Eintragungen in den Beobachtungsprotokollen machen deutlich, dass es den Lernenden immer noch schwerfiel, die korrekte Positionierung von Kurbel und Karussell zu finden. Es erscheint daher notwendig, über die Markierung der Steckplatten eine weitere Optimierung vorzunehmen (s. Tab. 31).

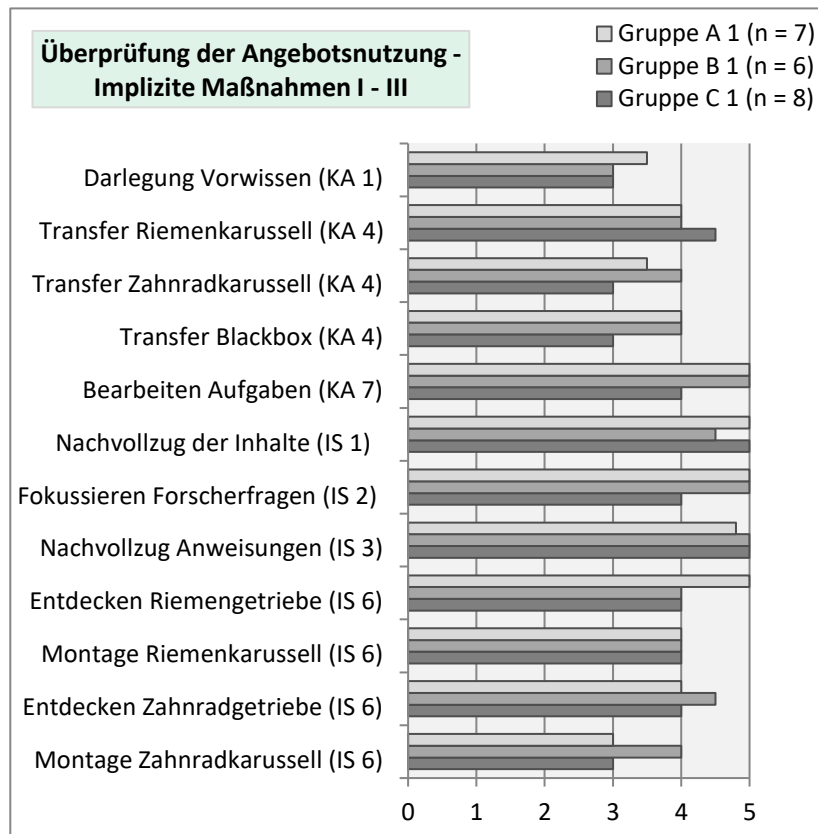


Abb. 23: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklen implizit I, II und III

Tab. 31: Weitere Optimierung der Materialverwendung

Manual implizite Lernunterstützung II Erläuterungen zum Arbeitsauftrag	Manual implizite Lernunterstützung III Erläuterungen zum Arbeitsauftrag
„Bei Aufgabe C sollst du selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen. Dabei ist wichtig, dass du die Kurbel und das Karussell in diese Löcher steckst, gebaut wird dann von der anderen Seite.“ (Zeigen der Löcher und der Materialien)	„Bei Aufgabe C sollst du selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen. Dein Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Es soll sich in die gleiche Richtung drehen. Zum Bau stehen dir diese Materialien zur Verfügung.“ (Material zeigen) „Wichtig ist, dass du die Kurbel und das Karussell in die Löcher mit den roten Markierungen steckst, gebaut wird dann von der anderen Seite“

Darüber hinaus wurden im Zuge der Erprobung noch immer Unsicherheiten in der Bestimmung der Drehzahl und der Drehrichtung deutlich. Neben einer weiteren Konkretisierung des Beobachtungsauftrages erscheint es daher zielführend, die Aufmerksamkeit der Lernenden noch stärker zu fokussieren. Vor dem Nachbau des Getriebemodells wird daher ein weiterer Arbeitsauftrag integriert. Die Schülerinnen erhalten die Aufgabe, zunächst ihre Vermutungen zur Drehzahl und zur Drehrichtung zu dokumentieren (s. Tab. 32). Auf diese Weise soll ein vertieftes Nachdenken angeregt, der Aufbau von Vorstellungen zu den technischen Funktionsprinzipien unterstützt und schließlich auch die Anschaulichkeit der Materialien erhöht werden.

Tab. 32: Weitere Optimierung und Ergänzung des Beobachtungsauftrages

Manual implizite Lernunterstützung II Erläuterungen zum Arbeitsauftrag	Manual implizite Lernunterstützung III Erläuterungen zum Arbeitsauftrag
„Bei Aufgabe A sollst du bauen und beobachten, ob sich die zweite Scheibe in die gleiche Richtung dreht, wie die erste. Bei Aufgabe B sollst du bauen und beobachten, wie oft sich die zweite Scheibe dreht, wenn du die erste genau einmal herumdrehst. Klebe dazu einen Klebepunkt auf die zweite Scheibe, das hilft dir beim genauen Beobachten.“	„Bei Aufgabe 1 A sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, in welche Richtung sich die zweite Scheibe dreht. Stell dir vor, du drehst hier (Zeigen am Schild) an der Kurbel, dreht sich die zweite Scheibe dann in die gleiche Richtung wie die erste oder in die andere Richtung?“ „Bei Aufgabe 1 B sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, wie oft sich die zweite Scheibe dreht, wenn du die erste genau einmal herumdrehst (Zeigen am Schild). Klebe dazu einen Klebepunkt auf die zweite Scheibe, das hilft dir beim genauen Beobachten. Außerdem musst du dir den Ausgangspunkt der Kurbel merken, damit du weißt, wann du einmal herumdrehst hast.“

Die Weiterentwicklungen wurden in einem zusätzlichen vierten Erhebungszyklus überprüft (s. Abb. 24).

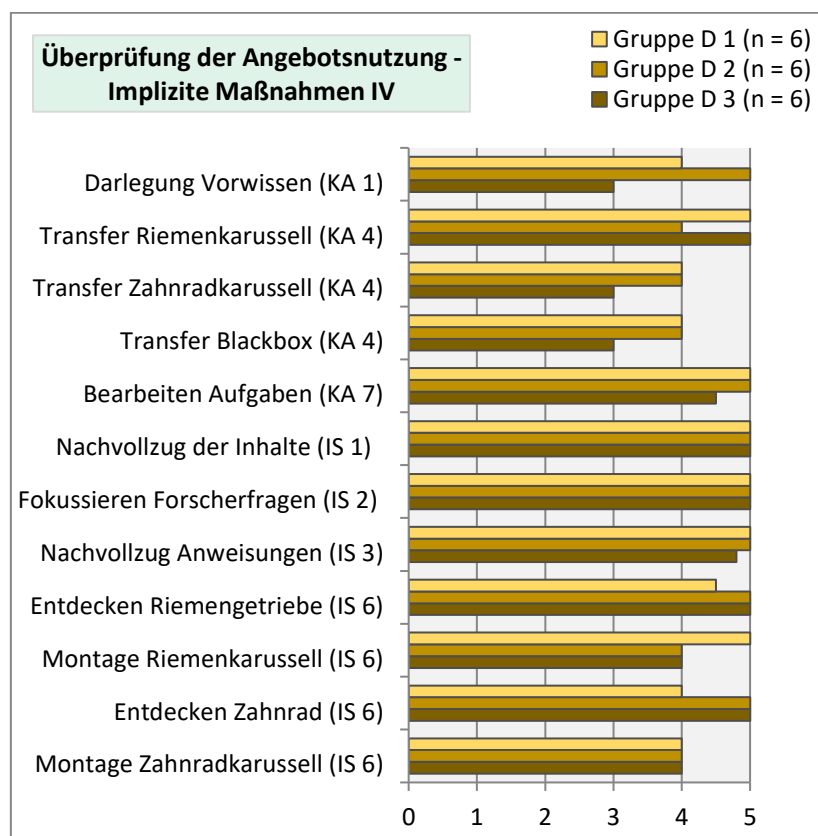


Abb. 24: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklus implizit IV

Anhand der Ergebnisse zeigt sich, dass die zusätzlichen Erläuterungen die Anschaulichkeit der Materialien erhöht und das Anwenden der Funktionsprinzipien des Zahnradgetriebes erleichtert haben. Die Strukturierungsmaßnahme „Veranschaulichen“ (IS 6) kann nun von den Lernenden in intendierter Weise genutzt werden.

Der Transfer auf das Zahnradkarussell und die Blackbox (KA 4) gelang in der Gruppe D 3 dennoch nicht umfänglich. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Anschaulichkeit der Materialien für einige Lernende keine hinreichende Voraussetzung für die Anwendung und Übertragung der Funktionsprinzipien darstellt. Vor allem der über die Radanzahl umzusetzende Drehrichtungswechsel erschloss sich den Lernenden häufig nicht unmittelbar. Im Rahmen der Erprobung wurde aber auch deutlich, dass es den betreffenden Schülerinnen und Schülern der Gruppe D 3 generell schwerfiel, sich zu konzentrieren und sich auf das Unterrichtsgeschehen einzulassen (vgl. Kap. 5.4.5.2)

Eine weitere Optimierung der impliziten Lernunterstützungsmaßnahmen wird daher aufgrund der im letzten Erhebungszyklus mehrheitlich nachgewiesenen intendierten Nutzung nicht vorgenommen.

5.4.5.2 Moderat explizite Lernunterstützungsmaßnahmen

Die moderat expliziten Lernunterstützungsmaßnahmen wurden mit insgesamt sechs Kleingruppen erprobt und auf die Angebotsnutzung hin überprüft. Die vorliegenden Beobachterurteile weisen eine tendenzielle Übereinstimmung von 100% auf.

Die Ergebnisse des ersten Erhebungszyklus belegen, dass die Maßnahme „Vorstellungen aufbauen bzw. weiterentwickeln“ (KA 3) nicht in intendierter Weise genutzt werden konnte (s. Abb. 25). Den Lernenden gelang es nicht, genotypische Ähnlichkeiten zu benennen. Auf die Frage, welche Aufgaben etwas gemeinsam haben, wurden ausschließlich phänotypische Gemeinsamkeiten benannt („Die sind alle mit Zahnrädern.“; „Hier gibt es immer eine große und eine kleine Scheibe.“). Da noch nicht abgeschätzt werden konnte, ob die hier zu beobachtende Nutzung lerngruppenspezifisch zu interpretieren ist und auch keine offensichtlichen Möglichkeiten der Optimierung aus den beobachteten Lernaktivitäten hervorgehen, wurden vorerst keine Weiterentwicklungen vorgenommen.

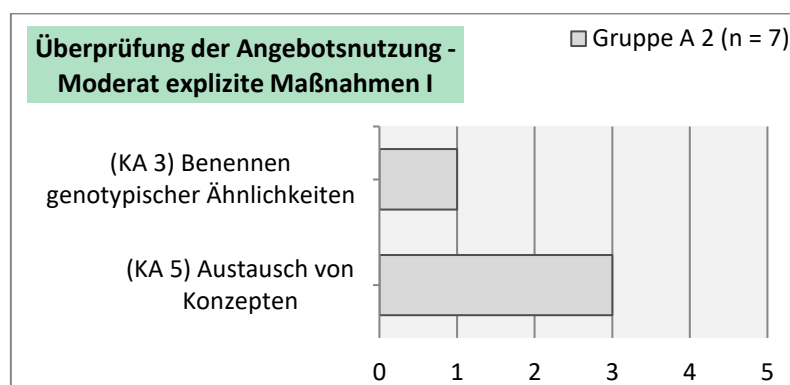


Abb. 25: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklus moderat explizit I

Im Hinblick auf den Austausch von Konzepten (KA 5) zeigt sich, dass es der Mehrheit der Lernenden gelang, sich über ihre Vorstellungen und Konzepte auszutauschen. Anhand der Beobachtungsprotokolle wird ersichtlich, dass es vor allem zurückhaltenden Schülerinnen und Schülern schwerfiel, sich in die Gruppendiskussion einzubringen. Als mögliche Optimierung wird festgelegt, dass der Austausch zunächst in Partnergruppen erfolgen und dann auf die

Gesamtgruppe übertragen werden sollte. Die Ergebnisse des zweiten Erhebungszyklus deuten darauf hin, dass diese Aktivierungsmaßnahme nun in intendierter Weise von den Lernenden genutzt werden konnte (s. Abb. 26).

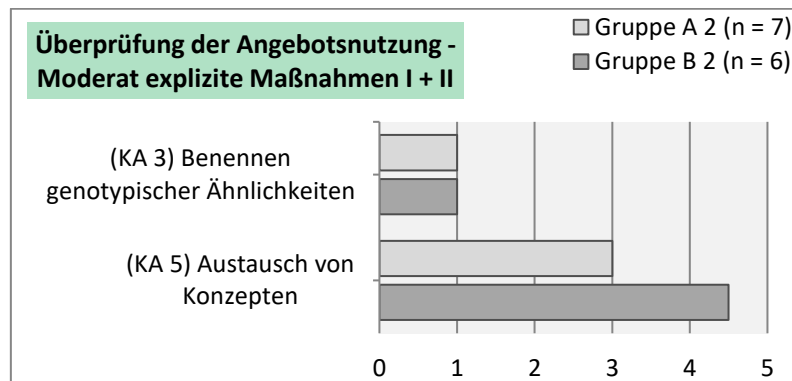


Abb. 26: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklen moderat explizit I und II

Im Hinblick auf die Benennung genotypischer Ähnlichkeiten zeigt sich allerdings erneut ein Optimierungsbedarf. Nach Auswertung der Beobachtungsprotokolle wurde ersichtlich, dass die Aufmerksamkeit der Lernenden vermutlich durch die Fragestellung der Lehrkraft auf die äußerlichen Ähnlichkeiten gelenkt wurde. Zur Optimierung erscheint es daher sinnvoll, die Frage stärker auf die beobachtbaren funktionalen Gemeinsamkeiten auszurichten (s. Tab. 33).

Tab. 33: Optimierung der Fragestellung zu den genotypischen Ähnlichkeiten

Manual moderat explizite Lernunterstützung I + II Fragestellung genotypische Ähnlichkeiten	Manual moderat explizite Lernunterstützung III Fragestellung genotypische Ähnlichkeiten
„Welche Aufgaben haben etwas gemeinsam?“	„Bei welchen Aufgaben konntest du etwas Ähnliches beobachten?“

Um mögliche Änderungen in der Angebotsnutzung überprüfen zu können, wurden die moderat expliziten Maßnahmen einer dritten Analyse unterzogen (s. Abb. 27).

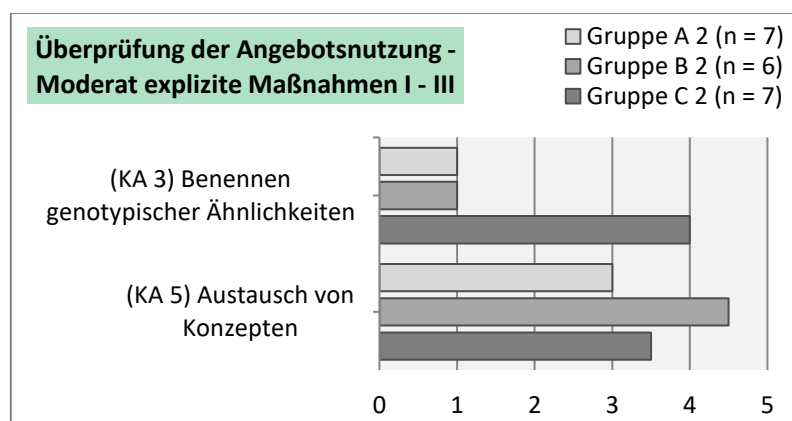


Abb. 27: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklen moderat explizit I, II und III

Im Hinblick auf die Benennung genotypischer Ähnlichkeiten lassen die Ergebnisse den Rückschluss zu, dass der Aufmerksamkeitsfokus der Lernenden gelenkt werden konnte. Es gelang den Schülerinnen und Schülern nun, die Übersetzung ins Schnelle und ins Langsame beim Zahnrad- und beim Riemengetriebe zu benennen und zu erläutern. In Bezug auf den Austausch der Lernenden ist allerdings ein leichter Rückgang der Werte zu verzeichnen. Zur Ergebnissicherung erscheint es daher notwendig, die moderat expliziten Maßnahmen einem weiteren Überprüfungszyklus zu unterziehen.

Die Ergebnisse des vierten Erhebungszyklus zeigen für die ersten beiden Lerngruppen äußerst zufriedenstellende Ergebnisse (s. Abb. 28). Beide Aktivierungsmaßnahmen werden von den Lernenden in intendierter Weise genutzt. Im Hinblick auf die dritte Gruppe können diese Befunde nicht bestätigt werden. Es gelang einzelnen Schülerinnen und Schülern nicht, sich mit einem Partner sachbezogen auszutauschen. Die Ursachen hierfür scheinen allerdings eher im individuellen Kommunikations- und Sozialverhalten begründet zu sein (s. Kap. 5.4.5.1). Im Zuge der weiteren Erhebungen sollte die Lehrkraft in solchen Fällen den Austausch *optional* durch Nachfragen oder Anregungen verstärkt unterstützen.

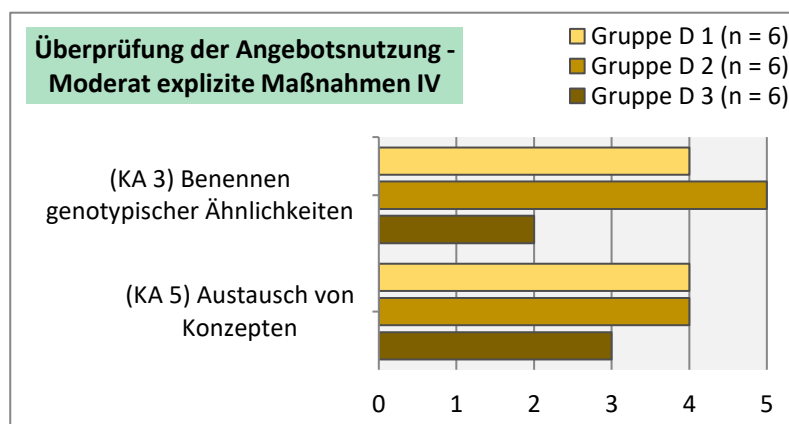


Abb. 28: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklus moderat explizit IV

Auch das eigenaktive Benennen genotypischer Ähnlichkeiten bereitete den Lernenden der Gruppe D 3 Schwierigkeiten. Um die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler auf die Funktionsprinzipien zu lenken, erscheint es zielführend, in solchen Fällen *optional* ein „Getriebepärchen“ von der Lehrkraft präsentieren zu lassen (s. Tab. 34).

Tab. 34: Optimierung der Gesprächsführung und Anleitung zur Benennung genotypischer Ähnlichkeiten

Manual moderat explizite Lernunterstützung III Gesprächsführung genotypische Ähnlichkeiten	Manual moderat explizite Lernunterstützung IV Gesprächsführung genotypische Ähnlichkeiten
„Hier seht ihr noch einmal die Modelle von den Aufgaben A und B. Bei welchen Aufgaben konntest du etwas Ähnliches beobachten?“	„Hier seht ihr noch einmal die Modelle von den Aufgaben A und B. Ich möchte gerne wissen, bei welchen Aufgaben du etwas Ähnliches beobachten konntest.“ Die Lehrkraft zeigt optional ein „Pärchen“ und erfragt Ähnlichkeiten. „Ich konnte bei diesen beiden etwas Ähnliches beobachten. Habt ihr eine Idee, was hier ähnlich ist?“

Diese Optimierungen wurden im Unterrichtsmaterial ergänzt (s. Anhang A 12, S. 241 ff.). Auf eine weitere Überprüfung der Maßnahmen wird in Anbetracht der mehrheitlich intendierten Angebotsnutzung und der lerngruppenspezifischen Besonderheiten allerdings verzichtet.

5.4.5.3 Intensiv explizite Lernunterstützungsmaßnahmen

Die intensiv expliziten Lernunterstützungsmaßnahmen wurden mit insgesamt drei Kleingruppen erprobt und auf die Angebotsnutzung hin überprüft. Die vorliegenden Beobachterurteile weisen eine tendenzielle Übereinstimmung von 100% auf.

Die Ergebnisse der ersten beiden Erhebungszyklen belegen, dass die Maßnahmen in intendierter Weise von den Lernenden genutzt werden konnten (s. Abb. 29). In Bezug auf die Forschungsfrage ein äußerst zufriedenstellender Befund. Besonders eindrücklich war zu beobachten, dass die Lernenden die Entwicklung des eigenen Wissens anhand der Sachzeichnung reflektieren und neue Erkenntnisse verbalisieren und integrieren konnten.

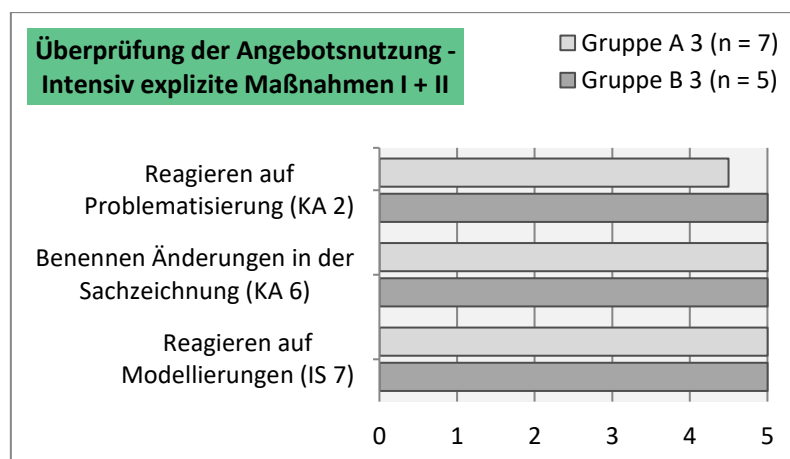


Abb. 29: Überprüfung der Angebotsnutzung: Ergebnisse der Erhebungszyklen intensiv explizit I und II

Im Rahmen des dritten Erhebungszyklus können die Befunde nicht umfänglich bestätigt werden (s. Abb. 30). In Bezug auf die Angebotsnutzung der Maßnahmen Problematisieren (KA 2) und Modellieren (IS 7) ist hier ein Rückgang der Werte zu verzeichnen.

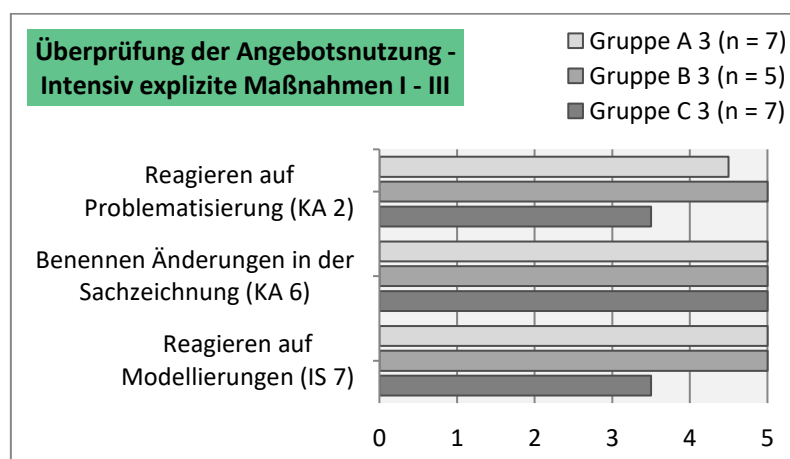


Abb. 30: Ergebnisse der Überprüfung der Angebotsnutzung: Erhebungszyklen intensiv explizit I, II und III

Nicht alle Lernenden reagierten während der unterrichtlichen Erprobung aktiv auf die Problematisierungen und Modellierungen der Lehrkraft. Zur Optimierung scheint es zielführend, über optionale Impulse eine Reaktion der Schülerinnen und Schüler zu provozieren („Stimmt das denn?“; „Ist das so richtig?“; „Was meint ihr dazu?“). Diese Optimierungen wurden im Unterrichtsmanual ergänzt (s. Anhang A 13, S. 245 ff.). Auf eine weitere Überprüfung der Maßnahmen wird in Anbetracht der mehrheitlich intendierten Angebotsnutzung verzichtet.

5.4.6 Zusammenfassung und Diskussion der Befunde

Die Ergebnisse des ersten Erhebungszyklus zeigen, dass die Mehrzahl der impliziten Lernunterstützungsmaßnahmen und auch die intensiv expliziten Maßnahmen von den Schülerinnen und Schülern in intendierter Weise genutzt werden konnten. Ein Optimierungsbedarf wird bei zwei impliziten und den beiden moderat expliziten Maßnahmen deutlich. Im Zuge der weiteren Erhebungszyklen konnten wesentliche Impulse für die Weiterentwicklung dieser Maßnahmen abgeleitet und die Angebotsnutzung zunehmend abgesichert werden. Die vorgenommenen Optimierungen beziehen sich mehrheitlich auf die zunehmende Präzisierung der Beobachtungsaufträge und der Fragestellungen, betreffen aber auch den Umgang mit den Montagematerialien und Getriebemodellen. Über diese fest integrierten Weiterentwicklungen hinaus konnten aber auch optionale Impulse abgeleitet werden, die im Bedarfsfall eingesetzt werden können, um die Angebotsnutzung zu optimieren (vgl. Tab. 34).

Die im letzten Erhebungszyklus erzielten Befunde zeigen, dass sowohl die impliziten als auch die moderaten und intensiven Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen von den Lernenden mehrheitlich in intendierter Weise genutzt werden können. Im Hinblick auf die Forschungsfragen ein äußerst positives Ergebnis, da auf diese Weise die grundlegende Eignung der entwickelten Lehr-Lernarrangements bestätigt werden kann.

Bei der Ergebnisinterpretation muss allerdings einschränkend berücksichtigt werden, dass die ermittelten Befunde nicht verallgemeinerbar sind. Die Kontextbezogenheit stellt vielmehr ein wesentliches Merkmal Fachdidaktischer Entwicklungsforschung dar, „einerseits, weil sie den Entstehungskontext der Fallstudien nie völlig transzendieren kann, andererseits, weil sie ganz bewusst gegenstandsspezifisch bleibt [...]“ (Prediger et al., 2012, S. 456). Im Rahmen des Forschungsprojektes LERNnetze und vor allem im Hinblick auf die dritte Teilstudie kommt den vorliegenden Ergebnissen gerade aus diesem Grund eine zentrale Bedeutung zu. Um gesicherte Erkenntnisse zur spezifischen Wirkung der gestuften Strukturierungs- und Aktivierungsmaßnahmen zu erhalten, musste im Vorfeld überprüft werden, inwieweit die jeweils eingesetzten Maßnahmen tatsächlich in intendierter Weise genutzt werden können. Auf Basis der hier ermittelten Befunde kann nun die Wirkanalyse erfolgen und konkretisiert werden, wie sich die verschiedenen Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und das Lernerleben auswirken (s. Kap. 7).

Die im Kontext der Teilstudie LERNnetze I ermittelten Befunde belegen aber auch die Notwendigkeit, geplante unterrichtliche Maßnahmen im Hinblick auf mögliche Lernschwierigkeiten zu überprüfen. Unerlässlich erscheinen in diesem Zusammenhang die

unterrichtliche Erprobung und somit der Einbezug der Perspektive der Schülerinnen und Schüler. Über die Unterrichtsbeobachtung und das entwickelte Beobachtungsmanual gelang es, die Hemmnisse in der Angebotsnutzung aufzudecken und Optimierungsmöglichkeiten abzuleiten. Die Ergebnisse liefern über das spezifische Thema des Kurbelkarussells hinaus wesentliche Anknüpfungspunkte für die Gestaltung eines technikbezogenen Sachunterrichts. So scheint es im Bereich des technischen Lernens besonders relevant, neben den fachlichen Kompetenzen auch fachsprachliche Fähigkeiten und Fertigkeiten zu berücksichtigen und aufzubauen. Diese sprachensible Ausrichtung des Unterrichts konnte etwa durch die Vorgabe von Antwortmöglichkeiten zur Dokumentation der Drehrichtungs- und Drehzahlverhältnisse umgesetzt werden (vgl. Tab. 18). Im Zuge der weiteren Optimierung wurden aber auch die Arbeits- und Beobachtungsaufträge zunehmend konkretisiert (vgl. Tab. 30 und 32). Dabei zeigte sich im Übrigen auch, dass die zunächst sehr offen formulierten Anweisungen sich nicht als tragfähig erwiesen. Zudem konnte bestätigt werden, dass es den Lernenden über die Anfertigung einer Sachzeichnung gelang, ihre Vermutungen und Vorstellungen zu dokumentieren und zu reflektieren (vgl. Kap. 5.4.5.1 und Kap. 5.4.5.3).

Darüber hinaus wurde auch erkennbar, wie bedeutend es ist, die technisch-praktischen Aufgaben, Materialien und Modelle im Hinblick auf ihre Handhabbarkeit und Anschaulichkeit zu überprüfen. Die Befunde der hier vorgenommenen Unterrichtsbeobachtung lassen den Rückschluss zu, dass auf diese Weise die extrinsische Belastung der Lernenden verringert und Frustrationserlebnisse vermieden werden können. Im Rahmen der Erprobung zeigte sich, dass einige Schülerinnen und Schüler auf Schwierigkeiten bei den Montageaufgaben zum Zahnradgetriebe sehr sensibel reagierten und selbst kleinere Misserfolge unmittelbar zu Verunsicherungen führten und den Lernprozess beeinflussten. Anhand der Aussagen der Lernenden wurde deutlich, dass sie zumeist ihre technikbezogenen Fähigkeiten und Fertigkeiten als ursächlich für das Scheitern betrachteten („Ich kann das nicht.“; „Bei mir geht das nicht.“).

Das im Kontext der Forschungsarbeit entwickelte Beobachtungsmanual erwies sich als geeignet, um die Angebotsnutzung einzuschätzen und Optimierungsmöglichkeiten abzuleiten. Gewinnbringend erscheint vor allem die Kombination aus quantitativen Einschätzungen und qualitativen Beschreibungen der Lernaktivitäten. Von Vorteil war zudem, dass die Beobachterinnen und Beobachter unmittelbar am Unterrichtsgeschehen teilnahmen. Auf diese Weise konnte sich eine gewisse Nähe und Empathie gegenüber den Lernenden einstellen, die es erleichterte, die Angebotsnutzung einzuschätzen. Eine Herausforderung stellte hingegen die gleichzeitige Beobachtung und Dokumentation der Geschehnisse dar, da sich im Gegensatz zur videogestützten Unterrichtsbeobachtung hier nicht die Gelegenheit zur wiederholenden Betrachtung ergab.

Anzumerken bleibt, dass sich der Indikator im Bereich „Vorwissen darlegen“ aus pädagogisch-didaktischer Perspektive als nicht umfänglich geeignet herausstellte (vgl. Kap. 5.4.5.1). Hier sollte eine Konkretisierung erfolgen und lediglich das Anfertigen der Sachzeichnung fokussiert werden (s. Tab. 35).

Tab. 35: Optimierung des Beobachtungsmanuals im Bereich der impliziten Lernunterstützungsmaßnahmen

Kognitiv anregende Maßnahme der Lernunterstützung (nach Adamina et al. 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	NUTZUNG: Intendierte Nutzung auf Seite der Lernenden
Vorhandene Vorstellungen erschließen (KA 6) Vorwissen der Lernenden aufnehmen	Anfertigen einer Sachzeichnung Sammlung der Vermutungen und Erklärungen	Die Lernenden legen ihr Vorwissen über eine Sachzeichnung dar.

Bei der Interpretation der Befunde bleibt zudem zu beachten, dass die Einschätzungen unter Berücksichtigung der Verteilung des gezeigten Verhaltens innerhalb der Lerngruppe vorgenommen wurden. Lernende, die über die entsprechenden Kenntnisse verfügen, sich aber nur zurückhaltend oder gar nicht beteiligen, werden somit nicht adäquat erfasst. Im Rahmen des vierten Erhebungszyklus zeigte sich aber auch, dass einzelne Lernende, die das Angebot aufgrund von Auffälligkeiten in ihrer emotionalen und sozialen Entwicklung nicht adäquat nutzen können, die Einschätzungsergebnisse beeinflussen. Dies sollte bei zukünftigen Erhebungen im Beobachtungsmanual dokumentiert und bei der Überprüfung der Angebotsnutzung einbezogen werden.

6 LERNnetze II: Analyse der inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben

Im Rahmen der Teilstudie „LERNnetze II“ wurde anhand des Kurbelkarussellmodells erhoben, über welche inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben Schülerinnen und Schüler aus dritten Grundschulklassen verfügen.

6.1 Konkretisierung der Zielsetzung und Ableitung der Forschungsfragen

Lernpsychologische und fachdidaktische Erkenntnisse belegen, dass vor allem das inhaltspezifische Vorwissen die weitere Wissenskonstruktion entscheidend beeinflusst (Adamina et al., 2018; Stern, 2003). Um Lernprozesse angemessen planen und unterstützen zu können, ist es daher unerlässlich, sich einen Überblick über das Vorwissen der Lernenden, ihre Denkweisen und Vorstellungen zu verschaffen (Wodzinski, 2006). Aus kognitiv- und sozial-konstruktivistischer Perspektive wird das Lernen als mental-aktiver und dialogischer Konstruktionsprozess betrachtet, der auf Basis der bereits vorhandenen Vorstellungen erfolgt, die entsprechend verknüpft, erweitert oder umstrukturiert werden müssen (Reinmann & Mandl, 2006; Reusser, 2006). „Je vertiefter die Einsichtnahme einer Lehrperson in die Vorstellungen und Konzepte der Lernenden [folglich] ist“ (Adamina et al., 2018, S. 11), umso passgenauer können die nächsten Lernschritte begleitet, erforderliche Differenzierungsmaßnahmen angeboten und mögliche Lernschwierigkeiten antizipiert werden. Um Einblicke in die individuellen Lernfortschritte erhalten zu können, empfiehlt es sich zudem, die Vorstellungen der Lernenden auch im Unterrichtsverlauf sowie am Ende von Unterrichtseinheiten zu erfassen (s. Kap. 7.6.1).

Im Bereich des technischen Lernens erscheint die Erhebung der inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen besonders relevant, da hier sozialisationsbedingt von äußerst heterogenen Lernvoraussetzungen auszugehen ist (s. Kap. 2.2.1). Dennoch gibt es bislang nur wenige Forschungsarbeiten, die sich diesem Desiderat widmen (vgl. Möller & Wyssen, 2018). Die bisherigen Studienergebnisse zeigen übereinstimmend, dass die technikbezogenen Vorstellungen von Grundschulkindern zur Funktionsweise von Geräten und Maschinen äußerst unterschiedlich ausgeprägt sind. Die Spannweite reicht von wenig elaborierten Ansätzen, über die eher additive Abbildung einzelner Konstruktionselemente bis hin zur Darlegung funktionsfähiger Lösungen (vgl. Biester, 1991; Möller, 1991; Ullrich, 1994; Zolg, 2001).

Im Rahmen der Teilstudie LERNnetze II soll erhoben werden, inwiefern sich die bisherigen Befunde auch im Hinblick auf die inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben bestätigen lassen. Der Forschungsfokus liegt daher auf der Ermittlung und Konkretisierung der bestehenden Unterschiede im technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denken der Schülerinnen und Schüler (vgl. Ullrich, 1994).

Aus technikdidaktischer Perspektive ist es in diesem Zusammenhang besonders bedeutsam zu überprüfen, inwieweit sich die in den Erhebungen von Zolg (2001) und Baumert (1996) festgestellten geschlechtsspezifischen Unterschiede auch anhand der Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getriebe belegen lassen (vgl. Kap. 2.2.1). Untersucht wird

zudem, inwieweit sich Zusammenhänge zwischen den technikbezogenen Lernvoraussetzungen und den kognitiven Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht zeigen.

Die zentrale Forschungsfrage wird daher durch drei spezifische Forschungsfragen konkretisiert.

Die zentrale Forschungsfrage lautet:

- I. *Über welche inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und zur Funktionsweise von Getrieben verfügen Schülerinnen und Schüler aus dritten Grundschulklassen?*

Die spezifischen Forschungsfragen lauten:

- I.I *Welche Unterschiede zeigen sich im Hinblick auf das **technisch-konstruktive und das technisch-funktionale Denken** der Lernenden?*
- I.II *Inwieweit zeigen sich bei **Mädchen und Jungen** Unterschiede in den inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben?*
- I.III *Inwieweit zeigen sich **bei Lernenden mit geringen, durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen** Unterschiede in den inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben?*

Den Untersuchungsergebnissen kommt sowohl aus sachunterrichts- und technikdidaktischer Perspektive als auch im Hinblick auf die nachfolgende Teilstudie LERNnetze III eine besondere Bedeutung zu. So können auf Basis der hier ermittelten Befunde Erkenntnisse zur Notwendigkeit einer gendersensiblen und differenzierten Unterrichtsgestaltung gewonnen sowie Anknüpfungspunkte zur Umsetzung einer angemessenen Lernunterstützung abgeleitet werden.

Auch für die anschließend durchzuführende Wirkanalyse ist die Erfassung und Kategorisierung der individuellen Lernausgangslagen äußerst relevant. Anhand der Ergebnisse können zum einen vergleichbare Treatmentgruppen gebildet werden (s. Kap. 7.3.1). Zum anderen ermöglicht der Abgleich der hier gewonnenen Pretest-Daten mit den Ergebnissen der Post- und Follow-up-Testung die Ermittlung des individuellen Lernzuwachses der Schülerinnen und Schüler. Auf dieser Basis lassen sich Erkenntnisse zur Wirkung der unterschiedlichen Lernunterstützungsgrade ableiten (s. Kap. 7.6.1).

6.2 Studiendesign und methodische Schritte

Zur Erfassung der inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben werden mit Schülerinnen und Schülern aus zehn Grundschulklassen anhand des Kurbelkarussellmodells problemzentrierte Einzelinterviews durchgeführt (s. Abb. 31). Die Dokumentation der individuellen Lernvoraussetzungen erfolgt über die Anfertigung von Sachzeichnungen. Die Auswertung der Sachzeichnungen wird mittels qualitativer Inhaltsanalyse unter Berücksichtigung der Spezifika des technisch-konstruktiven und des technisch-funktionalen Denkens vorgenommen (vgl. Kuckartz, 2018; Ullrich, 1994).

Die sachunterrichtsbezogenen kognitiven Lernvoraussetzungen werden von den jeweiligen Fachlehrkräften anhand eines Erhebungsbogens eingeschätzt und quantitativ ausgewertet.

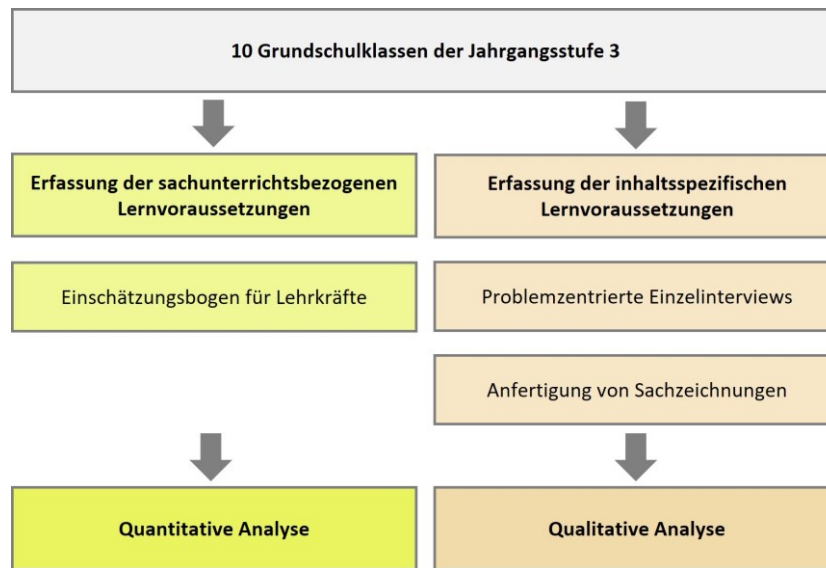


Abb. 31: Studiendesign der Teilstudie LERNnetze II

6.3 Methoden der Datengewinnung und -auswertung

Unter Berücksichtigung des grundlegenden Erkenntnisinteresses und der spezifischen Bedürfnisse der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler werden sowohl quantitative als auch qualitative Methoden der Datengewinnung und -auswertung genutzt. Nachfolgend wird zunächst die Erfassung der sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen vorgestellt. Auf die Erhebung, Analyse und Auswertung der inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen wird daran anschließend eingegangen.

6.3.1 Erfassung der sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen

Zur Erhebung der sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen wurde ein quantitativer Einschätzungsbogen entwickelt (s. Anhang A 7, S. 230 f.). Die Generierung der Items erfolgte überwiegend auf Grundlage der perspektivenübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen des Sachunterrichts (vgl. GDSU, 2013).

Zusätzlich zu den im Kontext des Forschungsprojektes zentralen kognitiven Lernvoraussetzungen werden über den Einschätzungsbogen auch die sozialen, sprachlichen und motivationalen Lernvoraussetzungen der Lernenden erfasst. Darüber hinaus beinhaltet das Erhebungsinstrument Items zur kognitiven Aktivierung und Belastung sowie zur Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler. Im Folgenden wird genauer auf die Erhebung und Auswertung der kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen eingegangen. Die Hintergründe zur Erfassung der weiteren sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen sowie der bereits im Sachunterricht behandelten Unterrichtsinhalte werden daran anschließend erläutert.

6.3.1.1 Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen

Im Zuge der Ermittlung der kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen wird neben den prozeduralen kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten wie dem *Erkennen und Verstehen* und dem *Evaluieren und Reflektieren* auch das deklarative Wissen der Lernenden berücksichtigt (s. Tab. 36).

Tab. 36: Items zur Erfassung der kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen

Perspektivenübergreifende Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (GDSU, 2013)	Items zur Einschätzung der kognitiven Lernvoraussetzungen im Sachunterricht
Erkennen und Verstehen	Item 3: Der Schülerin/Dem Schüler gelingt es im Sachunterricht, eigene Lösungsansätze zu finden. Item 5: Der Schülerin/Dem Schüler gelingt es, Sachverhalte zu durchschauen. Item 8: Der Schülerin/Dem Schüler gelingt es im Sachunterricht, Zusammenhänge zu erkennen und auf andere Sachverhalte zu übertragen.
Evaluieren und Reflektieren	Item 10: Die Schülerin/Der Schüler kann Sachverhalte, Vorschläge und Lösungsansätze anderer durchdenken und beurteilen. Item 13: Die Schülerin/Der Schüler kann eigene Lösungsansätze hinterfragen und reflektieren.
Weiterer Aspekt	
Deklaratives Wissen	Item 1: Die Schülerin/Der Schüler verfügt über grundlegende Kenntnisse zu den bereits im Sachunterricht behandelten Inhalten.

Anhand einer 6-stufigen Skala (*trifft voll zu – trifft nicht zu*) schätzen die Sachunterrichtslehrkräfte ein, inwieweit die aufgeführten Aussagen auf die jeweiligen Schülerinnen und Schüler zutreffen. Zur Erleichterung der Einschätzung wurden den verbalen Beschreibungen analog zur Notenskala entsprechende Zahlenwerte zugeordnet (s. Tab. 37). Die Antwortoption „Keine Angabe möglich“ wurde integriert, um darlegen zu können, dass Kompetenzen der Lernenden aktuell noch nicht einzuschätzen sind.

Tab. 37: Einschätzungsskala mit zugeordneten Zahlenwerten

Trifft voll zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe möglich
1	2	3	4	5	6	---

Die quantitative Datenauswertung erfolgt anhand der Skalenmittelwerte. Analog zur Notenskala entsprechen geringere Werte dabei einer höheren Ausprägung der kognitiven sachunterrichtsspezifischen Lernvoraussetzungen.

Anhand der Skalenmittelwerte werden die Lernenden den Lernvoraussetzungsspektren *hoch*, *durchschnittlich* und *gering* zugeteilt (s. Tab. 38).

Tab. 38: Skalenmittelwerte und zugeordnete Lernvoraussetzungsspektren

Lernvoraussetzungsspektren	Skalenmittelwerte
Hohe sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen	1,0 – 2,4
Durchschnittliche sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen	2,5 – 3,9
Geringe sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen	4,0 – 6,0

6.3.1.2 Weitere sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen

Die weiteren sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen werden im Hinblick auf die Teilstudie LERNnetze III erhoben. Um die Befunde der hier durchzuführenden Wirkanalyse abzusichern, werden ausschließlich Lernende ausgewählt, deren sprachliche, soziale und motivational-affektive Lernvoraussetzungen als mindestens durchschnittlich eingeschätzt wurden (s. Tab. 39).

Tab. 39: Items zur Erhebung der weiteren sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen

Perspektivenübergreifende Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen (GDSU, 2013)	Items zur Einschätzung der weiteren Lernvoraussetzungen im Sachunterricht
Umsetzen und Handeln	Item 12: Die Schülerin/Der Schüler kann eigene Handlungen (z.B. beim Experimentieren oder bei der Bearbeitung offenerer Aufgaben) planen und zielgerichtet umsetzen.
Eigenständig arbeiten	Item 4: Die Schülerin/Der Schüler kann sich Aufgaben und Lerninhalte im Sachunterricht eigenständig erarbeiten.
Kommunizieren	Item 7: Die Schülerin/Der Schüler kann Ideen, Lösungsansätze und eigene Erfahrungen mündlich versprachlichen. Item 11: Die Schülerin/Der Schüler kann Ideen, Lösungsansätze und eigene Erfahrungen schriftlich dokumentieren.
Mit anderen zusammenarbeiten	Item 9: Die Schülerin/Der Schüler kann im Sachunterricht mit anderen konstruktiv zusammenarbeiten.
Den Sachen interessiert begegnen	Item 6: Die Schülerin/Der Schüler begegnet den sachunterrichtlichen Lehr- und Lerninhalten interessiert.
Weitere Aspekte	
Kognitive Belastung	Item 14: Die Schülerin/Der Schüler muss sich anstrengen, um die Lehrinhalte zu verstehen.
Kognitive Aktivierung	Item 15: Die Schülerin/Der Schüler denkt im Sachunterricht vertiefend über die Lerninhalte nach

Die Items zur Erhebung der weiteren sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen wurden ebenfalls mehrheitlich auf Basis der perspektivenübergreifenden Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen des Sachunterrichts entwickelt.

Bei der Bestimmung der *sprachlichen Lernvoraussetzungen* werden die mündlichen sowie die schriftlichen Kompetenzen der Lernenden berücksichtigt. Die *Selbstständigkeit* wird sowohl im Hinblick auf das Umsetzen und Handeln als auch in Bezug auf das eigenständige Arbeiten erhoben. Zur Ermittlung der *sozialen Lernvoraussetzungen* wird eingeschätzt, inwieweit die Schülerinnen und Schüler konstruktiv mit anderen zusammenarbeiten können. Die *motivationalen Lernvoraussetzungen* beziehen sich auf das Interesse, das die Lernenden den sachunterrichtlichen Lehr- und Lerninhalten entgegenbringen. Zur weiteren Absicherung werden zudem die *kognitive Belastung* sowie die *kognitive Aktivität* der Lernenden erhoben.

Anhand der sechsstufigen Antwortskala schätzen die Lehrkräfte ein, inwieweit die aufgeführten Aussagen auf die jeweiligen Schülerinnen und Schüler zutreffen (vgl. Tab. 37).

Die quantitative Datenauswertung erfolgt anhand der Skalenwerte und Skalenmittelwerte. Analog zur Notenskala entsprechen auch hier geringere Werte einer höheren Ausprägung der sachunterrichtsspezifischen Lernvoraussetzungen (vgl. Tab. 38). Die Werte zur kognitiven Belastung werden entsprechend invertiert.

6.3.1.3 Erfassung der bereits behandelten Unterrichtsinhalte

Um überprüfen zu können, ob die Schülerinnen und Schüler der einzelnen Klassen bereits über sachunterrichtsbezogene Vorerfahrungen im Bereich Technik verfügen, wurde zusätzlich zu dem quantitativen Einschätzungsbogen ein weiterer Erhebungsbogen entwickelt. Die Lehrpersonen führen hier auf, welche Unterrichtsinhalte sie bereits mit ihren Lerngruppen im Sachunterricht behandelt haben (s. Anhang A 8, S. 232). Im Rahmen der qualitativen Auswertung wird eingeschätzt, inwieweit die Lernenden bereits Vorerfahrungen zum Thema „Funktion und Funktionsweise von Getrieben“ sammeln konnten. Diese zusätzliche Erhebung erscheint unerlässlich, um eine mögliche Beeinflussung der Lernausgangslagen erkennen und im Rahmen der Ergebnisinterpretation berücksichtigen zu können.

Auf die individuelle Erfassung der technikbezogenen Überzeugungen und Lernerfahrungen wird im Rahmen der Pretestung jedoch bewusst verzichtet, um eine Aktivierung der Geschlechterstereotype zu vermeiden.

6.3.2 Erhebung der inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben

Zur Erhebung des inhaltspezifischen Vorwissens werden problemzentrierte Einzelinterviews durchgeführt (vgl. Witzel, 2000). Die Umsetzung der Interviewsituationen erfolgt unter Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse und der Verbalisierungsfähigkeit der teilnehmenden Schülerinnen und Schüler (vgl. Heinzel, 2000). Um die Vergleichbarkeit der Interviewsituationen sicherzustellen, wurde ein Interviewleitfaden entwickelt (s. Anhang A 9, S. 233). Zudem werden alle Interviews von derselben Person durchgeführt. Da hierfür neben der Expertise im technischen Sachunterricht eine besondere pädagogische Erfahrung erforderlich erscheint, wird dies von der Studienleiterin selbst übernommen.

Im Verlauf der Interviews werden den Lernenden anhand des Kurbelkarussellmodells drei Getriebefunktionen nacheinander vorgeführt und veranschaulicht, ohne dass sie dabei Einblicke in die Funktionsprinzipien erhalten. Kindgemäß formulierte Forscherfragen, die auch in der Unterrichtseinheit zum Kurbelkarussell eingesetzt werden, dienen der Aufmerksamkeitsfokussierung und der Schaffung von Zielklarheit (s. Tab. 40).

Tab. 40: Getriebefunktionen und zugehörige Interviewleitfragen

Getriebefunktionen Kurbelkarussell	Leitfragen im Interview
Weiterleitung der Bewegung	Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?
Änderung der Drehzahl	Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?
Änderung der Drehrichtung	Wie kann die Drehrichtung geändert werden?

Da davon auszugehen ist, dass viele Schülerinnen und Schüler noch keine Idee zu den Forscherfragen - insbesondere zur Änderung von Drehzahl und Drehrichtung - haben, wird im Rahmen der Erhebung darauf geachtet, die Schülerinnen und Schüler nicht zu entmutigen oder zu verunsichern. Heinzl (2000) betont, dass Kinder in Interviewsituationen ohnehin häufig annehmen, sie müssten fehlerfreie Antworten geben. Zu Beginn des Interviews wird den Lernenden daher mitgeteilt, dass es durchaus sein kann, dass sie die Forscherfragen zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht beantworten können, da sie sich bislang noch nicht damit beschäftigt haben. Zudem findet sich bei den Fragen zur Änderung der Drehzahl und der Drehrichtung die Antwortoption „Hier kannst du ankreuzen, wenn du noch keine Idee zu dieser Forscherfrage hast“.

Aufgrund der erwartbar heterogenen Lernvoraussetzungen wird die Erhebung des inhaltspezifischen Vorwissens zudem nicht im Klassenverband, sondern in Form von Einzelinterviews durchgeführt. Auf diese Weise soll eine möglichst ruhige, vertrauensvolle und motivierende Atmosphäre ohne Ablenkungen durch Zwischenrufe und Lösungsnennungen geschaffen werden. Während der Erhebung kann so auch direkt überprüft werden, ob die einzelnen Funktionen des Karussells vom Kind wahrgenommen, und die jeweiligen Forscherfragen erfasst wurden. Das individuelle Arbeitstempo kann berücksichtigt, und Nachfragen zu den Sachzeichnungen direkt geklärt werden.

Da zur Vermittlung der eigenen Vorstellungen zu technischen Funktions- und Konstruktionsprinzipien sprachliche Darstellungen allein häufig nicht ausreichen, werden zur Dokumentation der individuellen inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen Sachzeichnungen genutzt (vgl. Biester, 1991; GDSU, 2013). Auf den einzelnen Erhebungsbögen werden hierzu vereinfachte Querschnittszeichnungen des Karussells abgebildet (s. Abb. 32). Die Schülerinnen und Schüler erhalten den Auftrag, ihr Vorwissen zur Umsetzung der einzelnen Getriebefunktionen in den Karussellumriss einzuzeichnen und die Sachzeichnung anschließend zu beschriften (s. Anhang A 10, S. 234 ff.).

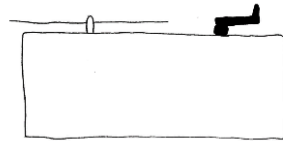


Abb. 32: Karussellumriss als Vorlage zur Anfertigung der Sachzeichnung

6.3.2.1 Zur Nutzung von Sachzeichnungen als Erhebungsinstrument

Neben der Handlung und der Sprache gilt das Zeichnen als zentrales Präsentationsmedium des technischen Denkens. Im Hinblick auf den Abstraktionsgrad nehmen Zeichnungen dabei eine Zwischenposition ein. Sie sind „konkreter als die Sprache und abstrakter als die Handlung“ (Biester, 1991, S. 60). Durch das Zeichnen werden Gedanken und Vorstellungen geordnet und die Aufmerksamkeit gelenkt. Der zu zeichnende Gegenstand erhält einen höheren Bewusstseinsgrad (Biester, 1991). Zudem werden die sonst flüchtigen Vorstellungen dokumentiert, dies schafft eine Distanz, die eine reflektierende und objektivierende Betrachtung ermöglicht. „Beim Zeichnen stehen die Kinder [gewissermaßen] ihren Vorstellungen gegenüber“ (Biester, 1991, S. 61). Dadurch können Vorstellungsmängel entdeckt und Lernprozesse angeregt werden.

Die zeichnerischen Darstellungen erlauben es aber auch Außenstehenden, Einblicke in die Vorstellungen und das technische Denken der Kinder zu gewinnen. Sachzeichnungen stellen somit eine kindgemäße Kommunikations- und Verarbeitungsform dar, die es den Lernenden ermöglicht, ihre Vorstellungen zu dokumentieren, zu strukturieren und weiterzuentwickeln (Zolg & Dölle, 2021). In der Didaktik der technischen Bildung werden Sachzeichnungen daher sowohl als Medium der Lernunterstützung als auch als Medium der Diagnostik genutzt (vgl. Biester, 1991; Möller, 1991; Ullrich, 1994; Zolg, 2001, 2014; Zolg & Dölle, 2021). Im Rahmen der Unterrichtsplanung und -evaluation können auf diesem Wege das technische Denken der Kinder eingeschätzt und individuelle sowie lerngruppenspezifische Unterstützungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Bei der Interpretation und Analyse von Sachzeichnungen müssen allerdings die besonderen Merkmale von Kinderzeichnungen berücksichtigt werden (vgl. Biester, 1991; Schuster, 2000).

6.3.2.2 Zur Interpretation von Sachzeichnungen

Schuster (2000) beschreibt den Zeichenprozess als Interaktion von *Gegenstands-*, *Abbildungs-* und *Ausführungswissen*. Die zeichnerische Umsetzung des Gegenstandswissens wird demnach durch das Abbildungs- und das Ausführungswissen begrenzt. Direkte Rückschlüsse von der Zeichnung auf das Gegenstandswissen sind somit nicht ohne Weiteres zulässig. Bei der Analyse müssen vielmehr auch das Abbildungs- und das Ausführungswissen sowie die Interaktion der drei Determinanten in den Blick genommen werden (Schuster, 2000). Von besonderer Bedeutung ist hierbei, dass Kinder wiederkehrende Darstellungsformen, sogenannte Schemata nutzen, um Gegenstände abzubilden. Ein Kind zeichnet somit nicht, was es sieht, sondern das, was es von den Dingen, aber „eben auch [...] von den Abbildungsmöglichkeiten weiß“ (Schuster, 2000, S. 76). Während das Gegenstandswissen eine wichtige Rolle spielt, wenn ein Gegenstand zum ersten Mal gezeichnet wird, werden später lediglich die entwickelten Abbildungsschemata

für diesen Gegenstand aktiviert. Ein einmal bestehendes Zeichenschema kann dementsprechend auch die Berücksichtigung neuer gegenstandsbezogener Erkenntnisse behindern. Das Abbildungswissen bezieht sich dabei nicht nur auf einzelne Gegenstände, sondern auch auf allgemeinere zeichentechnische Aspekte, wie die Darstellung von Raum und Tiefe. Schuster (2000) betont, dass viele typische Merkmale von Kinderzeichnungen wie *Abklappungen* oder *Röntgenbilder* aus dem Versuch resultieren, Gegenstände und Räume dreidimensional abzubilden. Untersuchungen von Biester (1991) zeigen, dass diese Schemata auch im Bereich des technischen Lernens genutzt werden, um Räumlichkeit darzustellen (s. Abb. 33 a-c).

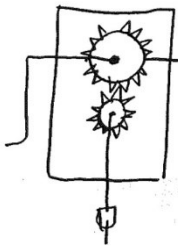


Abb. 33a: Abklappung

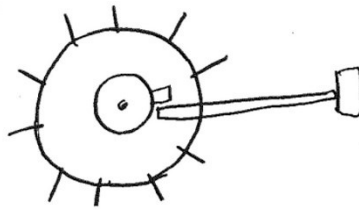


Abb. 33b: Röntgenbild

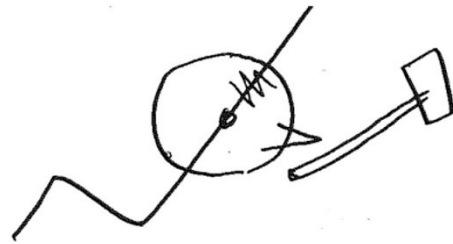


Abb. 33c: Schrägansicht

(Aus: Biester 1991, S. 49)

Das Winkelgetriebe der Handbohrmaschine (s. Abb. 33a) wird nicht in der Seitenansicht abgebildet. Die Zahnräder werden stattdessen in die Ebene der Vorderansicht herausgeklappt und können so entsprechend dem Abbildungswissen gezeichnet werden. Durch die Abklappung gelingt es dem Kind auch, das Ineinandergreifen der Zähne abzubilden.

Das Wasserrad des Hammerwerks (s. Abb. 33b) wird durchsichtig dargestellt. Dieses Röntgenbild macht die dahinterliegende Welle sichtbar und das Funktionsprinzip erkennbar. Transparentbilder dieser Art werden häufig genutzt, um die Tiefenrelationen der Gegenstände abzubilden (vgl. Schuster, 2000).

Die Konstruktionsweise des zweiten Hammerwerks (s. Abb. 33c) wird über eine Schrägzeichnung verdeutlicht. Durch die schräg nach oben ausgerichtete Zeichnung soll ausgedrückt werden, dass die hinteren Elemente weiter entfernt positioniert sind (Biester, 1991). Auffällig ist hier darüber hinaus, dass der verdeckte Teil der Welle vom Kind bereits durchgestrichen wurde. Kinder tendieren in ihren Darstellungen zur *größtmöglichen Deutlichkeit* und zeichnen daher häufig auch verborgene Linien und Elemente mit ein. Die Auslassung verdeckter Teile als Mittel zur Tiefendarstellung gelingt ihnen in der Regel noch nicht (Schuster, 2000).

Zusätzlich zu den bereits genannten Merkmalen findet sich in Kinderzeichnungen häufig auch das Phänomen der *falschen Rechtwinkligkeit* wieder (Schuster, 2000). So werden beispielsweise Schornsteine in der Frontalansicht häufig senkrecht zur Dachschräge eingezeichnet. Auf diese Weise können beide Seiten des Schornsteins in gleicher Länge eingezeichnet werden. Dies entspricht zum einen der Tendenz der Kinder zur Symmetrie, zum anderen aber auch ihrem Abbildungswissen.

In Bezug auf das Ausführungswissen zeigt sich außerdem, dass Kinder in *additiver Reihung* zeichnen. Jedes Teilelement wird dabei als Ganzheit betrachtet und isoliert gezeichnet. Aus den einzelnen additiv entstandenen Teilen fügt sich schließlich ein komplexes Ganzes zusammen. Je nach Reihenfolge der Zeichenschritte können sich auch auf diese Weise Transparentbilder ergeben. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn zuerst die Beine einer Figur gezeichnet werden und erst anschließend ein Rock hinzugefügt wird. Bei der Interpretation von Kinderzeichnungen muss entsprechend berücksichtigt werden, dass die Zeichenergebnisse auch von der Reihenfolge der einzelnen Ausführungsschritte bestimmt sein können (vgl. Schuster, 2000). Diese sowie die weiteren Merkmale von Kinderzeichnungen werden bei der Analyse und Auswertung der Sachzeichnungen zum Kurbelkarussell miteinbezogen.

6.3.3 Analyse der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben

Bei der Analyse der Sachzeichnungen werden die Verfahrensweisen der inhaltlich strukturierenden und der evaluativen Inhaltsanalyse kombiniert. Die Einschätzung der Sachzeichnungen erfolgt *evaluativ-strukturierend*. Im Unterschied zur rein strukturierenden Inhaltsanalyse werden die Inhalte hier auch bewertet (vgl. Kuckartz, 2018). Einschätzt wird, inwieweit die Funktions- und Konstruktionsprinzipien zur Weiterleitung der Bewegung sowie zur Drehzahl- und Drehrichtungsänderung folgerichtig dargelegt werden. Die Kategorienbildung erfolgt allerdings deduktiv-induktiv (vgl. Kuckartz, 2018). Unter Berücksichtigung der Ausprägung des technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denkens werden zunächst grundlegende Kategorien deduktiv festgelegt (vgl. Ullrich, 1994). Nach einer ersten Sichtung der Sachzeichnungen werden auf Basis des Materials zusätzlich weitere Kategorien induktiv ergänzt (s. Abb. 34).

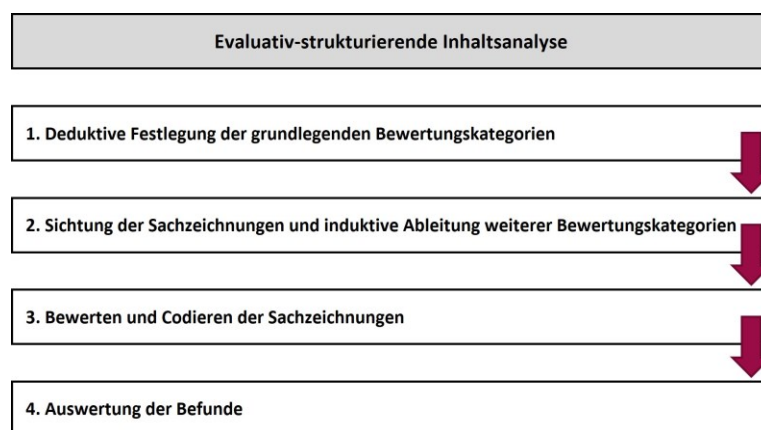


Abb. 34: Ablauf der evaluativ-strukturierenden Inhaltsanalyse

Anders als bei einer rein evaluativen Inhaltsanalyse wird somit keine direkte und alleinige Kategorisierung in rangskalierte Niveaustufen (hohes technisches Verständnis vs. geringes technisches Verständnis) vorgenommen. Die Kategorien beschreiben vielmehr das Niveau und die Ausrichtung des technischen Denkens der Schülerinnen und Schüler. Dem zentralen

Forschungsinteresse folgend geht es dabei insbesondere darum, die Unterschiede in den Lernvoraussetzungen zu identifizieren und zu strukturieren.

Nachfolgend werden zunächst die deduktiv entwickelten Kategorien vorgestellt, daran anschließend wird näher auf das Codier- und die Auswertungsverfahren eingegangen.

6.3.3.1 Deduktiv entwickelte Kategorien

Um die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler differenziert beurteilen zu können, werden zu den unterschiedlichen Getriebefunktionen jeweils spezifische Analysefragen abgeleitet und spezielle Kategoriensysteme entwickelt.

Während im Hinblick auf die Variation der Drehrichtung und der Drehzahl jeweils eine grundlegende Analysefrage fokussiert wird, erfolgt die Analyse im Bereich Weiterleitung zusätzlich anhand von vier weiteren Fragestellungen (s. Tab. 41). Neben der detaillierteren Analyse des technisch-funktionalen Denkens wird hier über die ersten beiden Teilfragen auch das technisch-konstruktive Denken der Lernenden berücksichtigt. Auch für diese Teilbereiche werden spezifische Kategoriensysteme entwickelt. Im Bereich des technisch-konstruktiven Denkens werden die Sachzeichnungen im Hinblick auf die verwendeten Bauteile sowie hinsichtlich der Position der Bauteile kategorisiert. Im Bereich des technisch-funktionalen Denkens erfolgt die Kategorisierung im Hinblick auf die funktionsfähige Verbindung der verwendeten Bauteile sowie hinsichtlich der funktionsfähigen Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen. Diese differenzierte Analyse wird bewusst im Bereich der Weiterleitung vorgenommen, da davon auszugehen ist, dass die Lernenden über vielfältige Vorstellungen zu dieser Getriebefunktion verfügen. In den Bereichen Drehzahl- und Drehrichtungsvariation ist aufgrund der fehlenden Alltagsbezüge hingegen ein geringeres Maß an Vorerfahrungen erwartbar, sodass eine umfassende Analyse an dieser Stelle weniger ertragreich erscheint.

Tab. 41: Analysefragen als Grundlage zur Entwicklung der Kategoriensysteme

Getriebefunktion	Analysefragen
Weiterleitung der Bewegung	Inwiefern werden die Konstruktions- und Funktionsprinzipien zur Weiterleitung der Bewegung erfasst?
	Inwiefern werden Getriebeelemente als Bauteile zur Weiterleitung der Bewegung genutzt?
	Inwiefern ist eine konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell durch die Bauteile erkennbar?
	Inwiefern sind die verwendeten Bauteile funktionsfähig miteinander verbunden?
	Inwiefern sind Kurbel und Karussell funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden?
Variation der Drehzahl	Inwiefern werden die Funktionsprinzipien zur Übersetzung ins Schnelle und ins Langsame erfasst?
Variation der Drehrichtung	Inwiefern werden die Funktionsprinzipien zur Variation der Drehrichtung erfasst?

Auf Basis der spezifischen Leitfragen werden in den einzelnen Kategoriensystemen jeweils drei Kategorien deduktiv vorgegeben. Die deduktiv entwickelten Kategorien beziehen sich auf die Erfassung der in den Leitfragen benannten Konstruktions- und Funktionsprinzipien. Zusätzlich wird auch die Kategorie „Noch keine Idee vorhanden“ vorgegeben (s. Tab. 42).

Tab. 42: Grundlegende Ausrichtung der deduktiv entwickelten Kategorien

Kategorie	
Konstruktions- / Funktionsprinzipien erfasst	Die Konstruktions- bzw. Funktionsprinzipien werden erfasst und folgerichtig umgesetzt.
Konstruktions- / Funktionsprinzipien nicht erfasst	Die Konstruktions- bzw. Funktionsprinzipien werden nicht erfasst und nicht folgerichtig umgesetzt.
Noch keine Idee	Es wurde keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keinen Lösungsvorschlag („Keine Idee“) zur Forscherfrage einbringen zu können.

Diese grundlegenden Kategorien werden entsprechend der spezifischen Leitfragen konkretisiert. Weitere Kategorien werden induktiv nach Sichtung des Materials ergänzt und entsprechend der Ausprägung des technischen Denkens in das bestehende Kategoriensystem eingeordnet (vgl. Tab. 47-53).

6.3.3.2 Konsensuelles Codieren und Kontrolle der Intercoder-Übereinstimmung

Zur Gewährleistung der Objektivität und Reliabilität der Befunde wird die Kategorisierung von zwei Codierenden vorgenommen. Neben der Studienleiterin wird hierfür eine weitere Person ausgewählt und entsprechend geschult. Über eine Probecodierung wird das Codiervorgehen im Vorfeld getestet. Ein Kategorienleitfaden mit konkreten Hinweisen, Beispielen und Anweisungen dient während der Codierphase als Unterstützung.

Unter Berücksichtigung des grundlegenden Forschungsinteresses wird das Codieren *konsensuell* vorgenommen (vgl. Hopf & Schmidt, 1993). Guest, MacQueen und Namey (2012) bezeichnen diese Verfahrensweise als *subjective assessment*. Die beiden Codierenden kategorisieren unabhängig voneinander die Sachzeichnungen und vergleichen anschließend ihre Codierungen. Im Rahmen der Coderkonferenz werden die Nicht-Übereinstimmungen dokumentiert, mit dem Kategorienleitfaden abgeglichen und diskutiert. Nach dem Austausch der Argumente einigen sich die beiden Codierenden darauf, welche Codierung erfolgen soll.

Um zusätzlich auch die Zuverlässigkeit der vorgenommenen Einschätzungen kontrollieren zu können, wird die prozentuale Intercoder-Übereinstimmung sowie der zufallsbereinigte Übereinstimmungskoeffizient *Cohens Kappa* ermittelt (vgl. Cohen, 1960; Kuckartz, 2018). Einem Vorschlag von Brennan und Prediger (1981) folgend wird die zufällige Übereinstimmung der Coderurteile hier anhand der Anzahl der unterschiedlichen Kategorien bestimmt.

$$\text{Cohens Kappa } k = \frac{p_o - p_e}{1 - p_e}$$

$$p_e = \frac{1}{\text{Anzahl der Kategorien}}$$

$$p_o = \frac{\text{Anzahl der übereinstimmenden Codierungen}}{\text{Anzahl der vorgenommenen Codierungen}}$$

6.3.3.3 Auswertungsverfahren

Nach der Bewertung und Codierung des Materials erfolgt die Auswertung der Befunde im Hinblick auf die grundlegende und die spezifischen Forschungsfragen.

In den Bereichen Variation der Drehzahl und Drehrichtung wird die Auswertung direkt anhand der ermittelten Kategorien vorgenommen. Im Bereich Weiterleitung werden drei Auswertungsschritte umgesetzt (s. Abb. 35).

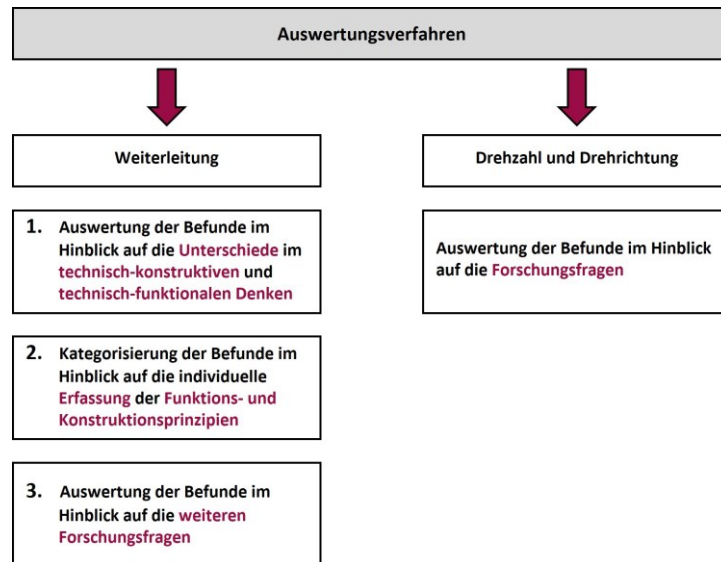


Abb. 35: Auswertungsverfahren in den Bereichen Weiterleitung sowie Drehzahl- und Drehrichtungswechsel

Zunächst werden die Befunde zum technisch-konstruktiven sowie zum technisch-funktionalen Denken kategorienbasiert ausgewertet. Auf diese Weise können die grundlegenden Unterschiede in den inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen ermittelt werden. Um die individuellen Unterschiede in den Lernvoraussetzungen erfassen zu können, wird daran anschließend eine weitere Kategorisierung vorgenommen. Anhand der vorgenommenen Bewertungen zu den vier Teilfragen wird analysiert, inwieweit die Konstruktions- und Funktionsprinzipien von den Lernenden erfasst wurden. Auch hier werden drei Kategorien deduktiv vorgegeben und weitere Kategorien induktiv ermittelt. Auf dieser Basis erfolgt schließlich die Auswertung der Befunde im Hinblick auf geschlechts- und lernvoraussetzungsspezifische Unterschiede.

6.4 Durchführung der Erhebung

Die Teilstudie LERNnetze II wurde von Oktober 2019 bis Juni 2021 mit insgesamt zehn Klassen der Jahrgangsstufe 3 aus Grundschulen der Stadt und des Landkreises Kassel sowie des Werra-Meißner-Kreises durchgeführt. Aufgrund der pandemiebedingten Schulschließungen konnte die Erhebung in der Klasse 10 erst nach Wiederaufnahme des regulären Schulbetriebs im Juni 2021 vorgenommen werden (s. Tab. 43). Insgesamt nahmen 155 Schülerinnen und Schüler (72 Mädchen und 83 Jungen) an der Erhebung teil. Die Lernenden waren durchschnittlich 8,6 Jahre alt.

Tab. 43: Durchführung der Teilstudie LERNnetze II im Überblick

Klasse	Schulamtsbezirk	Durchführung der Erhebung	Anzahl der Lernenden (Mädchen / Jungen)	Durchschnittliches Alter der Lernenden in Jahren (Mädchen / Jungen)
1	Stadt Kassel	Oktober 2019	19 (9 / 10)	8,5 (8,9 / 8,2)
2	Stadt Kassel	Oktober 2019	14 (7 / 7)	8,9 (9,0 / 8,7)
3	Landkreis Kassel	Oktober 2019	16 (10 / 6)	8,2 (8,2 / 8,2)
4	Stadt Kassel	November 2019	18 (8 / 10)	8,5 (8,6 / 8,4)
5	Stadt Kassel	November 2019	16 (6 / 10)	8,6 (8,3 / 8,7)
6	Landkreis Kassel	Dezember 2019	13 (7 / 6)	8,6 (8,6 / 8,7)
7	Stadt Kassel	Januar 2020	17 (8 / 9)	8,5 (8,4 / 8,6)
8	Landkreis Kassel	Januar 2020	15 (5 / 10)	8,6 (8,4 / 8,7)
9	Stadt Kassel	Februar 2020	15 (6 / 9)	8,9 (8,7 / 9,0)
10	Werra-Meißner	Juni 2021	12 (6 / 6)	9,0 (9,0 / 9,0)

Die sachunterrichtsbezogenen kognitiven Lernvoraussetzungen verteilen sich innerhalb der Stichprobe gleichmäßig. Jeweils etwa ein Drittel der Schülerinnen und Schüler verfügte zum Zeitpunkt der Erhebung gemäß der Einschätzung der Fachlehrkräfte über geringe, durchschnittliche oder hohe kognitive Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht (s. Tab. 44).

Tab. 44: Anzahl der Lernenden mit geringen, durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen

Lernvoraussetzungsspektren	Anzahl der Lernenden (Mädchen / Jungen)
Hohe kognitive Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht	56 (25 / 31)
Durchschnittliche kognitive Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht	52 (23 / 29)
Geringe kognitive Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht	47 (24 / 23)

Im Hinblick auf die bereits im Sachunterricht behandelten Unterrichtsinhalte zeigte sich, dass in drei Klassen noch keine Lerneinheiten zum technischen Lernen durchgeführt wurden (s. Tab. 45). Die Themenbereiche „Technisch-praktisches Arbeiten mit Holz“ und „Statisch-konstruktives Bauen“ wurden in jeweils zwei Klassen behandelt. In drei Klassen wurden bereits Projekte durchgeführt, die inhaltliche Berührungspunkte zum Thema „Funktion und Funktionsweise von Getrieben“ aufweisen.

Tab. 45: Übersicht über die bereits behandelten Unterrichtsinhalte im Bereich „Technik“

Klasse	Behandelte Unterrichtsinhalte im Bereich „Technisches Lernen“
1	Bauen mit verschiedenen Bausteinen
2	-----
3	-----
4	-----
5	Boote bauen
6	Stationen zum technischen Verständnis (VW-Werk)
7	Funktion einer Mühle
8	Lernen und Arbeiten mit Holz
9	Brücken und was sie stabil macht
10	Freies Bauen mit Fischertechnik

Sowohl bei den „Stationen zum technischen Verständnis“ als auch beim „Freien Bauen mit Fischertechnik“ und der „Funktion einer Mühle“ erscheint die Auseinandersetzung mit den grundlegenden Funktionsprinzipien eines Getriebes erwartbar.

Zur Absicherung der Befunde werden daher im Zuge der Ergebnisdarstellung zusätzlich auch die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen der einzelnen Klassen vergleichend betrachtet (vgl. Kap. 6.5.1.9).

6.5 Darlegung und Interpretation der Ergebnisse

Die Ergebnisse zu den unterschiedlichen Getriebefunktionen werden getrennt voneinander dargelegt und im Hinblick auf die Forschungsfragen interpretiert. Dem Forschungsprozess folgend wird dabei zunächst näher auf die induktive Weiterentwicklung der Kategoriensysteme und die Befunde zur Intercoder-Übereinstimmung eingegangen. Die Diskussion der Befunde wird abschließend zusammenfassend vorgenommen (s. Kap. 6.5.4).

6.5.1 Weiterleitung der Bewegung

Zur Ermittlung der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen im Bereich Weiterleitung wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, ihre Vorstellungen zur Forscherfrage „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ anhand einer Sachzeichnung darzulegen. Im Folgenden werden zunächst die Befunde zum technisch-konstruktiven und zum technisch-funktionalen Denken der Lernenden vorgestellt (s. Tab. 46).

Tab. 46: Analysekriterien und Leitfragen zum technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denken

Analysekriterien technisch-konstruktives Denken	Leitfragen
Verwendete Bauteile	Inwiefern werden Getriebeelemente als Bauteile zur Weiterleitung der Bewegung genutzt?
Position der Bauteile	Inwiefern ist eine konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell durch die Bauteile erkennbar?
Analysekriterien technisch-funktionales Denken	Leitfragen
Funktionsfähige Verbindung der verwendeten Bauteile	Inwiefern sind die verwendeten Bauteile funktionsfähig miteinander verbunden?
Funktionsfähige Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen	Inwiefern sind Kurbel und Karussell funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden?

Daran anschließend erfolgt die Darlegung der Befunde zur Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien. Bei der Ergebnisinterpretation bleibt zu berücksichtigen, dass 10% der Lernenden angeben, noch keinen Lösungsvorschlag zur Forscherfrage einbringen zu können und somit keine Sachzeichnung anfertigten. Diese Schülerinnen und Schüler werden in den unterschiedlichen Kategoriensystemen jeweils der Kategorie „Noch keine Idee“ zugeordnet.

6.5.1.1 Darlegung der Befunde: Verwendete Bauteile

Für das Analysekriterium „Verwendete Bauteile“ wurden zusätzlich zu den drei deduktiv vorgegebenen Kategorien zwei weitere Kategorien induktiv ermittelt und in das Kategoriensystem (s. Tab. 47) sowie in den Kategorienleitfaden integriert. Anhand des induktiv ergänzten Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen anschließend von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert.

Die Intercoder-Übereinstimmung beträgt 96%. Cohens Kappa liegt bei 0.95.

Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich auf die Unterscheidung von Getriebeelementen, weiteren Bauteilen und Teilelementen eines Getriebes. Im Rahmen der Coderkonferenz wurden die Fälle diskutiert und im Abgleich mit dem Leitfaden eine konsensuelle Kategorisierung vorgenommen.

Tab. 47: Kategoriensystem zur Erfassung des technisch-konstruktiven Denkens – Verwendete Bauteile

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Getriebeelemente	Zur Weiterleitung der Bewegung werden Elemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe genutzt. Es werden darüber hinaus keine weiteren Bauteile verwendet.	
<u>Getriebeelemente und weitere Bauteile</u>	Zur Weiterleitung der Bewegung werden Elemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe genutzt und mit weiteren Bauteilen kombiniert.	
<u>Teilelemente eines Getriebes</u>	Zur Weiterleitung der Bewegung werden Teilelemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe genutzt.	
Keine Getriebeelemente	Zur Weiterleitung der Bewegung werden keine Elemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe genutzt.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ einbringen zu können.	

Die Ergebnisse zeigen, dass 51% der Schülerinnen und Schüler keine Getriebeelemente verwenden, um die Bewegung von der Kurbel an das Karussell weiterzuleiten (s. Abb. 36). Elemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe werden von 23% der Lernenden genutzt. Weitere 6% verwenden ebenfalls Getriebeelemente, kombinieren diese aber mit weiteren Bauteilen wie Gummibändern, Rohren oder Schnüren. 10% nutzen Teilelemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe. 10% nutzen Teilelemente von Zahnrad-, Riemen-, Reibrad- oder Kettengetriebe.

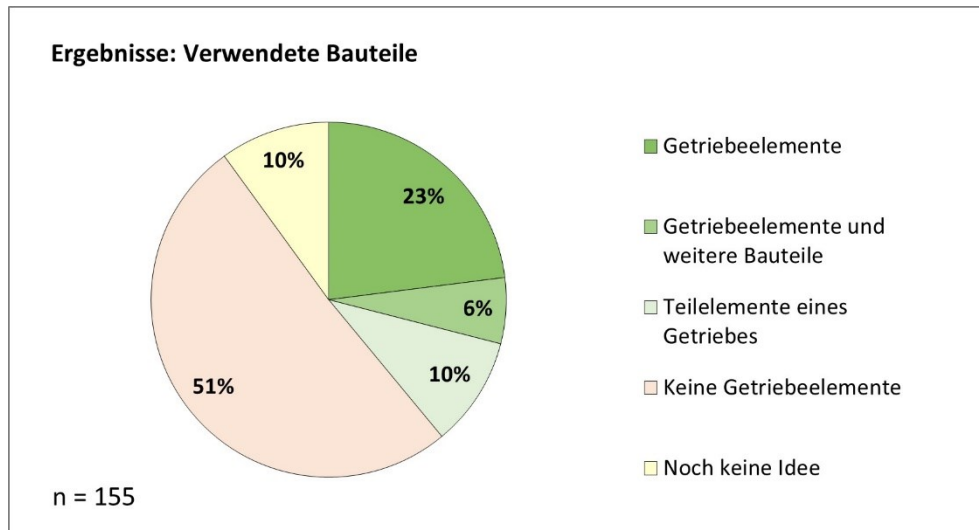


Abb. 36: Darlegung der Ergebnisse zum technisch-konstruktiven Denken: Verwendete Bauteile

Im Folgenden werden die ermittelten Unterschiede in den technisch-konstruktiven Ausführungen anhand der einzelnen Kategorien detaillierter dargelegt.

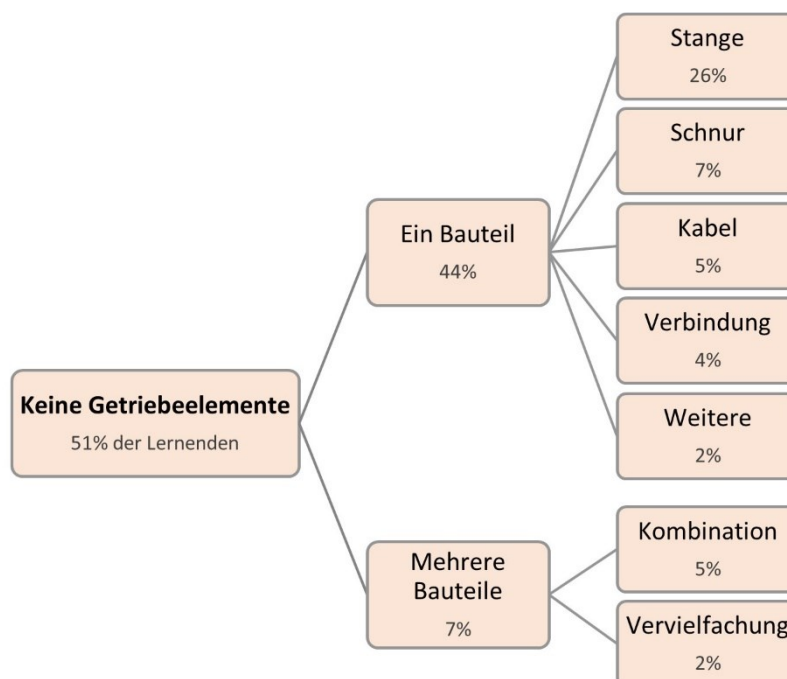


Abb. 37: Kategorie „Keine Getriebeelemente“: Technisch-konstruktive Unterschiede und prozentuale Verteilung

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „Keine Getriebeelemente“ zugeordnet wurden, nutzen mehrheitlich ein einzelnes Bauteil zur Weiterleitung der Bewegung. Bei 26% der Schülerinnen und Schüler handelt es sich dabei um eine Stange (s. Abb. 37).

Vereinzelt wird die Beschaffenheit der Stange noch genauer als „Stange aus Metall“, „Plastikstange“ oder „Stange aus Lego“ beschrieben (s. Abb. 38a und b). Eine besondere Ausführung stellt die „Stange mit Kreislauf“ dar. Hier sollen Ausbuchtungen in der Stange für die Drehung sorgen (s. Abb. 38c).

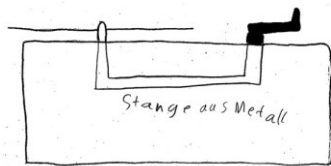


Abb. 38a: Metallstange

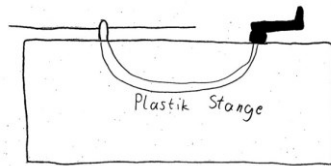


Abb. 38b: Plastikstange

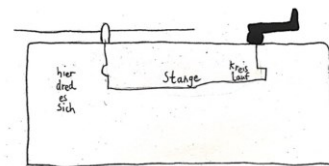


Abb. 38c: Stange mit Kreislauf

7% der Lernenden verbinden Kurbel und Karussell mit einer Schnur. Alternativ werden hierfür auch die Begrifflichkeiten „Seil“, „Faden“ oder „Band“ genutzt. 5% der Schülerinnen und Schüler zeichnen ein Kabel ein (s. Abb. 39a). In Einzelfällen werden auch ein Schlauch, ein Rohr und ein Stock abgebildet (s. Abb. 39b). 4% der Lernenden bezeichnen das von ihnen genutzte Bauteil allgemeiner als „Verbindung“ (s. Abb. 39c).

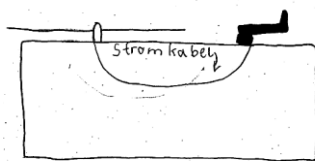


Abb. 39a: Kabel als Bauteil

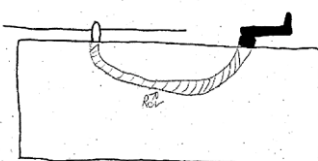


Abb. 39b: Rohr als Bauteil

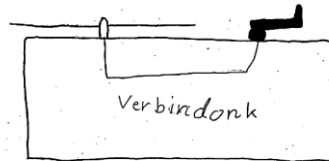


Abb. 39c: Verbindung

Mehrere Bauteile werden von 7% der Lernenden verwendet. Zumeist werden dabei unterschiedliche Bauteile kombiniert (s. Abb. 40a und b). In Einzelfällen werden aber auch mehrere identische Bauteile genutzt (s. Abb. 40c).

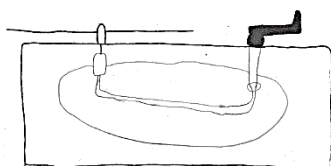


Abb. 40a: Stange mit Maschine

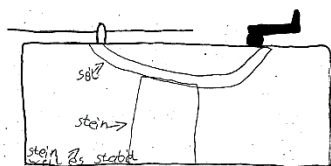


Abb. 40b: Seil mit Stein

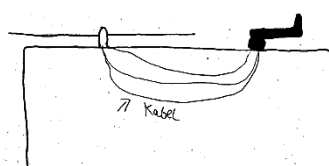


Abb. 40c: Mehrere Kabel

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „Getriebeelemente“ zugeordnet wurden, nutzen mehrheitlich Elemente von Zahnradgetrieben (s. Abb. 41). Bei 13% der Schülerinnen und Schüler handelt es sich dabei um Elemente eines Stirnradgetriebes, während 3% Elemente eines Winkelgetriebes verwenden (s. Abb. 42a und b). 2% der Lernenden nutzen Reibräder, die ebenfalls winklig zueinander positioniert werden (s. Abb. 42c). In Einzelfällen werden die abgebildeten Reibräder als Zahnräder bezeichnet. Diese Zeichnungen werden dennoch der Unterkategorie „Reibradgetriebe“ zugeordnet.

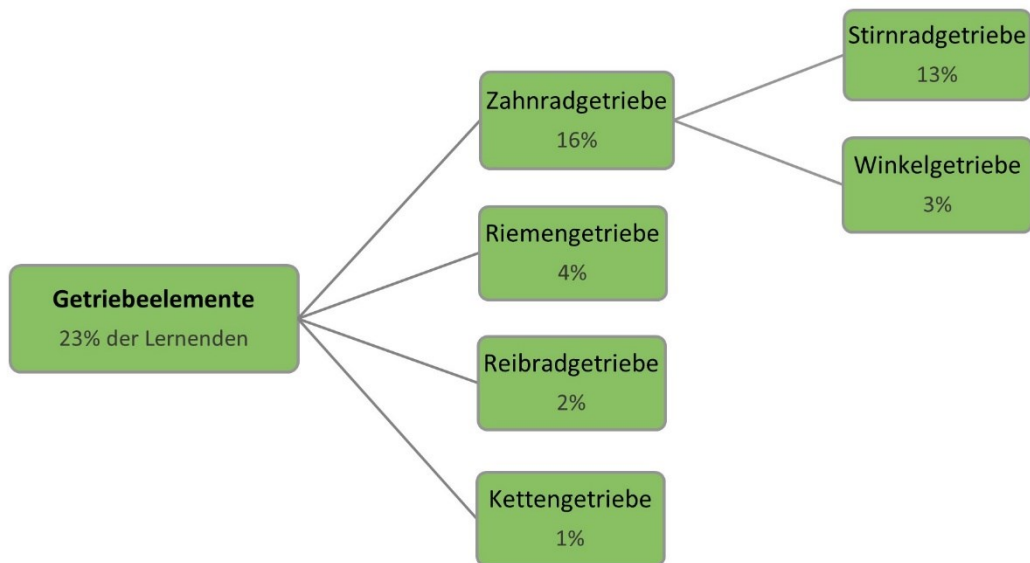


Abb. 41: Kategorie „Getriebeelemente“: Technisch-konstruktive Unterschiede und prozentuale Verteilung

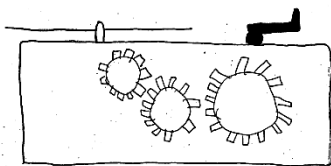


Abb. 42a: Elemente Stirnradgetriebe

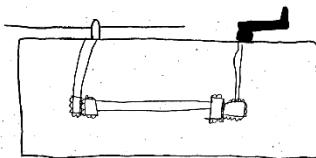


Abb. 42b: Elemente Winkelgetriebe

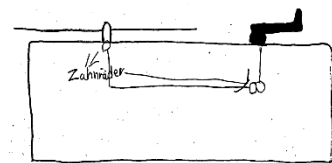


Abb. 42c: Elemente Reibradgetriebe

Elemente eines Riemengetriebes werden von 4% der Schülerinnen und Schüler abgebildet (s. Abb. 43a und b). 1% der Lernenden nutzt Elemente eines Kettengetriebes (s. Abb. 43c).

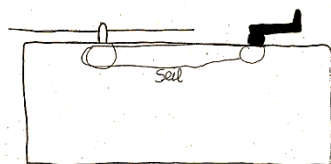


Abb. 43a: Elemente Riemengetriebe

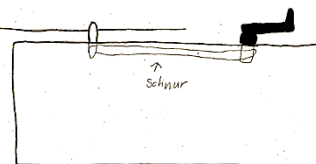


Abb. 43b: Elemente Riemengetriebe

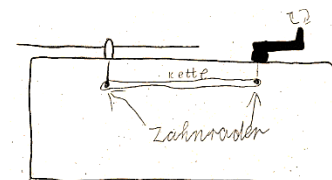


Abb. 43c: Elemente Kettengetriebe

Typische Merkmale von Kinderzeichnungen zeigen sich insbesondere bei den Abbildungen der Zahnräder, aber zum Teil auch bei der Darstellung der Riemenscheiben (vgl. Kap. 6.3.2.2). Die Schülerinnen und Schüler zeichnen Zahnräder und Scheiben häufig abgeklappt in der Vorderansicht, um deren Raumlage abbilden zu können (vgl. z.B. Abb. 42a und 43a).

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Getriebeelemente und weitere Bauteile*“ zugeordnet wurden, nutzen mehrheitlich Zahnräder und kombinieren diese mit weiteren Bauteilen (s. Abb. 44).

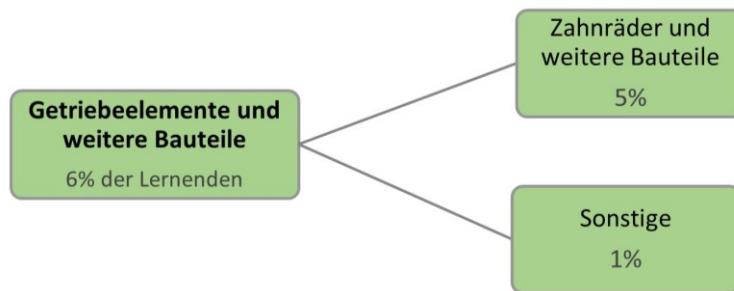


Abb. 44: Kategorie „Getriebeelemente und weitere Bauteile“: Technisch-konstruktive Unterschiede und prozentuale Verteilung

Neben Gummis oder Schnüren werden hier unter anderem auch ein Rohr oder Winkelstangen genutzt (s. Abb. 45a-c). In Einzelfällen werden auch Reibräder mit einer Halterung oder Riemenscheiben mit einem Band kombiniert.

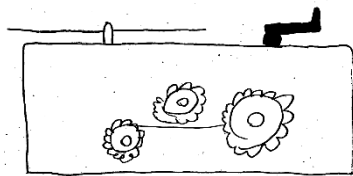


Abb. 45a: Zahnräder und Schnur

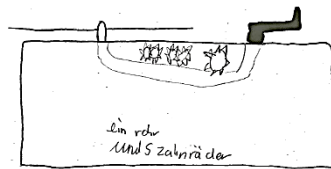


Abb. 45b: Zahnräder und Rohr

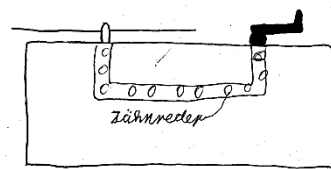


Abb. 45c: Zahnräder und Stange

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „Teilelemente eines Getriebes“ zugeordnet wurden, nutzen einzelne Getriebeelemente (s. Abb. 46).

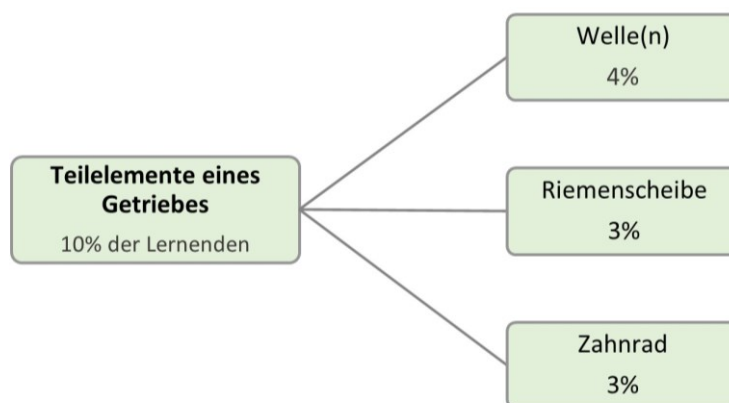


Abb. 46: Kategorie „Teilelemente eines Getriebes“: Technisch-konstruktive Unterschiede und prozentuale Verteilung

Neben einer oder zwei Wellen als Verbindungselement zu Kurbel oder Karussell werden auch einzelne Riemenscheiben oder Zahnräder verwendet. Häufig werden die Teilelemente mit weiteren Bauteilen kombiniert (s. Abb. 47a-c).

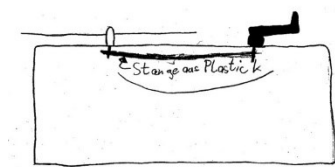


Abb. 47a: Wellen und Stange

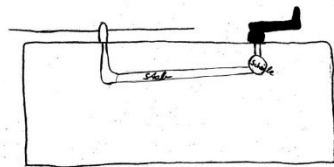


Abb. 47b: Scheibe und Stab

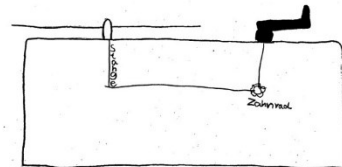


Abb. 47c: Zahnrad und Stange

6.5.1.2 Interpretation der Befunde: Verwendete Bauteile

Die Vielfalt der verwendeten Bauteile belegt und illustriert die Heterogenität der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zum Themenbereich Getriebe. Die unterschiedlichen Ausprägungen des technisch-konstruktiven Denkens werden anhand der vorgegebenen und abgeleiteten Kategorien deutlich. Dabei wird auch der von Ullrich (1994) beschriebene Prozess einer zunehmenden Differenzierung erkennbar. Es zeigt sich, dass die Gliederungsfähigkeit der Lernenden von Kategorie zu Kategorie zunimmt und immer mehr Teile erfasst werden (vgl. Ullrich, 1994). Die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler verwendet noch keine Getriebeelemente, sondern nutzt ein einzelnes Bauteil. Dabei greifen die Lernenden auf Erfahrungen aus der Lebenswelt zurück. Stangen dienen im Alltag der Verbindung einzelner Elemente. Durch „Seile“ können Dinge sogar in Bewegung gebracht werden. Neben dem Rasenmäher ist dies auch bei Spielgeräten zu beobachten. Ein Beispiel hierfür ist der Flugkreisel, dessen Propeller mit einem Seilzug angetrieben und zum Abheben gebracht werden kann. Kabel sind den Lernenden von den elektrischen Geräten bekannt. Werden Geräte durch ein Kabel mit dem Stromnetz verbunden, dann kann etwas in Bewegung gesetzt werden (z.B. Fön, Staubsauger).

Eine weitere Gruppe der Schülerinnen und Schüler nutzt bereits Teilelemente eines Getriebes. Die Lernenden scheinen zu wissen, dass diese besonderen Bauteile in Geräten die Funktion der Bewegungsweiterleitung erfüllen. In welcher Anzahl sie vorhanden sein müssen oder wie sie kombiniert werden, scheint jedoch noch nicht erschlossen.

Diese Vorstellung finden wir in ausgeprägter Form auch bei einer weiteren Gruppe der Lernenden. Diese Schülerinnen und Schüler nutzen bereits mehrere Getriebeelemente, kombinieren diese aber nicht miteinander, sondern mit Bauteilen aus der Lebenswelt. Die Gliederungsfähigkeit der Lernenden ist somit weiter ausgebildet. Es werden aber auch nicht zugehörige Teile erfasst, sodass diesbezüglich eine weitere Differenzierung erfolgen muss. Auch hier scheint noch nicht durchdrungen, welche Elemente zu einem Getriebe gehören und wie diese zu kombinieren sind.

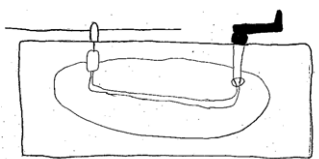
Ein Siebtel der Lernenden nutzt schließlich Getriebeelemente und kombiniert diese miteinander. Am häufigsten werden dabei die Elemente von Zahnradgetrieben gewählt. Das erscheint nachvollziehbar, da das Riemen- oder auch das Reibradgetriebe in der Lebenswelt der Lernenden seltener anzutreffen sind. Es ist davon auszugehen, dass Zahnradgetriebe den Schülerinnen und Schülern insbesondere durch Konstruktionsspiele, aber auch durch Abbildungen bekannt sind. Obwohl auch das Fahrrad einen Alltagsgegenstand darstellt, nutzen nur zwei Lernende Elemente des Kettengetriebes. Dies deutet darauf hin, dass die Schülerinnen und Schüler trotz regelmäßiger Nutzung des Fahrrades den technisch-konstruktiven Aufbau

bislang nicht reflektieren oder die Analogien zwischen dem Kurbelkarussell und dem Fahrrad noch nicht erkennen.

6.5.1.3 Darlegung der Befunde: Position der Bauteile

Im Hinblick auf das Analysekriterium „Konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell“ konnten neben den deduktiv festgelegten Kategorien keine weiteren Kategorien anhand des Materials abgeleitet werden (s. Tab. 48).

Tab. 48: Kategoriensystem zur Erfassung des technisch-konstruktiven Denkens – Position der Bauteile

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Konstruktive Verbindung	Eine konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell durch die Bauteile ist erkennbar.	
Keine konstruktive Verbindung	Eine konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell durch die Bauteile ist nicht erkennbar.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ einbringen zu können.	

Unter Berücksichtigung des Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert.

Die Interdecoder-Übereinstimmung beträgt 98%. Cohens Kappa liegt bei 0.97.

Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich auf die Zuordnung von Sachzeichnungen, bei denen die Bauteile mittig, aber nicht in unmittelbarer Nähe von Kurbel und Karussell positioniert wurden. Im Rahmen der Coderkonferenz wurde vereinbart, diese Zeichnungen der Kategorie „Keine konstruktive Verbindung“ zuzuordnen.

Die Ergebnisse zeigen, dass 84% der Schülerinnen und Schüler Kurbel und Karussell konstruktiv miteinander verbinden (s. Abb. 48). Bei 6% der Lernenden ist eine konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell durch die Bauteile nicht erkennbar.

Schülerinnen und Schüler, deren Sachzeichnungen der Kategorie „Konstruktive Verbindung“ zugeordnet wurden, positionieren die von ihnen verwendeten Bauteile direkt unter und zwischen Kurbel und Karussell (s. Abb. 49a). In Einzelfällen wird auch ein separates Bild angefertigt. Kurbel und Karussell werden hier in der Draufsicht von oben oder unten abgebildet und die Bauteile dazwischen positioniert (s. Abb. 49b und c).

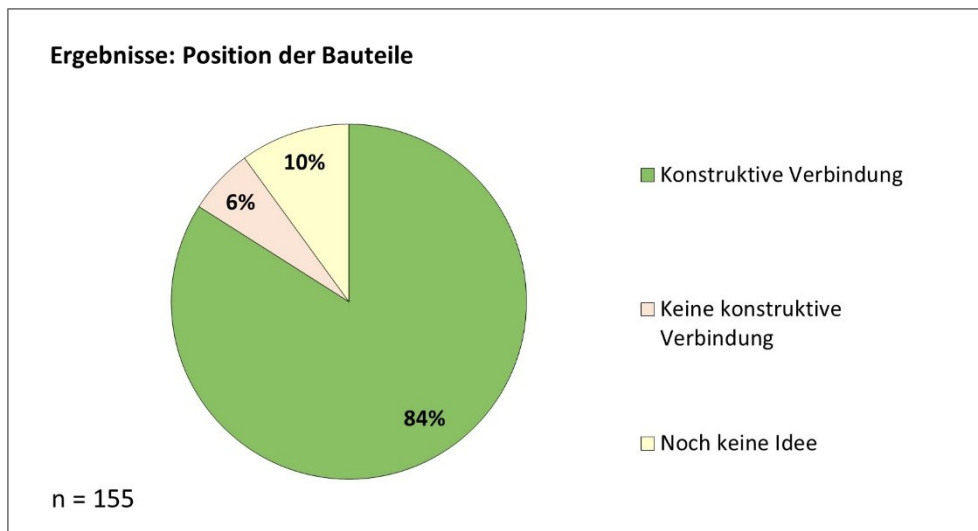


Abb. 48: Darlegung der Ergebnisse zum technisch-konstruktiven Denken: Position der Bauteile

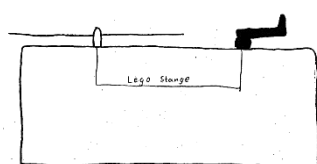


Abb. 49a: Seitenansicht

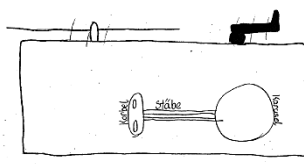


Abb. 49b: Karussell von oben

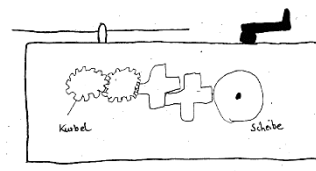


Abb. 49c: Karussell von unten

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Keine konstruktive Verbindung*“ zugeordnet wurden, positionieren die Bauteile nicht direkt unter und zwischen Kurbel und Karussell. Eine konstruktive Verbindung von Kurbel und Karussell ist nicht erkennbar (s. Abb. 50a-c).

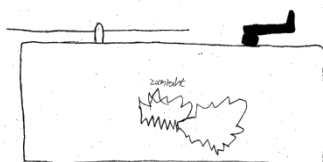


Abb. 50a: Bauteile mittig

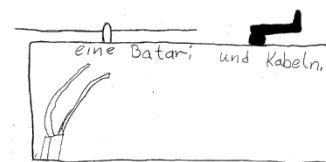


Abb. 50b: Bauteil unter Karussell

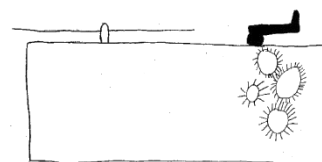


Abb. 50c: Bauteile unter Kurbel

6.5.1.4 Interpretation der Befunde: Position der Bauteile

Auch im Hinblick auf die technisch-konstruktiven Kenntnisse zur Position der Bauteile zeigen sich Unterschiede im Grad der Differenzierung (vgl. Ullrich, 1994). Die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen differieren aber weniger stark als im Bereich „Verwendete Bauteile“. Während die deutliche Mehrheit der Schülerinnen und Schüler Kurbel und Karussell über die Bauteile zueinander in Beziehung setzt und konstruktiv verbindet, positionieren 6% der Lernenden die Bauteile eher willkürlich im Karussellinneren, ohne die Zusammenhänge zu erkennen oder darzulegen.

Die in diesem Bereich deutlich werdenden technisch-konstruktiven Kenntnisse können auf Beobachtungen aus dem Alltag zurückzuführen sein. Elektrische Geräte müssen über ein Kabel mit dem Stromnetz verbunden werden, damit sie funktionieren. Auch Spielgeräte wie

Autoanhänger oder Waggon von Zügen müssen gekoppelt werden, um transportiert werden zu können. Es erscheint aber auch denkbar, dass die Nutzung des Blackbox-Modells als „Lückenproblem“ die Vorstellung unterstützt, dass Kurbel und Karussell in irgendeiner Form verbunden sein müssen. So wird den Lernenden im Rahmen des Interviews explizit vorgeführt, dass bei Drehung der Kurbel auch das Karussell in Bewegung gesetzt wird. Wie genau dies umgesetzt wird, bleibt aber durch den Karton verborgen.

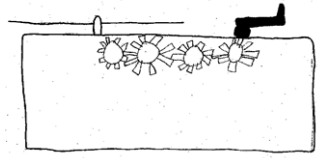
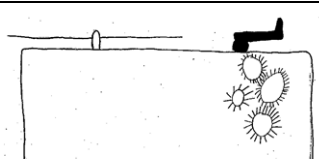
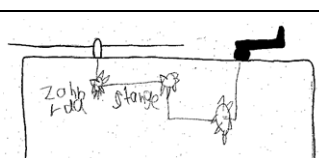
6.5.1.5 Darlegung der Befunde: Funktionsfähige Verbindung der Bauteile

Für das Analysekriterium „Funktionsfähige Verbindung der verwendeten Bauteile“ wurde zusätzlich zu den drei deduktiv vorgegebenen Kategorien eine weitere Kategorie induktiv ermittelt und in das Kategoriensystem (s. Tab. 49) sowie in den Kategorienleitfaden integriert. Anhand des Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen anschließend von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert.

Die InterCoder-Übereinstimmung beträgt 94%. Cohens Kappa liegt bei 0.92.

Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich überwiegend auf Sachzeichnungen, bei denen die funktionsfähige Verbindung bedingt durch die zeichnerische Umsetzung nicht eindeutig zu erkennen ist. Im Rahmen der Coderkonferenz wurde vereinbart, die besonderen Spezifika von Kinderzeichnungen bei der Kategorisierung zu berücksichtigen (s. Abb. 52a-c).

Tab. 49: Kategoriensystem zur Erfassung des technisch-funktionalen Denkens – Verbindung der Bauteile

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Funktionsfähige Verbindung	Eine kraft- bzw. formschlüssige Verbindung der verwendeten Bauteile ist erkennbar. Die verwendeten Bauteile sind funktionsfähig miteinander verbunden.	
<u>Zum Teil funktionsfähige Verbindung</u>	Eine kraft- bzw. formschlüssige Verbindung der verwendeten Bauteile ist zum Teil erkennbar. Die verwendeten Bauteile sind nicht vollständig funktionsfähig miteinander verbunden.	
Keine funktionsfähige Verbindung	Eine kraft- bzw. formschlüssige Verbindung der verwendeten Bauteile ist nicht erkennbar. Die verwendeten Bauteile sind nicht funktionsfähig miteinander verbunden.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ einbringen zu können.	

Die Ergebnisse zeigen, dass 67% der Schülerinnen und Schüler die Bauteile nicht form- bzw. kraftschlüssig und somit nicht funktionsfähig verbinden (s. Abb. 51). Bei 19% der Lernenden

ist eine funktionsfähige Verbindung der Bauteile erkennbar. 4% der Schülerinnen und Schüler verbinden die Bauteile zum Teil funktionsfähig.

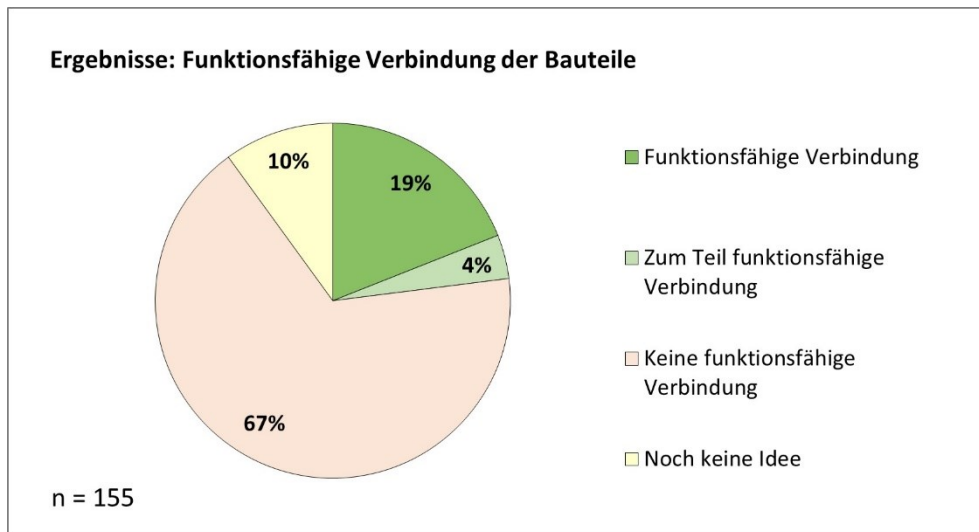


Abb. 51: Darlegung der Ergebnisse zum technisch-funktionalen Denken: Verbindung der Bauteile

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Funktionsfähige Verbindung*“ zugeordnet wurden, verbinden die verwendeten Getriebeelemente kraft- bzw. formschlüssig. Bei der Analyse der Zeichnungen wurde berücksichtigt, dass es Kindern schwerfällt, räumliche Nähe oder Überschneidungen abzubilden (vgl. Kap. 6.3.2.2). Zahnräder gelten daher als formschlüssig verbunden, sobald mindestens zwei Zähne verschränkt ineinandergreifen oder die Zahnräder ohne Abstand unmittelbar aneinander gezeichnet werden (s. Abb. 52a und b).

Die kraftschlüssige Verbindung von Reibrädern wird durch die lückenlose Aneinanderreihung der Reibräder umgesetzt. Die Elemente eines Zugmittelgetriebes gelten als kraftschlüssig verbunden, wenn das Zugmittel die Riemenscheiben, Ritzel oder Wellen vollständig umschließt. Dies trifft auch dann zu, wenn der Riemen abgeklappt gezeichnet wird, die Scheiben in einigem Abstand umlaufen oder nicht sichtbare Teile des Riemens eingezeichnet werden (s. Abb. 52c).

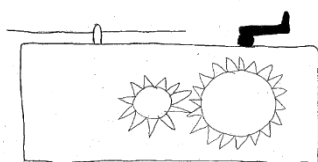


Abb. 52a: Verschränkung

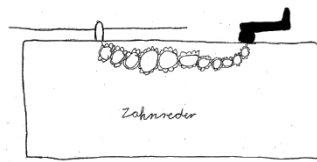


Abb. 52b: Aneinanderreihung

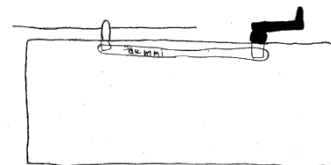


Abb. 52c: Kraftschluss

Die Kategorie „*Zum Teil funktionsfähige Verbindung*“ wurde vergeben, wenn nur einige der Getriebeelemente kraft- bzw. formschlüssig verbunden wurden (vgl. Tab. 49).

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Keine funktionsfähige Verbindung*“ zugeordnet wurden, verwenden mehrheitlich keine Getriebeelemente oder lediglich Teilelemente eines Getriebes, sodass eine kraft- bzw. formschlüssige Verbindung der Bauteile nicht umgesetzt werden kann (s. Abb. 53a und b). 6% der Lernenden nutzen Getriebeelemente,

die allerdings nicht kraft- bzw. formschlüssig verbunden werden (s. Abb. 53c) oder aufgrund der konstruktiven Umsetzung nicht kraft- bzw. formschlüssig verbunden werden können (vgl. Tab. 49).

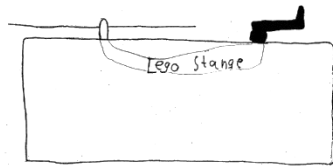


Abb. 53a: Lego-Stange

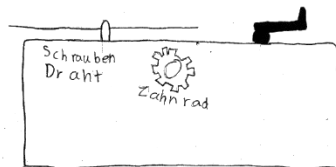


Abb. 53b: Zahnrad als Teilelement

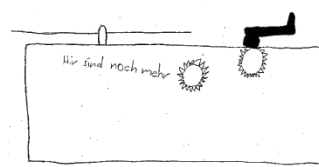


Abb. 53c: Zahnräder unverbunden

6.5.1.6 Interpretation der Befunde: Funktionsfähige Verbindung der Bauteile

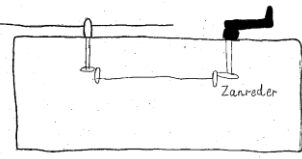
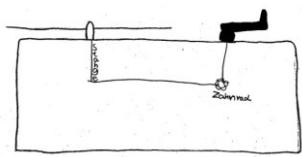
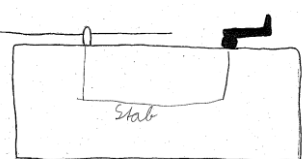
Anhand der Befunde zeigen sich verschiedene Ausprägungen des technisch-funktionalen Denkens. Bei der Interpretation der Ergebnisse muss allerdings einschränkend berücksichtigt werden, dass die Umsetzung einer funktionsfähigen Verbindung von der Art der gewählten Bauteile abhängt. Lernende, die keine Getriebeelemente oder nur Teilelemente eines Getriebes verwenden, können keine funktionsfähige Verbindung umsetzen. Die Ausprägung der technisch-konstruktiven Kenntnisse bedingt somit die technisch-funktionale Umsetzung. Es zeigt sich aber auch, dass die Verwendung von Getriebeelementen keine hinreichende Bedingung für deren funktionsfähige Verbindung darstellt. So verwenden insgesamt 23% der Lernenden Getriebeelemente, weitere 6% verwenden Getriebeelemente und kombinieren diese zusätzlich mit weiteren Bauteilen. Eine funktionsfähige Verbindung ist aber nur bei 19% der Schülerinnen und Schüler erkennbar. Die konstruktiven Kenntnisse - also zu wissen, dass Getriebeelemente genutzt werden - müssen demnach noch durch funktionale Kenntnisse - nämlich zu wissen, wie die Elemente zusammenwirken - ergänzt werden. Dies deckt sich mit den Befunden von Ullrich (1994), der davon ausgeht, dass sich die Entwicklung des technisch-funktionalen Denkens langsamer vollzieht als die des technisch-konstruktiven Denkens. Er beschreibt die Entwicklung des technisch-funktionalen Denkens als Prozess der Integration, bei dem die Wirkzusammenhänge zunehmend entdeckt und immer mehr Teilelemente miteinander verbunden werden (vgl. Kap. 2.2.1). Dies ist auch anhand der Sachzeichnungen erkennbar. 6% der Lernenden nutzen Getriebeelemente, die allerdings nicht funktionsfähig verbunden werden oder aufgrund der konstruktiven Umsetzung nicht kraft- bzw. formschlüssig verbunden werden können. 4% der Lernenden verbinden bereits einen Teil der Getriebeelemente funktionsfähig. 19% der Schülerinnen und Schüler gelingt es, die Bauteile vollständig funktionsfähig zu verbinden.

Ullrich (1994) betont in diesem Zusammenhang die positiven Effekte von Lernangeboten für die Entwicklung des technischen Denkens. Es ist demnach davon auszugehen, dass Lernende, die eine funktionsfähige Verbindung der Bauteile bereits umsetzen, über eigene Konstruktionserfahrung verfügen oder das Zusammenwirken der Elemente wenigstens schon einmal bewusst beobachten konnten.

6.5.1.7 Darlegung der Befunde: Funktionsfähige Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen

Im Hinblick auf das Analysekriterium „Funktionsfähige Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen“ konnte neben den deduktiv festgelegten Kategorien eine weitere Kategorie induktiv abgeleitet und in das Kategoriensystem (s. Tab. 50) sowie in den Kategorienleitfaden integriert werden.

Tab. 50: Kategoriensystem zur Erfassung des technisch-funktionalen Denkens – Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Funktionsfähige Verbindung	Kurbel und Karussell sind funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden.	
<u>Zum Teil funktionsfähige Verbindung</u>	Kurbel und Karussell sind zum Teil funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden.	
Keine funktionsfähige Verbindung	Kurbel und Karussell sind nicht funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ einbringen zu können.	

Anhand des Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen anschließend von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert.

Die InterCoder-Übereinstimmung beträgt 93%. Cohens Kappa liegt bei 0.91.

Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich auch hier überwiegend auf Sachzeichnungen, bei denen die funktionsfähige Verbindung bedingt durch die zeichnerische Umsetzung nicht eindeutig zu erkennen war.

Die Ergebnisse zeigen, dass 63% der Schülerinnen und Schüler Kurbel und Karussell nicht funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbinden (s. Abb. 54).

Bei 20% der Lernenden ist eine funktionsfähige Verbindung erkennbar. 7% verbinden Kurbel und Karussell zum Teil funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen.

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „Funktionsfähige Verbindung“ zugeordnet wurden, verbinden Kurbel und Karussell zumeist über Wellen funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen (vgl. Tab. 50). Bei einigen Riemengetrieben stellen die Wellen

selbst die unmittelbar nächsten Bauteile dar (s. Abb. 55a). Bei Riemenscheiben und Zahnrädern, die abgeklappt gezeichnet wurden, sind die Wellen bedingt durch das Abbildungs- und Ausführungswissen der Lernenden häufig nicht eingezeichnet (vgl. Kap. 6.3.2.2.). Bei der Zuordnung wird dies berücksichtigt. Kurbel und Karussell gelten auch dann als funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden, wenn diese abgeklappt in direkter Nähe zu Kurbel und Karussell eingezeichnet wurden (s. Abb. 55b und c).

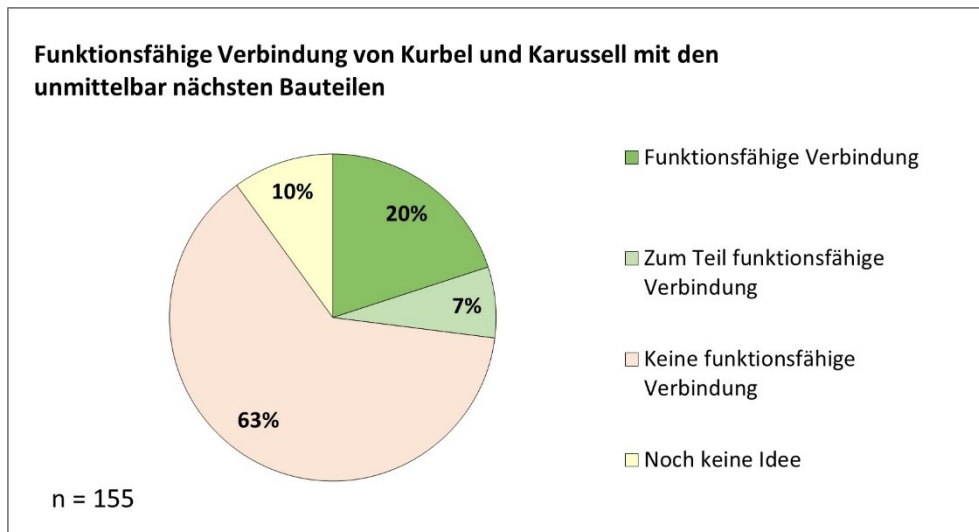


Abb. 54: Darlegung der Ergebnisse zum technisch-funktionalen Denken: Verbindung von Kurbel und Karussell

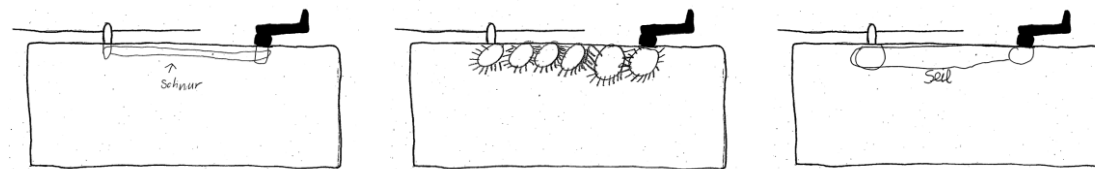


Abb. 55a: Riemengetriebe

Abb. 55b: Zahnräder abgeklappt

Abb. 55c: Scheiben abgeklappt

Die Kategorie „*Zum Teil funktionsfähige Verbindung*“ wurde vergeben, wenn nur die Kurbel oder nur das Karussell funktionsfähig mit den unmittelbar nächsten Bauteilen verbunden wurde (vgl. Tab. 50).

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Keine funktionsfähige Verbindung*“ zugeordnet wurden, verbinden Karussell und Kurbel mehrheitlich konstruktiv mit den unmittelbar nächsten Bauteilen. Die Bewegung kann allerdings aufgrund der Beschaffenheit oder der Anordnung der verwendeten Bauteile nicht weitergeleitet werden (vgl. Tab. 50).

6% der Lernenden verbinden Kurbel und Karussell nicht konstruktiv mit den weiteren Bauteilen und können somit auch keine funktionsfähige Verbindung umsetzen.

6.5.1.8 Interpretation der Befunde: Funktionsfähige Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen

Auch im Hinblick auf die Verbindung von Kurbel und Karussell mit den unmittelbar nächsten Bauteilen sind unterschiedliche Ausprägungen des technisch-funktionalen Denkens erkennbar.

Zu berücksichtigen bleibt bei der Interpretation der Befunde, dass die Umsetzung einer funktionsfähigen Verbindung nicht nur von der Wahl der Bauteile, sondern auch von deren Positionierung abhängt. Lernende, die keine Getriebeelemente bzw. Teilelemente eines Getriebes nutzen *oder* die Bauteile nicht konstruktiv mit Kurbel und Karussell verbinden, können keine funktionsfähige Verbindung umsetzen. Hier bedingt die Ausprägung der technisch-konstruktiven Kenntnisse somit die technisch-funktionale Umsetzung in zweifacher Hinsicht. Es zeigt sich somit erneut, dass beide Ausprägungen des technischen Denkens nicht nur isoliert zu betrachten sind, sondern durchaus zusammenhängen (vgl. Kap. 6.5.1.6).

Deutlich wird anhand der Befunde aber auch, dass das technisch-konstruktive Denken der Lernenden stärker ausgeprägt ist als das technisch-funktionale. So verbinden 84% der Lernenden Kurbel und Karussell konstruktiv, eine funktionsfähige Verbindung gelingt hingegen lediglich 20% der Lernenden. Dies bestätigt wiederum, dass sich das technisch-funktionale Denken langsamer zu entwickeln scheint als das technisch-konstruktive (vgl. Ullrich, 1994).

6.5.1.9 Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien

Auf Basis der Befunde zur technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Umsetzung wurde in einem weiteren Analyseschritt ermittelt, inwieweit die Konstruktions- und Funktionsprinzipien von den Lernenden erfasst wurden. Neben den deduktiv festgelegten Kategorien konnten drei weitere Kategorien induktiv abgeleitet werden (s. Tab. 51).

Die Konstruktions- und Funktionsprinzipien gelten als erfasst, wenn die Verbindung von Kurbel und Karussell entsprechend der beiden konstruktiven und der beiden funktionalen Analyse Kriterien folgerichtig umgesetzt wurde.

Die Ergebnisse zeigen, dass 15% der Lernenden sowohl die Konstruktions- als auch die Funktionsprinzipien folgerichtig umsetzen (s. Abb. 56).

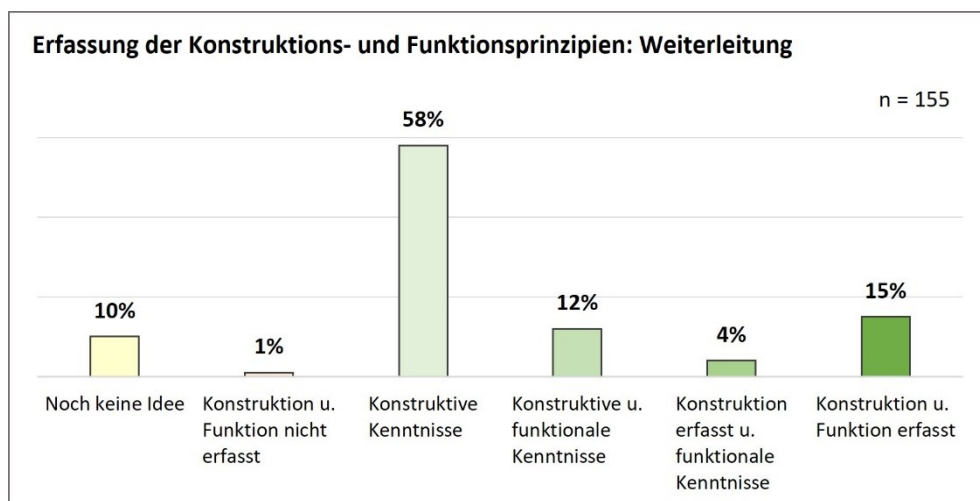


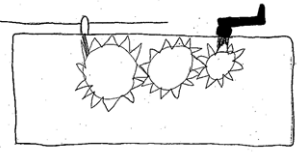
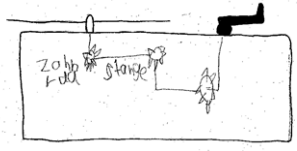
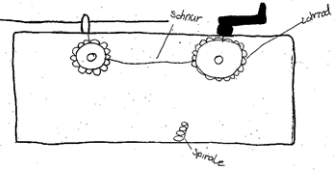
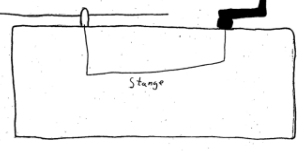
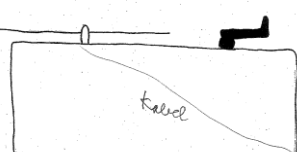
Abb. 56: Darlegung der Ergebnisse - Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen zur Weiterleitung der Bewegung

Weitere 4% erfassen die Konstruktionsprinzipien, setzen die Funktionsprinzipien aber nur teilweise korrekt um. 12% der Schülerinnen und Schüler verfügen über konstruktive und funktionale Kenntnisse, legen aber weder die Funktions- noch die Konstruktionsprinzipien

vollständig folgerichtig dar. Die Mehrheit der Lernenden verfügt über erste konstruktive Kenntnisse. Die Funktionsprinzipien werden aber nicht erfasst. Bei 1% der Lernenden sind weder konstruktive noch funktionale Kenntnisse erkennbar. Weitere 10% geben an, noch keinen Lösungsvorschlag zur Forscherfrage einbringen zu können.

Im Folgenden wird zunächst noch einmal zusammenfassend auf die Spezifika der einzelnen Kategorien eingegangen. Daran anschließend werden die in den einzelnen Lerngruppen erzielten Ergebnisse vergleichend betrachtet (vgl. Kap. 6.4).

Tab. 51: Kategoriensystem zur Erfassung der Lernvoraussetzungen im Bereich Weiterleitung

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst	Es werden Getriebeelemente verwendet. Kurbel und Karussell sind konstruktiv verbunden. Die Bauteile sind funktionsfähig verbunden. Kurbel und Karussell sind funktionsfähig mit den Bauteilen verbunden.	
<u>Konstruktionsprinzipien erfasst und funktionale Kenntnisse vorhanden</u>	Es werden Getriebeelemente verwendet. Kurbel und Karussell sind konstruktiv verbunden. Die Funktionsprinzipien werden zum Teil erfasst.	
<u>Konstruktive und funktionale Kenntnisse vorhanden</u>	Sowohl konstruktive als auch funktionale Kenntnisse sind vorhanden. Weder die Konstruktions- noch die Funktionsprinzipien werden aber vollständig erfasst.	
<u>Konstruktive Kenntnisse vorhanden</u>	Kenntnisse in den Bereichen „Verwendete Bauteile“ und/oder „Position der Bauteile“ sind vorhanden. Die Funktionsprinzipien werden noch nicht erfasst.	
Konstruktions- und Funktionsprinzipien nicht erfasst	Es werden keine Getriebeelemente verwendet. Kurbel und Karussell sind nicht konstruktiv verbunden. Die Bauteile sind nicht funktionsfähig verbunden. Kurbel und Karussell sind nicht funktionsfähig mit den Bauteilen verbunden.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ einbringen zu können.	

Lernende der Kategorie „*Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst*“ nutzen mehrheitlich die Elemente eines Zahnradgetriebes (s. Abb. 57). In jeweils einem Einzelfall werden die Konstruktions- und Funktionsprinzipien eines Reibrad- und eines Kettengetriebes folgerichtig dargelegt (s. Abb. 57 „Sonstige“).

Auch Schülerinnen und Schüler, die der Kategorie „*Konstruktionsprinzipien erfasst und funktionale Kenntnisse vorhanden*“ zugeordnet wurden, nutzen mehrheitlich Elemente eines Zahnradgetriebes. In einem einzelnen Fall wird ein Reibradgetriebe verwendet (vgl. Tab. 51).

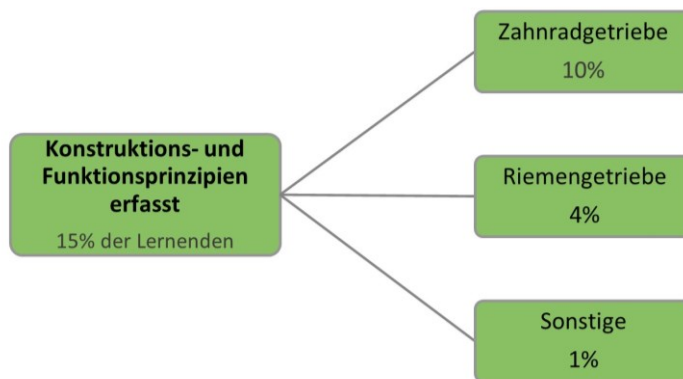


Abb. 57: Kategorie „Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst“ – Konstruktive Unterschiede

Lernende der Kategorie „*Konstruktive und funktionale Kenntnisse vorhanden*“ verwenden zumeist Getriebeelemente und weitere Bauteile (vgl. Tab. 51) oder Teilelemente eines Getriebes (s. Abb. 58a). Funktionale Kenntnisse sind im Hinblick auf die funktionsfähige Verbindung der Bauteile oder auch hinsichtlich der funktionsfähigen Verbindung von Kurbel und Karussell mit den Bauteilen vorhanden (s. Abb. 58b und c).

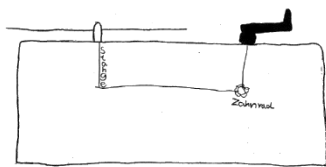


Abb. 58a: Zahnrad an Kurbel

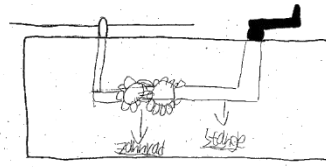


Abb. 58b: Zahnräder verbunden

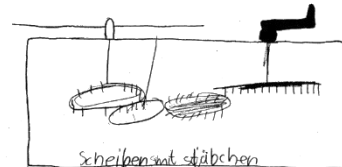


Abb. 58c: Scheiben an Kurbel und Karussell

Schülerinnen und Schüler, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Konstruktive Kenntnisse*“ zugeordnet wurden, verbinden Kurbel und Karussell zumeist konstruktiv miteinander (vgl. Tab. 51) oder nutzen Teilelemente eines Getriebes (s. Abb. 59a). In Einzelfällen erfolgt auch eine Kombination beider Ansätze (s. Abb. 59b und c).

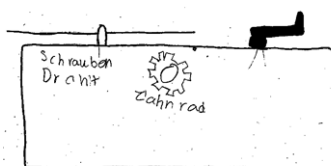


Abb. 59a: Zahnrad als Teilelement

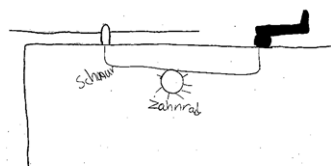


Abb. 59b: Zahnrad und Schnur

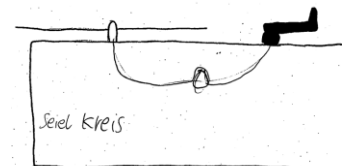


Abb. 59c: Seil und Kreis

Lernende der Kategorie „*Konstruktions- und Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ nutzen ein einzelnes Bauteil, welches Kurbel und Karussell nicht konstruktiv verbindet (vgl. Tab. 51).

Beim Vergleich der einzelnen Klassenergebnisse zeigen sich neben einer grundlegenden Übereinstimmung in der Verteilung der Schülerinnen und Schüler durchaus auch lerngruppenspezifische Variationen (s. Abb. 60). Da sich der Stichprobenumfang hier erheblich verringert, erfolgt die Ergebnisdarstellung anhand der absoluten Zahlenwerte. Bei der Interpretation der Ergebnisse müssen allerdings die unterschiedlichen Gruppengrößen berücksichtigt werden.

In allen teilnehmenden Klassen verfügt die relative Mehrheit der Lernenden über konstruktive Kenntnisse. Die weiteren Kategorien sind in den einzelnen Klassen unterschiedlich häufig vertreten. So variiert etwa die Anzahl der Lernenden, die angeben noch keinen Lösungsvorschlag einbringen zu können von Lerngruppe zu Lerngruppe. In drei Klassen konnte keiner der Lernenden dieser Kategorie zugeordnet werden.

In der Klasse 8 verfügt etwa die Hälfte der Lernenden über funktionale Kenntnisse. Eine unterrichtliche Thematisierung fand hier allerdings noch nicht statt.

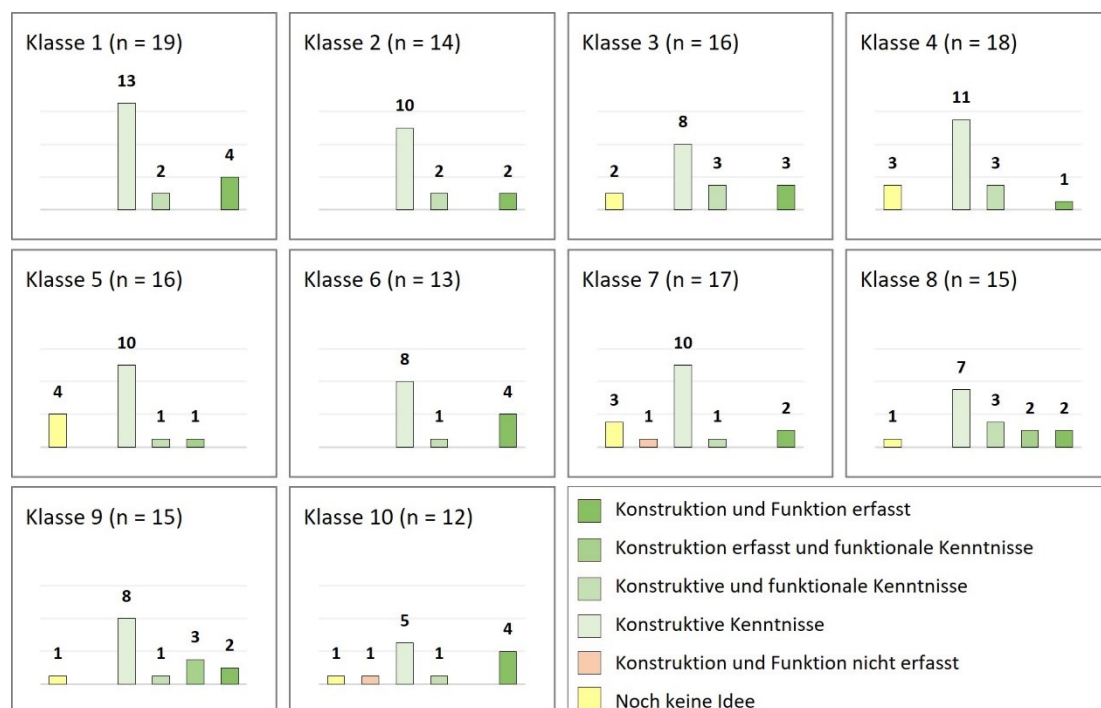


Abb. 60: Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen zur Weiterleitung der Bewegung - Klassenübersicht

Die Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien gelingt durchschnittlich zwei bis drei Lernenden pro Klasse. Auffälligkeiten zeigen sich hier beim Vergleich der Klassen 5, 6 und 10. Während in der Lerngruppe 5 keiner der Lernenden der Kategorie „*Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst*“ zugeordnet wurde, sind es in den Lerngruppen 6 und 10 bis zu einem Drittel der Schülerinnen und Schüler. Anhand der Angaben zu den bereits behandelten Unterrichtsinhalten wird ersichtlich, dass in diesen beiden Lerngruppen bereits Themenbereiche angeboten wurden, die inhaltliche Überschneidungen mit dem Thema „*Getriebe*“ aufweisen (vgl. Kap. 6.4). In der Lerngruppe 6 wurden „*Stationen zum technischen Verständnis*“ durchgeführt. Die Schülerinnen und Schüler der Lerngruppe 10 konnten bereits

Erfahrungen im „Freien Bauen mit Fischertechnik“ sammeln. Die Gesamtbefunde werden trotz dieser Auffälligkeiten nicht entscheidend beeinflusst.

Nachfolgend wird anhand der Gesamtbefunde dargelegt, wie sich Lernende mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen auf die verschiedenen Kategorien verteilen. Die Befunde zur Verteilung von Mädchen und Jungen auf die verschiedenen Kategorien werden daran anschließend vorgestellt.

Lernende mit hohen, durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen wurden jeweils mehrheitlich der Kategorie „*Konstruktive Kenntnisse*“ zugeordnet (s. Abb. 61).

Auffälligkeiten in der Verteilung werden hinsichtlich der Kategorien „*Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst*“ sowie „*Noch keine Idee*“ deutlich. Während 21% der Lernenden mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen die Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfassen, ist dies lediglich bei 15% der Lernenden mit geringen und bei 10% der Lernenden mit durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen der Fall.

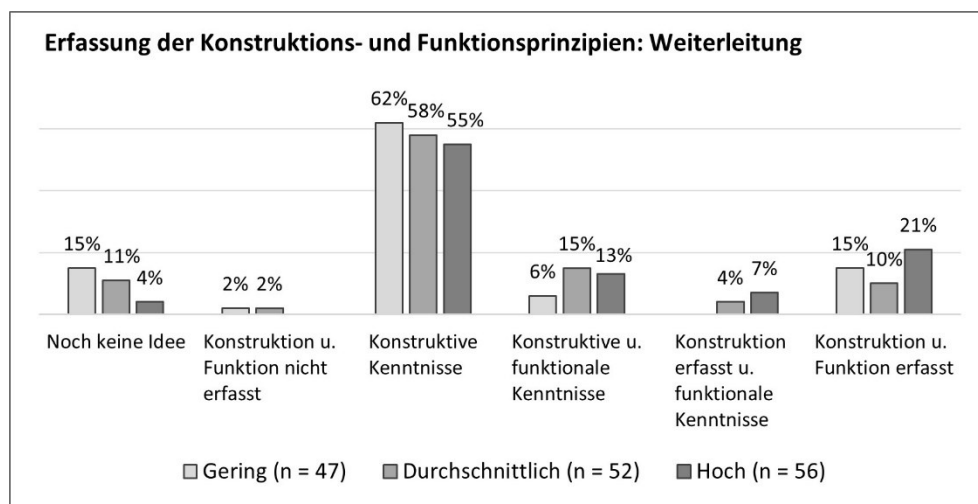


Abb. 61: Verteilung der Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen im Bereich Weiterleitung der Bewegung

Im Hinblick auf die Kategorie „*Noch keine Idee*“ zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Während nur 4% der Lernenden mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben, sind es 11% der Lernenden mit durchschnittlichen und 15% der Lernenden mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen.

Die Verteilung von Mädchen und Jungen zeigt, dass sowohl die Schülerinnen als auch die Schüler mehrheitlich über konstruktive Kenntnisse verfügen (s. Abb. 62).

Erkennbar wird zudem, dass sich die ermittelten lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten auf die Gruppe der Mädchen beziehen. Auffälligkeiten in der Verteilung betreffen auch hier die Kategorien „*Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst*“ sowie „*Noch keine Idee*“. Während 21% der Jungen die Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfassen, ist dies lediglich bei 10% der Mädchen der Fall. Hinsichtlich der Kategorie „*Noch keine Idee*“ zeigt sich, dass 2% der Jungen, aber 18% der Mädchen angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben.

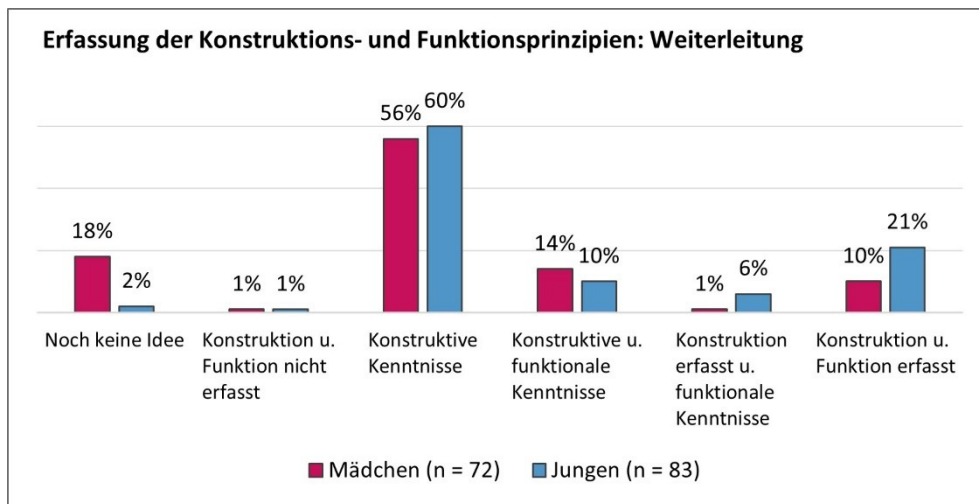


Abb. 62: Verteilung von Mädchen und Jungen im Bereich Weiterleitung

Zur Konkretisierung der bisherigen Befunde wird nun die Verteilung von Jungen und Mädchen mit hohen, durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen vergleichend betrachtet. Da sich der jeweilige Stichprobenumfang dabei noch weiter verringert, die Gruppengrößen sich aber unterscheiden, erfolgt diese Ergebnisdarstellung sowohl anhand der relativen als auch anhand der absoluten Zahlenwerte (s. Abb. 63 - 66).

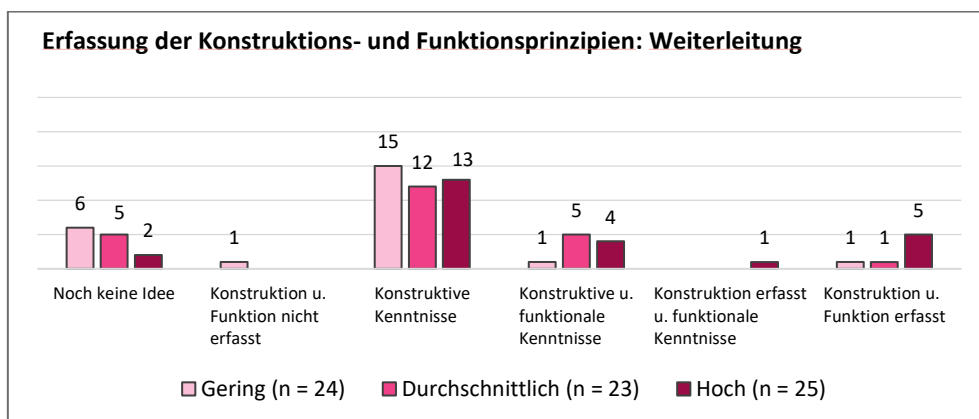


Abb. 63: Absolute Verteilung der Mädchen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen

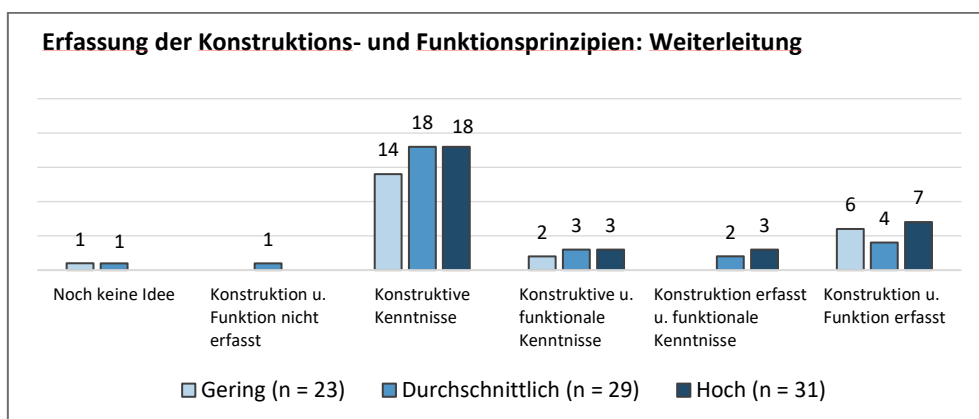


Abb. 64: Absolute Verteilung der Jungen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen

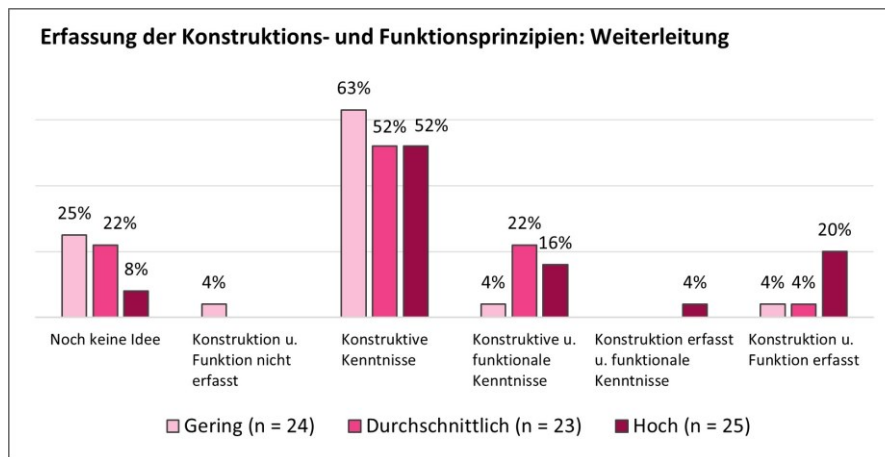


Abb. 65: Relative Verteilung der Mädchen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen

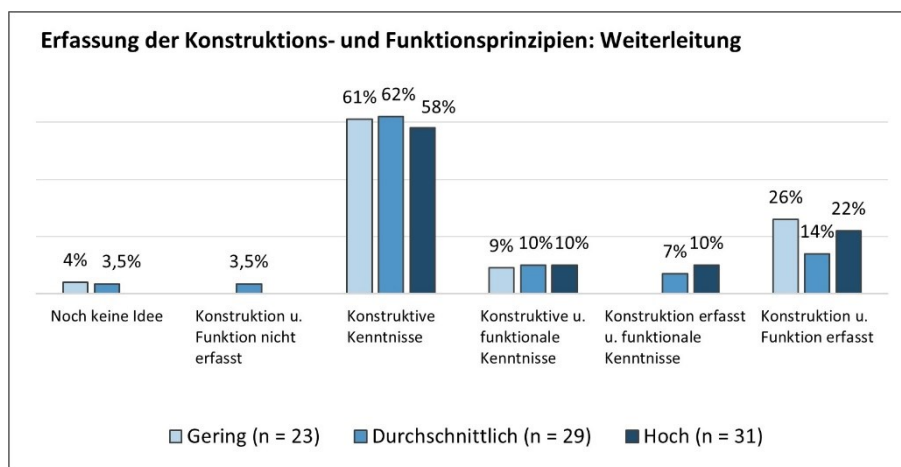


Abb. 66: Relative Verteilung der Jungen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen

Die Ergebnisse zeigen, dass überwiegend Mädchen mit geringen und durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben. Auf Mädchen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen trifft dies weniger häufig zu. Es gelingt zudem mehr Mädchen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen, die Konstruktions- und Funktionsprinzipien zu erfassen. Betrachten wir hier die relativen Werte, so zeigt sich, dass 20% der Mädchen mit hohen Lernvoraussetzungen die Prinzipien erfassen. Dies ist lediglich bei 4% der Mädchen mit durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen der Fall. Auffällig ist zudem, dass insgesamt lediglich zwei Mädchen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen über funktionale Kenntnisse verfügen.

In der Gruppe der Jungen zeigen sich hingegen keine vergleichbaren lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten. Die Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien gelingt Jungen mit hohen, durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen in ausgeglichenerem Verhältnis. Betrachten wir die relativen Werte, so zeigt sich, dass 26% der Lernenden mit geringen Lernvoraussetzungen, 22% der Lernenden mit hohen und 14% der Lernenden mit durchschnittlichen Lernvoraussetzungen die Prinzipien erfassen. Auch im Hinblick auf die funktionalen Kenntnisse zeigt sich hier eine gleichmäßigere Verteilung.

6.5.1.10 Interpretation der Befunde

Die Untersuchungsergebnisse belegen, wie heterogen die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Weiterleitung der Bewegung ausgeprägt sind. Die bestehende Spannweite in der Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien wird anhand der ermittelten Kategorien deutlich. Diese Befunde decken sich grundlegend mit den Untersuchungen zur Handbohrmaschine (Möller, 1991), zum Staubsauger (Zolg, 2001) und zum Fahrrad (Biester, 1991; Ullrich, 1994).

Es zeigt sich aber auch, dass das technisch-konstruktive Denken der Lernenden stärker ausgeprägt ist als das technisch-funktionale. Die Mehrheit der Schülerinnen und Schüler verfügt über Kenntnisse im Bereich der zu verwendenden Bauteile oder im Hinblick auf deren Position. Die Funktionsprinzipien werden jedoch nicht erfasst. Dies lässt einerseits den Rückschluss zu, dass sich der Mehrheit der Lernenden noch keine Gelegenheit zur Auseinandersetzung mit den funktionalen Hintergründen eines Getriebes bot. Andererseits decken sich die Ergebnisse mit den Befunden von Ullrich (1994), der davon ausgeht, dass sich die Entwicklung des technisch-funktionalen Denkens langsamer vollzieht als die des technisch-konstruktiven Denkens.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse bestätigen und konkretisieren diese Einschätzung. So zeigt sich auch hier, dass die Lernenden zunächst über konstruktive Kenntnisse verfügen, die dann durch funktionale Kenntnisse ergänzt werden. Es wird aber auch erkennbar, dass sich die beiden Bereiche des technischen Denkens nicht im Sinne von abgeschlossenen Stufen unabhängig voneinander entwickeln, sondern durchaus parallel. Anhand der ermittelten Kategorien wird deutlich, welche Ausprägungen des technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denkens jeweils zeitgleich vorliegen (s. Abb. 67).

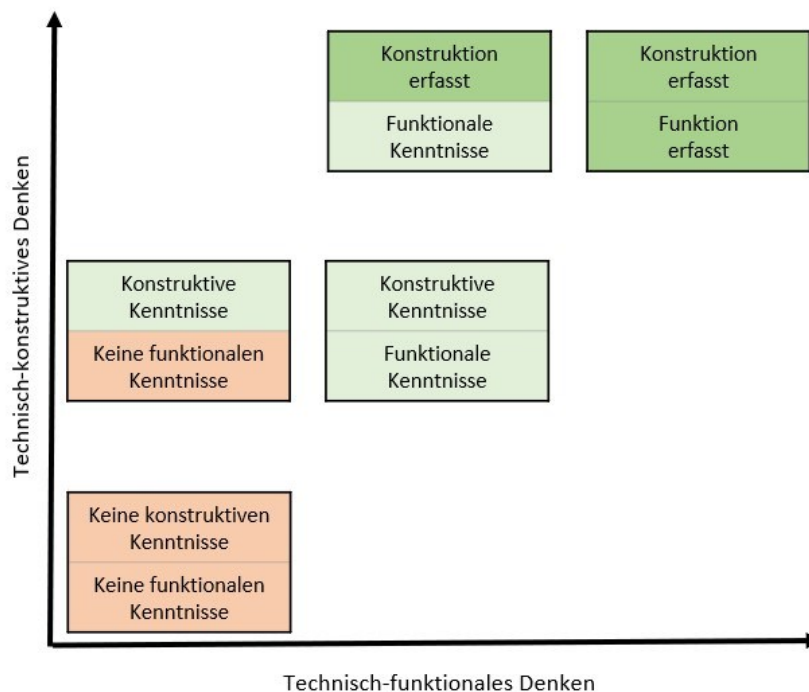


Abb. 67: Parallel vorliegende Ausprägungen des technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denkens

Die hier zudem erkennbar werdende Bedingtheit der technisch-funktionalen Umsetzungen von den technisch-konstruktiven Kenntnissen wurde bereits im Rahmen der Einzelanalysen deutlich (vgl. Kap. 6.5.1.5 - 6.5.1.7). Hier zeigte sich, dass die Umsetzung einer funktionsfähigen Verbindung von der Wahl und Positionierung der Bauelemente abhängt. Auch die von Zolg (2001) ermittelten Kategorien zur Funktionsweise des Staubsaugers lassen erkennen, dass die Erfassung der Konstruktionsprinzipien der Erfassung der Funktionsprinzipien vorgelagert ist.

Im Hinblick auf die Förderung technikbezogener Lernprozesse erscheint es daher zielführend, zunächst die konstruktiven Kenntnisse zu stärken, um die Lernenden so in die Lage zu versetzen, sich die funktionalen Zusammenhänge eigenständig erschließen zu können. Auch kurzfristige Lernangebote wie das „Freie Bauen mit Fischertechnik“ oder die „Stationen zum technischen Verständnis“ scheinen hier durchaus positive Effekte zu erzielen, wie anhand der Lerngruppen 6 und 10 erkennbar wird. Einschränkend muss hier allerdings angemerkt werden, dass im Rahmen der vorliegenden Erhebung bewusst keine Befragung der Lernenden zu den technikbezogenen Vorerfahrungen durchgeführt wurde, um die Aktivierung der Geschlechterstereotype zu vermeiden. Inwieweit also das bessere Abschneiden der beiden Lerngruppen tatsächlich auf die unterrichtliche Intervention zurückzuführen ist oder welche weiteren Lernerfahrungen oder Tätigkeiten als ursächlich für die Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien anzusehen sind, bleibt offen.

Neue Erkenntnisse zeigen sich im Hinblick auf die vorliegenden geschlechtsspezifischen Unterschiede im Bereich des technischen Lernens. Die hier erkennbaren Auffälligkeiten betreffen Kategorien, denen aus didaktischer Perspektive eine besondere Bedeutung zukommt. So zeigt sich, dass mehr Mädchen als Jungen angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben. Es gelingt zudem mehr Jungen als Mädchen, die Konstruktions- und Funktionsprinzipien zu erfassen. Die hier deutlich werdenden geschlechtsspezifischen Auffälligkeiten entsprechen den bisherigen Studienergebnissen (vgl. Adenstedt, 2021; Baumert & Geiser, 1996; Baumert, 1996; Ziefle & Jakobs, 2009; Zolg, 2001). Betrachten wir nun aber zusätzlich auch die kognitiven Lernvoraussetzungen, ergibt sich im Hinblick auf die Mädchen eine differenzielle Befundlage. Die geschlechtsspezifischen Unterschiede beziehen sich demnach nicht auf alle Mädchen, sondern im Speziellen auf Mädchen mit geringen und durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen. Mädchen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen gelingt es in vergleichbarem Maße wie den Jungen, die Funktionsprinzipien zu erfassen.

Inwieweit die hier erkennbaren Zusammenhänge zwischen den kognitiven Lernvoraussetzungen und den inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen im Bereich Technik sich als statistisch signifikant erweisen, muss in weiterführenden quantitativen Untersuchungen bestätigt werden. Aus didaktischer Perspektive kommt diesem Befund aber schon jetzt eine besondere Bedeutung zu. Verdeutlicht er doch zum einen, dass neben dem Faktor Geschlecht durchaus auch weitere Parameter für den Aufbau technikbezogener Kompetenzen in Betracht gezogen werden müssen. So bleibt zu vermuten, dass Mädchen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen bedingt durch anregungsreichere Sozialisationsbedingungen auch die Gelegenheit erhalten, technikbezogene Kompetenzen aufzubauen. Da davon auszugehen ist, dass sich Jungen diese Lerngelegenheiten und

Begegnungen mit Technik bedingt durch die geschlechterstereotypen Zuschreibungen allgemein in höherem Ausmaß bieten, zeigen sich hier keine lernvoraussetzungsspezifischen Unterschiede (vgl. Kap. 2.2).

Zum anderen wird erkennbar, welcher Gruppe im Rahmen der Unterrichtsgestaltung und Lernunterstützung eine besondere Beachtung zukommen sollte. Wie herausfordernd es ist, Unterricht im Bereich des technischen Lernens adaptiv zu gestalten, wird anhand der Spannweite in den inhaltsbezogenen Lernvoraussetzungen deutlich. Auch wenn diese in den einzelnen Lerngruppen nicht gleichermaßen heterogen sind, zeigt sich doch auch hier, wie entscheidend es sein wird, Unter- und Überforderung zu vermeiden. Damit ist dann auch die Frage verbunden, welches Maß an Lernunterstützung sich individuell als lernwirksam erweist. Anhand der vorliegenden Befunde kann geschlussfolgert werden, dass vor allem Mädchen mit durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen auf ein hohes Maß an Lernunterstützung angewiesen sind. Inwieweit sich dies als zutreffend erweist, wird im Rahmen der anschließenden Teilstudie LERNnetze III konkretisiert.

6.5.2 Variation der Drehzahl

Zur Ermittlung der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen im Bereich Variation der Drehzahl wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, ihre Vorstellungen zur Forscherfrage „Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?“ anhand von zwei Sachzeichnungen darzulegen. Im ersten Fall soll sich das Karussell schneller drehen als die Kurbel; im zweiten Fall soll es sich langsamer drehen als die Kurbel (s. Abb. 68).



Abb. 68: Vorlage und Vorgaben zur Anfertigung der Sachzeichnungen – Variation der Drehzahl

6.5.2.1 Darlegung der Befunde

Nach einer ersten Sichtung der Sachzeichnungen wurde zusätzlich zu den drei deduktiv vorgegebenen Kategorien eine weitere Kategorie induktiv ermittelt und in das Kategoriensystem (s. Tab. 52) sowie in den Kategorienleitfaden integriert.

Anhand des induktiv ergänzten Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert.

Die InterCoder-Übereinstimmung beträgt 98%. Cohens Kappa liegt bei 0.97.

Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich mehrheitlich auf die Zuordnung zur Kategorie „Noch keine Idee“. Im Rahmen der Coderkonferenz wurde vereinbart, dass Sachzeichnungen von Lernenden, die zwar mit dem Zeichnen begonnen haben, dann aber abbrachen und dokumentierten, doch keine Idee zu haben, zur Kategorie „Noch keine Idee“ zugeordnet werden.

Tab. 52: Kategoriensystem zur Erfassung der Lernvoraussetzungen im Bereich Variation der Drehzahl

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Funktionsprinzipien erfasst	Die Variation der Raddurchmesser wird als entscheidende Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden folgerichtig umgesetzt.	
Entscheidende Faktoren erkannt - Umsetzung nicht vollständig folgerichtig	Die Variation der Raddurchmesser wird als entscheidende Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden aber nicht vollständig folgerichtig umgesetzt.	
Funktionsprinzipien nicht erfasst	Die Variation der Raddurchmesser wird nicht als Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden nicht folgerichtig umgesetzt.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?“ einbringen zu können.	

Die Ergebnisse zeigen, dass die Variation der Raddurchmesser nur in Einzelfällen als entscheidende Variable zur Variation der Drehzahl erkannt wurde (s. Abb. 69). Der Kategorie „Funktionsprinzipien erfasst“ konnte keine der Sachzeichnungen zugeordnet werden. 43% der Lernenden geben an, noch keinen Lösungsvorschlag zur Forscherfrage einbringen zu können. 56% wurden der Kategorie „Funktionsprinzipien nicht erfasst“ zugeordnet.

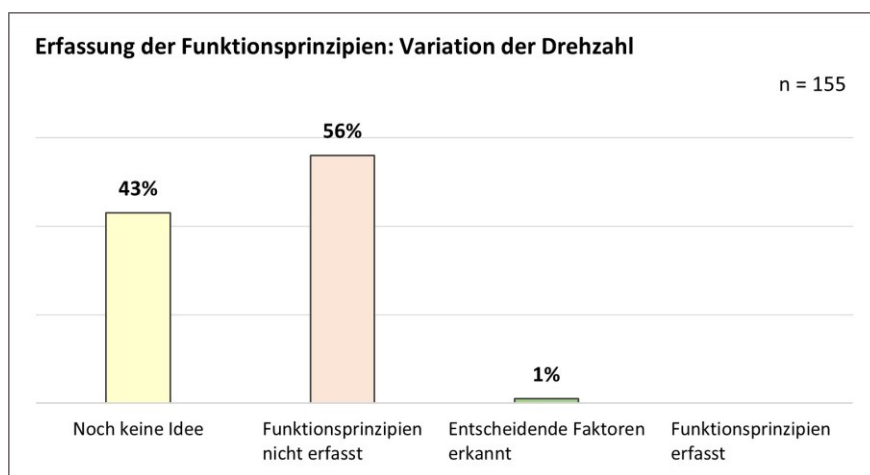


Abb. 69: Darlegung der Ergebnisse - Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen zur Variation der Drehzahl

Im Folgenden wird zunächst näher auf die ermittelten Unterschiede in den technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Umsetzungen eingegangen. Daran anschließend werden die Befunde zur Verteilung von Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen sowie die Verteilung von Mädchen und Jungen auf die verschiedenen Kategorien dargelegt.

Lernende, die der Kategorie „*Entscheidende Faktoren erkannt*“ zugeordnet wurden, verwenden Elemente eines Riemen- sowie eines Reibradgetriebes und variieren die Rad- bzw. Scheibengrößen (s. Abb. 70a und b).

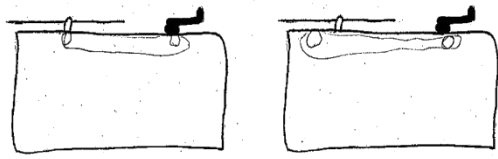


Abb. 70a: Übersetzung ins Langsame erfasst

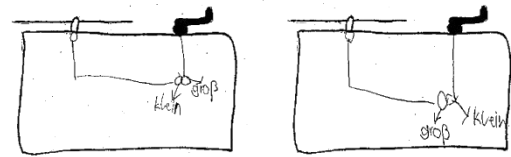


Abb. 70b: Faktoren zur Drehzahlvariation erfasst

Die Funktionsprinzipien werden aber noch nicht vollständig folgerichtig umgesetzt. In einem Fall wird lediglich die Übersetzung ins Langsame erfasst (vgl. Abb. 70a), im anderen Fall sind Kurbel und Karussell nicht funktionsfähig verbunden (vgl. Abb. 70b).

Lernende, die der Kategorie „*Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ zugeordnet wurden, setzen die Drehzahländerung mittels spezieller Bauteile oder mittels Variation der verwendeten Bauteile um (s. Abb. 71).

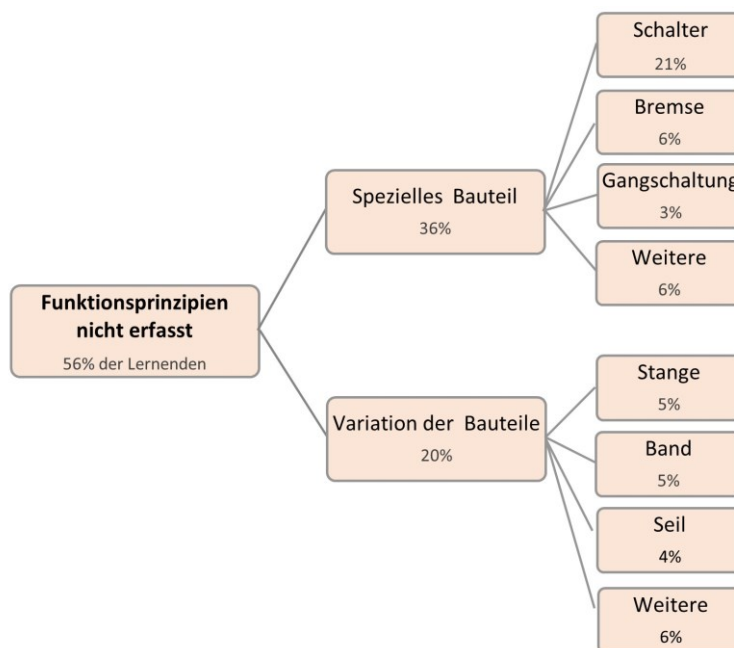


Abb. 71: „Funktionsprinzipien nicht erfasst“ – Unterkategorien und prozentuale Verteilung

21% der Lernenden nutzen zur Variation der Drehzahl einen Schalter, der entweder mit den Bauteilen verbunden (s. Abb. 72a), zusätzlich zu den Bauteilen eingefügt (s. Abb. 72b) oder isoliert in das Karussell eingezeichnet wird (vgl. Tab. 52). Alternativ werden auch die Bezeichnungen „Knopf“, „Hebel“ oder „Bügel“ verwendet.

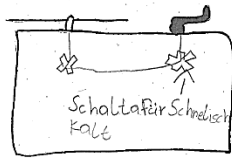


Abb. 72a: Schalter mit den Bauteilen verbunden

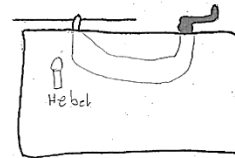
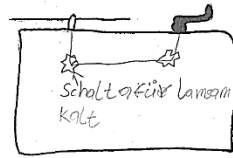
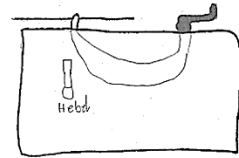


Abb. 72b: Hebel zum Bauteil hinzugefügt



6% der Lernenden regulieren die Drehgeschwindigkeit mit Hilfe einer Bremse, die auch als „Verlangsamer“, „Stopper“ oder „Blockade“ bezeichnet wird (s. Abb. 73a und b).

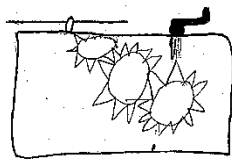


Abb. 73a: Der Verlangsamer bremst das Rad

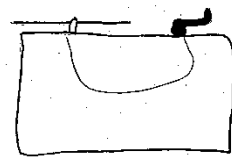
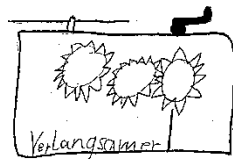
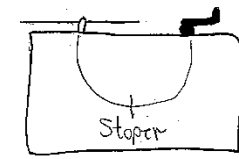


Abb. 73b: Ein Stopper verringert die Drehzahl



In einigen Fällen wird auch eine Gangschaltung genutzt, um die Drehzahl zu regulieren (s. Abb. 74a und b). Als weitere spezielle Bauteile werden unter anderem ein Motor oder auch eine Batterie eingesetzt.

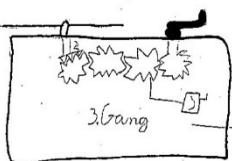


Abb. 74a: Gangschaltung mit 3. und 1. Gang

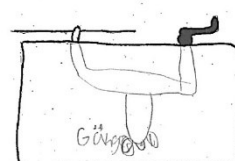
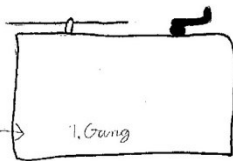
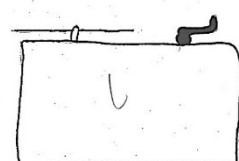


Abb. 74b: Gänge für schnell (s) und langsam (l)



20% der Schülerinnen und Schüler nutzen die von ihnen verwendeten Bauteile wie Seile, Stangen und Bänder, um die Geschwindigkeit zu ändern. Variiert wird unter anderem die Anzahl der Bauteile, der Abstand der Bauteile zu Kurbel und Karussell sowie die Form und Beschaffenheit der Bauteile (s. Abb. 75a - d).

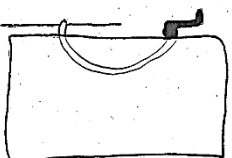


Abb. 75a: Variation Anzahl der Bauteile

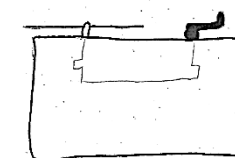
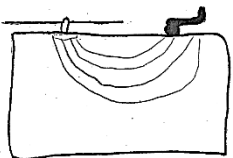


Abb. 75b: Variation Abstand der Bauteile

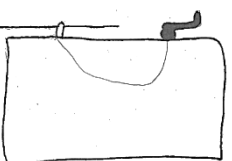
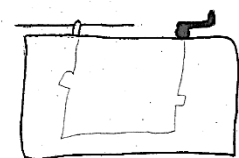


Abb. 75c: Variation der Form: gebogen – gerade

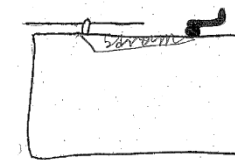
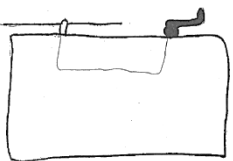
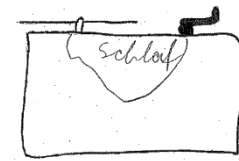


Abb. 75d: Variation Spannung: stramm – schlaff



In einigen Fällen werden auch die genutzten Zahnräder variiert, allerdings nicht die Radgrößen betreffend, sondern die Anzahl sowie die Verbindung mit Kurbel und Karussell (s. Abb. 76a und b).

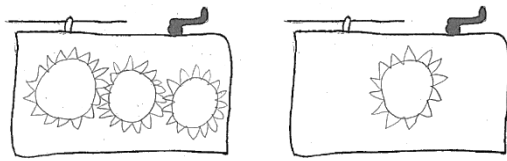


Abb. 76a: Variation Anzahl der Zahnräder

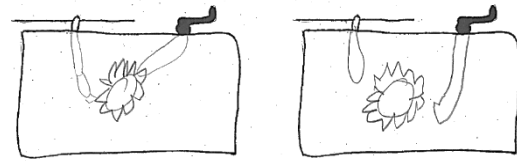


Abb. 76b: Variation Verbindung des Zahnrades

Im Hinblick auf die Verteilung von Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht zeigen sich keine besonderen Auffälligkeiten (s. Abb. 77). Lernende mit durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen wurden mehrheitlich der Kategorie „*Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ zugeordnet. Lernende mit geringen Lernvoraussetzungen verteilen sich gleichmäßig auf die beiden hier relevanten Kategorien.

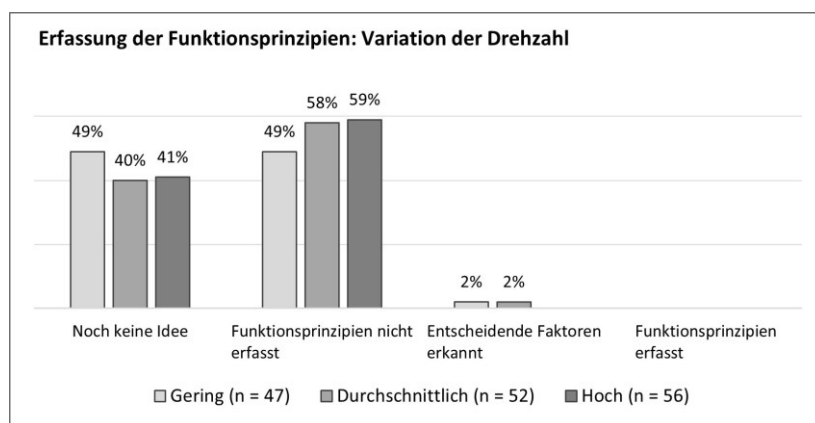


Abb. 77: Verteilung der Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen - Variation der Drehzahl

Auch im Hinblick auf die Verteilung von Mädchen und Jungen zeigen sich im Bereich Variation der Drehzahl insgesamt keine spezifischen Auffälligkeiten (s. Abb. 78). Anzumerken bleibt, dass es sich bei den Lernenden, die bereits entscheidende Faktoren erkannt haben, um Jungen handelt.

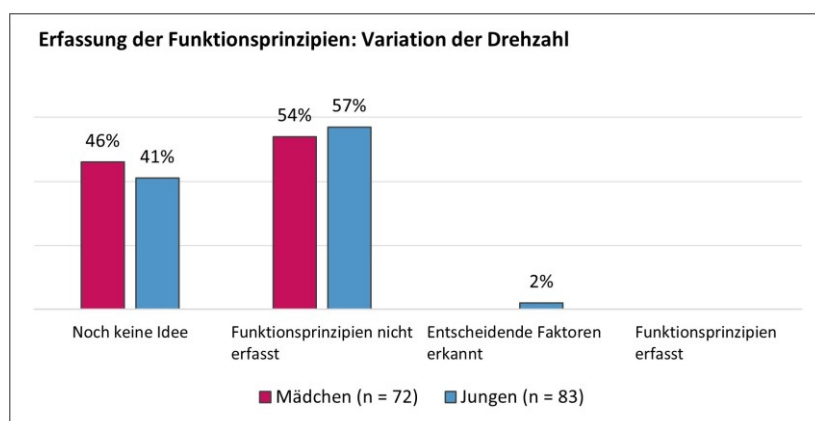


Abb. 78: Verteilung von Mädchen und Jungen - Variation der Drehzahl

6.5.2.2 Interpretation der Befunde

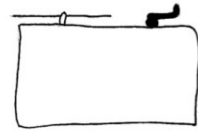
Die Ergebnisse zeigen, dass die Funktionsprinzipien zur Übersetzung ins Schnelle und ins Langsame von den Lernenden noch nicht folgerichtig dargelegt werden können. Dies trifft sowohl auf Mädchen als auch auf Jungen unabhängig von den kognitiven Lernvoraussetzungen zu. Diese Befundlage erscheint durchaus erwartbar, da sich im Alltag der Lernenden – anders als im Bereich Weiterleitung der Bewegung – kaum Gelegenheiten finden, die Variation der Drehzahl bewusst wahrzunehmen. Lediglich in Einzelfällen wird die Variation der Radgrößen als entscheidender Faktor zur Änderung der Drehgeschwindigkeit erkannt. Es deckt sich mit den bisherigen Befunden zu den geschlechtsspezifischen Unterschieden im Bereich Technik, dass es sich hierbei um Jungen handelt (vgl. Baumert, 1996; Zolg, 2001).

Aus technikdidaktischer Perspektive kommt den hier erzielten Befunden dennoch eine besondere Bedeutung zu, da sich interessante Einblicke in die Vorstellungen der Lernenden und ihr grundlegendes Technikverständnis ergeben. So zeigt sich, dass die Schülerinnen und Schüler zur Beantwortung der Forscherfrage auf alltägliche Technikerfahrungen zurückgreifen und ihre Lösungsvorschläge ad hoc konstruieren (vgl. Möller, 1991). Dabei wird erkennbar, dass die Lernenden die zweckorientierte Ausrichtung der Technik verinnerlicht haben. Um die Variation der Drehzahl umzusetzen, werden entweder technische Artefakte wie Schalter genutzt oder die Bauteile variiert. Lernende, die spezielle Bauteile verwenden, bilden häufig Analogien zur Geschwindigkeitsregulation beim Fahrrad oder Auto. Bisweilen erhalten die eingesetzten Geräte dann auch besondere Bezeichnungen wie „Verlangsamer“ oder „Stopper“, anhand derer ihre Funktion noch einmal konkretisiert wird.

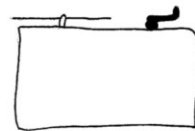
Auch im Hinblick auf die Variation der Bauteile zeigen sich interessante Lösungsansätze. Einige Schülerinnen und Schüler verlängern die Verbindung zwischen Kurbel und Karussell und gehen davon aus, dass sich durch diesen längeren Weg auch die Weiterleitung der Bewegung verzögert und das Karussell sich entsprechend langsamer dreht. Andere erhöhen die Materialdichte, um den Widerstand zu erhöhen und das Karussell so zu verlangsamen. Diese Strategie zeigt sich auch in dem Ansatz, locker oder festsitzende Zahnräder zu verwenden. Durchaus plausibel erscheint außerdem der Vorschlag, die Anzahl der Zahnräder zu variieren. Hier wird davon ausgegangen, dass sich mit Zunahme der Zahnräder auch die Geschwindigkeit erhöht. Diese Beispiele belegen, wie vielfältig die Vorstellungen der Lernenden gestaltet sind. Gerade weil die Funktionsprinzipien noch nicht erfasst wurden, zeigen sich äußerst kreative und durchdachte Alternativen zur technischen Problemlösung.

6.5.3 Variation der Drehrichtung

Zur Ermittlung der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen im Bereich Variation der Drehrichtung wurden die Schülerinnen und Schüler aufgefordert, ihre Vorstellungen zur Forscherfrage „Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“ anhand von zwei Sachzeichnungen darzulegen. Im ersten Fall sollen sich das Karussell und die Kurbel in die gleiche Richtung drehen; im zweiten Fall sollen sich Karussell und Kurbel in entgegengesetzte Richtungen drehen (s. Abb. 79).



Das Karussell und die Kurbel
drehen sich
in die gleiche Richtung.



Das Karussell und die Kurbel
drehen sich
nicht in die gleiche Richtung.

Abb. 79: Vorlage und Vorgaben zur Anfertigung der Sachzeichnungen – Variation der Drehrichtung

6.5.3.1 Darlegung der Befunde

Nach einer ersten Sichtung der Sachzeichnungen wurden zusätzlich zu den drei deduktiv vorgegebenen Kategorien zwei weitere Kategorien induktiv ermittelt und in das Kategoriensystem (s. Tab. 53) sowie in den Kategorienleitfaden integriert.

Tab. 53: Kategoriensystem zur Erfassung der Lernvoraussetzungen im Bereich Variation der Drehrichtung

Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
Funktionsprinzipien erfasst	Die Variation der Riemenführung bzw. die Variation der Radanzahl wird als entscheidende Variable zur Variation der Drehrichtung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden folgerichtig umgesetzt.	
<u>Bestimmte Faktoren bekannt</u>	Die Variablen zur Einstellung einer bestimmten Drehrichtung sind bekannt. Die Funktionsprinzipien zur Variation der Drehrichtung werden noch nicht erfasst.	
<u>Erste Ideen erfasst</u>	Erste Ideen zur Variation der Riemenführung bzw. zur Variation der Radanzahl als Variable zur Drehrichtungsänderung sind erkennbar. Die Funktionsprinzipien werden noch nicht erfasst.	
Funktionsprinzipien nicht erfasst	Die Variation der Riemenführung bzw. die Variation der Radanzahl wird nicht als Variable zur Variation der Drehrichtung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden nicht folgerichtig umgesetzt.	
Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“ einbringen zu können.	

Anhand des induktiv ergänzten Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert.

Die InterCoder-Übereinstimmung beträgt 96%. Cohens Kappa liegt bei 0.95.

Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich überwiegend auf Codierfehler, die durch Abgleich mit dem Leitfaden einvernehmlich korrigiert werden konnten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Variation der Riemenführung oder der Radanzahl nur in wenigen Fällen als mögliche Variable zur Änderung der Drehrichtung erkannt wurde.

Der Kategorie „*Funktionsprinzipien erfasst*“ konnte keine der Sachzeichnungen zugeordnet werden (s. Abb. 80). 48% der Lernenden geben an, noch keinen Lösungsvorschlag zur Forscherfrage einbringen zu können. 43% wurden der Kategorie „*Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ zugeordnet.

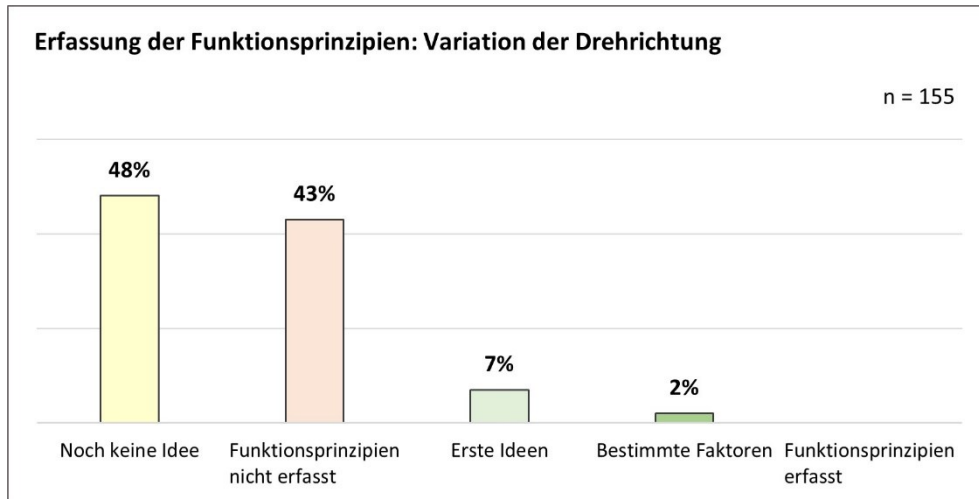


Abb. 80: Darlegung der Ergebnisse - Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen zur Variation der Drehrichtung

Im Folgenden wird zunächst näher auf die ermittelten Unterschiede in den technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Umsetzungen eingegangen. Daran anschließend werden die Befunde zur Verteilung von Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen sowie die Verteilung von Mädchen und Jungen auf die verschiedenen Kategorien dargelegt.

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie „*Erste Ideen erfasst*“ zugeordnet wurden, setzen den Drehrichtungswechsel über die Schlingung des Riemens oder über eine Variation der Radanzahl um (s. Abb. 81a und b). Die Wirkzusammenhänge werden aber noch nicht durchschaut und die Funktionsprinzipien nicht erfasst.

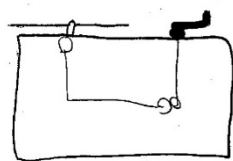


Abb. 81a: Zusätzliches Rad wird eingefügt

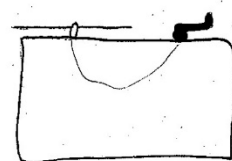
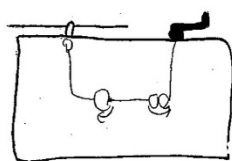
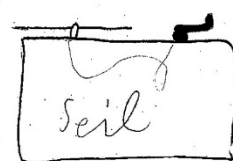


Abb. 81b: Seil wird geschlungen



Lernende der Kategorie „*Bestimmte Faktoren bekannt*“ legen die Umsetzung einer bestimmten Drehrichtung dar (vgl. Tab. 53). Zur Umkehrung der Drehrichtung können jedoch noch keine Angaben gemacht werden. Dies wurde von den Schülerinnen und Schülern auch verbalisiert: „Ich weiß, dass es sich so automatisch in die gleiche Richtung dreht. Wie es sich andersherum dreht, weiß ich nicht.“

Lernende, die der Kategorie „*Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ zugeordnet wurden, setzen den Drehrichtungswechsel über spezielle Bauteile oder über Variation der verwendeten Bauteile um (s. Abb. 82).

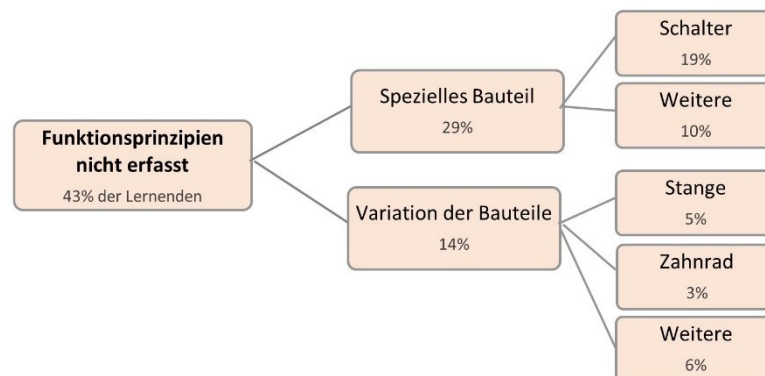


Abb. 82: „Funktionsprinzipien nicht erfasst“ – Unterkategorien und prozentuale Verteilung

Im Hinblick auf die konstruktiven Umsetzungen zeigen sich hier Parallelen zur Variation der Drehzahl. Im Bereich „*Spezielle Bauteile*“ werden neben den allgemeinen Schaltervarianten aber auch Schalter und Bauteile genutzt, die gezielt auf den Drehrichtungswechsel ausgerichtet sind (s. Abb. 83a-c). Der „*Richtungsveränderer*“ etwa wird zwischen den Zahnrädern positioniert, um eine Drehrichtungsänderung herbeizuführen. In Einzelfällen wird auch eine zweite Kurbel im Karussellinneren angebracht (s. Abb. 83d).

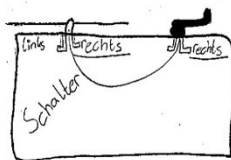


Abb. 83a: Schalter mit Richtungseinstellung

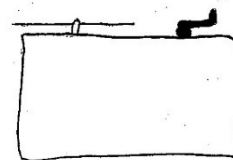
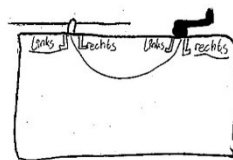


Abb. 83b: Schalter und verbale Beschreibung

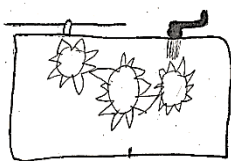


Abb. 83c: Der Richtungsveränderer

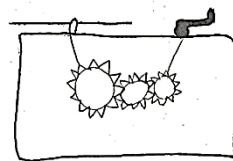
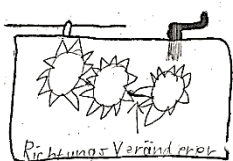
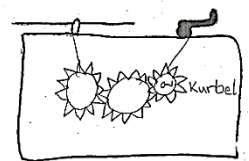


Abb. 83d: Zweite Kurbel im Inneren des Karussells



Im Bereich „*Variation der Bauteile*“ werden unter anderem die Position, die Form und auch die Anzahl der Bauteile variiert, um einen Drehrichtungswechsel zu erreichen (s. Abb. 84a und b). In einem Einzelfall werden die Zacken des verwendeten Zahnrades in eine andere Richtung gebogen. Das Umdrehen eines Zahnrades wird von 2% der Lernenden als Möglichkeit genutzt. In einem Fall wird dieses Zahnrad entsprechend seiner Funktion als „*Drehrichtungswechsler*“ bezeichnet (s. Abb. 84c). Die Variation der Kurbeldrehung wird in zwei Fällen als ursächlich für den Drehrichtungswechsel erachtet (s. Abb. 84d).

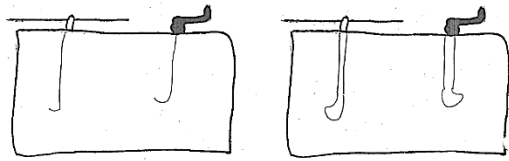


Abb. 84a: Position der Haken wird variiert

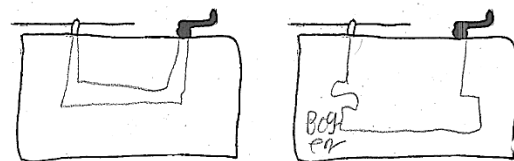


Abb. 84b: Form der Stange wird variiert

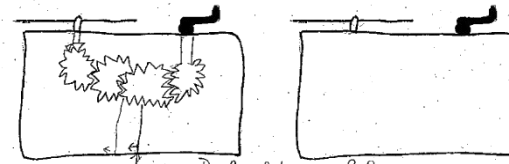


Abb. 84c: Der Drehrichtungswechsler



Abb. 84d: Variation der Kurbeldrehung

Im Hinblick auf die Verteilung von Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler mit geringen und hohen Lernvoraussetzungen mehrheitlich angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben (s. Abb. 85). Lernende mit durchschnittlichen Lernvoraussetzungen wurden mehrheitlich der Kategorie „Funktionsprinzipien nicht erfasst“ zugeordnet. In der Verteilung auf die weiteren Kategorien zeigen sich keine lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten.

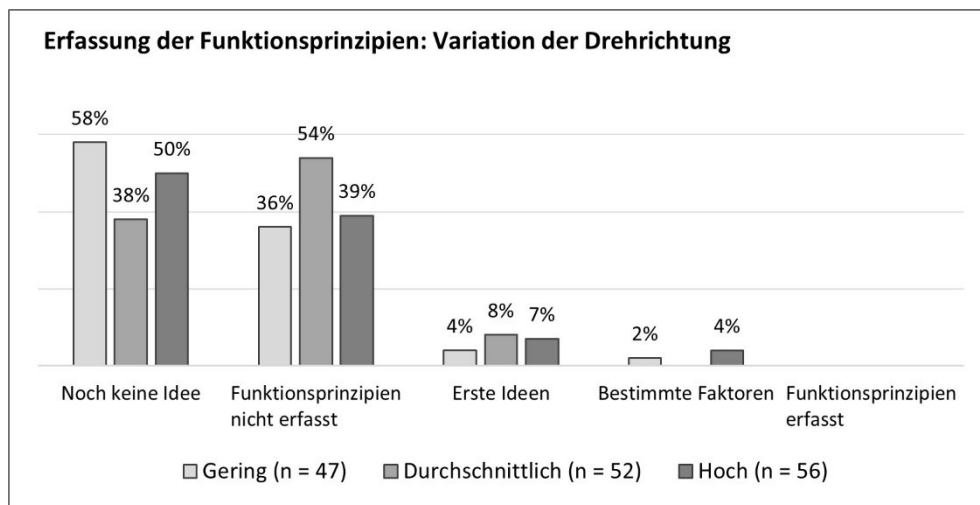


Abb. 85: Verteilung der Lernenden mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen - Variation der Drehrichtung

Im Hinblick auf die Verteilung von Mädchen und Jungen zeigt sich, dass sowohl die Jungen als auch die Mädchen mehrheitlich angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben (s. Abb. 86). Geschlechtsspezifische Auffälligkeiten betreffen die Kategorie „Erste Ideen“. Während 10% der Jungen hier zugeordnet wurden, sind es auf Seiten der Mädchen lediglich 3%.

Zur Konkretisierung der bisherigen Befunde wird die Verteilung von Jungen und Mädchen mit hohen, durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen zusätzlich auch

vergleichend betrachtet (s. Abb. 87 und 88). Die Ergebnisdarstellung erfolgt anhand der absoluten Zahlenwerte.

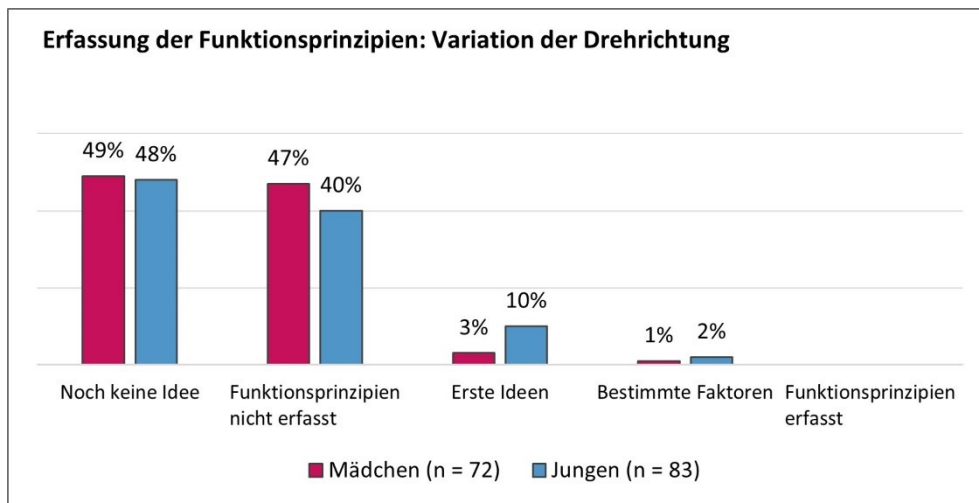


Abb. 86: Verteilung von Mädchen und Jungen - Variation der Drehrichtung

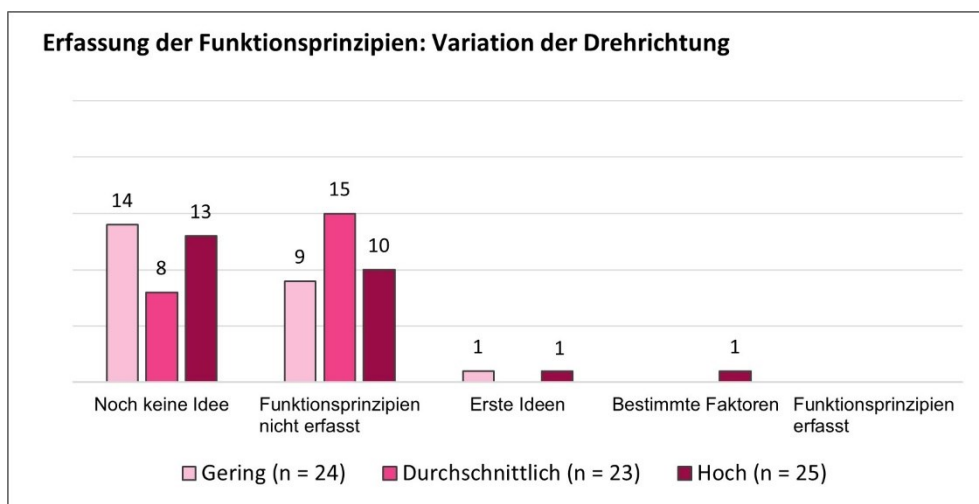


Abb. 87: Absolute Verteilung der Mädchen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen

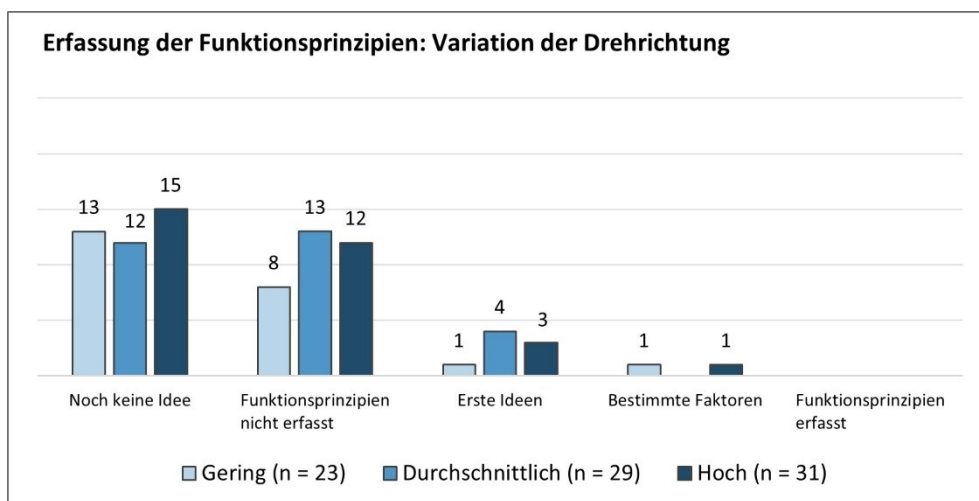


Abb. 88: Absolute Verteilung der Jungen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl Mädchen als auch Jungen mit geringen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen mehrheitlich angeben, noch keine Idee zur Forscherfrage zu haben. Mädchen und Jungen mit durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen wurden mehrheitlich der Kategorie „*Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ zugeordnet. Bei den Mädchen zeigen sich hier allerdings deutlichere Unterschiede in der Verteilung.

Im Hinblick auf die Kategorien „Erste Ideen“ und „Bestimmte Faktoren“ zeigen sich keine lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten. Sowohl Jungen mit geringen, durchschnittlichen und hohen Lernvoraussetzungen konnten hier zugeordnet werden. Auf Seiten der Mädchen lassen sich aufgrund der geringen Anzahl der Zuordnungen keine Aussagen zu möglichen lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten treffen.

6.5.3.2 Interpretation der Befunde

Die Ergebnisse belegen, dass die Funktionsprinzipien zur Variation der Drehrichtung von den Lernenden noch nicht folgerichtig dargelegt werden können. Es zeigen sich Parallelen zur Befundlage im Bereich Variation der Drehzahl. Auch hier ergeben sich anhand der Kategorie „*Funktionsprinzipien nicht erfasst*“ interessante Einblicke in die technikbezogenen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler. Spezielle Geräte wie der „Richtungsveränderer“ illustrieren, wie durchdacht und kreativ die Lösungen der Lernenden zur technischen Problemstellung aussehen. Dazu zählen auch Ansätze, die darauf ausgerichtet sind, einzelne Bauteile umzudrehen, wie etwa beim „Drehrichtungswechsler“ deutlich wird (vgl. Kap. 6.5.3.1). Aus welchen Gründen mehrheitlich Schülerinnen und Schüler mit durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen dieser Kategorie angehören, kann auf Basis der Befundlage nicht geklärt werden.

Ein aus didaktischer Perspektive interessanter Befund zeigt sich anhand der Kategorie „Erste Ideen“. Abweichend von den Befunden zur Drehzahl entwickeln einige Lernende in der Befragungssituation erste Ideen zur Umsetzung der Drehrichtungsvariation, die den grundlegenden Funktionsprinzipien entsprechen. Mehrheitlich handelt es sich hierbei um Jungen. Dies deckt sich mit den bisherigen Befunden zu den geschlechtsspezifischen Unterschieden im Bereich des technischen Lernens (vgl. Baumert, 1996; Zolg, 2001). Bemerkenswert erscheint aber, dass der Vorsprung der Jungen auch bei der Annäherung an bislang unbekannte Funktionsprinzipien erkennbar wird. Während die geschlechtsspezifischen Unterschiede im Bereich Weiterleitung eher auf die bisherigen Lernerfahrungen zurückgeführt wurden, zeigt sich hier, dass auch das intuitive Entwickeln von möglichen Lösungen beeinflusst zu sein scheint. Wie im Bereich Weiterleitung sind auf Seiten der Jungen auch hier keine besonderen lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten erkennbar.

6.5.4 Zusammenfassung der Befunde und Reflexion des methodischen Vorgehens

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben in Abhängigkeit von der Getriebefunktion unterscheiden. Während im Bereich Weiterleitung der Bewegung die Heterogenität in den technikbezogenen Lernvoraussetzungen deutlich wird und die Funktionsprinzipien von einem Teil der Lernenden

folgerichtig dargelegt werden können, sind den Schülerinnen und Schülern die Prinzipien zur Variation der Drehzahl und der Drehrichtung noch nicht bekannt.

Im Hinblick auf die Ermittlung der Unterschiede im technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denken erwies es sich daher forschungsmethodisch als folgerichtig, den Bereich Weiterleitung zu fokussieren. Anhand der spezifischen Analysefragen konnten so die Unterschiede im technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denken der Lernenden ermittelt und konkretisiert werden (vgl. Kap. 3.5.1.1 - 3.5.1.8). Auf dieser Basis war es dann auch möglich, eine Kategorisierung im Hinblick auf die Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien vorzunehmen. Als gewinnbringend erwies sich dabei die deduktiv-induktive Kategorienbildung sowie das evaluativ-strukturierende Analyseverfahren. Auf diese Weise gelang es, die individuellen Vorstellungen und Ansätze der Schülerinnen und Schüler zu berücksichtigen und Erkenntnisse zur Parallelität des technisch-konstruktiven und technisch-funktionalen Denkens zu gewinnen (vgl. Kap. 3.5.1.10).

Geschlechtsspezifische Auffälligkeiten zugunsten der Jungen zeigen sich sowohl im Hinblick auf die Kenntnisse zur Weiterleitung der Bewegung als auch hinsichtlich der Kenntnisse zur Variation der Drehrichtung. Im Bereich Weiterleitung werden darüber hinaus lernvoraussetzungsspezifische Auffälligkeiten auf Seiten der Mädchen erkennbar. Die am Beispiel des Lehr-Lernarrangements zum Kurbelkarussell entwicklungsforschend ermittelten Befunde lassen sich anhand von drei zentralen Hypothesen zusammenfassen (s. Tab. 54). In weiterführenden Studien gilt es, diese auf ihre statistische Signifikanz und ihre Allgemeingültigkeit hin zu überprüfen.

Tab: 54: Hypothesen zu den inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben

I.	Jungen verfügen über ausgeprägtere Vorkenntnisse zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben als Mädchen.
II.	Auf Seiten der Mädchen zeigen sich positive Zusammenhänge zwischen den kognitiven Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht und den inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben.
III.	Auf Seiten der Jungen zeigen sich keine Zusammenhänge zwischen den kognitiven Lernvoraussetzungen im Fach Sachunterricht und den inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben.

Im Hinblick auf die forschungsmethodische Umsetzung bleibt festzuhalten, dass es den Lernenden mithilfe der Sachzeichnungen gelang, ihre Vorstellungen zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben darzulegen. Als äußerst gewinnbringend und förderlich erwies sich in diesem Zusammenhang aber vor allem auch die Durchführung der Erhebung in Form der problemzentrierten Einzelinterviews. Zum einen konnte so auf Unsicherheiten und Fragen der Lernenden direkt eingegangen und insgesamt eine entspannte und angstfreie Atmosphäre geschaffen werden. Zum anderen war es auf diese Weise auch möglich, Nachfragen zu den Sachzeichnungen an die Kinder zu richten und die Befunde somit abzusichern.

Die prozentuale Inter-coder-Übereinstimmung sowie der Übereinstimmungskoeffizient Cohens Kappa belegen die Zuverlässigkeit der vorgenommenen Kategorisierungen. Fehlinterpretationen können jedoch trotz der hier erzielten Werte nicht ausgeschlossen werden. So ist durchaus davon auszugehen, dass Lernende in ihren Sachzeichnungen nicht alle ihnen bekannten Sachverhalte differenziert darlegen. Auf diesbezügliche Nachfragen wurde im Rahmen der Interviews allerdings verzichtet, um eine Beeinflussung zu vermeiden.

Hinsichtlich der erzielten Übereinstimmungswerte bleibt zudem einschränkend anzumerken, dass bei der Einschätzung von Sachzeichnungen ein geringeres Maß an interpretativen Schlussfolgerungen erforderlich ist als bei der Beurteilung von verbalen Äußerungen. In der vorliegenden Erhebung werden die Interpretationsspielräume zusätzlich durch die Trennschärfe der vorgegebenen und ermittelten Kategorien geschmälert.

Anhand des entwickelten Fragebogens konnten die kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen ermittelt und eine Unterteilung der Lernenden in die unterschiedlichen Lernvoraussetzungsspektren vorgenommen werden. In Anbetracht der deutlich werdenden lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten in der Gruppe der Mädchen erscheint es zielführend, die einzelnen hier zusammengefassten Kompetenzbereiche genauer zu erfassen. Auf diese Weise kann dann ermittelt werden, welche Effekte von den jeweiligen prozeduralen Kompetenzen ausgehen. Zudem kann konkretisiert werden, inwieweit sich Zusammenhänge zwischen dem deklarativen Wissen und den technikbezogenen Kenntnissen zeigen.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass den hier ermittelten Befunden im Hinblick auf die nachfolgende Teilstudie LERNnetze III, aber auch aus technikdidaktischer Perspektive eine besondere Bedeutung zukommt. So wird deutlich, wie notwendig es ist, die inhaltsbezogenen Kompetenzen im Bereich Technik zu stärken und Gelegenheiten zur Auseinandersetzung mit technischen Lerngegenständen zu schaffen. Gleichzeitig zeigt sich, welche Herausforderungen mit der Gestaltung technikbezogener Lernprozesse verbunden sind. In Anbetracht der heterogenen Lernausgangslagen scheint eine adaptive Lernunterstützung unerlässlich. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der gendersensiblen Unterrichtsgestaltung zu. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse deuten allerdings auch darauf hin, dass zusätzlich weitere lernvoraussetzungsspezifische Parameter zu berücksichtigen sind. Insbesondere die Gruppe der Mädchen sollte noch differenzierter im Hinblick auf die technikbezogenen Kompetenzen betrachtet werden. Im Rahmen der anschließenden Teilstudie LERNnetze III werden diese Befunde aufgegriffen. Konkretisiert werden soll, wie sich verschiedene Grade der Lernunterstützung bei Jungen und Mädchen mit unterschiedlichen kognitiven sowie inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen auf inhaltsbezogene und motivational-affektive Lernergebnisse auswirken.

7 LERNnetze III: Ergebnis- und prozessorientierte Wirkanalyse

In der Teilstudie LERNnetze III wurde untersucht, wie sich verschiedene Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und das Lernerleben von Schülerinnen und Schülern aus dritten Grundschulklassen auswirken.³ Der Forschungsfokus lag hierbei auf der Ermittlung und Konkretisierung der Unterschiede, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung in den Lernergebnisse und im Lernerleben der Schülerinnen und Schüler zeigen.

7.1 Theoretischer Hintergrund und Forschungsstand

Die Befunde der Unterrichtsforschung belegen, dass Instruktion und Konstruktion keinesfalls als einander ausschließende Gegensätze betrachtet werden sollten (vgl. Lipowsky, 2007). Um Lernprozesse angemessen unterstützen zu können, muss vielmehr eine Balance zwischen der Eigenaktivität der Lernenden und der Anleitung durch die Lehrenden hergestellt werden (vgl. Kap. 3.1). Es gilt „so viel Herausforderung [...] wie möglich [zu] schaffen, aber auch so viel Unterstützung [...] wie nötig [zu] geben“ (Kleickmann, 2012, S. 8). Auf diese Weise können sowohl kognitive als auch motivationale Passungsprobleme vermieden werden (vgl. Stark et al., 1998). Welches Maß an Lernunterstützung sich allerdings als lernwirksam erweist, hängt von den spezifischen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler ab. Angebots-Nutzungs-Modelle verdeutlichen, dass Unterrichtsangebote nicht linear wirken, sondern „individuelle Unterschiede zwischen den Lernenden zu einer unterschiedlichen Nutzung des Unterrichtsangebots führen [können]“ (Kunter & Ewald, 2016, S. 20).

Erste Befunde zur differenziellen Wirkung von Unterricht konnten im Zuge der *Aptitude-Treatment-Interaction-Forschung* bereits in den 1970er Jahren gewonnen werden (Cronbach & Snow, 1977). Aktuell werden im Zuge der *Adaptive-Teaching-Forschung* weniger die Wechselwirkungen als vielmehr die Passung von Unterrichtsangebot und Lernvoraussetzungen in den Blick genommen (vgl. Kunter & Ewald, 2016). Untersucht wird in diesem Zusammenhang auch die differenzielle Wirkung der tiefenstrukturellen Unterrichtsmerkmale. Dabei zeigt sich, dass vor allem Lernende mit ungünstigen Lernvoraussetzungen auf ein hohes Maß an Strukturierung angewiesen sind, während Lernende mit günstigen Voraussetzungen von mehr Freiheitsgraden profitieren (Renkl, 2015). Einen entscheidenden Faktor stellt dabei das bereichsspezifische Vorwissen der Schülerinnen und Schüler dar.

Für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht konnte nachgewiesen werden, dass leistungsschwächere Schülerinnen und Schüler sowohl im Hinblick auf die kognitiven Lernergebnisse als auch in Bezug auf das Kompetenzerleben, das empfundene Engagement und die Erfolgszuversicht von einem höheren Maß an Strukturierung profitieren (Blumberg et al., 2004; Möller et al., 2002). Für leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler erwies sich ein höheres Maß an Strukturierung hingegen nicht als bedeutsam (vgl. Kap. 3.2.1.2). Sie empfanden sich auch bei einem geringeren Maß an Strukturierung als kompetent und

³ Einige Inhalte dieses Kapitels wurden bereits im Rahmen des Beitrags „Lernunterstützung im technischen Sachunterricht: Eine perspektivenspezifische Herausforderung“ (Dölle, 2023) veröffentlicht.

engagiert, bauten Erfolgszuversicht auf und erreichten einen jeweils vergleichbaren kognitiven Lernzuwachs. Im Hinblick auf das Interesse und die selbstbestimmte Motivation zeigte sich weder bei leistungsstärkeren noch bei leistungsschwächeren Schülerinnen und Schülern ein signifikanter Unterschied in Abhängigkeit vom Strukturierungsgrad.

Inwieweit sich diese Befunde auf das technische Lernen übertragen lassen, soll im Rahmen der vorliegenden Studie explorativ ermittelt und konkretisiert werden.

7.2 Zielsetzung und Konkretisierung der Forschungsfragen

Die bisherigen Befunde belegen die besonderen didaktischen Herausforderungen, die mit der Unterrichtsgestaltung im Bereich des frühen technischen Lernens verbunden sind (vgl. Adenstedt, 2021; Baumert & Geiser, 1996; Baumert, 1996; Ziefle & Jakobs, 2009). Es gilt, die technischen Wirk- und Bedingungsbeziehungen für diese Altersgruppe zugänglich zu machen und Lernprozesse gezielt anzuregen und zu unterstützen. Angesichts der heterogenen Lernvoraussetzungen bleibt zudem zu überprüfen, inwieweit Art und Umfang der Lernunterstützung individuell angepasst werden müssen. Dieser adaptiven Unterrichtsgestaltung kommt nicht nur im Hinblick auf die inhaltsbezogenen Lernergebnisse, sondern vor allem auch in Bezug auf motivational-affektive Zielsetzungen eine zentrale Bedeutung zu. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang vor allem das Lernerleben der Schülerinnen und Schüler. So belegen etwa die Untersuchungsergebnisse von Ziefle und Jakobs (2009), dass die Entwicklung eines nachhaltigen Technikinteresses insbesondere vom Kompetenzerleben der Lernenden im Umgang mit Technik und der erlebten Leichtigkeit der Techniknutzung abhängt. Diese Befunde entsprechen der Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Deci & Ryan, 1993). Diese Theorie akzentuiert, dass grundlegende psychologische Bedürfnisse erfüllt sein müssen, um intrinsische Motivation aufbauen und aufrechterhalten zu können (Ryan & Deci, 2000). Neben dem Kompetenzerleben und der Sozialen Eingebundenheit gehört auch das Autonomieerleben zu den sogenannten Grundbedürfnissen (*basic needs*). Kompetenz- und Autonomieerleben stehen allerdings in einem Spannungsverhältnis. Krapp (2005) betont in diesem Zusammenhang, dass man sich nur dann als kompetent erleben kann, wenn man eine Aufgabe in hinreichendem Maße aus eigener Kraft bewältigen kann. Andererseits benötigen Lernende aber durchaus Unterstützung und Vorgaben, um nicht überfordert zu werden und sich als handlungsfähig und kompetent erleben zu können.

Übertragen auf die Gestaltung von technikbezogenen Lehr- Lernsituationen erscheint es demnach bedeutsam, die Lernunterstützung so zu wählen, dass die kognitive Belastung der Lernenden geringgehalten, aber das Kompetenzerleben dennoch unterstützt wird. Welches Maß an Lernunterstützung sich dabei individuell als lernwirksam erweist, bleibt in Anbetracht der heterogenen Lernausgangslagen und der möglichen differenziellen Wirkung des Unterrichts ohne gezielte Überprüfung nur bedingt prognostizierbar.

So deuten die in der Teilstudie LERNnetze II ermittelten Befunde darauf hin, dass insbesondere Schülerinnen mit geringen und durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen und geringem inhaltspezifischem Vorwissen von intensiven Lernunterstützungsmaßnahmen profitieren werden (vgl. Kap. 6.5.4). Inwieweit dies auch auf Schülerinnen mit hohen kognitiven

Lernvoraussetzungen und inhaltspezifischen Vorkenntnissen zutrifft, erscheint sowohl im Hinblick auf die Lernergebnisse als auch in Bezug auf das Lernerleben fraglich.

Aufgrund der geschlechtsspezifischen Unterschiede in den inhaltsbezogenen und motivational-affektiven Lernvoraussetzungen kann zudem davon ausgegangen werden, dass Jungen im Bereich des technischen Lernens generell weniger auf Lernunterstützung angewiesen sind. Es erscheint somit erwartbar, dass ein zu hohes Maß an Lernunterstützung auf Seiten der Jungen sogar zu motivationalen Passungsproblemen führen kann (vgl. Deci & Ryan, 1993; Krapp, 2005). Im Rahmen der Teilstudie LERNnetze III wird daher untersucht, wie sich verschiedene Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und das Lernerleben der Schülerinnen und Schüler auswirken. Ziel der Erhebung ist es, Einblicke in die Hintergründe technikbezogener Lernprozesse zu gewinnen, um auf dieser Basis Impulse zur Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis und Hypothesen für weiterführende Forschungsprojekte ableiten zu können.

Das besondere Forschungsinteresse gilt dabei der Überprüfung und Konkretisierung der differenziellen Wirkung der Lernunterstützungsgrade (vgl. Dölle, 2023). Der Forschungsfokus liegt folglich auf der Ermittlung der treatmentbedingten Unterschiede, die sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung in den Lernergebnissen und dem Lernerleben der Schülerinnen und Schüler zeigen. Die erkenntnisleitende Forschungsfrage wird dementsprechend durch aufeinander aufbauende Fragestellungen konkretisiert.

Die erkenntnisleitende Forschungsfrage lautet:

Wie wirken sich verschiedene Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und das Lernerleben von Schülerinnen und Schülern aus dritten Grundschulklassen aus?

Die konkretisierten Forschungsfragen lauten:

- I. *Welche Unterschiede zeigen sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung in den Lernergebnissen und im Lernerleben der Schülerinnen und Schüler?*
- I.I *Inwieweit zeigen sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung Unterschiede in den Lernergebnissen und im Lernerleben von **Mädchen und Jungen**?*
- I.II *Inwieweit zeigen sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung Unterschiede in den Lernergebnissen und im Lernerleben von Schülerinnen und Schülern mit **geringen, durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen**?*
- I.III *Inwieweit zeigen sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung Unterschiede in den Lernergebnissen und im Lernerleben von Schülerinnen und Schülern mit **geringen und hohen inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen**?*

7.3 Studiendesign

Die Durchführung der Teilstudie LERNnetze III erfolgt in einem Pre-/Post-/Follow-up-Kontrollgruppendesign. Das inhaltspezifische Wissen der Lernenden zur Funktion und Funktionsweise von Getrieben wird zu allen drei Messzeitpunkten kontrolliert. Die Pretestungen zum inhaltspezifischen Vorwissen sowie die Erfassung der sachunterrichtsspezifischen Lernvoraussetzungen werden in einem Zeitraum von bis zu acht Tagen vor der Intervention vorgenommen (vgl. Kap. 6.3.1 sowie Kap. 6.3.2). Die Erhebung der Lernergebnisse erfolgt jeweils zwei Tage nach der Intervention (Posttest) sowie nach sechs Wochen (Follow-up).

Das Lernerleben wird hingegen prozessorientiert erfasst. Die Erhebung wird unmittelbar nach der Intervention durchgeführt (s. Abb. 89).

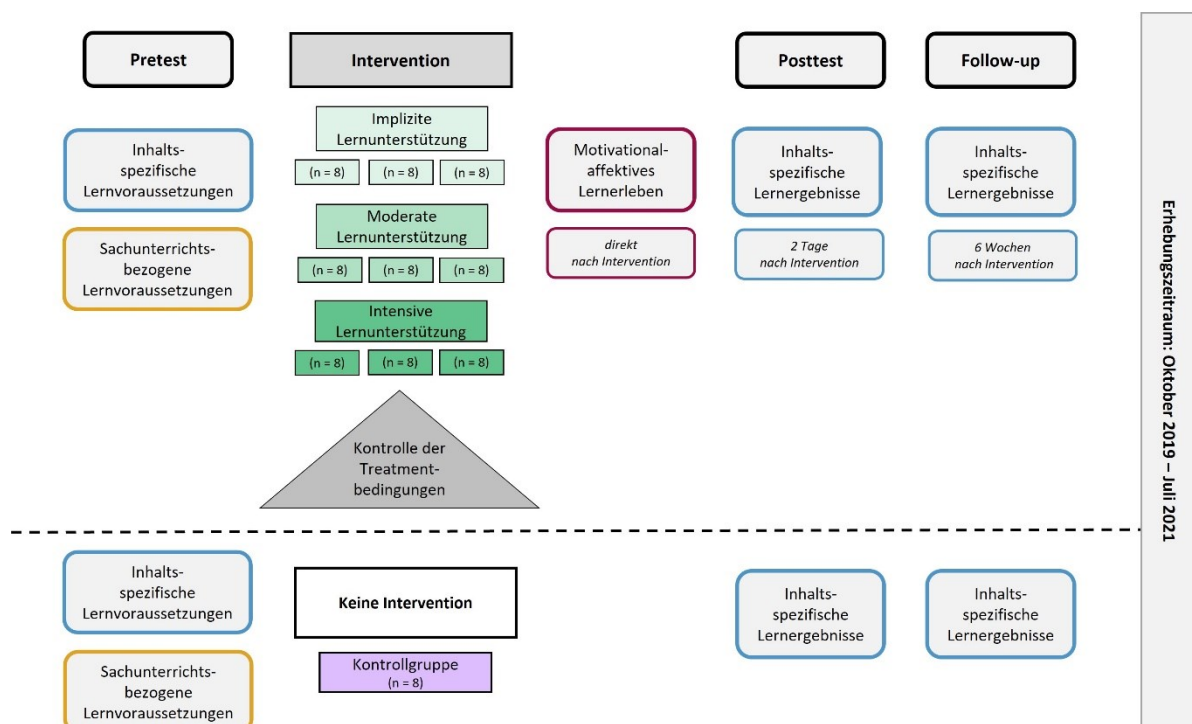


Abb. 89: Studiendesign der Teilstudie LERNnetze III

Die Studie wird mit insgesamt 80 Schülerinnen und Schülern aus zehn Klassen der Jahrgangsstufe 3 durchgeführt (vgl. Kap. 6.4). In einem Auswahlverfahren werden jeweils acht Lernende einer Klasse bestimmt und zufällig einer der Treatmentbedingungen oder der Kontrollgruppe zugeordnet.

Die Treatmentgruppen durchlaufen die Unterrichtssequenzen zu den LERNnetzen mit impliziter ($n = 3 \times 8$), moderat expliziter ($n = 3 \times 8$) oder intensiv expliziter Lernunterstützung ($n = 3 \times 8$) in einem Block von durchschnittlich vier Unterrichtsstunden. Die Einhaltung der Treatmentbedingungen wird dabei durch standardisierte Beobachtung kontrolliert. Die Kontrollgruppe ($n = 8$) erhält keine Intervention, nimmt aber an den Post- und Follow-up-Erhebungen zur Erfassung der inhaltspezifischen Lernergebnisse teil. Eine Erhebung des Lernerlebens entfällt.

7.3.1 Auswahlverfahren und Gruppenzusammensetzung

Um die Lernprozesse der Schülerinnen und Schüler und die Einhaltung der Treatmentbedingungen kontrollieren zu können, erfolgt die Durchführung der Unterrichtssequenzen in Kleingruppen (vgl. Prediger et al., 2012). Bei der Auswahl der Lernenden werden gemäß dem zentralen Forschungsinteresse die sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen, das inhaltspezifische Vorwissen sowie die Geschlechterverteilung berücksichtigt.

Ziel des Auswahlverfahrens ist es, eine möglichst heterogene Gruppenzusammensetzung sicherzustellen, damit im Rahmen der Analyse Erkenntnisse zur differenziellen Wirkung der Lernunterstützungsgrade gewonnen werden können. Um die interne Heterogenität, aber auch eine externe Vergleichbarkeit der einzelnen Gruppen gewährleisten zu können, werden Regeln für die Zusammensetzung der Gruppen festgelegt. Da die Erhebung der Lernvoraussetzungen allerdings erst kurz vor der Durchführung der Wirkanalyse erfolgt und somit im Vorfeld lediglich antizipiert werden kann, wie diese in den einzelnen Klassen verteilt sein könnten, erscheint es dabei erforderlich, gewisse Freiheitsgrade für die Auswahl der Lernenden offen zu halten. Hinzu kommt, dass die Erhebung nicht unter kontrollierten Laborbedingungen durchgeführt wird und dementsprechend davon ausgegangen werden muss, dass einige der im Vorfeld ausgewählten Schülerinnen und Schüler bedingt durch Krankheit oder andere äußere Umstände kurzfristig ersetzt werden müssen. Dies erscheint ohne entsprechende Variationsmöglichkeiten in der Gruppenkonstellation nur schwer umsetzbar.

7.3.1.1 Sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen

Im Hinblick auf die kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen wird die Auswahl der acht Schülerinnen und Schüler so vorgenommen, dass die unterschiedlichen Lernausgangslagen innerhalb der Gruppe möglichst ausgewogen verteilt sind. Festgelegt wird, dass pro Gruppe mindestens zwei Lernende mit hohen, durchschnittlichen sowie geringen kognitiven Lernvoraussetzungen auszuwählen sind. Um die Vergleichbarkeit der Gruppen zu gewährleisten, wird die Anzahl von Lernenden mit hohen und geringen Lernvoraussetzungen auf maximal drei Personen und die Zahl von Lernenden mit durchschnittlichen Lernvoraussetzungen auf maximal vier Personen begrenzt. Aus diesen Festlegungen resultieren vier grundlegende Varianten der Gruppenzusammensetzung (vgl. Tab. 55).

Tab. 55: Grundlegende Varianten der Gruppenzusammensetzung

Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen			Variante der Gruppenkonstellation
Hoch	Durchschnittlich	Gering	
 (n = 3)	 (n = 3)	 (n = 2)	A
 (n = 3)	 (n = 2)	 (n = 3)	B
 (n = 2)	 (n = 3)	 (n = 3)	C
 (n = 2)	 (n = 4)	 (n = 2)	D

Zur Gewährleistung einer ausgewogenen Geschlechterverteilung, sollten pro Gruppe bestenfalls vier Mädchen und vier Jungen ausgewählt werden, die sich möglichst gleichmäßig auf die jeweiligen Lernvoraussetzungsspektren verteilen. Für den Fall, dass eine paritätische Geschlechterbesetzung aufgrund der spezifischen Lernausgangslagen nicht realisierbar sein sollte, werden die Anzahlen von Mädchen und Jungen um maximal eine Person gesenkt, beziehungsweise erhöht. In jeder Gruppe sollte dennoch mindestens ein Mädchen und ein Junge über hohe, durchschnittliche sowie geringe kognitive Lernvoraussetzungen verfügen.

Um absichern zu können, dass mögliche Unterschiede in den Lernergebnissen und im Lernerleben auf die Variation der Lernunterstützungsgrade zurückzuführen sind, werden zudem ausschließlich Schülerinnen und Schüler ausgewählt, deren sprachliche und soziale sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen als mindestens durchschnittlich eingeschätzt wurden (vgl. Kap. 6.3.2.1).

Mit allen Lernenden, die nicht zur Teilnahme an der Erhebung ausgewählt werden, wird die Unterrichtssequenz zum Kurbelkarussell nach Beendigung der Follow-up-Testungen durchgeführt.

7.3.1.2 Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen

Da zu den Themenbereichen Drehzahl- und Drehrichtungsänderung nur äußerst begrenzte Vorkenntnisse auf Seiten der Schülerinnen und Schüler erwartbar sind, erfolgt die Auswahl der Lernenden anhand des Vorwissens im Bereich Weiterleitung.

Festgelegt wird, dass pro Gruppe mindestens ein bis maximal zwei Lernende mit elaborierten inhaltsspezifischen Kenntnissen auszuwählen sind. Diese Schülerinnen und Schüler sollten die Funktionsprinzipien zur Weiterleitung der Bewegung bereits vor Durchführung der Intervention erfasst haben. Wenn es die Lernausgangslagen ermöglichen, sollten bei der Auswahl Mädchen und Jungen gleichermaßen berücksichtigt werden. Angesichts der erwartbar heterogenen Lernvoraussetzungen erscheint dies allerdings fraglich.

7.3.2 Kontrolle der Treatmentbedingungen

Der Unterricht zu den LERNnetzen mit impliziter, moderater und intensiver Lernunterstützung wird anhand der in der Teilstudie LERNnetze I optimierten Manuale und Unterrichtsmaterialien umgesetzt (s. Anhang A 11 – A 14, S. 237 ff.). Um die Untersuchungsbedingungen darüber hinaus möglichst konstant zu halten, werden alle neun Unterrichtssequenzen von derselben Lehrperson durchgeführt. Da hierfür neben der Unterrichtserfahrung im technischen Sachunterricht eine besondere Expertise in der Umsetzung der Lernunterstützungsgrade erforderlich ist, wird dies von der Studienleiterin selbst übernommen. Zur Gewährleistung der Objektivität und Validität wird die Einhaltung der Treatmentbedingungen durch standardisierte Beobachtung abgesichert.

Die Unterrichtsbeobachtung wird von Studierenden vorgenommen, die sich im Rahmen ihres Studiums vertiefend mit der technischen Perspektive des Sachunterrichts auseinandergesetzt haben. Je eine beobachtende Person begleitet den Unterricht und kontrolliert den Verlauf durch Abgleich mit dem entsprechenden Manual. Zusätzlich wird die Umsetzung einiger der Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen anhand standardisierter Beobachtungsbögen

eingeschätzt (s. Kap. 7.3.2.1 und 7.3.2.2). Diese Absicherung erscheint notwendig, um die Ausführung der Unterstützungsmaßnahmen gezielt bestätigen oder auch ausschließen zu können. Den Beobachtenden steht hierfür eine fünfstufige Ratingskala (*trifft völlig zu – trifft nicht zu*) zur Verfügung. Analog zur Notenskala werden den verbalen Umschreibungen zusätzlich Zahlenwerte (1-5) zugeordnet. Im Hinblick auf die Aktivierungsmaßnahmen erfolgt die Einschätzung unter Berücksichtigung der Deutlichkeit der Umsetzung. Bei den Strukturierungsmaßnahmen wird zudem die Häufigkeit des gezeigten Verhaltens einbezogen. Erläuterungen zu den vorgenommenen Einschätzungen können in einem freien Beobachtungsfeld dokumentiert werden.

Die Beobachtungsbögen und Einschätzungsregeln werden den Beobachtenden im Rahmen einer Schulung im Vorfeld vorgestellt und erläutert.

Die Datenauswertung erfolgt quantitativ. Dabei werden die den Einschätzungen zugeordneten Zahlenwerte invertiert, sodass höhere Zahlenwerte einer deutlicheren und häufigeren Umsetzung der Unterstützungsmaßnahmen entsprechen (s. Tab. 56). Zur Kontrolle der Unterstützungsbedingungen werden die Skalenmittelwerte gebildet.

Tab. 56: Einschätzungsskala mit invertierten Zahlenwerten

Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft über- wiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
5	4	3	2	1

Eine Treatmentbedingung gilt als eingehalten, wenn die umzusetzenden Maßnahmen einen Skalenmittelwert von mindestens 4 erreichen und die Skalenmittelwerte der auszuschließenden Maßnahmen bei 1 liegen. Zudem muss der Unterrichtsverlauf und auch die Umsetzung der impliziten Maßnahmen durch Abgleich mit dem Manual bestätigt werden.

7.3.2.1 Implizite Lernunterstützungsbedingungen

Die implizite Lernunterstützung ergibt sich aus der Struktur des LERNnetzes. Die Umsetzung der zugeordneten Maßnahmen kann daher unmittelbar durch Abgleich mit dem Unterrichtsmanual überprüft werden (vgl. Kap. 5.3.1). Mithilfe des entwickelten Beobachtungsbogens (s. Anhang A 15, S. 255 ff.) wird zudem kontrolliert, inwieweit während der Transferphasen weitere strukturierende oder eine der aktivierenden Maßnahmen genutzt werden, die einer moderaten oder intensiven Lernunterstützung entsprechen würden (vgl. Tab. 57 und 58).

Tab. 57: Indikatoren für die Umsetzung der strukturierenden Unterstützungsmaßnahmen

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (Adamina et al. 2017)	Indikatoren für die Umsetzung durch die Lehrperson
Hervorheben	Die Lehrperson hebt während der Transferphasen wichtige Äußerungen hervor.
Zusammenfassen	Die Lehrperson fasst während der Transferphasen die Beiträge der Lernenden und bisher Besprochenes zusammen.
Modellieren	Die Lehrperson agiert während der Transferphasen modellierend.

Tab. 58: Indikator für die Umsetzung der aktivierenden Unterstützungsmaßnahme

Kognitiv aktivierende Maßnahme der Lernunterstützung (Adamina et al. 2017)	Indikator für die Umsetzung durch die Lehrperson
Kognitive Konflikte auslösen: Problematisieren	Die Lehrperson wirft während der Transferphasen problematisierende Rückfragen auf und weist auf Widersprüche hin.

7.3.2.2 Moderate und intensive Lernunterstützungsbedingungen

Um die Einhaltung der moderaten und intensiven Unterstützungsbedingungen überprüfen zu können, wird der Beobachtungsbogen der impliziten Treatmentgruppen systematisch erweitert (s. Anhang A 16 und A 17, S. 258 ff.).

Zur Kontrolle der moderaten Lernunterstützung werden zusätzlich zwei weitere Aktivierungsmaßnahmen ergänzt (vgl. Tab. 59).

Tab. 59: Weitere aktivierenden Unterstützungsmaßnahmen – moderate Lernunterstützung

Kognitiv aktivierende Maßnahmen der Lernunterstützung (Adamina et al. 2017)	Indikatoren für die Umsetzung durch die Lehrperson
Vorstellungen aufbauen und weiterentwickeln	Die Lehrperson regt zur vergleichenden Betrachtung der Aufgabenformate an: „Bei welchen Aufgaben konntest du etwas Ähnliches beobachten?“
Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen	Die Lehrperson erfragt, wie eine bestimmte Drehgeschwindigkeit oder -richtung eingestellt werden kann und fordert die Schüler/-innen auf, sich darüber in Partnergruppen auszutauschen.

Der Beobachtungsbogen zur intensiven Lernunterstützung umfasst darüber hinaus noch eine weitere Aktivierungsmaßnahme (vgl. Tab. 60).

Tab. 60: Weitere aktivierende Unterstützungsmaßnahme – intensive Lernunterstützung

Kognitiv aktivierende Maßnahme der Lernunterstützung (Adamina et al. 2017)	Indikator für die Umsetzung durch die Lehrperson
Über Lerninhalte und -wege nachdenken	Die Lehrperson fordert die Schüler/-innen auf, ihre Sachzeichnungen zu betrachten und mögliche Änderungen und Ergänzungen zu benennen.

Zusätzlich wird bei den hier jeweils ergänzten Maßnahmen auch die Nutzung auf Seiten der Lernenden von den Beobachtenden eingeschätzt. Auf diese Weise können mögliche Gruppenunterschiede kenntlich gemacht und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Im Hinblick auf die Einhaltung der Treatmentbedingungen kommt diesen Einschätzungen jedoch keine Relevanz zu.

7.4 Methoden der Datengewinnung und -auswertung

Die Erhebung des Lernerlebens erfolgt auf Basis eines von Berger und Hänze (2004) entwickelten Fragebogens, der modifiziert und an den Forschungskontext angepasst wurde (s. Kap. 7.4.2). Die Analyse des Lernerlebens wird mittels typenbildender qualitativer Inhaltsanalyse vorgenommen (vgl. Kuckartz, 2018).

Zur Erfassung der inhaltsspezifischen Lernergebnisse werden analog zur Pretestung problemzentrierte Einzelinterviews durchgeführt (vgl. Kap. 6.3.2). Zusätzlich erhalten die Schülerinnen und Schüler drei Transferaufgaben (s. Kap. 7.4.1).

7.4.1 Erfassung und Analyse der inhaltsspezifischen Lernergebnisse

Um die Untersuchungsbedingungen möglichst vergleichbar zu halten, werden auch die Post- und Follow-up-Befragungen von der Studienleiterin durchgeführt. Die Erhebung erfolgt auf Grundlage des entwickelten Interviewleitfadens (s. Anhang A 18 und A 19, S. 267 f.). Im Rahmen der problemzentrierten Einzelinterviews legen die Lernenden ihre Kenntnisse zur Weiterleitung der Bewegung sowie zur Variation der Drehzahl und Drehrichtung erneut mithilfe von Sachzeichnungen dar (s. Anhang A 21, S. 270 ff.). Die Analyse der inhaltsspezifischen Lernergebnisse erfolgt anhand der Kategoriensysteme, die zur Erfassung der Lernvoraussetzungen entwickelt wurden (s. Tab. 51 - 53). Um einschätzen zu können, inwiefern die Ergebnisse der Post- und Follow-up-Testung Besonderheiten oder Neuerungen aufweisen, wird das Datenmaterial zunächst gesichtet. Daran anschließend werden gegebenenfalls weitere Kategorien induktiv ergänzt und entsprechend der Ausprägung des technischen Denkens in das bestehende Kategoriensystem eingeordnet. Auf diese Weise bleibt die grundlegende Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet, es können aber auch neue Konzepte der Lernenden berücksichtigt werden.

Zusätzlich erhalten die Schülerinnen und Schüler sowohl in der Post- als auch in der Follow-up-Befragung drei weitere Aufgabenstellungen, anhand derer die Transferfähigkeit und Anwendbarkeit des erworbenen Wissens überprüft werden sollen (s. Anhang A 22, S. 273 f.).

Zur Bearbeitung der Transferaufgaben müssen die Kenntnisse zur Weiterleitung sowie zur Variation der Drehzahl kombiniert und angewandt werden. Zwei der Aufgaben beziehen sich dabei bewusst auf die Funktionsprinzipien von Zahnradgetrieben, da diese im Rahmen der Intervention zwar thematisiert, aber beim Kurbelkarussell nicht umgesetzt wurden. Beim „Doppelkarussell“ muss darüber hinaus ein Transfer vom einfachen zum doppelten Riemengetriebe erbracht werden (s. Tab. 61).

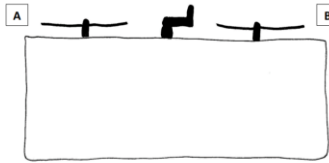
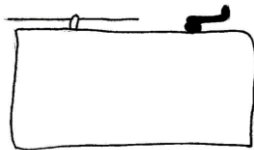
Die Auswertung der Transferaufgaben wird anhand von drei deduktiven Kategorien vorgenommen (vgl. Tab. 62).

Tab. 62: Kategorien zur Beurteilung der Transferaufgaben

Transferaufgabe korrekt gelöst	Die Funktionsprinzipien werden folgerichtig angewandt und die Transferaufgabe korrekt gelöst.
Transferaufgabe nicht korrekt gelöst	Die Funktionsprinzipien werden nicht folgerichtig angewandt und die Transferaufgabe nicht korrekt gelöst.
Noch keine Idee	Die Lernenden geben an, noch keinen Lösungsvorschlag zur der Transferaufgabe einbringen zu können.

Auf diese Weise kann abgeglichen werden, inwieweit sich in Abhängigkeit der Treatmentbedingungen Unterschiede in den Lösungshäufigkeiten der Transferaufgaben zeigen.

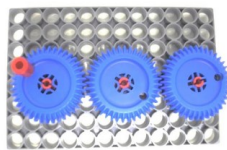
Tab. 61: Transferaufgaben zu den verschiedenen Getriebefunktionen

Transferaufgabe	Abbildung	Aufgabenstellung
Doppelkarussell		Mit einer Kurbel werden zwei Karussellscheiben angetrieben. Das Karussell A soll sich schnell drehen. Das Karussell B soll sich langsam drehen. 1. Zeichne deine Lösung ein. 2. Beschrifte deine Zeichnung.
Kurbelkarussell mit Zahnrädern		Hier sind die Kurbel und das Karussell mit Zahnrädern verbunden. Das Karussell soll sich nicht so oft drehen wie die Kurbel. Zeichne die Zahnräder ein.
Handbohrmaschine		Warum ist es günstig, ein großes und ein kleines Zahnrad zu verwenden?

Die Lösungsvorschläge zu den Transferaufgaben „Doppelkarussell“ und „Kurbelkarussell mit Zahnrädern“ dokumentieren die Lernenden mithilfe von Sachzeichnungen. Die Äußerungen der Lernenden zu der offenen Fragestellung bei der Transferaufgabe „Handbohrmaschine“ werden von der Interviewerin in Stichworten protokolliert. Neben der Abbildung der Handbohrmaschine wird auch ein Original mitgebracht, sodass die Lernenden die Zusammenhänge von Kurbeldrehung und Drehung des Bohrers selbst erproben können. Um die Vergleichbarkeit der Interviewsituationen sicherzustellen, wurde ein Interviewleitfaden entwickelt (s. Anhang A 20, S. 269).

Zusätzlich zu den drei Transferaufgaben erhalten die Lernenden auch eine Reproduktionsaufgabe im Multiple-Choice-Format (s. Tab. 63).

Tab. 63: Reproduktionsaufgabe als Multiple-Choice

Reproduktionsaufgabe	Abbildung	Aufgabenstellung
Drehrichtung Zahnräder		Drehe das erste Zahnrad. In welche Richtung dreht sich das dritte Zahnrad? ☐ Das dritte Zahnrad dreht sich in die gleiche Richtung wie das erste. ☐ Das dritte Zahnrad dreht sich in die andere Richtung.

Diese Aufgabe ist Bestandteil der Erarbeitungsphase, kann aber auch ohne weitere Vorerfahrungen anhand der Abbildung gelöst werden. Ausgewählt wurde sie, um den Lernenden neben den komplexeren Transferaufgaben auch eine überschaubare Aufgabe anbieten zu können und somit ein Erfolgserlebnis zu verschaffen. Bedeutsam erscheint dies vor allem für die Lernenden der Kontrollgruppe. Die Reproduktionsaufgabe wird nicht im Hinblick auf die Forschungsfragen ausgewertet.

7.4.2 Erfassung und Analyse des Lernerlebens

Anhand des von Berger und Hänze (2004) entwickelten Fragebogens lassen sich wesentliche Variablen des kognitiven und motivationalen Lernerlebens in kurzer Zeit erfassen. Konzipiert wurde das Messinstrument im Kontext eines Forschungsprojektes zum kooperativen Lernen im Physikunterricht. Auf Grundlage der Selbstbestimmungstheorie der Motivation (Ryan & Deci, 2000) wurde hier untersucht, wie sich die Lernform „Gruppenpuzzle“ auf die Motivation, das Lernen und die Leistung von Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufe 12 auswirkt.

Aufgrund der inhaltlichen und konzeptionellen Ausrichtung erschien es zielführend, sich bei der Erfassung des Lernerlebens in der Teilstudie LERNnetze III an diesem Erhebungsinstrument zu orientieren. Mit Blick auf die Zielgruppe und das spezifische Erkenntnisinteresse wurden allerdings grundlegende Anpassungen vorgenommen. Diese Änderungen beziehen sich auf die Auswahl und Erfassung der Variablen des Lernerlebens, die Ratingskala sowie auf die Auswertung des Fragebogens (s. Tab. 64).

Tab. 64: Vorgenommene Anpassungen des Fragebogens zum Lernerleben

	Fragebogen zum Lernerleben (LERNnetze III)	Fragebogen zum Lernerleben (Berger & Hänze, 2004)
Variablen des Lernerlebens	Kompetenzerleben	Soziale Eingebundenheit, Kompetenz- und Autonomieerleben
	Kognitive Belastung	_____
	Anstrengungsbezogene Belastung	_____
	Kognitives Engagement	Kognitives Engagement
	Intrinsische Motivation	Intrinsische Motivation
	Situationales Interesse	_____
	_____	Lernstrategien
Erfassung der Variablen	Einzelitems	Kurzskalen
Ratingskala	3-stufig (Stimmt genau – Stimmt gar nicht)	5-stufig (Trifft gar nicht zu – Trifft ganz genau zu)
Auswertung	Qualitativ: Typenbildende qualitative Inhaltsanalyse	Quantitativ: Ermittlung der Skalenmittelwerte

7.4.2.1 Anpassung und Konzeption des Fragebogens

Während in der von Berger und Hänze (2004) durchgeführten Erhebung die Unterschiede im Lernerleben quantifiziert und auf ihre statistische Signifikanz hin überprüft wurden, verfolgt die Teilstudie LERNnetze III einen explorativen, hypothesengenerierenden Forschungsansatz. Ziel ist es, treatmentspezifische Muster in der Einschätzung des Lernerlebens zu identifizieren und die Unterschiede im Lernerleben der Schülerinnen und Schüler zu konkretisieren.

Gemäß dieser Zielsetzung erfolgt die Auswertung des Fragebogens mittels typenbildender qualitativer Inhaltsanalyse (s. Kap. 7.4.2.3). Zudem werden im Rahmen der Datenerhebung anstelle der Kurzskalen Einzelitems genutzt, die jeweils eine bestimmte Facette einer Variable des Lernerlebens abbilden. Auf diese Weise können konkrete Einschätzungen zu spezifischen Aspekten des Lernerlebens gewonnen werden.

Um den Umfang des Fragebogens überschaubar zu halten, wurde die Anzahl der Variablen und zugehörigen Einzelitems beschränkt. Ausgewählt wurden kognitive und affektive Variablen des Lernerlebens, denen im Hinblick auf die zentralen Forschungsfragen und angesichts der heterogenen Lernausgangslagen eine besondere didaktische Relevanz zukommt. Neben dem Kompetenzerleben und der kognitiven Belastung trifft dies insbesondere auch auf die Einschätzung der anstrengungsbezogenen Belastung, des kognitiven Engagements, der intrinsischen Motivation und des situationalen Interesses zu.

Zu diesen Variablen des Lernerlebens wurden jeweils ein bis zwei Einzelitems generiert.

Bei der Formulierung der Items wurde darauf geachtet, dass die Lernenden die Bedeutung der jeweiligen Aussagen nachvollziehen können.

Kompetenzerleben

Die zur Erhebung des Kompetenzerlebens ausgewählten Einzelitems beziehen sich zum einen auf das allgemeine Verständnis der Zusammenhänge (1) und zum anderen auf die wahrgenommene Lösungskompetenz (2).

(1) *Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.*

(Berger & Hänze, 2004)

(2) *Ich konnte die Forscherfragen lösen.*

(vgl. Berger & Hänze, 2004)

Beide Items stammen aus dem Fragebogen von Berger und Hänze (2004), wobei letztgenanntes umformuliert und spezifiziert wurde. Diese Anpassung wurde vorgenommen, da nicht erwartbar erscheint, dass Schülerinnen und Schüler der Grundschule den semantischen Kern der Aussage „*Ich fühlte mich den Anforderungen gewachsen*“ erfassen können.

Es ist davon auszugehen, dass insbesondere Schülerinnen und Schüler mit geringem inhaltspezifischem Wissen von dem intensiven Grad der Lernunterstützung profitieren und sich dies auch in den Einschätzungen zum Kompetenzerleben widerspiegeln wird.

Fraglich bleibt hingegen, wie sich ein hohes Maß an Lernunterstützung auf das Kompetenzerleben von Lernenden auswirkt, die bereits über inhaltspezifische Vorkenntnisse zum Getriebe verfügen (vgl. Deci & Ryan, 1993; Krapp, 2005).

Kognitive Belastung

Die beiden Einzelitems zur kognitiven Belastung beziehen sich zum einen auf das Verstehen der Forscherfragen (1) und zum anderen auf die Belastung bei der Beantwortung der Forscherfragen (2).

- (1) ***Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.***

(vgl. Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006)

- (2) ***Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.***

(vgl. Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006)

Ausgewählt und formuliert wurden die Einzelitems auf Grundlage des von Hart und Staveland (1988) entwickelten NASA Task Load Index (NASA-TLX). Anhand des Fragebogens kann die subjektive Arbeitsbelastung auf verschiedenen Ebenen erfasst und gewichtet werden. Neben dem hier adaptierten Item zur kognitiven Belastung umfasst der Fragenbogen weitere Items zur physischen und zeitlichen Belastung, zur Anstrengung, Leistung und zur Frustration (vgl. Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006).

Da die Lernunterstützungsmaßnahmen im LERNnetz darauf abzielen, die extrinsische kognitive Belastung zu verringern und die individuelle Wissenskonstruktion zu unterstützen, erscheint es erwartbar, dass insbesondere Lernende mit weniger ausgeprägten Vorkenntnissen ihre kognitive Belastung bei intensiver Lernunterstützung geringer einschätzen als bei implizitem oder moderat explizitem Unterstützungsgrad (vgl. Kap. 3.1). Bei Lernenden mit ausgeprägteren inhalts- und sachunterrichtsspezifischen Kenntnissen ist denkbar, dass die kognitive Belastung aufgrund der günstigeren Lernausgangslage unabhängig vom Grad der Lernunterstützung als gering wahrgenommen wird (vgl. Kirschner et al., 2006).

Anstrengungsbezogene Belastung

Auch die Einzelitems zur anstrengungsbezogenen Belastung wurden auf Basis des NASA-TLX ausgewählt und formuliert (vgl. Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006). Sie beziehen sich auf die wahrgenommene Anstrengung beim Bearbeiten (1) sowie beim Lösen der Forscherfragen (2).

- (1) ***Ich fand, die Forscherfragen waren leicht zu bearbeiten.***

(vgl. Hart & Staveland, 1988; Hart, 2006)

- (2) ***Ich musste mich anstrengen, um die Forscherfragen zu lösen.***

(vgl. Hart & Staveland, 1988; Hart 2006)

Da die praktische und theoretische Auseinandersetzung mit technischen Lerninhalten für viele Lernende eine nicht alltägliche Herausforderung darstellt, erscheint es erwartbar, dass sowohl das Konstruieren und Montieren als auch die Analyse der technischen Funktionszusammenhänge als anstrengend empfunden wird. Inwiefern die unterschiedlichen Grade der Lernunterstützung sich auf die anstrengungsbezogene Belastung beim Bearbeiten und Lösen der Forscherfragen auswirken, erscheint insbesondere im Hinblick auf die unterschiedlichen Lernausgangslagen und geschlechtsspezifischen Unterschiede bedeutsam zu überprüfen.

Kognitives Engagement

Die Einzelitems zum kognitiven Engagement beziehen sich zum einen auf die wahrgenommene Konzentrationsfähigkeit der Lernenden (1) und zum anderen auf die Einschätzung der kognitiven Aktivierung (2).

- (1) ***Ich konnte mich beim Bearbeiten der Forscherfragen gut konzentrieren.***

(vgl. Berger & Hänze, 2004; Wild, 2000)

- (2) ***Ich habe die ganze Zeit darüber nachgedacht, wie das Kurbelkarussell funktioniert.***

(vgl. Berger & Hänze, 2004; Wild, 2000)

Die beiden Originalitems „*Ich fühlte mich konzentriert*“ und „*Ich fühlte mich engagiert*“ stammen von Wild (2000) und wurden von Berger und Hänze (2004) direkt in den Fragebogen zum Lernerleben übernommen. Auch hier erschien eine Umformulierung der Items notwendig, um den Lernenden den Nachvollzug zu ermöglichen.

Da mit dem Grad der Lernunterstützung die Anzahl der kognitiv aktivierenden Unterstützungsmaßnahmen zunimmt, erscheint es erwartbar, dass die Lernenden in der moderat expliziten und insbesondere in der intensiven Unterstützungsbedingung ihre kognitive Aktivierung höher einschätzen als bei implizitem Unterstützungsgrad. Inwieweit mit der Intensität der Lernunterstützung auch die wahrgenommene Konzentrationsfähigkeit ansteigt, bleibt hingegen zu überprüfen.

Intrinsische Motivation

Das Item zur intrinsischen Motivation wurde aus dem Fragebogen von Berger und Hänze übernommen und durch Umformulierung an den Forschungskontext angepasst (vgl. Berger & Hänze, 2004; Prenzel, Eitel, Holzbach, Schoenheinz & Schweiberer, 1993).

- (1) ***Das Bearbeiten der Forscherfragen hat Spaß gemacht.***

(vgl. Berger & Hänze, 2004; Prenzel et al., 1993)

Situationales Interesse

Die Items zum situationalen Interesse entstammen aus einem Fragebogen, der von Hoffmann, Häußler und Peters-Haft (1997) im Kontext eines Forschungsprojektes zur Förderung des Interesses am Physikunterricht entwickelt wurde. Neben der Erhebung des grundlegenden Interesses am Lerngegenstand (1) wird auch ermittelt, inwieweit die Lernenden noch mehr über das Unterrichtsthema erfahren möchten (2).

- (1) ***Die Forscherfragen fand ich interessant.***

(vgl. Hoffmann et al., 1997)

- (2) ***Ich würde gerne noch mehr über das Thema erfahren.***

(vgl. Hoffmann et al., 1997)

Da den grundlegenden psychologischen Bedürfnissen auch im Hinblick auf den Aufbau und die Erhaltung von Interesse eine zentrale Bedeutung zukommt, ist davon auszugehen, dass sich positive Zusammenhänge zwischen der Einschätzung des Kompetenzerlebens und der intrinsischen Motivation sowie dem situationalen Interesse zeigen werden (vgl. Hartinger,

2022). Erwartbar erscheint, dass dies insbesondere bei Lernenden mit geringeren Vorkenntnissen in der intensiven Lernunterstützung zu beobachten sein wird. Inwieweit sich auch Lernende mit inhaltspezifischem Vorwissen bei hoher Lernunterstützung als kompetent, und motiviert erleben sowie situationales Interesse entwickeln, bleibt hingegen zu überprüfen.

7.4.2.2 Einschätzung des Lernerlebens und Auswahl der Ratingskala

Die Erhebung des Lernerlebens erfolgt direkt nach der Intervention. Um zu gewährleisten, dass auch Schülerinnen und Schüler mit eingeschränkter Lesekompetenz den Fragebogen bearbeiten können, werden zunächst die einleitenden Instruktionen und anschließend die einzelnen Aussagen im Plenum vorgelesen (s. Anhang A 23, S. 275). Auf diese Weise können zudem Verständnisfragen geklärt und die Reliabilität und Validität der Erhebung zusätzlich abgesichert werden.

Die Einschätzungen zu den unterschiedlichen Aussagen werden dann individuell anhand einer 3-stufigen Ratingskala vorgenommen. Bei der Auswahl und Gestaltung der Ratingskala wurde darauf geachtet, dass die Lernenden die Stufung der Einschätzungsoptionen verstehen und nachvollziehen können. Fraglich erschien hier insbesondere, inwieweit sich die Lernenden die Bedeutung der graduellen Abstufungen „Trifft *eher* zu“ sowie „Trifft *eher* nicht zu“ erschließen können. Zur Vermeidung von Missverständnissen und daraus resultierenden fehlerhaften Einschätzungen wurde die Ratingskala daher auf drei Stufen begrenzt. Zudem wurden die verbalen Erläuterungen vereinfacht. Statt „Trifft ganz genau zu“ und „Trifft gar nicht zu“ werden hier die Formulierungen „Stimmt genau“, „Stimmt zum Teil“ und „Stimmt gar nicht“ genutzt. Zusätzlich wurden die einzelnen Abstufungen mit einem Daumensymbol versehen (s. Abb. 90).



Abb. 90: Verwendete Daumensymbole im Fragebogen zum Lernerleben

Auf die Verwendung von Ziffern oder Emojis (Smileys) wurde bewusst verzichtet, da erwartbar erscheint, dass die Lernenden diese Symbole mit der eigenen Leistungsbewertung verknüpfen und ihre Einschätzungen somit beeinflusst werden könnten.

7.4.2.3 Auswertung des Fragebogens

Die Datenauswertung erfolgt mittels typenbildender qualitativer Inhaltsanalyse (vgl. Kuckartz, 2018). Im Rahmen dieser Auswertungsmethode werden Elemente, die über Ähnlichkeiten in ausgewählten Merkmalsausprägungen verfügen, zu Typen zusammengefasst. Die Gruppierung wird dabei so vorgenommen, dass die einzelnen Typen sich untereinander deutlich unterscheiden und somit die „Ordnung des Verschiedenartigen“ (Kuckartz, 2018, S. 146) erkennbar wird. Grundlegend hierfür ist die Festlegung von mindestens zwei Merkmalen, die als relevant für die zentrale Forschungsfrage betrachtet werden. Neben der detaillierten Beschreibung der einzelnen Typen und der gebildeten Typologie umfasst die empirisch

begründete Typenbildung aber auch die Analyse der Zusammenhänge zwischen den Typen und weiteren Variablen und Kategorien, die nicht Teil des Merkmalsraumes waren. Hierbei handelt es sich zum einen um die sogenannten „sekundären Informationen“ wie sozio-demographische Merkmale und zum anderen um weiterführende inhaltsbezogene Themen und Konstrukte. In der vorliegenden Studie wird die typenbildende qualitative Inhaltsanalyse genutzt, um die treatmentspezifischen Unterschiede im Lernerleben identifizieren und konkretisieren zu können. Die inhaltliche Ausrichtung der Typenbildung und der Ablauf der weiterführenden Analysen werden daher an den Forschungskontext angepasst (s. Abb. 91). Da davon auszugehen ist, dass dem Kompetenzerleben und der kognitiven Belastung eine besondere Bedeutung im Hinblick auf die Entwicklung eines nachhaltigen Technikinteresses zukommen, werden für die Typenbildung diese beiden Variablen des Lernerlebens ausgewählt (Schritt 1).

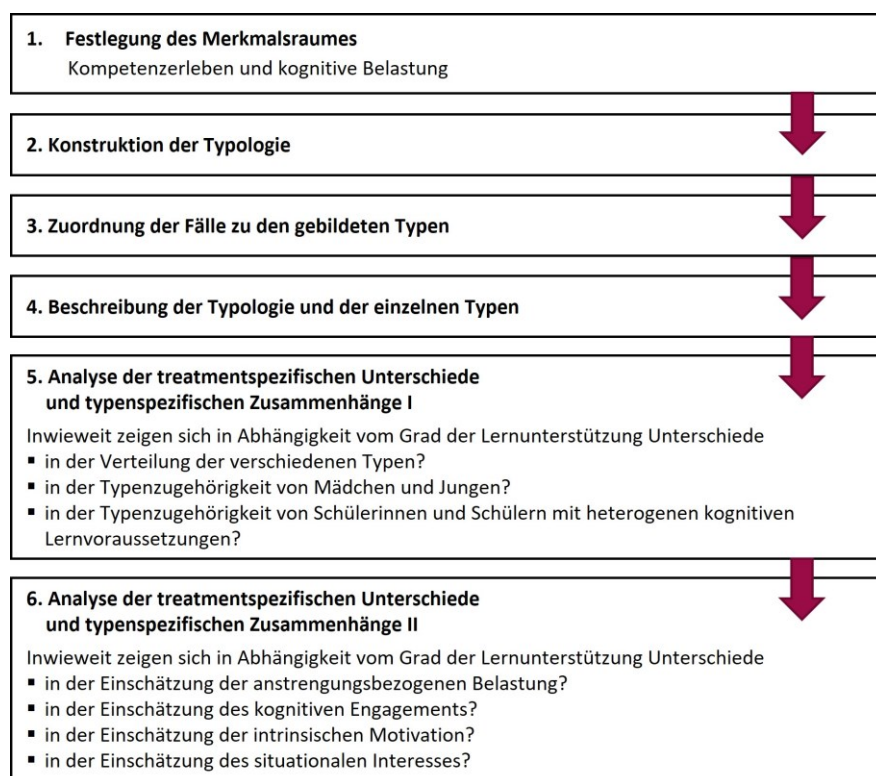


Abb. 91: Auswertung des Lernerlebens mittels typenbildender qualitativer Inhaltsanalyse

Analysiert wird zunächst, welche Typen des Lernerlebens sich anhand der Einschätzungen des Kompetenzerlebens und der kognitiven Belastung unterscheiden lassen (Schritte 2-4).

Im Anschluss an die Typenbildung erfolgt die Ermittlung der treatmentspezifischen Unterschiede und daran anknüpfend die Überprüfung der jeweiligen typenspezifischen Zusammenhänge (Schritt 5).

In einem weiteren Analyseschritt werden abschließend die Unterschiede und Zusammenhänge in der Einschätzung der weiteren Variablen des Lernerlebens fokussiert (Schritt 6). Die Auswertung erfolgt anhand der Einzelitems zur anstrengungsbezogenen Belastung, zum kognitiven Engagement, zur intrinsischen Motivation und zum situationalen Interesse.

7.5 Durchführung der Erhebung

Die Erhebung wurde von Oktober 2019 bis Juli 2021 mit insgesamt 80 Schülerinnen und Schülern (42 Mädchen und 38 Jungen) aus zehn Grundschulklassen der Stadt und des Landkreises Kassel sowie des Werra-Meißner-Kreises durchgeführt. Die Lernenden waren durchschnittlich 8,6 Jahre alt. Die Zuordnung zu den unterschiedlichen Treatmentbedingungen und zur Kontrollgruppe erfolgte wie vorgesehen randomisiert. Berücksichtigt wurde dabei die gleichmäßige Verteilung der Treatments über den Erhebungszeitraum hinweg (s. Tab. 65).

Tab. 65: Erhebungsverlauf der Teilstudie LERNnetze III

Lern- gruppe	Schulamts- bezirk	Treatment	Pretest	Intervention	Posttest	Follow-up
1	Stadt Kassel	Moderat	14.10.2019	16.10.2019	18.10.2019	27.11.2019
2	Stadt Kassel	Implizit	21.10.2019	23.10.2019	25.10.2019	06.12.2019
3	Landkreis Kassel	Moderat	28.10.2019	30.10.2019	01.11.2019	09.12.2019
4	Stadt Kassel	Intensiv	04.11.2019	06.11.2019	08.11.2019*	16.12.2019*
5	Stadt Kassel	Implizit	29.11.2019	02.12.2019	04.12.2019*	17.01.2020
6	Landkreis Kassel	Intensiv	10.12.2019	11.12.2019	13.12.2019*	21.01.2020*
7	Stadt Kassel	Moderat	14.01.2020	22.01.2020	24.01.2020	03.03.2020
8	Landkreis Kassel	Kontrollgruppe	27.01.2020	keine	29.01.2020*	10.03.2020*
9	Stadt Kassel	Implizit	07.02.2020	12.02.2020	14.02.2020	27.03.2020 - 01.04.2020**
10	Werra- Meißner	Intensiv	10.06.2021	18.06.2021	21.06.2021**	15.07.2021**
* Krankheitsbedingte Nachtestungen erforderlich						
** Pandemiebedingte Abweichungen vom Erhebungsablauf erforderlich						

Änderungen im Erhebungsablauf mussten bei den letzten beiden Treatmentgruppen bedingt durch die Coronapandemie vorgenommen werden. Darüber hinaus war es in einigen Lerngruppen erforderlich, Testtermine mit erkrankten Kindern zu einem späteren Zeitpunkt nachzuholen. Betroffen waren insgesamt acht Schülerinnen und Schüler. In Absprache mit den jeweiligen Lehrkräften konnten die Nachtestungen allerdings zeitnah durchgeführt werden (s. Anhang A 25, S. 277).

Im Folgenden wird zunächst näher auf die Zusammensetzung der Treatmentgruppen und der Kontrollgruppe eingegangen. Die Befunde zur Einhaltung der Treatmentbedingungen werden daran anschließend vorgestellt (s. Kap. 7.5.2). Von den pandemiebedingten Abweichungen im Erhebungsverlauf wird abschließend ausführlich berichtet (s. Kap. 7.5.3).

7.5.1 Zusammensetzung der Treatmentgruppen und der Kontrollgruppe

Insgesamt konnte eine ausgewogene und vergleichbare Verteilung der Schülerinnen und Schüler auf die unterschiedlichen Treatmentbedingungen sowie die Kontrollgruppe vorgenommen werden (s. Tab. 66).

Tab. 66: Verteilung der Lernenden auf die unterschiedlichen Treatmentbedingungen und die Kontrollgruppe

	Anzahl der Lernenden (Mädchen / Jungen)	Durchschnittliches Alter der Lernenden in Jahren (Mädchen / Jungen)
Implizite Lernunterstützung	24 (12 / 12)	8,8 (8,6 / 8,8)
Moderate Lernunterstützung	24 (13 / 11)	8,4 (8,5 / 8,3)
Intensive Lernunterstützung	24 (13 / 11)	8,8 (8,8 / 8,7)
Kontrollgruppe	8 (4 / 4)	8,6 (8,5 / 8,8)

Eine paritätische Geschlechterverteilung war bei acht der zehn Lerngruppen umsetzbar. Bei der Auswahl von Lernenden mit hohen, durchschnittlichen und geringen kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen konnten aufgrund der speziellen Lernausgangslagen und krankheitsbedingter Ausfälle nicht durchgängig beide Geschlechter berücksichtigt werden. Die fünf Abweichungen betreffen je eine Lerngruppe der verschiedenen Treatmentbedingungen sowie die Kontrollgruppe und beziehen sich auf die Verteilung der Schülerinnen und Schülern mit durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen (s. Anhang A 24, S. 276). In den Treatmentgruppen konnten die Abweichungen zumeist durch die Verteilung der Lernenden in den übrigen Lerngruppen kompensiert werden. Die Gesamtverteilung wird daher nicht maßgeblich beeinflusst (s. Tab. 67).

Tab. 67: Verteilung der Lernenden mit hohen durchschnittlichen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen

Treatmentbedingung	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen		
		Hoch	Durchschnittlich	Gering
Implizit	M (n = 12)	4	4	4
	J (n = 12)	4	5	3
		8	9	7
Moderat	M (n = 13)	5	3	5
	J (n = 11)	2	6	3
		7	9	8
Intensiv	M (n = 13)	4	4	5
	J (n = 11)	4	4	3
		8	8	8
Kontrollgruppe	M (n = 4)	0	3	1
	J (n = 4)	2	1	1
		2	4	2

Der moderaten Treatmentgruppe konnten allerdings lediglich zwei anstelle von mindestens drei Jungen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen zugeteilt werden. Dies gilt es bei der Interpretation der Befunde zu berücksichtigen.

Für die Kontrollgruppe stand kein Mädchen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen zur Verfügung. Diese Abweichung erscheint allerdings nicht entscheidend, da hier lediglich der allgemeine Lernzuwachs überprüft und keine differenzierte Wirkanalyse vorgenommen wird.

Im Hinblick auf die inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen zur Funktionsweise von Getrieben war eine gleichmäßige Geschlechterverteilung aufgrund der heterogenen Lernausgangslagen lediglich in den Lerngruppen 1, 3 und 6 realisierbar (s. Tab. 68-71).

In der Lerngruppe 10 wurden entgegen den Festlegungen drei Lernende ausgewählt, die die Funktionsprinzipien zur Weiterleitung der Bewegung bereits vor Durchführung des Unterrichts darlegen konnten (s. Tab. 69). Diese Abweichung war unumgänglich, um die grundlegenden Vorgaben zur Gruppenzusammensetzung umsetzen zu können. Krankheitsbedingt musste am Durchführungstag ein Schüler mit hohen sachunterrichtsspezifischen Lernvoraussetzungen ersetzt werden. Nachrücken konnte lediglich ein Junge, der zugleich über elaborierte inhaltspezifische Vorkenntnisse verfügte.

Zudem mussten die Auswahlkriterien erweitert werden. Da in den Lerngruppen der impliziten Lernunterstützung nicht ausreichend Schülerinnen und Schüler zur Verfügung standen, die sowohl die Konstruktions- als auch die Funktionsprinzipien zur Weiterleitung der Bewegung bereits vor Durchführung der Intervention erfasst hatten, wurden ergänzend auch Lernende der zweithöchsten Kategoriestufe ausgewählt (vgl. Tab. 68). Dieser Schritt erschien notwendig, um die Verteilung der inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen in den Treatmentbedingungen vergleichbar zu halten. Ohne die vorgenommene Erweiterung hätten der impliziten Lernunterstützung darüber hinaus keine Mädchen mit inhaltspezifischen Vorkenntnissen zugeteilt werden können.

Tab. 68: Implizite Lernunterstützung - Lernende mit hohen inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen

Lerngruppen	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Inhaltspezifische Lernvoraussetzungen	
		Konstruktion und Funktion erfasst	Konstruktion erfasst u. funktionale Kenntnisse vorhanden
2	M (n = 0)	0	0
	J (n = 2)	2	0
5	M (n = 0)	0	0
	J (n = 1)	0	1
9	M (n = 2)	0	2
	J (n = 3)	1	2
Insgesamt	M (n = 2)	0	2
	J (n = 6)	3	3
		3	5

Tab. 69: Moderate Lernunterstützung: Lernende mit hohen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

Lerngruppen	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen	
		Konstruktion und Funktion erfasst	Konstruktion erfasst u. funktionale Kenntnisse vorhanden
1	M (n = 1)	1	0
	J (n = 1)	1	0
3	M (n = 1)	1	0
	J (n = 1)	1	0
7	M (n = 0)	0	0
	J (n = 1)	1	0
Insgesamt	M (n = 2)	2	0
	J (n = 3)	3	0
		5	0

Tab. 70: Intensive Lernunterstützung - Lernende mit hohen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

Lerngruppen	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen	
		Konstruktion und Funktion erfasst	Konstruktion erfasst u. funktionale Kenntnisse vorhanden
4	M (n = 0)	0	0
	J (n = 1)	1	0
6	M (n = 1)	1	0
	J (n = 1)	1	0
10	M (n = 1)	1	0
	J (n = 2)	2	0
Insgesamt	M (n = 2)	2	0
	J (n = 4)	4	0
		6	0

Tab. 71: Kontrollgruppe - Lernende mit hohen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

Kontrollgruppe	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen	
		Konstruktion und Funktion erfasst	Konstruktion erfasst u. funktionale Kenntnisse vorhanden
	M (n = 0)	0	0
	J (n = 2)	2	0
Insgesamt		2	0

7.5.2 Einhaltung der Treatmentbedingungen

Die Befunde der standardisierten Unterrichtsbeobachtung bestätigen die Einhaltung der impliziten, moderaten und intensiven Lernunterstützungsbedingungen (vgl. Abb. 92).

Intensiv	Moderat	Implizit	Zusammenfassen	✓ Abgleich mit dem Manual
			Modellieren	✓ Beobachtungsbogen
			Problematisieren	
			Über Lernwege nachdenken	
			Hervorheben	✓ Abgleich mit dem Manual
			Vorstellungen aufbauen	✓ Beobachtungsbogen
			Austausch über Vorstellungen anregen	
			Herausfordernde Aufgaben stellen	
			Vorhandene Vorstellungen erschließen	
			Zielklarheit	
			Sequenzieren	✓ Abgleich mit dem Manual
			Veranschaulichen	
			Anwendung von Konzepten ermöglichen	
			Auf sprachliche Klarheit achten	

Abb. 92: Grade der Lernunterstützung und die jeweils umzusetzenden Unterstützungsmaßnahmen

Die Umsetzung der impliziten Maßnahmen der Lernunterstützung konnte durch Abgleich mit dem Manual belegt werden. Zudem bestätigen die Skalenmittelwerte der Beobachtungsbögen, dass die zusätzlichen Strukturierungs- und auch die Aktivierungsmaßnahme in den Transferphasen der impliziten Treatmentgruppen nicht zum Tragen kamen (vgl. Abb. 93).

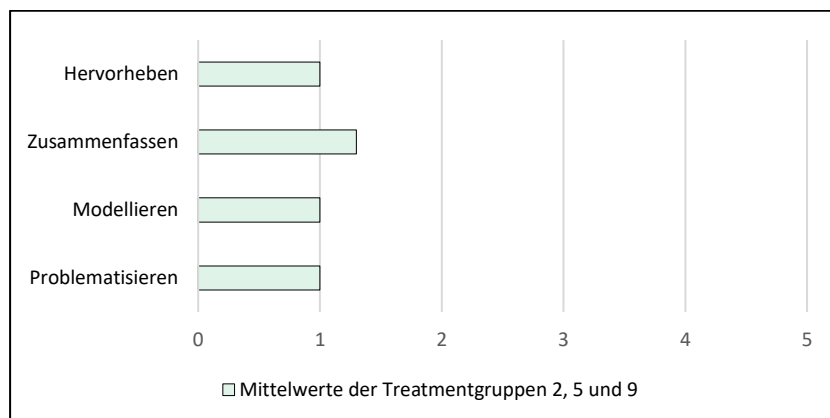


Abb. 93: Ergebnisse der standardisierten Beobachtung – Implizite Lernunterstützung

Eine geringfügige Abweichung ist lediglich im Hinblick auf das Zusammenfassen zu verzeichnen. Da es sich hierbei um eine einmalige und minimale Abweichung bei einer der Lerngruppen handelt, wird die Einhaltung der Treatmentbedingungen nicht entscheidend beeinflusst.

Auch die Umsetzung der moderaten Unterstützungsbedingungen konnte anhand der Beobachtungsergebnisse bestätigt werden. Die erforderlichen Maßnahmen wurden umgesetzt, die weiteren zusätzlichen Strukturierungs- und Aktivierungsmaßnahmen kamen in

den Transferphasen nicht zum Tragen (s. Abb. 94). Auch hier zeigt sich lediglich eine geringfügige Abweichung im Hinblick auf das Zusammenfassen der Äußerungen.

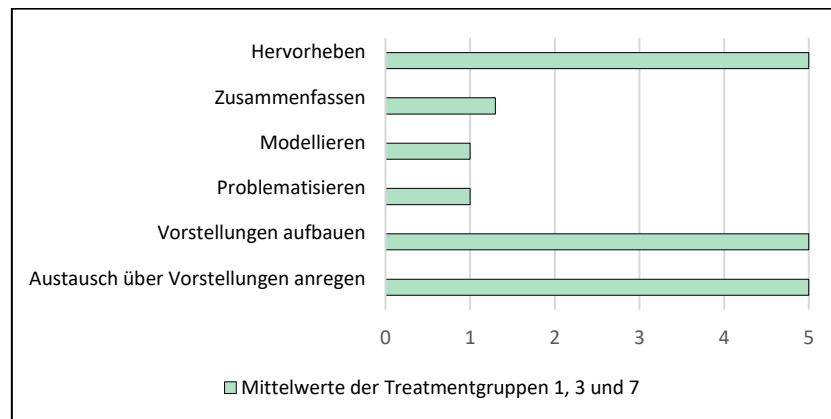


Abb. 94: Ergebnisse der standardisierten Beobachtung – Moderate Lernunterstützung

Für die intensive Lernunterstützung konnte die Einhaltung der Treatmentbedingungen anhand der Skalenmittelwerte eindeutig nachgewiesen werden (s. Abb. 95). Alle zugeordneten Aktivierungs- und Strukturierungsmaßnahmen wurden in adäquater Form umgesetzt. Auch beim Abgleich des Unterrichtsverlaufs mit dem Manual wurden von den Beobachtenden keine Abweichungen festgestellt.

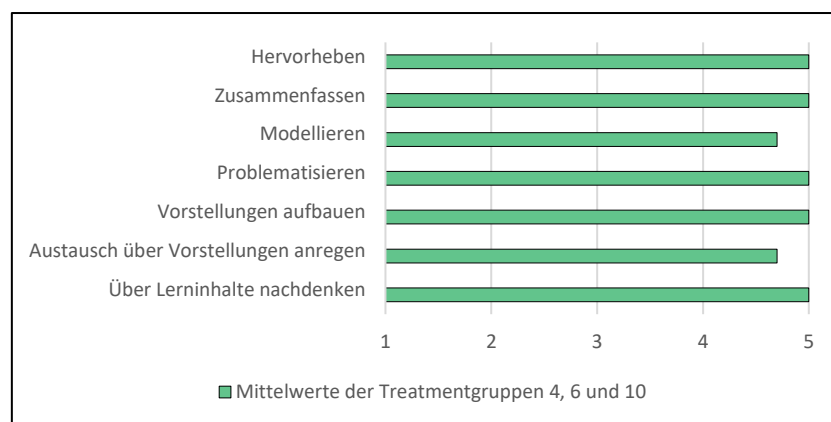


Abb. 95: Ergebnisse der standardisierten Beobachtung – Intensive Lernunterstützung

7.5.3 Pandemiebedingte Abweichungen vom Erhebungsablauf

Aufgrund der Schulschließungen und der Kontaktbeschränkungen konnte die Follow-up-Erhebung in der Lerngruppe 9 nicht in Präsenz durchgeführt werden. Mit den Erziehungsberechtigten wurde daher vereinbart, die Befragung in der sechsten und siebten Woche nach Durchführung der Intervention telefonisch vorzunehmen. Zum jeweiligen Telefontermin wurden den Lernenden die im Vorfeld verschickten Erhebungsbögen vorgelegt. Die Befragung erfolgte anhand des Interviewleitfadens. Die Äußerungen der Schülerinnen und Schüler zu den drei Forscherfragen und zu den Transferaufgaben wurden von der Studienleiterin während des Interviews protokolliert. Die Lernenden fertigten Sachzeichnungen zu den einzelnen Getriebefunktionen und zu den Transferaufgaben an. Im Anschluss an die

Befragung wurden die Erhebungsbögen zurückgesandt, gesichtet und mit den protokollierten Äußerungen abgeglichen. Alle Sachzeichnungen erwiesen sich dabei als eindeutig interpretierbar und stimmten mit den Äußerungen der Lernenden überein.

In der Lerngruppe 10 konnte die Erhebung erst nach Wiederaufnahme des regulären Schulbetriebs vorgenommen werden. Aufgrund mehrerer Infektionsfälle innerhalb der Klasse kam es zudem zu weiteren Verzögerungen, sodass die Durchführung auf das Schuljahresende gelegt werden musste. Um die Follow-up-Testungen noch vor den Sommerferien umsetzen zu können, war es hier unumgänglich, den Erhebungszeitraum zu verkürzen. Die Befragung der Lernenden musste bereits nach vier anstatt nach sechs Wochen erfolgen (s. Tab. 64).

Krankheitsbedingt konnte zudem die Posterhebung erst am dritten Tag nach der Intervention durchgeführt werden. Zur Absicherung der Befunde wurden daher die in der Lerngruppe 10 erzielten Lernergebnisse mit denen der beiden zugehörigen Treatmentgruppen (Lerngruppen 4 und 6) abgeglichen (s. Anhang A 26, S. 277). In Anbetracht der tendenziellen Übereinstimmungen in den Lernergebnissen ist davon auszugehen, dass die Abweichungen im Erhebungsverlauf die Befundlage nicht entscheidend beeinflusst hat.

7.6 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse zum inhaltsspezifischen Lernzuwachs und zum motivational-affektiven Lernerleben der Schülerinnen und Schüler getrennt voneinander dargelegt und interpretiert. Abschließend werden die Befunde zusammenfassend betrachtet und unterrichtspraktische sowie lerntheoretische Implikationen diskutiert.

7.6.1 Inhaltsspezifische Lernergebnisse

Die inhaltsspezifischen Lernergebnisse zur Weiterleitung der Bewegung sowie zur Variation der Drehzahl und der Drehrichtung werden nachfolgend getrennt voneinander dargelegt und im Hinblick auf die Forschungsfragen analysiert. Dem Forschungsprozess folgend wird dabei zunächst näher auf die induktive Weiterentwicklung der Kategoriensysteme und die Befunde zur Intercoder-Übereinstimmung eingegangen. Abschließend werden die erzielten Ergebnisse im Bereich der Transferaufgaben vergleichend betrachtet.

7.6.1.1 Darlegung der Ergebnisse: Weiterleitung der Bewegung

Nach einer ersten Sichtung der Sachzeichnungen konnte zusätzlich zu den bereits ermittelten Kategorien keine weitere Kategorie induktiv ergänzt werden (vgl. Tab. 51). Im Vergleich zum Pretest zeigten sich allerdings zeichentechnische Auffälligkeiten. Der Tendenz zur größtmöglichen Deutlichkeit folgend zeichneten die Schülerinnen und Schüler im Post- und im Follow-up-Test auch die Bausteine mit ein, die sich zur Befestigung der Riemenscheiben im Kurbelkarussellmodell befinden (s. Abb. 96a). Zudem wurde das Karussellinnere weitaus häufiger als separates Bild in der Draufsicht dargestellt (s. Abb. 96b). Diese Darstellung entspricht der Lösung, welche die Lernenden im Kurbelkarussell vorfinden.

Die Auffälligkeiten wurden im Rahmen einer Coderkonferenz besprochen und in den Kategorienleitfaden aufgenommen.

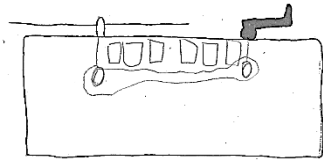


Abb. 96a: Das Karussellinnere mit Bausteinen

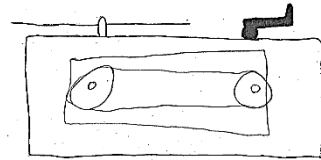


Abb. 96b: Das Riemengetriebe in der Draufsicht

Da durch die verbalen Beschreibungen während des Interviews und auch anhand der Sachzeichnungen deutlich wurde, dass die Lernenden den zusätzlich eingezeichneten Bausteinen keine Getriebefunktion zuordneten, werden diese bei der Kategorisierung nicht berücksichtigt. Die Zeichnungen in der Draufsicht werden, wie bereits in der Teilstudie II, als gültige Darstellungsform anerkannt und im Hinblick auf die Erfassung der Konstruktions- und Funktionsprinzipien bewertet.

Anhand des Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen anschließend von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert. Insgesamt konnte eine hohe Inter-coder-Übereinstimmung erzielt werden (s. Tab. 72). Die Nicht-Übereinstimmungen in der Kontrollgruppe resultierten zumeist aus Uneindeutigkeiten in den Sachzeichnungen. Im Rahmen der Coderkonferenz wurden diese Fälle diskutiert und im Abgleich mit dem Leitfaden und weiteren Sachzeichnungen eine konsensuelle Kategorisierung vorgenommen.

Tab. 72: Inter-coder-Übereinstimmung Weiterleitung der Bewegung – Post- und Follow-up-Testung

Treatment	Prozentuale Inter-coder-Übereinstimmung	Übereinstimmungs-koeffizient Cohens Kappa	Prozentuale Inter-coder-Übereinstimmung	Übereinstimmungs-koeffizient Cohens Kappa
	POST	POST	FOLLOW-UP	FOLLOW-UP
Implizite Lernunterstützung	92%	0.90	96%	0.95
Moderate Lernunterstützung	100%	1.00	96%	0.95
Intensive Lernunterstützung	96%	0.95	92%	0.90
Kontrollgruppe	86%	0.83	75%	0.70

Nachfolgend werden die unter den unterschiedlichen Treatmentbedingungen erzielten Befunde vergleichend betrachtet (s. Abb. 97). Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs erfolgt die Ergebnisdarlegung anhand der absoluten Zahlenwerte. Um die Ergebnisdarstellung zu erleichtern, werden den Kategorien zusätzlich zu den bislang genutzten Farb-codes auch Ziffern zugeordnet (s. Tab. 73).

Tab. 73: Kategoriensystem Weiterleitung der Bewegung

V	Konstruktions- und Funktionsprinzipien erfasst
IV	Konstruktionsprinzipien erfasst und funktionale Kenntnisse vorhanden
III	Konstruktive und funktionale Kenntnisse vorhanden
II	Konstruktive Kenntnisse vorhanden
I	Konstruktions- und Funktionsprinzipien nicht erfasst
0	Noch keine Idee

Im Vergleich zur Kontrollgruppe lässt sich unter allen Treatmentbedingungen eine deutliche Zunahme des inhaltsspezifischen Wissens zur Weiterleitung der Bewegung nachweisen.

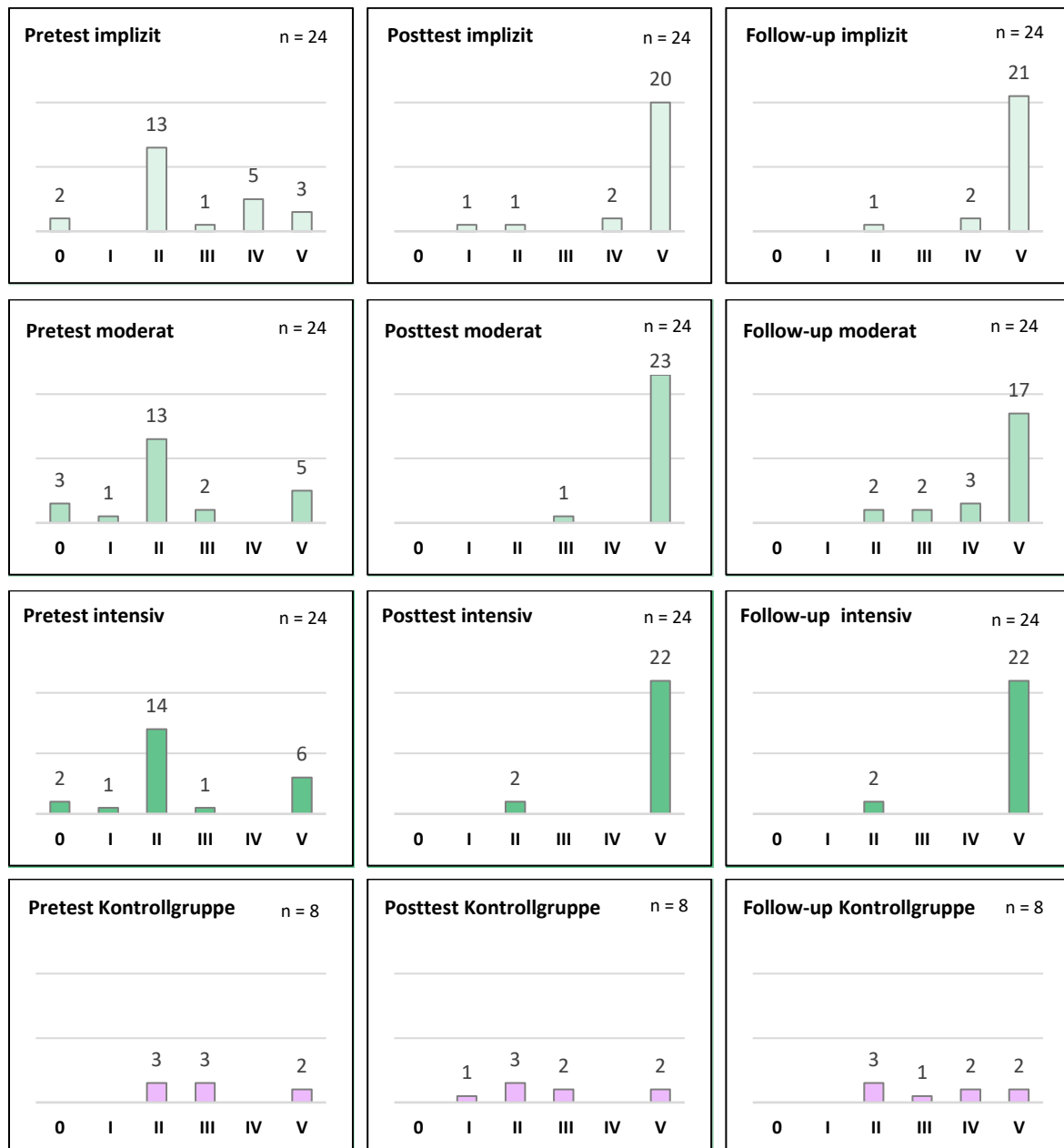


Abb. 97: Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen und -ergebnisse: Weiterleitung der Bewegung

Anhand der Posttestergebnisse zeigen sich keine wesentlichen treatmentspezifischen Unterschiede. Auffälligkeiten werden jedoch im Hinblick auf die Nachhaltigkeit des Lernzuwachses deutlich. Während die Schülerinnen und Schüler der moderaten Unterstützungsbedingung im Posttest den höchsten Lernzuwachs erzielen, kommt es im Follow-up zu einem Abfall der Lernergebnisse. Lernende der impliziten und intensiven Unterstützungsbedingung können ihre Lernergebnisse hingegen konstant halten. Durch den Vergleich der Lernergebnisse von Mädchen und Jungen wird erkennbar, dass sich die treatmentspezifischen Auffälligkeiten auf die Gruppe der Mädchen beziehen (s. Abb. 98).

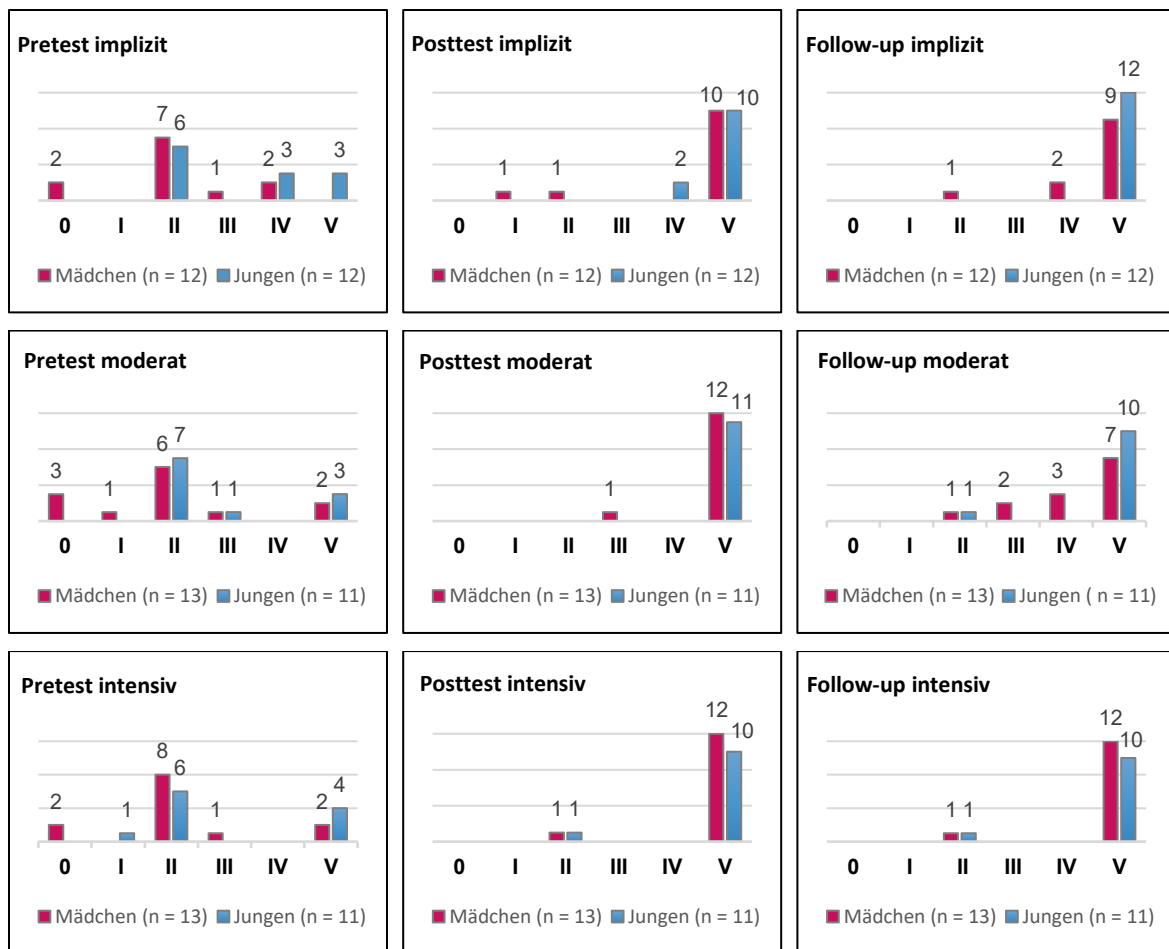


Abb. 98: Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen und -ergebnisse: Weiterleitung Mädchen und Jungen

Während Jungen und Mädchen im Posttest insgesamt vergleichbar abschneiden, zeigt sich bei den Mädchen der moderaten Unterstützungsbedingung im Follow-up ein Leistungsabfall. Die Jungen halten ihre Lernergebnisse hingegen unabhängig von der Unterstützungsbedingung konstant. Bei impliziter Lernunterstützung zeigt sich im Vergleich von Post- zu Follow-up sogar eine Verbesserung der Resultate.

Auffälligkeiten im Hinblick auf die kognitiven sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen sind nicht erkennbar (s. Abb. 99).

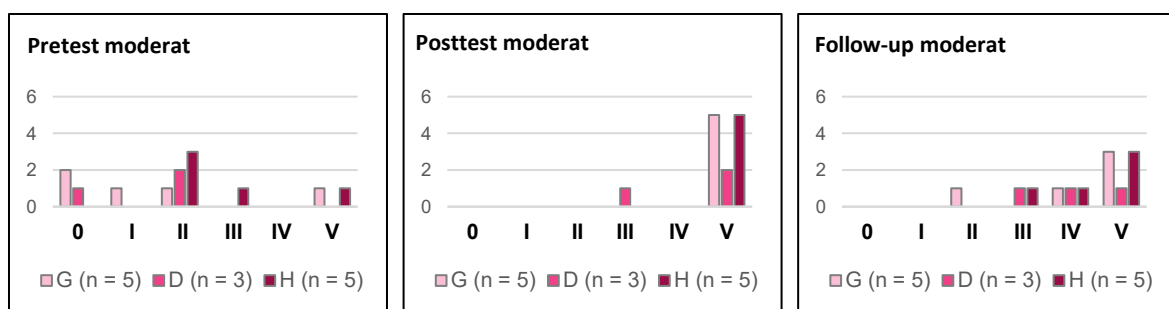


Abb. 99: Lernvoraussetzungen und -ergebnisse: Mädchen – moderate Unterstützung

Im Hinblick auf die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zeigt sich jedoch, dass alle betroffenen Schülerinnen im Pretest den Kategorien „*Noch keine Idee*“ und „*Konstruktive Kenntnisse vorhanden*“ zugeordnet wurden (s. Abb. 100).

Anhand der Befunde wird deutlich, dass dies mehrheitlich auch auf die anderen Lernenden zutrifft, denen es im Post- und Follow-up-Test nicht gelingt, die Konstruktions- und Funktionsprinzipien folgerichtig darzulegen.

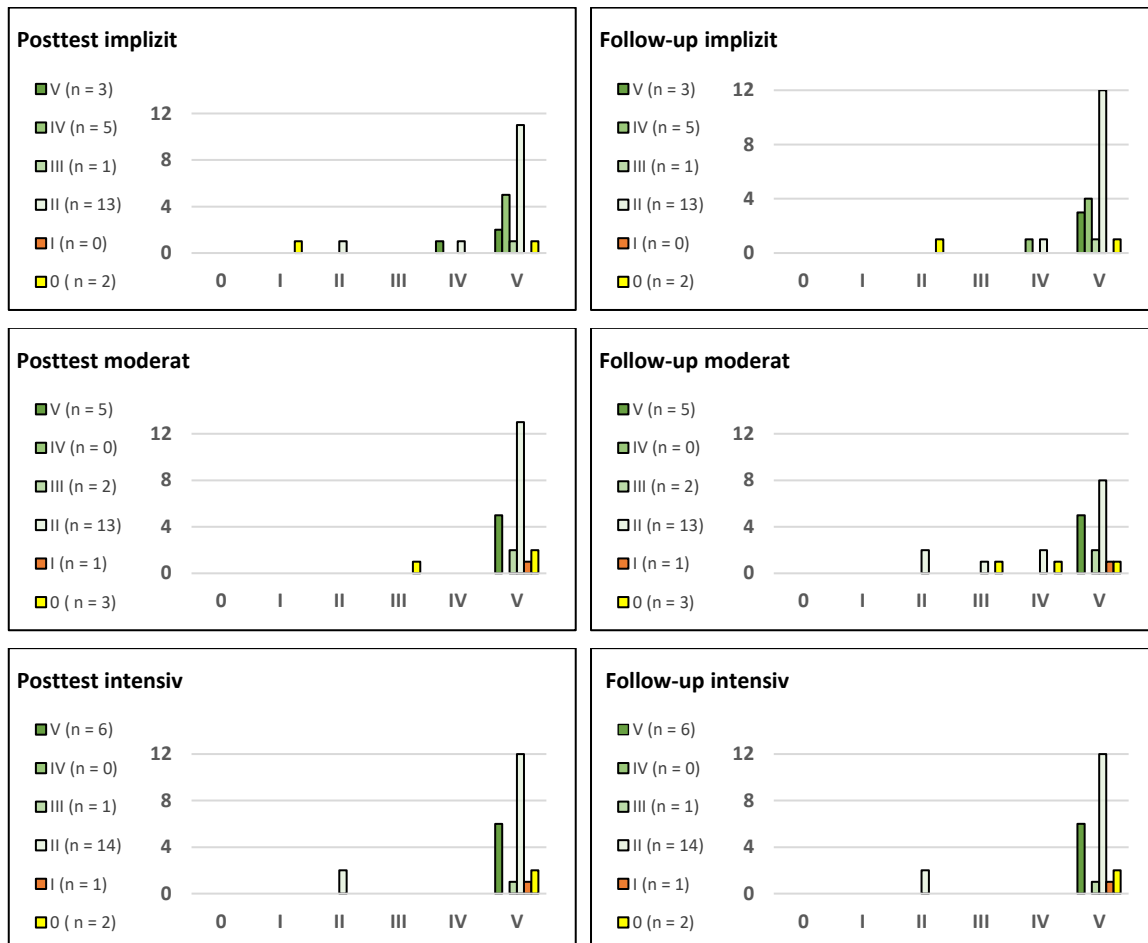


Abb. 100: Lernergebnisse im Bereich Weiterleitung von Lernenden mit unterschiedlichen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen; anhand der Farbcodes wird erkennbar, welchen Kategoriestufen die Lernenden im Pretest zugeordnet wurden

Insgesamt wird ersichtlich, dass Lernende mit geringen inhaltsspezifischen Vorkenntnissen in der impliziten und intensiven Unterstützung einen nachhaltigeren Lernzuwachs erzielen. Schülerinnen und Schüler mit Vorkenntnissen im Bereich Weiterleitung können ihre Leistungen hingegen unabhängig von der Treatmentbedingung konstant halten. Sie erreichen auch im Post- und im Follow-up-Test mehrheitlich die Kategorie V.

7.6.1.2 Interpretation der Ergebnisse: Weiterleitung der Bewegung

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es Jungen im Bereich Weiterleitung unabhängig vom Grad der Lernunterstützung gelingt, inhaltsspezifische Kenntnisse nachhaltig aufzubauen. Auf Seiten der Mädchen zeigen sich hingegen treatmentspezifische Auffälligkeiten. Den höchsten

und nachhaltigsten Lernzuwachs erzielen die Mädchen der intensiven Lernunterstützung. Sie schneiden aber auch bei impliziter Unterstützung erfolgreich ab. Die moderate Unterstützungsbedingung scheint im Hinblick auf den nachhaltigen Wissensaufbau eher weniger förderlich zu sein. In Anbetracht der Befundlage bleibt zu vermuten, dass dies vor allem durch die geringen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen der betroffenen Mädchen begründet werden kann. So belegen die Erkenntnisse der Lehr-Lernforschung, dass vor allem das inhaltsspezifische Vorwissen die weitere Wissenskonstruktion entscheidend beeinflusst (vgl. Renkl, 2020). Ist der Abstand zwischen dem bestehenden und dem neuen Wissen zu groß, beeinträchtigt dies die Anschlussmöglichkeiten. Die neuen Lerninhalte können nicht mit den eigenen Konzepten verknüpft werden und stehen gewissermaßen „neben dem bisherigen Wissen“ (Höfer, Loleit, Steffens & Diehl, 2010, S. 7). Nach kurzer Zeit scheinen sie noch abrufbar, langfristig jedoch nicht.

Das bessere Abschneiden der Schülerinnen in der intensiven Lernunterstützung könnte darauf hindeuten, dass die zusätzlichen Lernunterstützungsmaßnahmen eine nachhaltigere Wissenskonstruktion ermöglichen. Warum es allerdings einigen Schülerinnen mit geringen Vorkenntnissen bei moderater und auch bei impliziter Unterstützung durchaus gelingt, die Lernergebnisse konstant zu halten, kann anhand der Befunde nicht erschlossen werden.

7.6.1.3 Darlegung der Ergebnisse: Variation der Drehzahl

Nach einer ersten Sichtung der Sachzeichnungen konnten im Hinblick auf die Erfassung der Funktionsprinzipien zur Variation der Drehzahl zwei weitere Kategorien induktiv ermittelt werden. Sie wurden in das bestehende Kategoriensystem sowie in den Kategorienleitfaden integriert. Zur Erleichterung der Ergebnisdarstellung werden den einzelnen Kategorien auch hier zusätzlich Ziffern zugeordnet (s. Tab. 74).

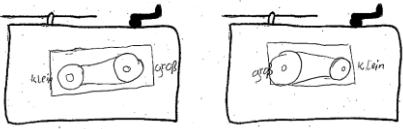
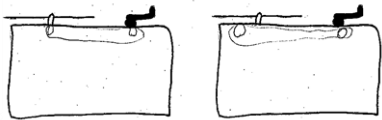
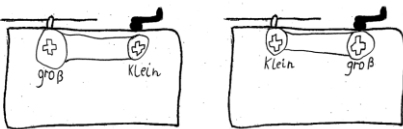
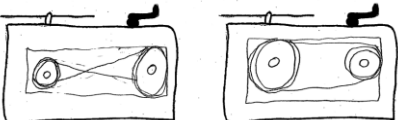
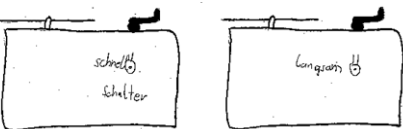
Anhand des induktiv ergänzten Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert. Die Inter-coder-Übereinstimmung liegt im Posttest durchgängig auf vergleichbar hohem Niveau (vgl. Tab. 75).

Die Nicht-Übereinstimmungen im Follow-up-Test resultieren überwiegend aus Codierfehlern. Im Rahmen der Coderkonferenz wurden diese Fälle diskutiert und im Abgleich mit dem Leitfaden eine konsensuelle Kategorisierung vorgenommen.

Tab. 75: Inter-coder-Übereinstimmung Variation der Drehzahl – Post- und Follow-up-Testung

Treatment	Prozentuale Inter-coder-Übereinstimmung POST	Übereinstimmungs-koeffizient Cohens Kappa POST	Prozentuale Inter-coder-Übereinstimmung FOLLOW-UP	Übereinstimmungs-koeffizient Cohens Kappa FOLLOW-UP
Implizite Lernunterstützung	96%	0.95	100%	1
Moderate Lernunterstützung	100%	1	79%	0.75
Intensive Lernunterstützung	100%	1	96%	0.95
Kontrollgruppe	100%	1	100%	1

Tab. 74: Kategoriensystem Variation der Drehzahl – induktiv ergänzt nach Post- und Follow-up-Testung

Kategorie		Konkretisierung	Ankerbeispiel
V	Funktionsprinzipien erfasst	Die Variation der Raddurchmesser wird als entscheidende Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden folgerichtig umgesetzt.	
IV	Entscheidende Faktoren erkannt - Umsetzung nicht vollständig folgerichtig	Die Variation der Raddurchmesser wird als entscheidende Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden aber nicht vollständig folgerichtig umgesetzt.	
III	<u>Entscheidende Faktoren erkannt - Umsetzung nicht folgerichtig</u>	Die Variation der Raddurchmesser wird als entscheidende Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden aber nicht folgerichtig umgesetzt.	
II	<u>Wesentliche Faktoren erkannt</u>	Die Variation der Raddurchmesser wird als wesentliche, aber nicht als entscheidende Variable zur Drehzahländerung erkannt. Neben der Variation der Raddurchmesser werden weitere Faktoren geändert.	
I	Funktionsprinzipien nicht erfasst	Die Variation der Raddurchmesser wird nicht als Variable zur Drehzahländerung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden nicht folgerichtig umgesetzt.	
0	Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forschungsfrage „Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?“ einbringen zu können.	

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie III zugeordnet wurden, nutzen die Variation der Raddurchmesser, um die Geschwindigkeit zu verändern. Dabei werden die Funktionsprinzipien zur Übersetzung ins Schnelle und ins Langsame allerdings nicht folgerichtig umgesetzt. Häufig werden die Radgrößen vertauscht (s. Tab. 74).

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie II zugeordnet wurden, variieren nicht nur die Radgrößen, sondern verändern zusätzlich weitere Parameter wie die Riemenführung (s. Tab. 74). Auf Nachfrage im Interview wurde erläutert, dass beide Parameter geändert werden müssen, um eine Variation der Drehzahl zu erreichen.

Nachfolgend werden die unter den unterschiedlichen Treatmentbedingungen erzielten Befunde vergleichend betrachtet (s. Abb. 101).

Im Vergleich zur Kontrollgruppe lässt sich sowohl bei impliziter als auch bei moderater und intensiver Lernunterstützung eine deutliche Zunahme des inhaltspezifischen Wissens zur Variation der Drehzahl nachweisen. Sowohl im Posttest als auch im Follow-up zeigen sich dabei treatmentspezifische Auffälligkeiten zu Gunsten der intensiven Unterstützungsbedingung. Während die Lernergebnisse im Posttest näher beieinander liegen, wird im Follow-up deutlich,

dass es den Lernenden der intensiven Unterstützung wesentlich erfolgreicher gelingt, die Funktionsprinzipien folgerichtig darzulegen. Auffällig ist zudem, dass die Ergebnisse der intensiven Lernunterstützung eine geringere Streuung aufweisen.

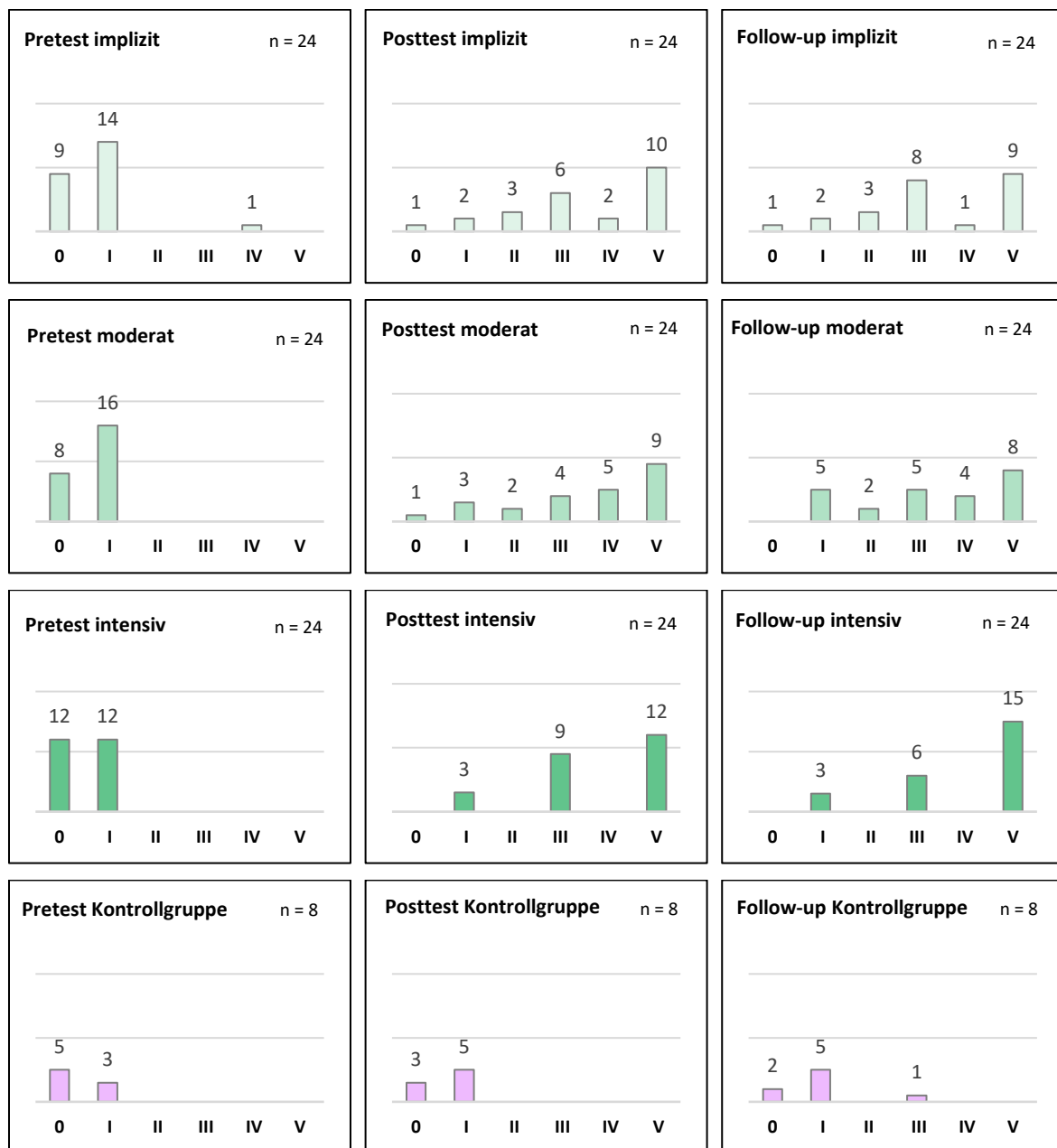


Abb. 101: Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen und -ergebnisse: Variation der Drehzahl

Beim Vergleich der Lernergebnisse von Mädchen und Jungen werden geschlechtsspezifische Unterschiede erkennbar (Abb. 102). Bei intensiver Lernunterstützung gelingt es weit mehr Mädchen, die Funktionsprinzipien zu erfassen. Die Jungen erreichen dagegen in der impliziten Maßnahme die höchsten Lernergebnisse. Im Vergleich der Post- und Follow-up-Ergebnisse zeigt sich aber auch, dass in der intensiven Unterstützungsbedingung sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen zu einem geringfügigen Anstieg der Resultate kommt. In der moderaten Unterstützung erzielten Jungen und Mädchen vergleichbare Lernergebnisse.

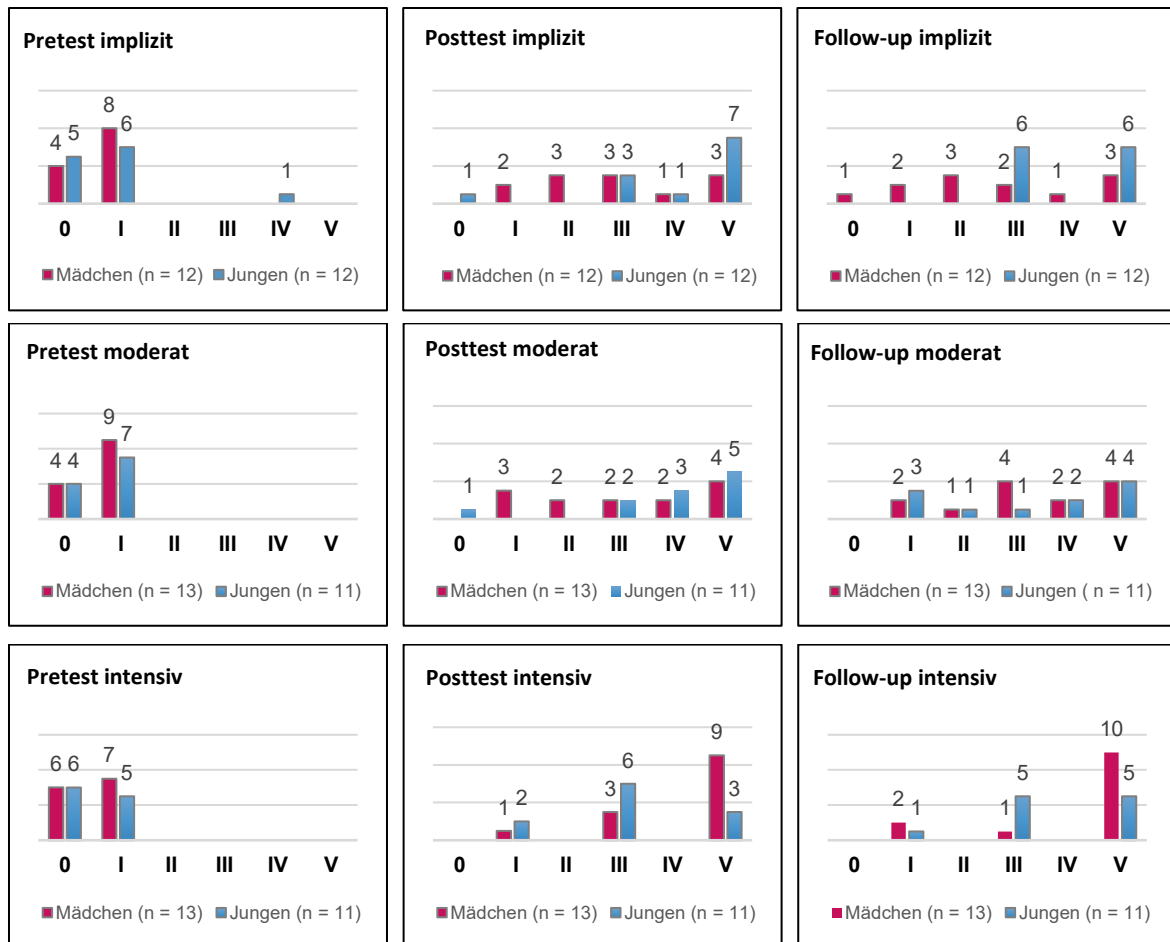


Abb. 102: Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen und -ergebnisse: Drehzahl Mädchen und Jungen

Anhand der Follow-up-Ergebnisse werden zudem lernvoraussetzungsspezifische Auffälligkeiten ersichtlich (s. Abb. 103).

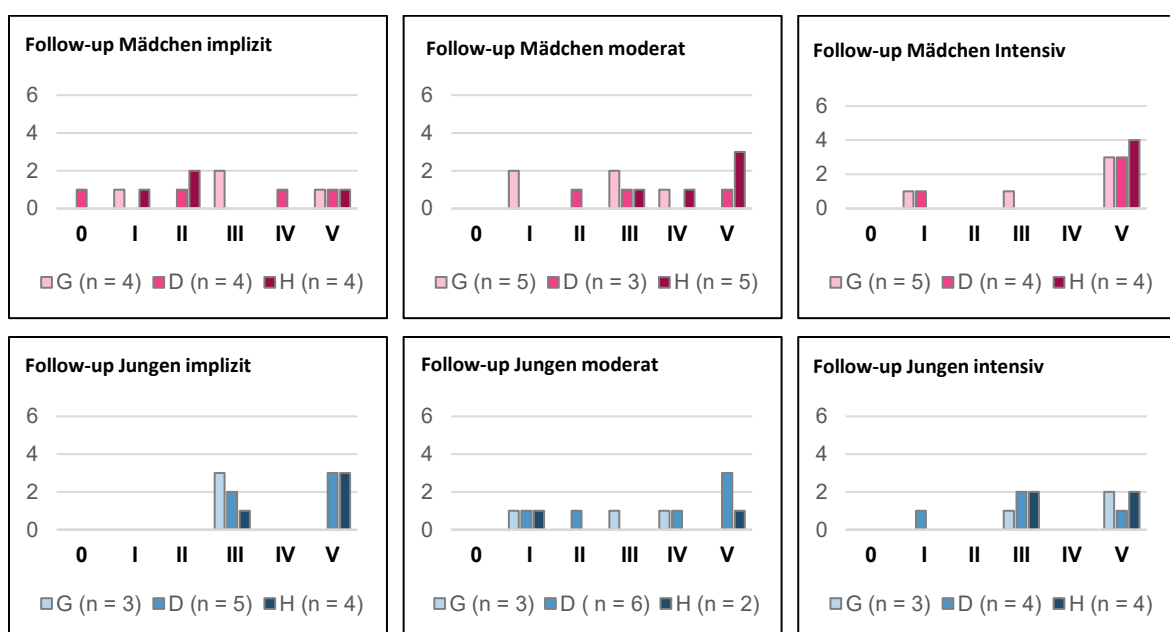


Abb. 103: Lernergebnisse Drehzahl - Lernende mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen

In der intensiven Unterstützungsbedingung gelingt es mehr Lernenden mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen, die Funktionsprinzipien zu erfassen. Dies ist sowohl bei Mädchen als auch bei Jungen der Fall. Auf Seiten der Mädchen scheinen allerdings auch Lernende mit durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen in besonderer Weise von dem intensiven Maß der Lernunterstützung zu profitieren. Dies zeigt sich auf Seiten der Jungen nicht in vergleichbarer Weise.

Auch im Hinblick auf die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen werden Unterschiede deutlich. Da die Lernvoraussetzungen zur Variation der Drehzahl kaum differieren, erfolgt die Analyse auch hier anhand der Vorkenntnisse im Bereich Weiterleitung. Um dies kenntlich zu machen, wird den im Pretest erreichten Kategorien das Kürzel W hinzugefügt (s. Abb. 104).

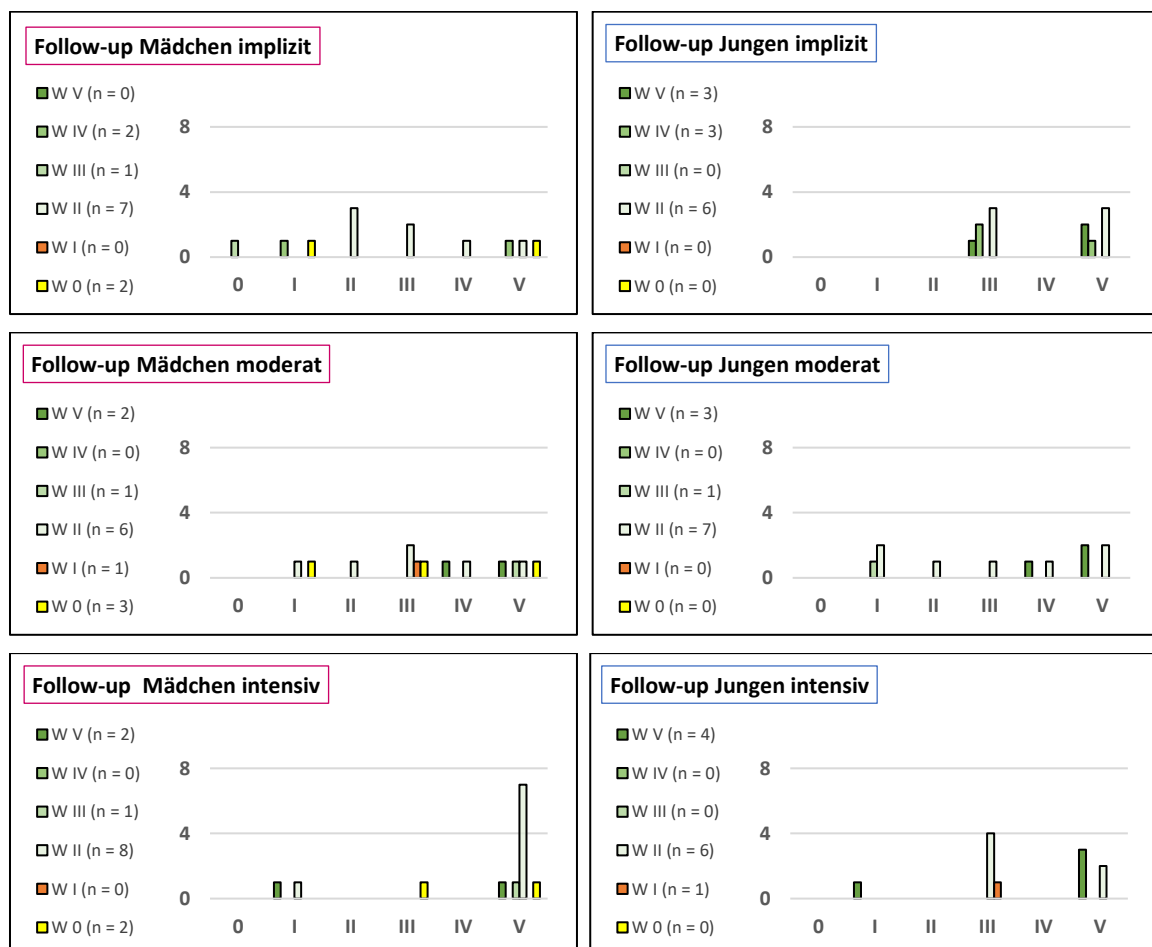


Abb. 104: Lernergebnisse Drehzahl - Lernende mit unterschiedlichen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

Bei intensiver Lernunterstützung gelingt es mehr Mädchen mit geringen Vorkenntnissen, die Funktionsprinzipien zur Variation der Drehzahl zu erfassen. Jungen mit geringen inhaltsspezifischen Kenntnissen erzielen hingegen unabhängig vom Grad der Lernunterstützung vergleichbare Ergebnisse. Auch bei Mädchen und Jungen mit hohen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zeigen sich keine treatmentspezifischen Auffälligkeiten. Erkennbar wird, dass jeweils nicht alle Lernenden mit Vorkenntnissen im Bereich Weiterleitung auch die Funktionsprinzipien im Bereich Drehzahl erfassen.

7.6.1.4 Interpretation der Ergebnisse: Variation der Drehzahl

Im Hinblick auf die Erfassung der Funktionsprinzipien zur Variation der Drehzahl zeigen sich deutliche treatmentspezifische Unterschiede. Als ursächlich hierfür kann zum einen die Komplexität des Lerngegenstandes angesehen werden. Anders als im Bereich Weiterleitung müssen hier verschiedene Parameter von den Lernenden berücksichtigt und deren funktionale Zusammenhänge durchschaut werden. Zum anderen verfügen die Schülerinnen und Schüler nur in Einzelfällen über konkrete Vorkenntnisse zu dieser Getriebefunktion (vgl. Kap. 6.5.2).

Zur Erschließung der Funktionsprinzipien sind einige der Lernenden daher auf ein besonderes Maß an Lernunterstützung angewiesen. Die Befunde zeigen, dass dies insbesondere auf die Gruppe der Mädchen zutrifft. Dies erscheint in Anbetracht der sozialisationsbedingt vorliegenden Unterschiede in den technikbezogenen Kompetenzen erwartbar (vgl. Ziefle & Jakobs, 2009). So bestätigen die Befunde der Lehr-Lernforschung, dass sich bei ungünstigen Lernvoraussetzungen und insbesondere bei geringem bereichsspezifischem Wissen stark strukturierte Lernumgebungen als effektiver erweisen (vgl. Renkl, 2015). Da Mädchen im Bereich des technischen Lernens sozialisationsbedingt über geringere inhaltspezifische Lernvoraussetzungen verfügen, ist eine intensivere Lernunterstützung für sie besonders relevant. Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass neben den sozialisationsbedingt vorliegenden Unterschieden auch die individuellen kognitiven Lernvoraussetzungen zu berücksichtigen sind. So schneiden Mädchen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen auch bei moderater Lernunterstützung erfolgreich ab.

Die Gruppe der Jungen muss diesbezüglich ebenfalls differenzierter betrachtet werden. Ergänzend zu den Befunden im Bereich Weiterleitung zeigt sich anhand des komplexeren Lerngegenstandes, dass durchaus auch Jungen auf ein höheres Maß an Lernunterstützung angewiesen zu sein scheinen. Während Schüler mit geringen kognitiven Kompetenzen von der intensiven Unterstützung profitieren, schneiden Jungen mit durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen allerdings bei impliziter Unterstützung erfolgreicher ab.

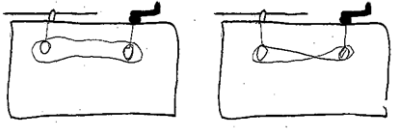
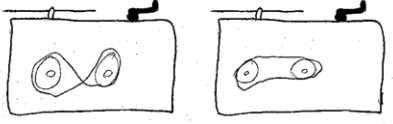
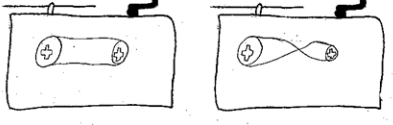
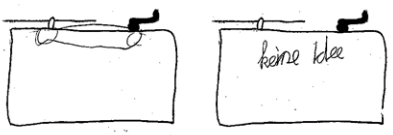
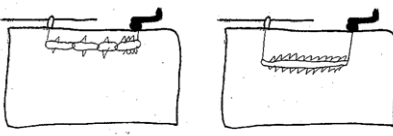
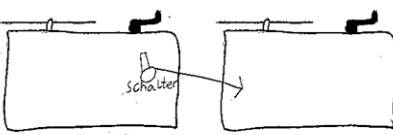
7.6.1.5 Darlegung der Ergebnisse: Variation der Drehrichtung

Nach einer ersten Sichtung der Sachzeichnungen konnten im Hinblick auf die Erfassung der Funktionsprinzipien zur Variation der Drehrichtung zwei weitere Kategorien induktiv ermittelt werden. Sie wurden in das bestehende Kategoriensystem (s. Tab. 76) sowie in den Kategorienleitfaden integriert.

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie V zugeordnet wurden, variieren die Riemenführung, um die Drehrichtung zu ändern. Dabei werden die Funktionsprinzipien allerdings nicht folgerichtig umgesetzt. Die Kreuzung und Öffnung des Riemetriebes werden vertauscht (s. Tab. 76).

Lernende, deren Sachzeichnungen der Kategorie IV zugeordnet wurden, variieren nicht nur die Riemenführung, sondern verändern zusätzlich weitere Parameter wie die Radgrößen (s. Tab. 76). Auf Nachfrage im Interview wurde erläutert, dass beide Parameter geändert werden müssen, um eine Variation der Drehrichtung zu erreichen.

Tab. 76: Kategoriensystem Variation der Drehrichtung – induktiv ergänzt nach Post- und Follow-up-Testung

	Kategorie	Konkretisierung	Ankerbeispiel
VI	Funktionsprinzipien erfasst	Die Variation der Riemenführung bzw. die Variation der Radanzahl wird als entscheidende Variable zur Variation der Drehrichtung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden folgerichtig umgesetzt.	
V	<u>Entscheidende Faktoren erkannt</u>	Die Variation der Riemenführung bzw. die Variation der Radanzahl wird als entscheidende Variable zur Variation der Drehrichtung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden aber nicht folgerichtig umgesetzt.	
IV	<u>Wesentliche Faktoren erkannt</u>	Die Variation der Riemenführung bzw. die Variation der Radanzahl wird als wesentliche, aber nicht als entscheidende Variable zur Variation der Drehrichtung erkannt. Es werden zusätzlich weitere Faktoren geändert.	
III	Bestimmte Faktoren bekannt	Die Variablen zur Einstellung einer bestimmten Drehrichtung sind bekannt. Die Funktionsprinzipien zur Variation der Drehrichtung werden noch nicht erfasst.	
II	Erste Ideen erfasst	Erste Ideen zur Variation der Riemenführung bzw. zur Variation der Radanzahl als Variable zur Drehrichtungsänderung sind erkennbar. Die Funktionsprinzipien werden noch nicht erfasst.	
I	Funktionsprinzipien nicht erfasst	Die Variation der Riemenführung bzw. die Variation der Radanzahl wird nicht als Variable zur Variation der Drehrichtung erkannt. Die Funktionsprinzipien werden nicht folgerichtig umgesetzt.	
0	Noch keine Idee	Es wird keine Sachzeichnung angefertigt. Die Lernenden geben an, noch keine Idee zur Forscherfrage „Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“ einbringen zu können.	

Anhand des induktiv ergänzten Kategorienleitfadens wurden die Sachzeichnungen von den beiden Codierenden unabhängig voneinander kategorisiert. Die Inter-coder-Übereinstimmung liegt durchgängig auf hohem Niveau (s. Tab. 77). Die Nicht-Übereinstimmungen bezogen sich überwiegend auf Uneindeutigkeiten in den Sachzeichnungen.

Nachfolgend werden die unter den unterschiedlichen Treatmentbedingungen erzielten Befunde vergleichend betrachtet (s. Abb. 105).

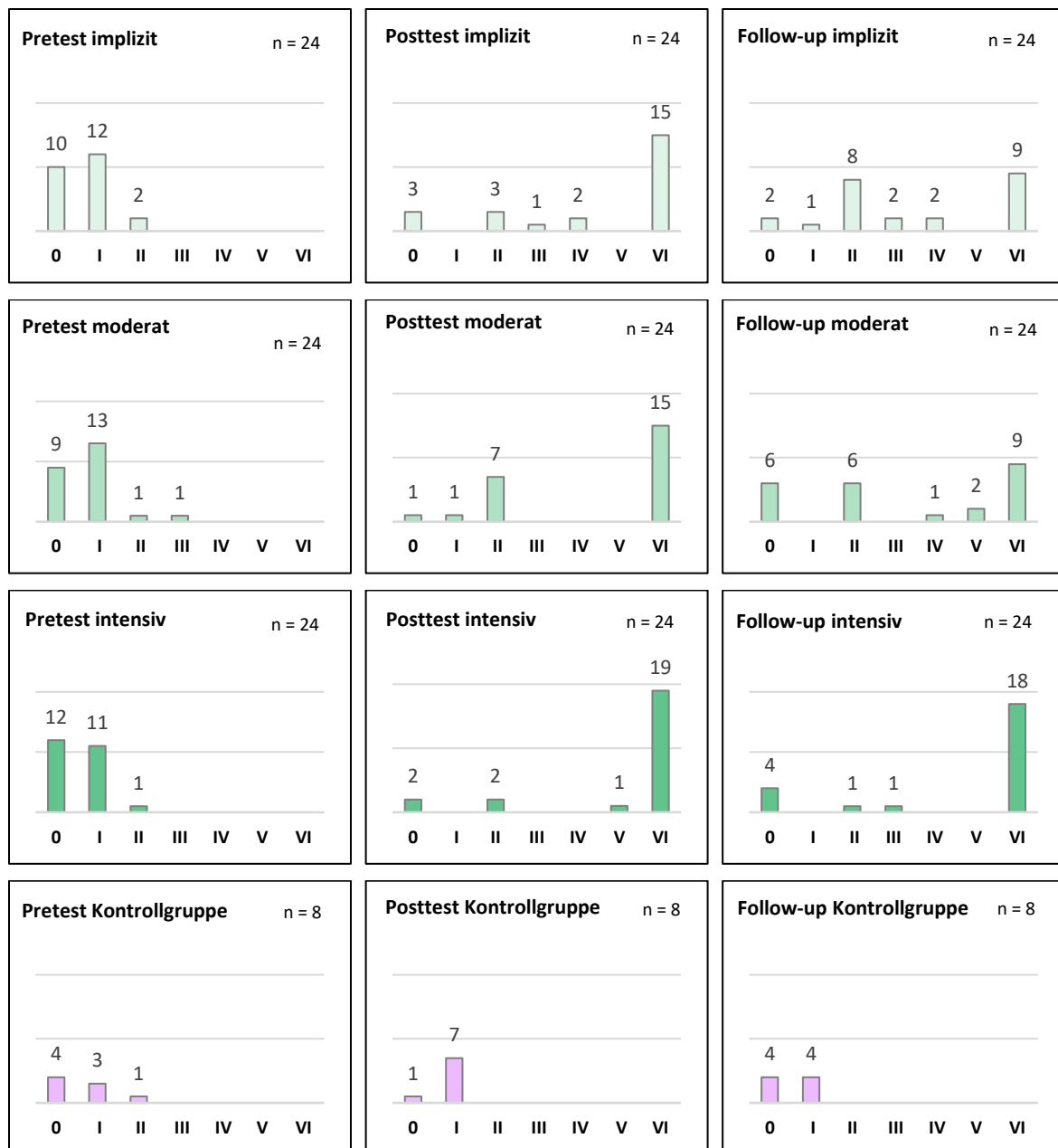


Abb. 105: Inhaltsspezifische Lernvoraussetzungen und -ergebnisse: Variation der Drehrichtung

Tab. 77: Intercoder-Übereinstimmung Variation der Drehrichtung – Post- und Follow-up-Testung

Treatment	Prozentuale Intercoder-Übereinstimmung POST	Übereinstimmungs-koeffizient Cohens Kappa POST	Prozentuale Intercoder-Übereinstimmung FOLLOW-UP	Übereinstimmungs-koeffizient Cohens Kappa FOLLOW-UP
Implizite Lernunterstützung	92%	0.91	92%	0.91
Moderate Lernunterstützung	92%	0.91	100%	1.00
Intensive Lernunterstützung	100%	1.00	96%	0.95
Kontrollgruppe	100%	1.00	100%	1.00

Im Vergleich zur Kontrollgruppe lässt sich sowohl bei impliziter als auch bei moderater und intensiver Lernunterstützung eine deutliche Zunahme des inhaltsspezifischen Wissens zur Variation der Drehrichtung nachweisen. Auch hier zeigen sich im Posttest und insbesondere im Follow-up treatmentspezifische Auffälligkeiten zu Gunsten der intensiven Unterstützungsbedingung. Lernenden der intensiven Unterstützung gelingt es wesentlich erfolgreicher, ihre Lernergebnisse konstant zu halten.

Beim Vergleich der Follow-up-Ergebnisse von Mädchen und Jungen zeigen sich keine geschlechtsspezifischen Unterschiede (s. Abb. 106). Bei intensiver Lernunterstützung erzielen sowohl die Mädchen als auch die Jungen einen hohen und nachhaltigen Lernzuwachs.

Treatmentspezifische Auffälligkeiten werden allerdings im Posttest deutlich. Die Schülerinnen der intensiven Unterstützung erzielen hier die höchsten Lernergebnisse. Die Ergebnisse der Jungen variieren im Posttest hingegen nicht.

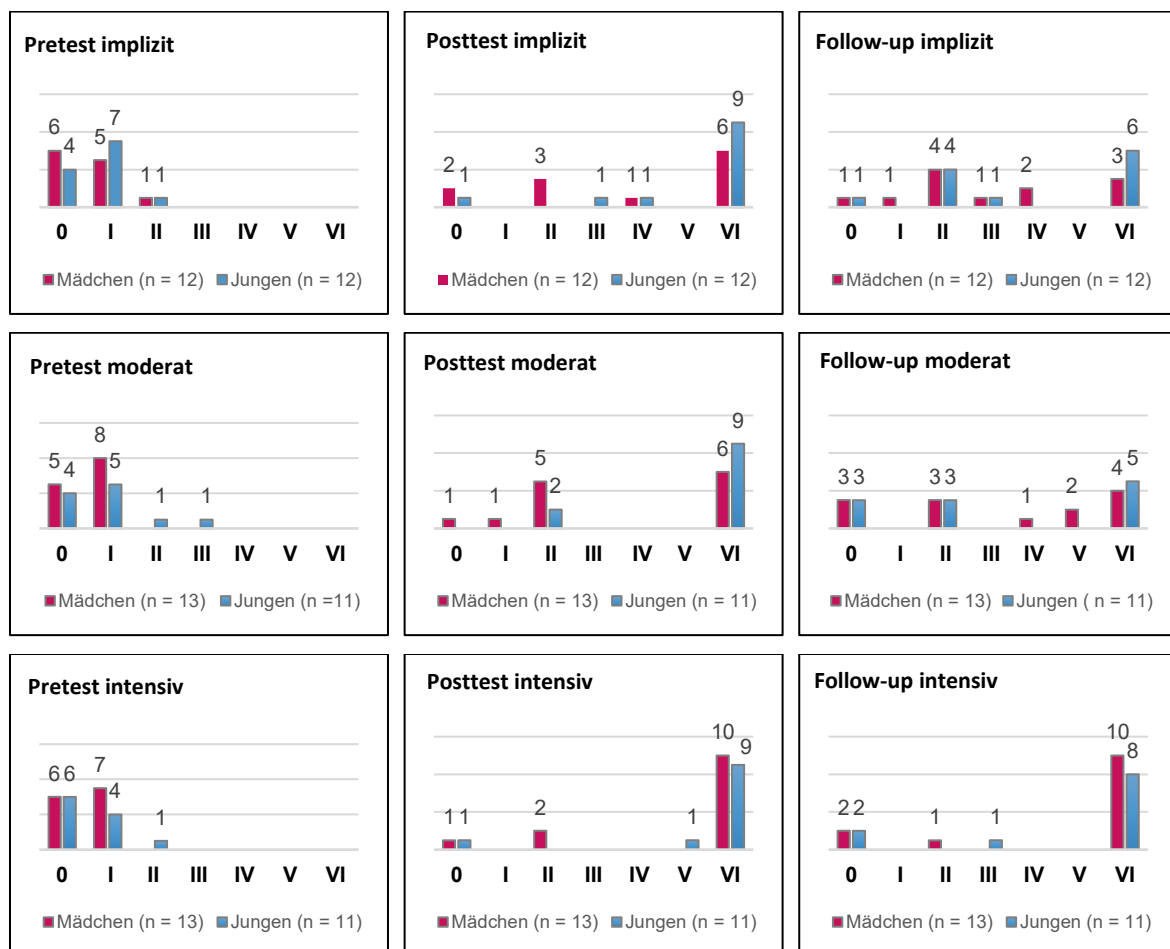


Abb. 106: Lernergebnisse Drehrichtung - Jungen und Mädchen

Anhand der Follow-up-Ergebnisse wird zudem ersichtlich, dass sowohl Lernende mit geringen, durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen von dem hohen Maß an Lernunterstützung profitieren (s. Abb. 107). Dies ist bei Jungen und Mädchen in vergleichbarer Weise der Fall. Jungen mit hohen und durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen schneiden allerdings bei impliziter Lernunterstützung ebenso erfolgreich ab.

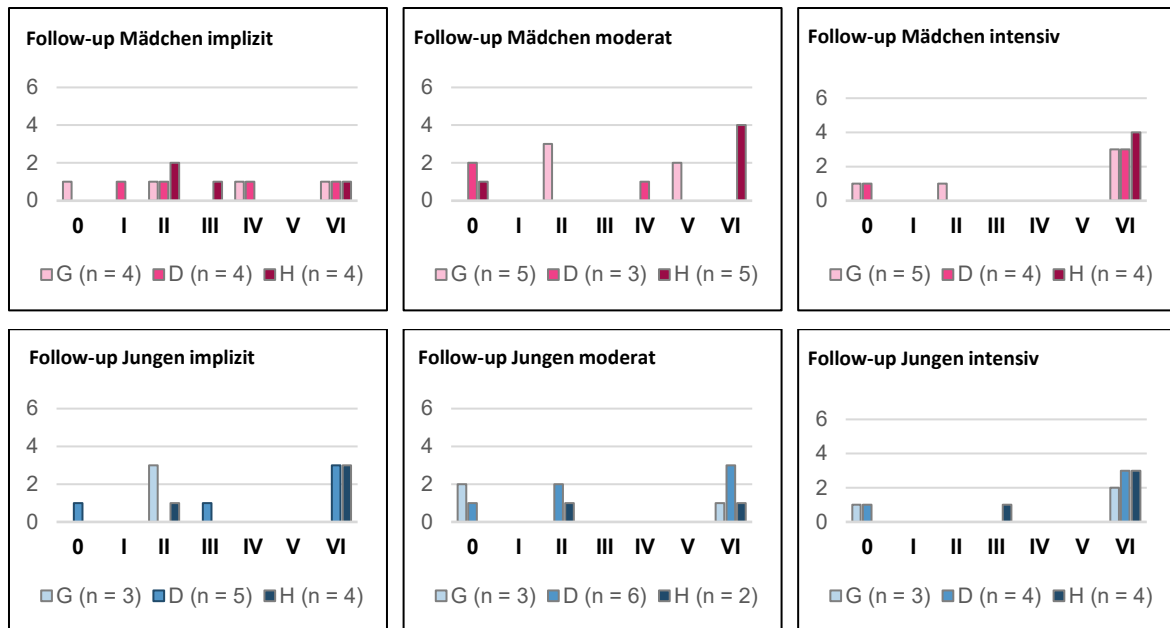


Abb. 107: Lernergebnisse Drehrichtung - Lernende mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen

Auch Lernende mit geringen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen erzielen in der intensiven Lernunterstützung die besten Resultate (s. Abb. 108).

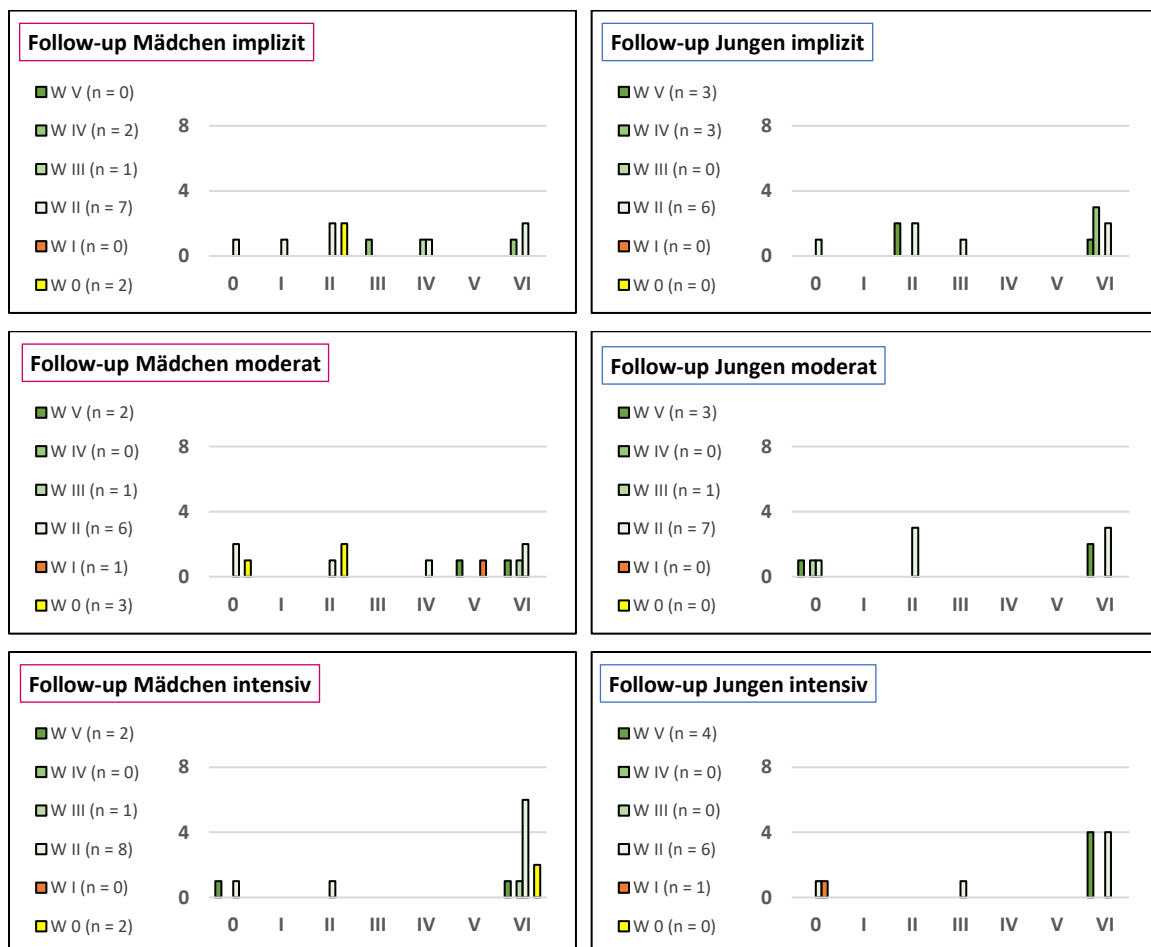


Abb. 108: Lernergebnisse Drehrichtung - Lernende mit unterschiedlichen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

Auf Seiten der Mädchen treten die Vorteile der intensiven Lernunterstützung noch deutlicher hervor als auf Seiten der Jungen.

Bei Mädchen und Jungen mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen zeigen sich keine treatmentspezifischen Auffälligkeiten. Anzumerken bleibt, dass es in der intensiven Unterstützung allen Jungen mit Vorkenntnissen gelingt, die Funktionsprinzipien zu erfassen. Die Unterschiede zur moderaten Unterstützung sind allerdings minimal.

7.6.1.6 Interpretation der Ergebnisse: Variation der Drehrichtung

Die Ergebnisse decken sich weitgehend mit den im Bereich Drehzahl ermittelten Befunden. Die Vorteile der intensiven Lernunterstützung zeigen sich allerdings noch deutlicher und umfassender. In der intensiven Unterstützung gelingt es sowohl den Mädchen als auch den Jungen erfolgreich, die Funktionsprinzipien zur Variation der Drehrichtung zu erfassen und die Lernergebnisse konstant zu halten. Während es bei impliziter und moderater Unterstützung zu einem Abfall der Resultate kommt, ist dies bei intensiver Unterstützung nicht der Fall.

Deutlich wird aber auch hier, dass die Mädchen stärker auf ein hohes Maß an Unterstützung angewiesen sind. Sie schneiden sowohl im Post- als auch im Follow-up unter dieser Treatmentbedingung am erfolgreichsten ab. Die hier zusätzlich eingesetzten Maßnahmen des Zusammenfassens, Modellierens, Reflektierens und Problematisierens scheint die Wissenskonstruktion der Mädchen mit geringen inhaltsspezifischen und geringen kognitiven Lernvoraussetzungen in besonderer Weise zu unterstützen.

Auf Seiten der Jungen zeigen sich die Vorteile der intensiven Lernunterstützung vor allem im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Lernergebnisse. Insbesondere die Jungen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen profitieren dabei von einem hohen Maß an Lernunterstützung. Erneut wird deutlich, dass Jungen mit hohen und durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen bei impliziter Lernunterstützung ebenso erfolgreich abschneiden. Sie scheinen somit weniger auf Lernunterstützung angewiesen zu sein.

7.6.1.7 Darlegung der Ergebnisse: Transferaufgaben

Um überprüfen zu können, inwieweit sich auch im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Lernergebnisse treatmentspezifische Unterschiede zeigen, erhielten die Lernenden zusätzlich drei Transferaufgaben (s. Kap. 7.4.1). Im Zuge der Ergebnisdarstellung werden die im Follow-up-Test erzielten Lösungshäufigkeiten vergleichend betrachtet.

Die Aufgaben zum Doppelkarussell und zum Zahnradkarussell gelten als korrekt gelöst, wenn die Lernenden die Funktionsprinzipien zur Übersetzung ins Schnelle und Langsame folgerichtig anwenden (s. Abb. 109 und 110).

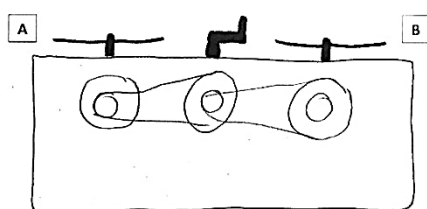


Abb. 109: Lösung Doppelkarussell

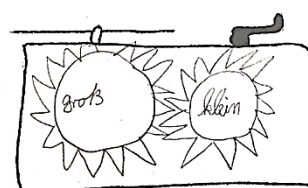


Abb. 110: Lösung Zahnradkarussell

Die Aufgabe zur Handbohrmaschine gilt als korrekt gelöst, wenn anhand der Ausführungen die Vorteile der Übersetzung ins Schnelle deutlich benannt werden (s. Tab. 78).

Tab. 78: Beispiele für korrekte Lösungen zur Transferaufgabe „Handbohrmaschine“

Warum ist es günstig, ein großes und ein kleines Zahnrad zu verwenden?
<i>Das ist besser, weil sich dann der Bohrer öfter dreht.</i>
<i>Wenn man die beiden tauschen würde, würde sich die Kurbel öfter drehen als der Bohrer.</i>
<i>Das ist schlau, weil der Bohrer soll sich schneller bewegen.</i>
<i>Weil das große Rad dreht sich nicht so oft und das kleine dreht sich öfter.</i>
<i>Wenn man die tauschen würde, müsste man länger drehen, bis sich das unten einmal dreht.</i>
<i>Das große Zahnrad hat mehr Schwung, weil es mehr Zähne hat und deshalb ist es besser, wenn das Große an der Kurbel ist.</i>
<i>Das kleine Zahnrad dreht sich dann bestimmt zehnmal, bevor das Große eine Runde gemacht hat.</i>
<i>Weil vielleicht das Große den Antrieb bei dem kleinen Rad macht und das Kleine macht dann den Antrieb beim Bohrer. Sonst wäre der Bohrer langsamer. Das kleine Rad an der Kurbel macht nicht so viel Schwung.</i>

Nachfolgend werden die unter den unterschiedlichen Treatmentbedingungen erzielten Befunde vergleichend betrachtet (s. Abb. 111).

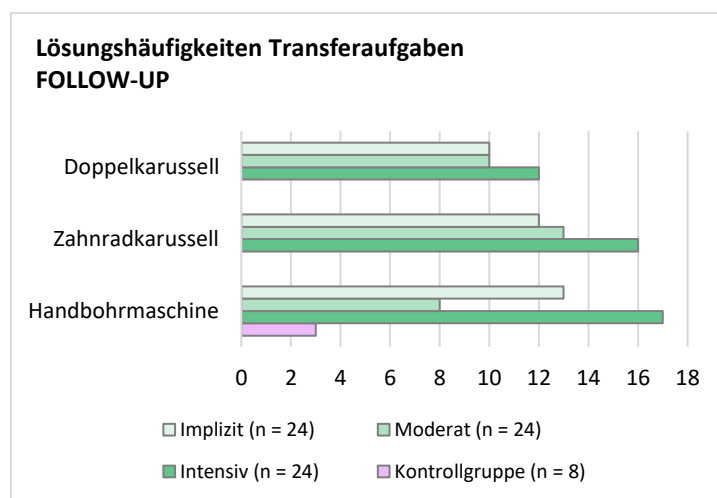


Abb. 111: Anzahl der korrekt gelösten Transferaufgaben im Vergleich

Im Vergleich zur Kontrollgruppe gelingt es in allen Treatmentgruppen deutlich mehr Lernenden, die Transferaufgaben korrekt zu lösen. Anzumerken bleibt allerdings, dass sich drei Lernende der Kontrollgruppe die Aufgabe zur Handbohrmaschine auch ohne unterrichtliche Intervention erschließen konnten. Bei den Aufgaben zum Doppel- und Zahnradkarussell ist dies nicht der Fall.

Im Hinblick auf die unterschiedlichen Treatmentbedingungen zeigt sich bei allen drei Transferaufgaben ein besseres Abschneiden von Lernenden der intensiven Lernunterstützung. Beim Vergleich der Ergebnisse von Mädchen und Jungen werden geschlechtsspezifische Unterschiede deutlich (s. Abb. 112). Mädchen der intensiven Lernunterstützung gelingt es

deutlich erfolgreicher als Schülerinnen der impliziten und moderaten Bedingung, die Transferaufgaben zu lösen. Sie übertreffen hier die Leistungen der Jungen.

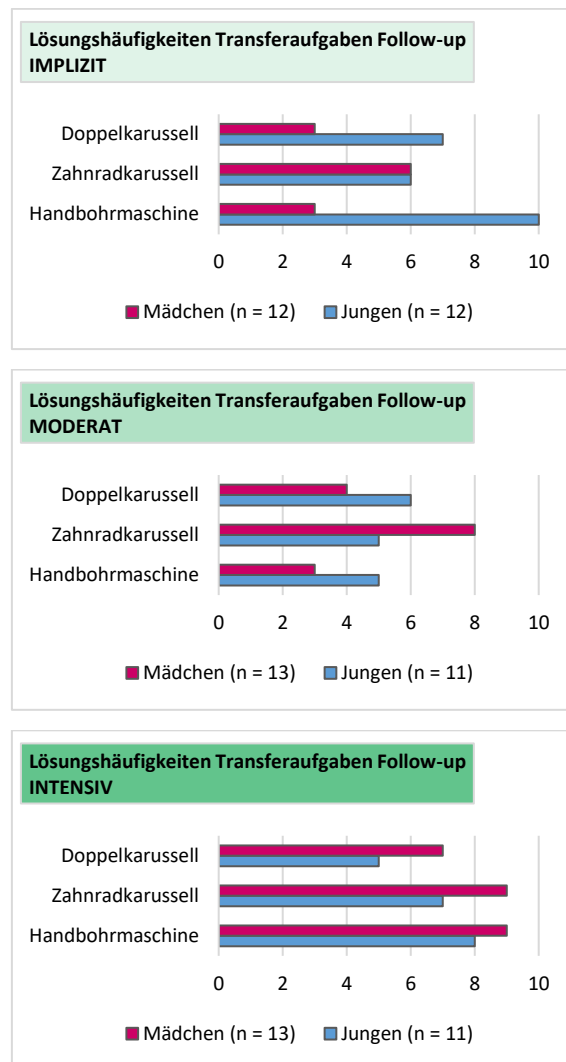


Abb. 112: Anzahl der korrekt gelösten Transferaufgaben – Mädchen und Jungen im Vergleich

Auf Seiten der Jungen zeigen sich hingegen keine ausgeprägten treatmentspezifischen Auffälligkeiten. Jungen der impliziten Unterstützung erzielen die meisten korrekten Lösungen, aber auch die Jungen der intensiven Unterstützung schneiden im Vergleich durchaus erfolgreich ab. Die geringste Lösungshäufigkeit erzielen die Jungen der moderaten Unterstützung.

Anhand der Ergebnisse wird zudem ersichtlich, dass Lernende mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen von dem hohen Maß an Lernunterstützung profitieren (s. Abb. 113). Dies ist bei Jungen und Mädchen in vergleichbarer Weise der Fall. Während es Schülerinnen und Schülern mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen der impliziten und moderaten Lernunterstützung nur vereinzelt gelingt, die Transferaufgaben korrekt zu lösen, zeigt sich bei intensiver Unterstützung eine höhere Lösungshäufigkeit.

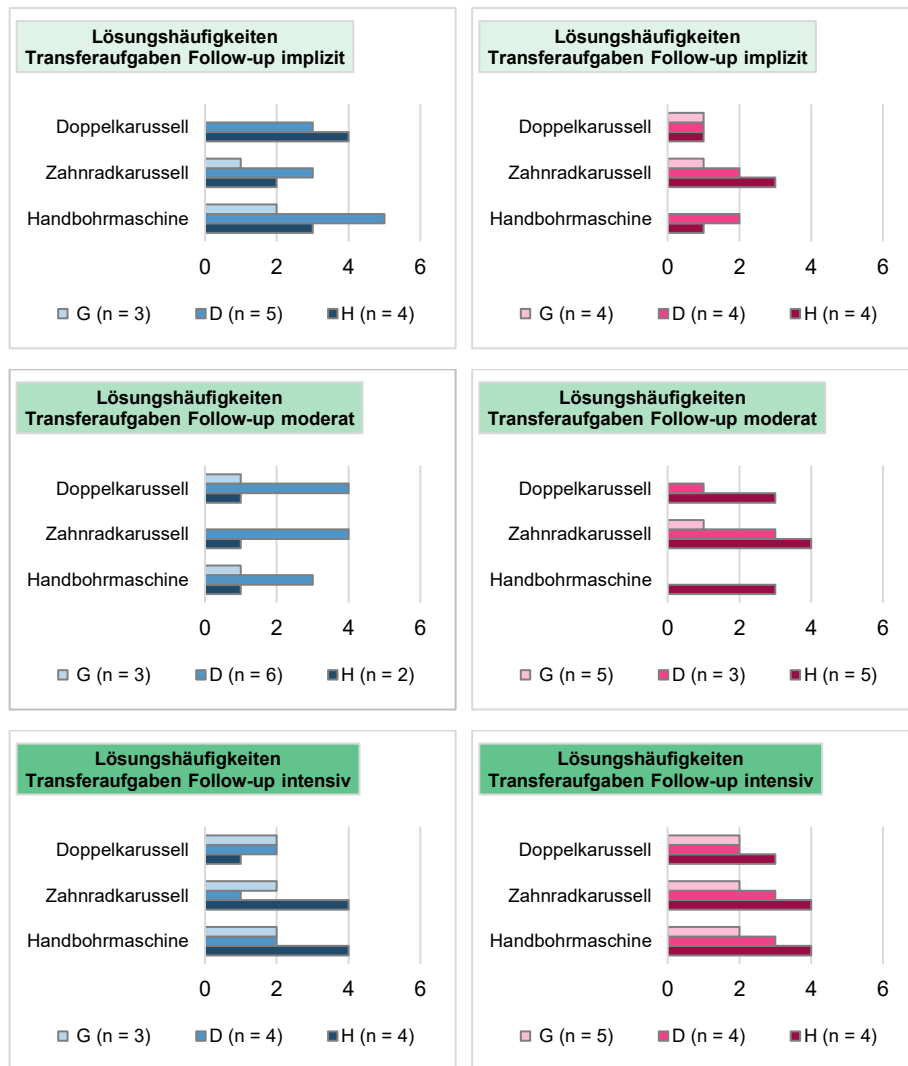


Abb. 113: Korrekt gelöste Transferaufgaben – Lernende mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen

7.6.1.8 Interpretation der Ergebnisse: Transferaufgaben

Die ermittelten Befunde zur Anwendbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse decken sich mit den Ergebnissen in den Bereichen Variation der Drehzahl und Drehrichtung. Dies erscheint durchaus nachvollziehbar, da davon ausgegangen werden kann, dass positive Zusammenhänge zwischen der Erfassung und dem Transfer der Funktionsprinzipien bestehen.

Die Vorteile der intensiven Lernunterstützung und die damit verbundenen geschlechts- und lernvoraussetzungsspezifischen Unterschiede treten somit auch hier deutlich hervor. Es wird erneut erkennbar, dass insbesondere die Mädchen von einem hohen Maß an Lernunterstützung profitieren, während ein Teil der Jungen weniger auf Lernunterstützung angewiesen zu sein scheint. Da sich im Hinblick auf die Transferfähigkeit für Jungen mit durchschnittlichen und hohen kognitiven Lernvoraussetzungen allerdings auch keine maßgeblichen negativen Auswirkungen zeigen, scheint die intensive Maßnahme insgesamt empfehlenswert, um inhaltspezifisches Wissen aufzubauen und die Lernenden zu einer nachhaltigen und flexiblen Nutzung des erworbenen Wissens zu befähigen. Zu überprüfen bleibt allerdings, inwieweit dieser hohe Grad der Lernunterstützung sich auch positiv auf motivational-affektive Zielsetzungen auswirkt.

7.6.2 Lernerleben

Nachfolgend wird zunächst vorgestellt, welche Typen des Lernerlebens ermittelt werden konnten. Daran anschließend werden die Befunde zur Treatment- und Typenzugehörigkeit dargelegt und im Hinblick auf die konkretisierten Forschungsfragen analysiert. Abschließend wird auf die Befunde zu den weiteren Variablen des Lernerlebens eingegangen.

7.6.2.1 Darlegung der Ergebnisse: Typologie des Lernerlebens

Die Typologie des Lernerlebens wurde anhand der Einschätzungen zu den Einzelitems des Kompetenzerlebens und der kognitiven Belastung konstruiert. Dabei wurde so vorgegangen, „dass die einzelnen Typen intern möglichst homogen und extern möglichst heterogen sind“ (Kuckartz, 2018, S. 151). Insgesamt konnten sechs unterschiedliche Typen des Lernerlebens identifiziert werden (s. Abb. 114). Aufgrund des seltenen Auftretens wurden die Einschätzungsmuster der Typen II A und IV A nicht als eigenständige Typen ausgewiesen, sondern den Typen II und IV zugeordnet. Im Rahmen der Ergebnisdarstellung werden sie dennoch separat aufgeführt, um Auffälligkeiten in der Treatmentzugehörigkeit überprüfen zu können.

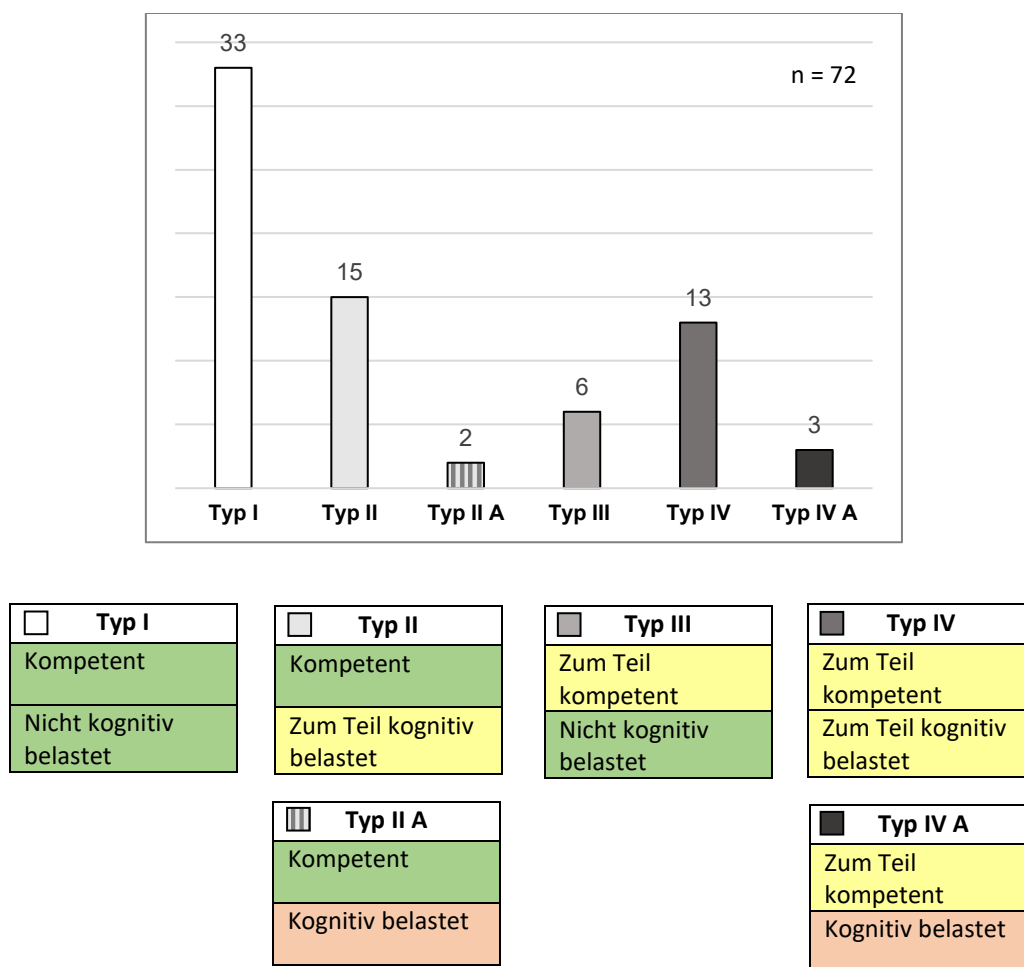


Abb. 114: Typen des Lernerlebens

Während beim Typ I alle zugeordneten Fälle die gleichen Merkmalsausprägungen besitzen, sind die weiteren Typen des Lernerlebens merkmalsheterogen (polythetisch). Im Gegensatz zu monothetischen Typen sind die einzelnen Fälle nicht völlig identisch, sondern einander nur sehr ähnlich (Kuckartz, 2018).

Die Zuordnungsregeln zu den verschiedenen Kategorien des Kompetenzerlebens und der kognitiven Belastung wurden im Vorfeld festgelegt (s. Tab. 79 und 80).

Tab. 79: Zuordnungsregeln zu den Kategorien des Kompetenzerlebens

Kompetenzerleben						Kategorie
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
X			X			Kompetent
X				X		Zum Teil kompetent
	X		X			
	X			X		
		X	X			
X					X	
	X				X	Nicht kompetent
		X		X		
		X			X	

Tab. 80: Zuordnungsregeln zu den Kategorien der kognitiven Belastung

Kognitive Belastung						Kategorie
Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
		X			X	Nicht kognitiv belastet
	X				X	Zum Teil kognitiv belastet
		X		X		
	X			X		
		X	X			
X					X	
	X		X			Kognitiv belastet
X				X		
X			X			

Im Folgenden werden die verschiedenen Typen und die zugehörigen Einschätzungsmuster vorgestellt.

Lernende des Typs I schätzen sich durchgängig als kompetent und nicht kognitiv belastet ein (s. Tab. 81). Dieses Einschätzungsmuster zeigt sich bei der Mehrzahl der Lernenden.

Tab. 81: Einschätzungen der Lernenden des Typs I: Kompetent und nicht kognitiv belastet

Kompetenzerleben						Kognitive Belastung						Anzahl der Lernenden
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
X			X					X			X	33

Lernende des Typs II erleben sich als kompetent und zum Teil kognitiv belastet. Im Hinblick auf die Einschätzung der kognitiven Belastung können hier verschiedene Fälle unterschieden werden (s. Tab. 82).

Tab. 82: Einschätzungen der Lernenden des Typs II: Kompetent und zum Teil kognitiv belastet

Kompetenzerleben						Kognitive Belastung						Anzahl der Lernenden
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
X			X					X		X		4
X			X				X				X	5
X			X				X			X		4
X			X					X	X			2

Lernende des Typs II A nehmen sich als kompetent und kognitiv belastet wahr. Auch hier können verschiedene Fälle unterschieden werden (s. Tab. 83).

Tab. 83: Einschätzungen der Lernenden des Typs II A: Kompetent und kognitiv belastet

Kompetenzerleben						Kognitive Belastung						Anzahl der Lernenden
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
X			X			X				X		
X			X				X		X			

Bei Lernenden des Typs III zeigt sich ein umgekehrtes Einschätzungsmuster. Die Lernenden schätzen sich als zum Teil kompetent, aber nicht kognitiv belastet ein (s. Tab. 84). Hier können im Hinblick auf die Einschätzung des Kompetenzerlebens verschiedene Fälle unterschieden werden.

Tab. 84: Einschätzungen der Lernenden des Typs III: Zum Teil kompetent und nicht kognitiv belastet

Kompetenzerleben						Kognitive Belastung						Anzahl der Lernenden
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
	X		X					X			X	3
X				X				X			X	1
X					X			X			X	2

Lernende des Typs IV schätzen sich als zum Teil kompetent und zum Teil kognitiv belastet ein (s. Tab. 85). Lernende des Typs IV A erleben sich als zum Teil kompetent und belastet (s. Tab. 86). Für beide Variablen des Lernerlebens zeigen sich hier jeweils verschiedene Einschätzungsmuster.

Tab. 85: Einschätzungen der Lernenden des Typs IV: Zum Teil kompetent und zum Teil kognitiv belastet

Kompetenzerleben						Kognitive Belastung						Anzahl der Lernenden
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
X				X				X		X		3
	X		X				X				X	1
	X		X					X		X		1
X				X			X			X		4
	X		X				X			X		1
	X			X				X		X		1
	X			X			X			X		2

Tab. 86: Einschätzungen der Lernenden des Typs IV A: Zum Teil kompetent und kognitiv belastet

Kompetenzerleben						Kognitive Belastung						Anzahl der Lernenden
Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			Ich konnte die Forscherfragen lösen.			Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			
Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	Stimmt	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht	
	X		X			X				X		1
	X		X			X			X			1
X				X			X		X			1

7.6.2.2 Interpretation der Ergebnisse: Typologie des Lernerlebens

Anhand der Typologie des Lernerlebens wird deutlich, dass die Wahrnehmung der Kompetenz und der kognitiven Belastung variiert. Während sich ein Großteil der Lernenden als kompetent und nicht kognitiv belastet erlebt, zeigen sich auch abweichende Einschätzungen. Die erkennbaren Abweichungen erweisen sich allerdings als gemäßigt. So lassen die Befunde den Rückschluss zu, dass sich nur einzelne Schülerinnen und Schüler als kognitiv belastet wahrnehmen und alle Lernenden sich zumindest als teilweise kompetent erleben.

Bei der Interpretation der Befunde bleibt allerdings zu berücksichtigen, dass die Lernenden bedingt durch die vorgegebene Ratingskala durchaus eine Tendenz zur Mitte eingenommen haben könnten und trotz geringerem Kompetenzerleben oder stärker empfundener kognitiver Belastung eher eine sozial erwünschte oder selbstwertschützende Einschätzung vorgenommen haben.

Aus pädagogischer und didaktischer Perspektive sollten daher die Lernenden des Typs II und III, vor allem aber Schülerinnen und Schüler des Typs IV genauer in den Blick genommen werden. Während sich die Lernenden des Typs II trotz der kognitiven Belastung als kompetent wahrnehmen, ist dies bei den Lernenden des Typs IV nicht der Fall. Schülerinnen und Schüler des Typs III sind hingegen nicht kognitiv belastet und nehmen sich dennoch als weniger kompetent war. Um auch für diese Lernenden die Umsetzung der motivational-affektiven Ziele zu gewährleisten, gilt es zunächst, mögliche treatmentspezifische Ursachen für die jeweiligen Einschätzungen zu ermitteln. Auf dieser Basis können dann weiterführende unterrichtspraktische Impulse abgeleitet werden.

7.6.2.3 Darlegung der Ergebnisse: Treatment- und Typenzugehörigkeit

Nachfolgend wird zunächst die Verteilung der Typen des Lernerlebens auf die unterschiedlichen Treatmentbedingungen vergleichend betrachtet (s. Abb. 115).

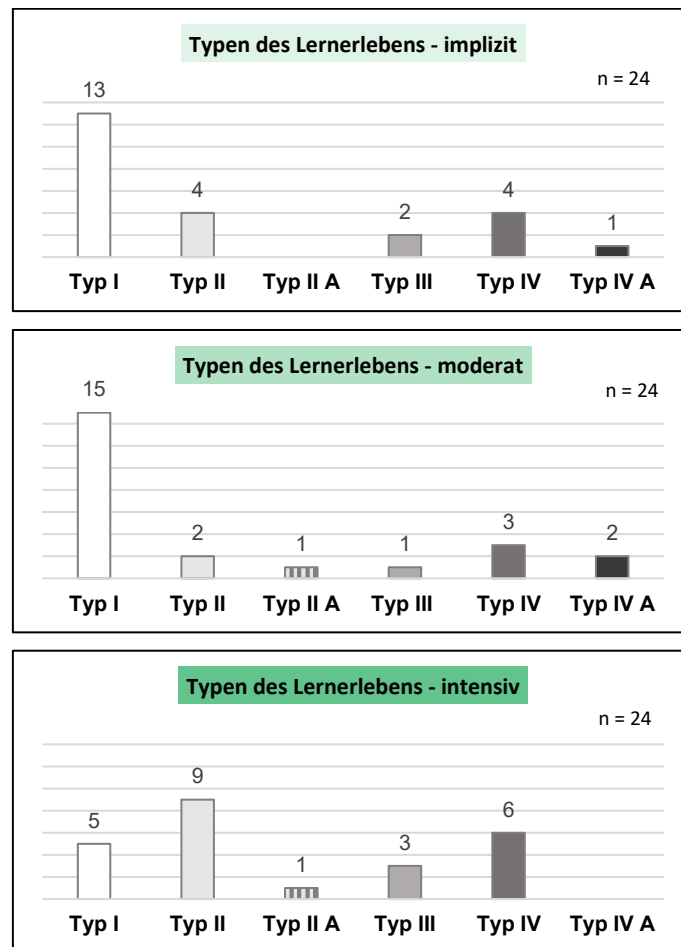


Abb. 115: Verteilung der Typen des Lernerlebens auf die unterschiedlichen Treatmentbedingungen

Während sich bei impliziter und moderater Lernunterstützung ein ähnliches Verteilungsmuster zeigt, werden bei intensiver Unterstützung treatmentspezifische Unterschiede deutlich. Weniger Lernende schätzen sich hier als kompetent und nicht kognitiv belastet ein (Typ I). Die Schülerinnen und Schüler erleben sich mehrheitlich als kompetent, aber zum Teil kognitiv belastet (Typ II). Zudem ist auch die Anzahl von Lernenden der Typen III und IV höher. Die Lernenden nehmen sich somit als weniger kompetent und stärker kognitiv belastet wahr als bei impliziter und moderater Lernunterstützung.

Betrachten wir die Typenzugehörigkeit von Mädchen und Jungen so zeigt sich, dass dies insbesondere auf die Jungen zutrifft (s. Abb. 116).

Jungen der intensiven Treatmentbedingung schätzen sich mehrheitlich als zum Teil kompetent und zum Teil kognitiv belastet ein (Typ IV). Lediglich ein Junge gehört dem Typ I an. Die Mädchen der intensiven Lernunterstützung erleben sich mehrheitlich als kompetent und zum Teil kognitiv belastet (Typ II). Dies betrifft vor allem Schülerinnen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen (s. Abb. 117).

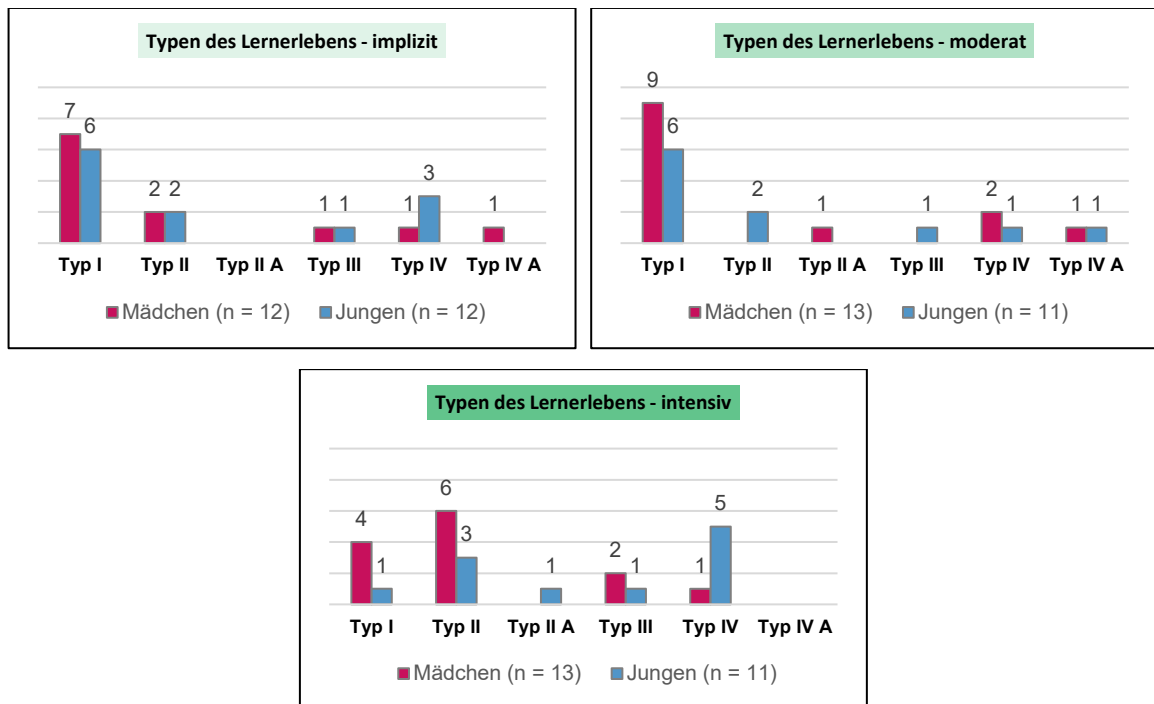


Abb. 116: Befunde zur Typenzugehörigkeit - Mädchen und Jungen

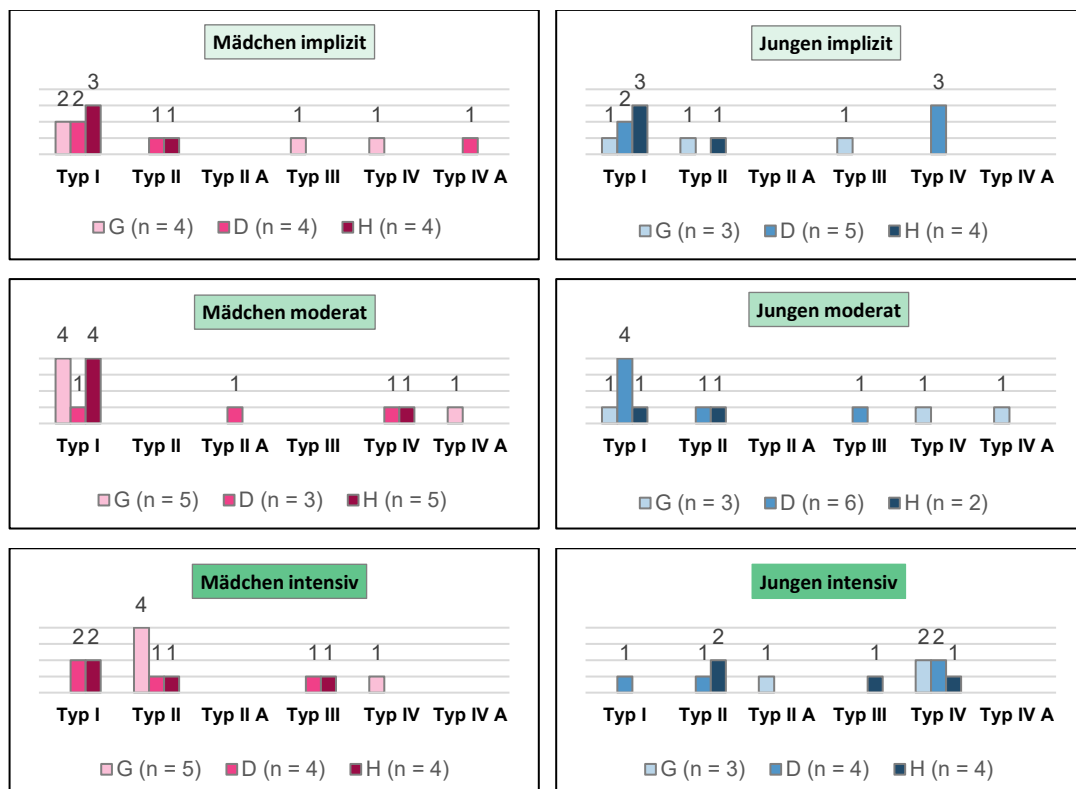


Abb. 117: Befunde zur Typenzugehörigkeit – Lernende mit unterschiedlichen kognitiven Lernvoraussetzungen

Während sich bei intensiver Lernunterstützung mehrheitlich die Schülerinnen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen als kompetent und zum Teil kognitiv belastet erleben, zeigen

sich auf Seiten der Jungen keine prägnanten Unterschiede. Dem Typ IV gehören Schüler aus allen Lernvoraussetzungsspektren an.

Auffälligkeiten werden hingegen im Hinblick auf die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen erkennbar (s. Abb. 118). Jungen mit inhaltsspezifischem Vorwissen erleben sich bei intensiver Lernunterstützung mehrheitlich als zum Teil kompetent und zum Teil kognitiv belastet (Typ IV). Dieses Einschätzungsmuster zeigt sich weder bei den Jungen in impliziter und moderater Unterstützung noch bei den Mädchen mit inhaltsspezifischem Vorwissen.

Auf Seiten der Mädchen wird erkennbar, dass sich bei intensiver Lernunterstützung mehrheitlich Schülerinnen mit geringen inhaltsspezifischen Vorkenntnissen als kompetent und zum Teil kognitiv belastet erleben (Typ II).

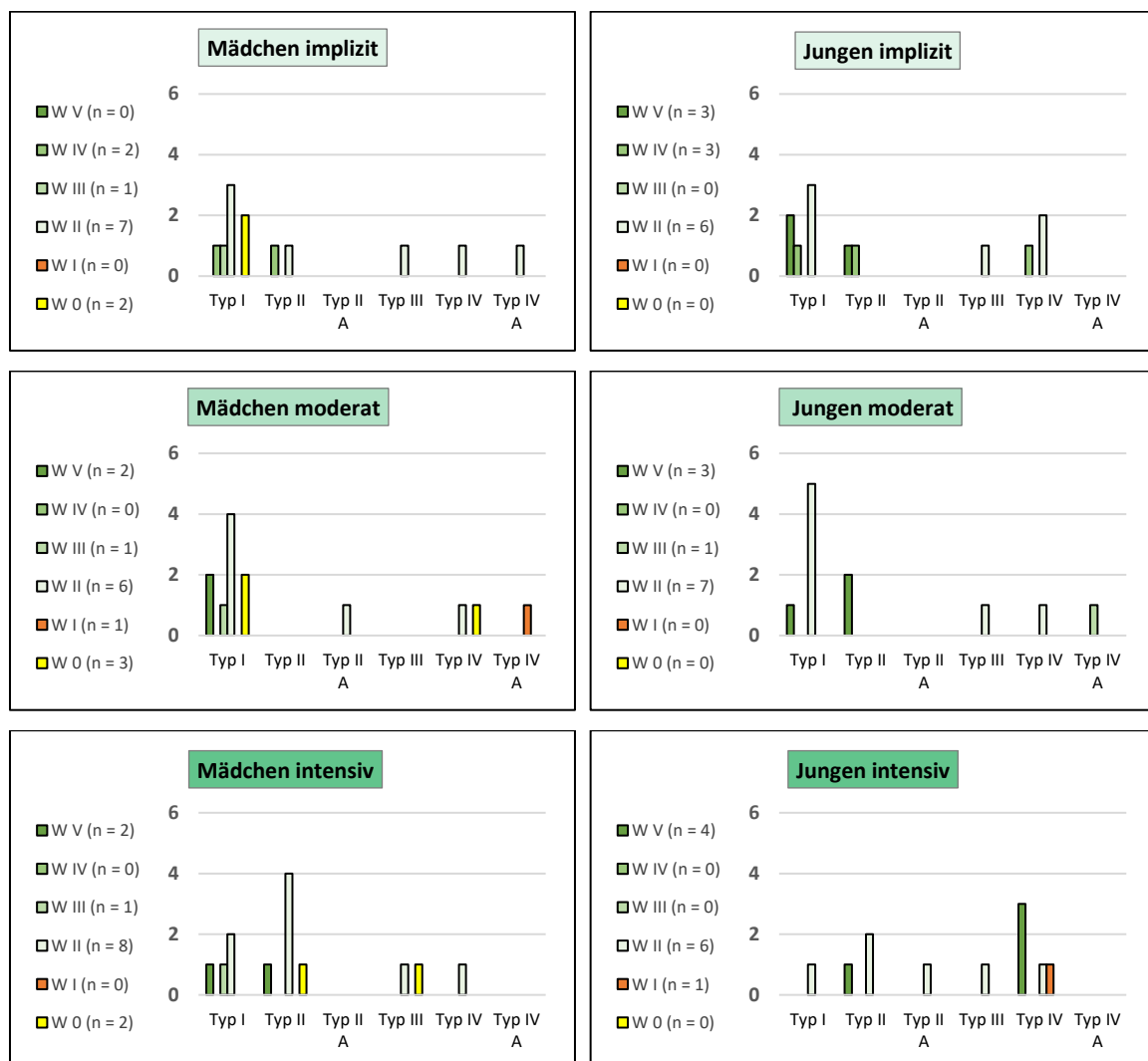


Abb. 118: Befunde zur Typenzugehörigkeit – Lernende mit unterschiedlichen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

7.6.2.4 Interpretation der Ergebnisse: Treatment- und Typenzugehörigkeit

Anhand der Verteilung der Typen des Lernerlebens werden treatmentspezifische Unterschiede erkennbar. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich das intensive Maß an Lernunterstützung bei einigen Lernenden negativ auf das Kompetenzerleben und die wahrgenommene kognitive Belastung auswirkt. Als ursächlich hierfür müssen vor allem die eingesetzten Lernunterstützungsmaßnahmen betrachtet werden (s. Tab. 87).

Tab. 87: Maßnahmen der intensiven Lernunterstützung

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell
KA 6	Über Lerninhalte und -wege nachdenken	Die Lernenden erhalten ihre Sachzeichnung zurück und sollen benennen, ob und welche Änderungen sie nun vornehmen würden.
KA 2	Kognitive Konflikte auslösen	Die Lehrkraft problematisiert, indem sie auf Widersprüche und offene Fragen hinweist und Rückfragen stellt.
IS 5	Zusammenfassen	Die Lehrkraft fasst die Beiträge der Lernenden und bisherige Erkenntnisse zusammen.
IS 7	Modellieren	Die Lehrkraft agiert modellierend, indem sie laut denkt, Lösungen vorzeigt und erläutert: „Wenn ich den Riemen also so kreuze, dann ändert sich die Richtung.“

Da neben den inhaltlich strukturierenden Maßnahmen des Zusammenfassens und Modellierens auch Maßnahmen zur kognitiven Aktivierung genutzt werden, erscheint ein Anstieg der kognitiven Belastung nachvollziehbar. Die problematisierenden Nachfragen der Lehrperson und die Anregung, über die eigenen Konzepte nachzudenken, erfordert eine gesteigerte kognitive Aktivität, die bei einigen Lernenden eine höhere Belastung zu verursachen scheint. Dies trifft auf die Mehrheit der Jungen und auf Mädchen mit geringen kognitiven und inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen zu.

Betrachten wir allerdings die Lernergebnisse, wird erkennbar, dass sich die aktivierenden Maßnahmen wiederum positiv auf den Lernzuwachs auszuwirken scheinen. So erleben sich die Lernenden bei impliziter und moderater Lernunterstützung zwar mehrheitlich als nicht kognitiv belastet, schneiden aber im Hinblick auf den nachhaltigen Lernzuwachs weniger erfolgreich ab. Das bessere Abschneiden bei intensiver Lernunterstützung ist somit mit einem erhöhten Maß an kognitiver Belastung verbunden.

Während sich die Mädchen allerdings dennoch mehrheitlich als kompetent erleben, zeigen sich auf Seiten der Jungen Beeinträchtigungen des Kompetenzerlebens. Das Maß an Lernunterstützung scheint somit nicht optimal an die Lernvoraussetzungen der Schüler angepasst. Da Jungen sozialisationsbedingt in der Regel über ein hohes technikbezogenes Selbstkonzept verfügen, sorgen die intensiven Lernunterstützungsmaßnahmen und das verstärkte Intervenieren der Lehrperson eher für Verunsicherung. Dies zeigt sich vor allem auch

bei Schülern, die über inhaltspezifische Vorkenntnisse verfügen. Sie nehmen sich bei intensiver Lernunterstützung nur als zum Teil kompetent wahr.

Anknüpfend an die Cognitive Load-Theorie lassen diese Zusammenhänge den Rückschluss zu, dass die von den Schülerinnen bei intensiver Lernunterstützung empfundene kognitive Belastung aus den durch die Lernvorgaben initiierten Lernprozessen resultiert (vgl. Sweller, 1988; Sweller et al., 1998). Das Belastungserleben der Jungen scheint hingegen auf die mangelnde Passung zwischen dem individuellen Fähigkeitsniveau und den instruktionalen Lernvorgaben rückführbar. Die hierdurch hervorgerufenen Passungsprobleme beeinflussen allerdings nicht die kognitiven Lernergebnisse, sondern scheinen sich auf das motivational-affektive Lernerleben der Schüler auszuwirken. Das hier erkennbare Phänomen wird als Expertise-Umkehr-Effekt (expertise reversal effect) bezeichnet und beschreibt, dass sich instruktionale Vorgaben in Abhängigkeit von den Lernvoraussetzungen differenziell auswirken können (vgl. Khacharem, Zoudji & Kalyuga, 2015). Während Novizen von einer bestimmten Vorgehensweise profitieren, können sich bei Experten Passungsprobleme zeigen oder umgekehrt.

Darüber hinaus bieten sich den Schülern bei intensiver Lernunterstützung vermutlich zu wenige Freiheitsgrade. Gemäß der Selbstbestimmungstheorie der Motivation gilt das Empfinden von situationsangemessener Autonomie als wesentliche Voraussetzung für das Kompetenzerleben (Deci & Ryan, 1993). Lernende erleben sich dann als kompetent, wenn sie eine Aufgabe weitgehend selbstständig lösen können (vgl. Berger & Hänze, 2004). Zudem ist ausschlaggebend, dass eine optimale Passung zwischen den Anforderungen und den gegebenen Fähigkeiten besteht, sodass „die zu bewältigende Aufgabe weder als zu leicht noch als zu schwer empfunden wird“ (Deci & Ryan, 1993, S. 231). Die Posttestergebnisse belegen, dass die Jungen die mit dem Kurbelkarussell verbundenen Forscherfragen auch bei impliziter Lernunterstützung erfolgreich lösen können. Die zusätzlichen Lernunterstützungsmaßnahmen werden hierzu nicht benötigt, sondern scheinen eher dafür zu sorgen, dass die Schüler an ihren eigenen Kompetenzen zweifeln und sich nicht als selbstwirksam begreifen können.

In Anbetracht der Befundlage ist davon auszugehen, dass sich die intensive Lernunterstützung auf Seiten der Mädchen als optimales Maß erweist, um Kompetenzerleben zu ermöglichen und gleichzeitig einen hohen und nachhaltigen Lernzuwachs zu erzielen. Auf Seiten der Jungen zeigen sich bei intensiver Lernunterstützung zwar Vorteile im Hinblick auf einen nachhaltigen Lernzuwachs, es werden aber motivational-affektive Passungsprobleme deutlich, sodass eine multikriteriale Zielerreichung nicht gewährleistet werden kann.

Weiterführend wird nun dargelegt, inwieweit sich die erkennbaren Zusammenhänge auch in den Einschätzungen der weiteren Variablen des Lernerlebens widerspiegeln. Hierzu werden die Einschätzungen zu den jeweiligen Einzelitems vergleichend betrachtet.

7.6.2.5 Darlegung und Interpretation der Befunde: Anstrengungsbezogene Belastung

Im Hinblick auf die anstrengungsbezogene Belastung beim Bearbeiten der Forscherfragen zeigen sich keine wesentlichen treatmentspezifischen Unterschiede (s. Abb. 119).

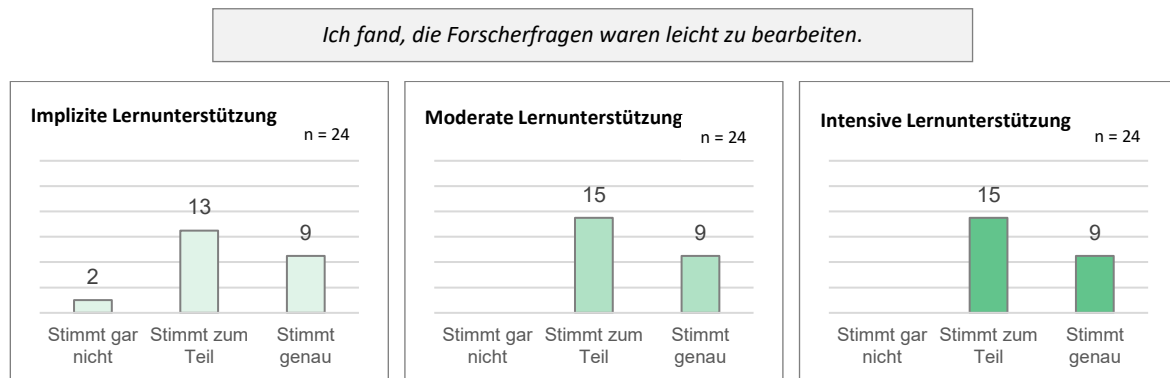


Abb. 119: Einschätzung der anstrengungsbezogenen Belastung beim Bearbeiten der Forscherfragen

Erkennbar wird, dass die Bearbeitung der Forscherfragen jeweils für die Mehrheit der Lernenden mit einem gewissen Maß an Anstrengung verbunden ist. Da die praktische Auseinandersetzung mit technischen Lerninhalten und problemorientierten Aufgabenstellungen keine alltägliche Herausforderung darstellt, erscheint dies durchaus erwartbar. Auch das Lösen der Forscherfragen wird von der Mehrheit der Lernenden als teilweise anstrengend eingeschätzt (s. Abb. 120). Hier werden allerdings tendenzielle treatmentspezifische Unterschiede erkennbar. Mit Zunahme des Lernunterstützungsgrades steigt das Anstrengungsempfinden.

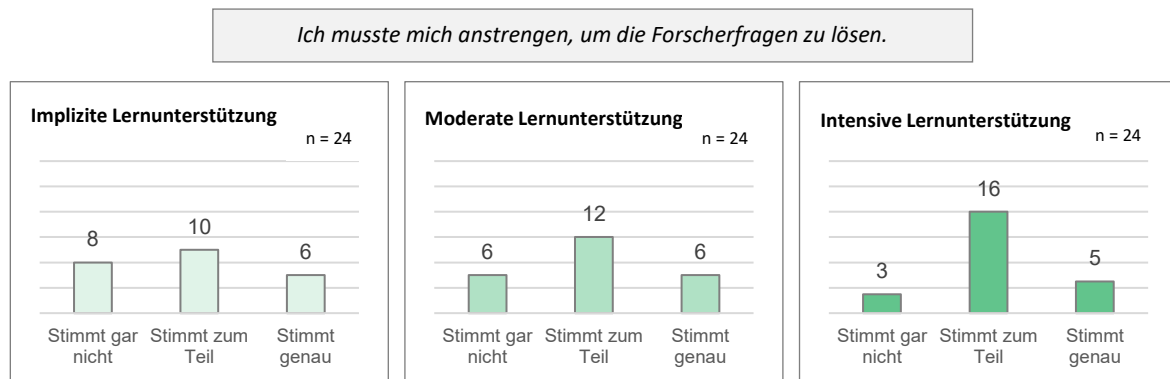


Abb. 120: Einschätzung der anstrengungsbezogenen Belastung beim Lösen der Forscherfragen

Betrachten wir die Einschätzungen von Jungen und Mädchen, dann wird deutlich, dass das tendenzielle Ansteigen des Anstrengungsempfindens vor allem die Mädchen betrifft (s. Abb. 121).

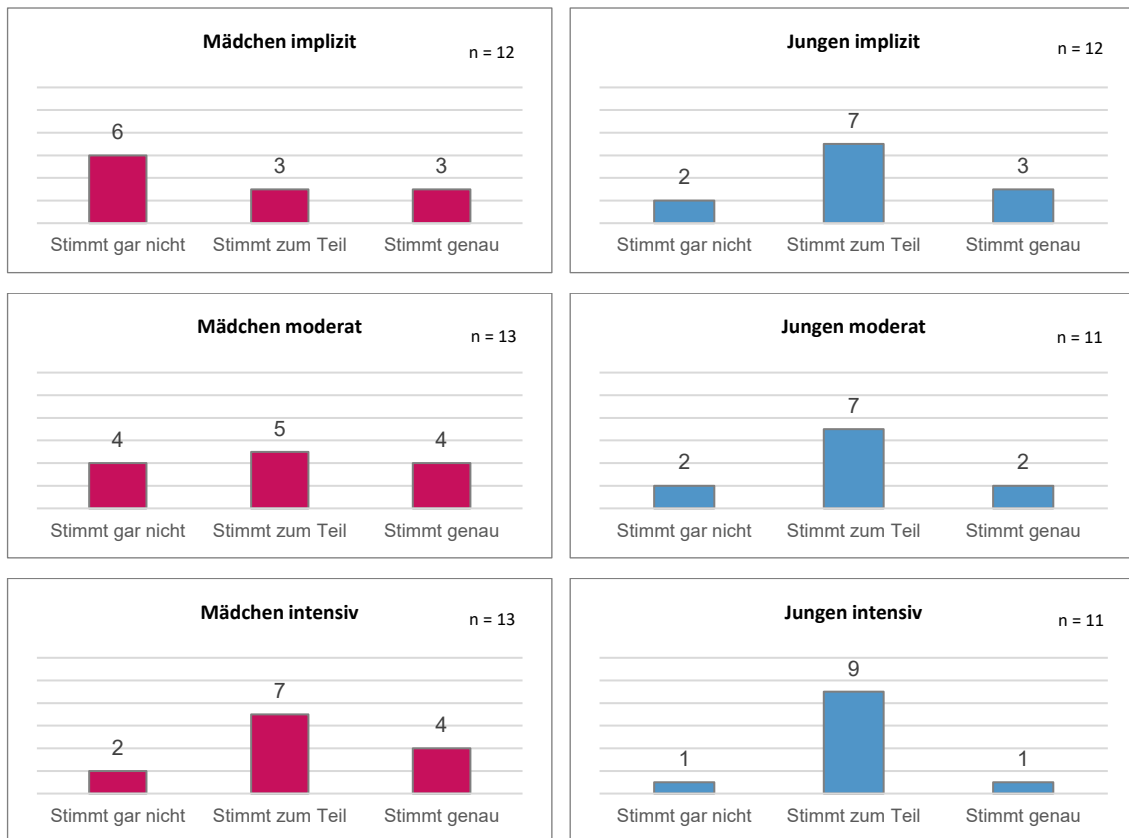


Abb. 121: Einschätzungen der Mädchen und Jungen zum Item „Ich musste mich anstrengen, um die Forscherfragen zu lösen.“

Während Jungen das Lösen der Forscherfragen unabhängig von der Treatmentbedingung mehrheitlich als zum Teil anstrengend empfinden, zeigen sich auf Seiten der Mädchen treatmentspezifische Unterschiede. Mädchen der impliziten Lernunterstützung geben mehrheitlich an, sich nicht anstrengen zu müssen, um die Forscherfragen zu lösen. Mit zunehmender Lernunterstützung ändert sich diese Einschätzung. Bei moderater und vor allem bei intensiver Lernunterstützung nehmen mehr Schülerinnen das Lösen der Forscherfragen als zum Teil anstrengend wahr.

Die empfundene Anstrengung scheint dabei aber nicht im Sinne einer Überforderung negativ konnotiert, sondern positiv besetzt zu sein. Dies wird bei Betrachtung der Typenzugehörigkeit erkennbar (s. Abb. 122). Die Schülerinnen der intensiven Lernunterstützung nehmen sich trotz der höher eingeschätzten Anstrengung als kompetent wahr.

Das tendenzielle Ansteigen des Anstrengungsempfindens betrifft auch die Schülerinnen mit inhaltsspezifischem Vorwissen. Auf Seiten der Jungen zeigen sich diesbezüglich keine Unterschiede. Schüler mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen schätzen das Lösen der Forscherfragen unabhängig von der Treatmentbedingung als anstrengend oder zum Teil anstrengend ein. Im Hinblick auf die kognitiven Lernvoraussetzungen zeigen sich weder bei den Jungen noch bei den Mädchen bedeutende Auffälligkeiten.

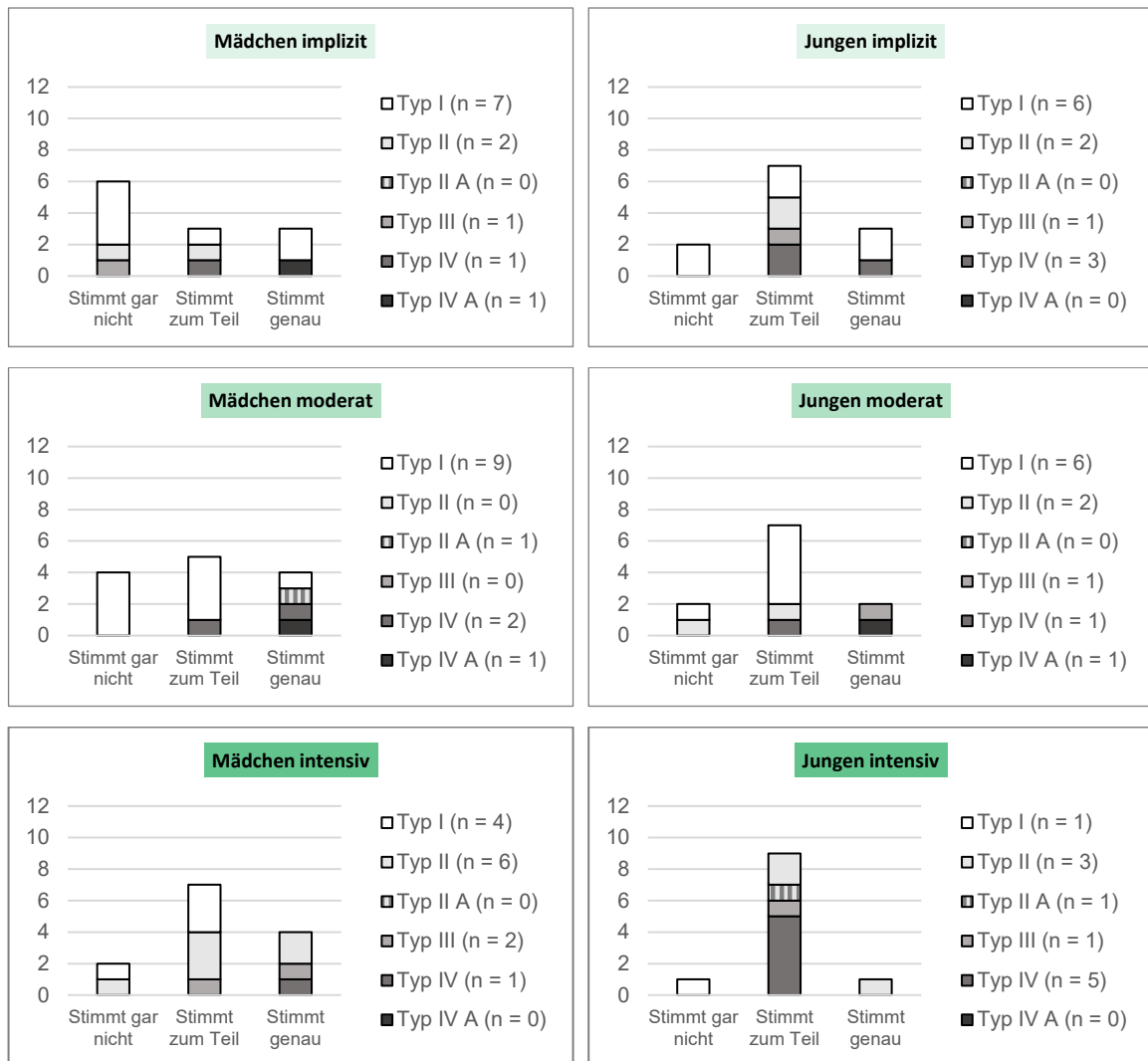


Abb. 122: Einschätzungen zum Item „Ich musste mich anstrengen, um die Forscherfragen zu lösen.“

7.6.2.6 Darlegung und Interpretation der Befunde: Kognitives Engagement

Im Hinblick auf die wahrgenommene Konzentrationsfähigkeit zeigen sich keine wesentlichen treatmentspezifischen Unterschiede (s. Abb. 123).

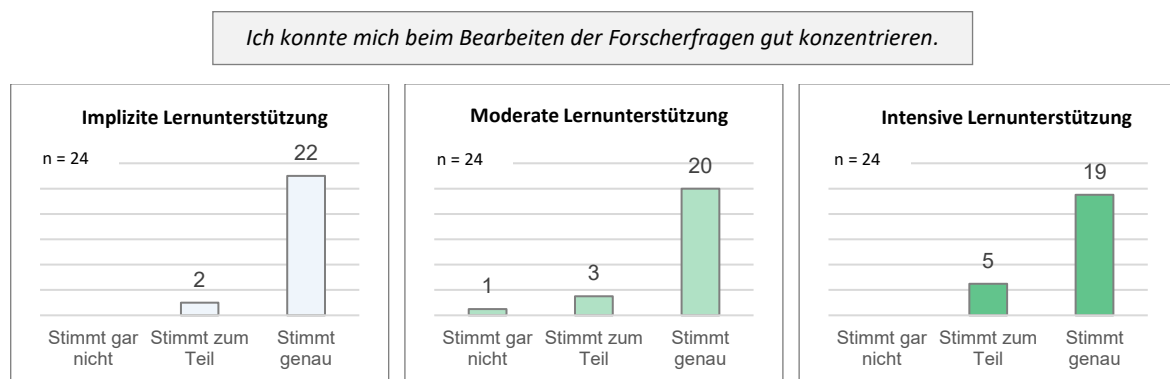


Abb. 123: Einschätzungen der wahrgenommenen Konzentrationsfähigkeit

Erkennbar wird, dass mit zunehmender Lernunterstützung tendenziell mehr Lernende angeben, sich weniger gut konzentrieren zu können. Es handelt sich dabei überwiegend um Jungen. Dies könnte darauf hindeuten, dass die zunehmende kognitive Aktivierung tatsächlich eher als störend oder belastend empfunden wird. Die erkennbaren Unterschiede sind allerdings äußerst gering. Weitere lernvoraussetzungsspezifische Auffälligkeiten zeigen sich nicht.

Auch hinsichtlich der wahrgenommenen kognitiven Aktivierung zeigen sich keine Mehrheitsunterschiede. Treatmentspezifische Tendenzen sind hier weniger eindeutig ableitbar (s. Abb. 124).

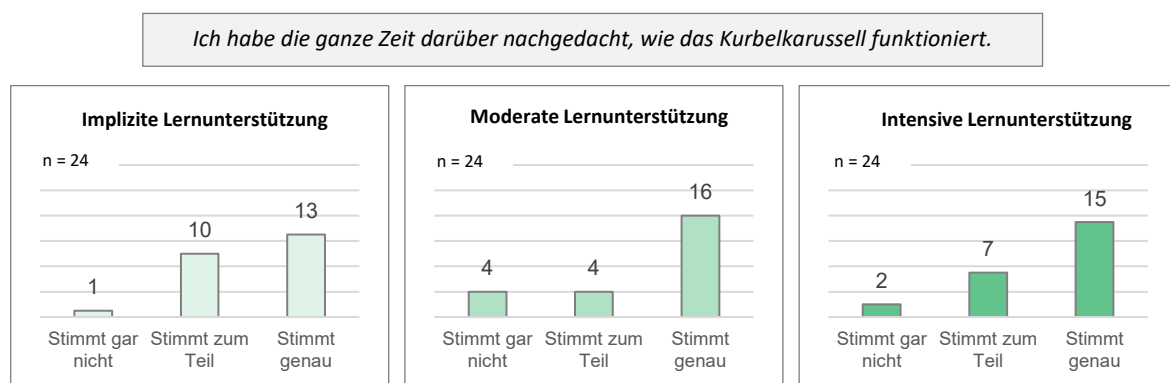


Abb. 124: Einschätzungen der wahrgenommenen kognitiven Aktivität

Mit zunehmender Lernunterstützung steigt zwar die Anzahl der Lernenden leicht an, die sich als kognitiv aktiviert wahrnehmen, gleichzeitig zeigt sich aber auch eine leichte Zunahme von Lernenden, die eine gegenteilige Einschätzung vornehmen.

Anhand der Befunde lassen sich allerdings tendenzielle typenspezifische Zusammenhänge ableiten (s. Abb. 125). Lernende, die sich als kognitiv belastet erleben (Typen II-IV), schätzen mehrheitlich auch ihre kognitive Aktivität auf hohem oder mittlerem Niveau ein. Lernende, die angeben, nicht die ganze Zeit über das Kurbelkarussell nachgedacht zu haben, erleben sich mehrheitlich als nicht belastet (Typ I). Einschränkend bleibt festzuhalten, dass durchaus auch Lernende des Typs I ihre kognitive Aktivität auf hohem oder mittlerem Niveau einschätzen.

Betrachten wir die Ergebnisse von Jungen und Mädchen, werden treatmentspezifische Auffälligkeiten erkennbar (s. Abb. 125). Während sich bei impliziter und bei moderater Lernunterstützung jeweils vergleichbare Einschätzungen zeigen, unterscheiden sich die Einschätzungen bei intensiver Unterstützung. Mehr Schülerinnen als Schüler schätzen sich hier als zum Teil kognitiv aktiviert ein. Es handelt es sich dabei mehrheitlich um Schülerinnen, die über hohe kognitive Lernvoraussetzungen verfügen (s. Abb. 126). Darunter befinden sich auch die beiden Schülerinnen mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen.

Schülerinnen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen schätzen sich hingegen bei intensiver Lernunterstützung mehrheitlich als kognitiv aktiviert ein. Es zeigt sich somit erneut, dass diese Gruppe der Lernenden in besonderer Weise von den intensiven Maßnahmen zu profitieren scheint.

Auf Seiten der Jungen zeigen sich weder im Hinblick auf die kognitiven noch hinsichtlich der inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen bedeutende Auffälligkeiten.

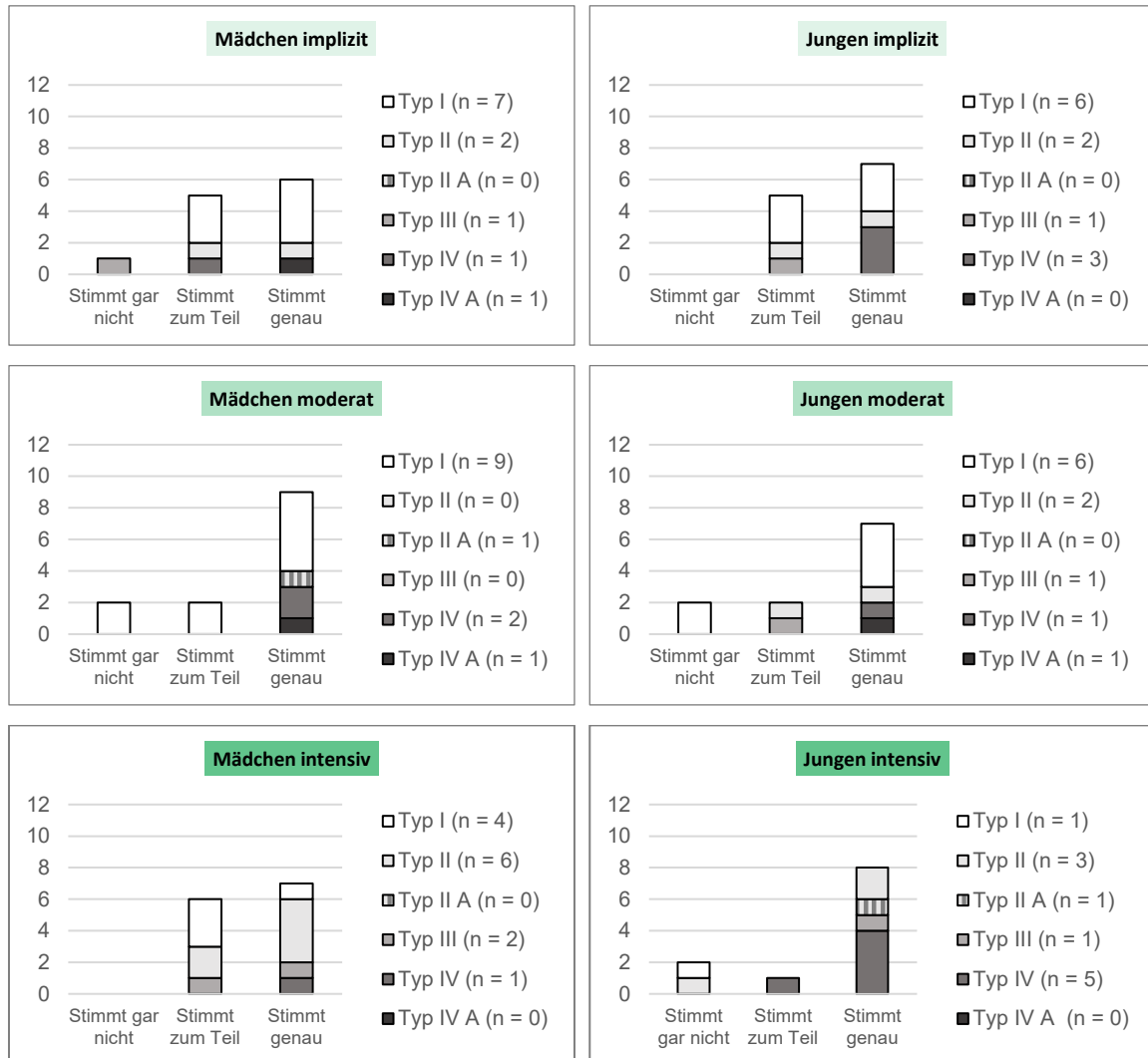


Abb. 125: Einschätzungen zum Item „Ich habe die ganze Zeit darüber nachgedacht, wie das Kurbelkarussell funktioniert.“

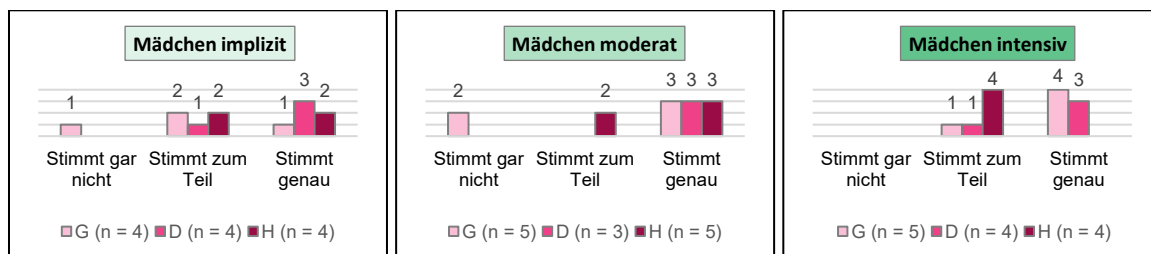


Abb. 126: Einschätzung der Mädchen zum Item „Ich habe die ganze Zeit darüber nachgedacht, wie das Kurbelkarussell funktioniert.“

7.6.2.7 Darlegung und Interpretation der Befunde: Intrinsische Motivation und situationales Interesse

In der Einschätzung der intrinsischen Motivation zeigen sich trotz der Abweichungen im Kompetenzerleben und der wahrgenommenen kognitiven Belastung keine treatment-spezifischen Unterschiede. Unabhängig vom Grad der Lernunterstützung geben alle Lernenden an, dass ihnen die Bearbeitung der Forscherfragen Freude bereitet hat (s. Abb. 127).

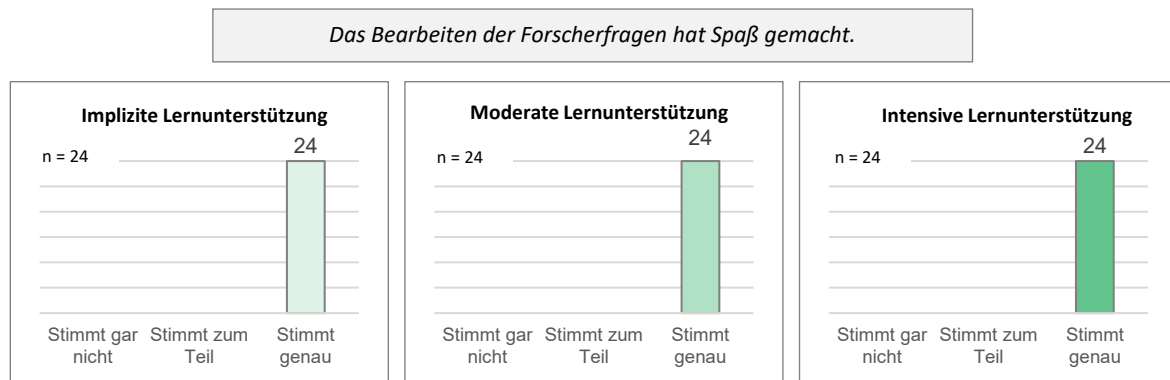


Abb. 127: Einschätzung des Lernerlebens - Intrinsische Motivation

Dies scheint vor allem auf die anregungsreiche Lernumgebung zurückzuführen zu sein. Das Lernangebot zum Kurbelkarussell weckt die Neugier der Lernenden und bietet ihnen vielfältige Handlungsmöglichkeiten, wie sie im regulären Unterricht häufig nicht vorzufinden sind. Im Hinblick auf die Umsetzung technikbezogener Lehr-Lernsituationen ist dies ein ermutigender Befund. Zeigt sich doch, dass bei entsprechender Aufbereitung des Lerngegenstandes, die Auseinandersetzung mit technischen Lerninhalten sowohl von Schülern als auch von Schülerinnen als anregend und motivierend empfunden wird.

Auch Lernende, die sich im Lernprozess als stärker kognitiv belastet und als weniger kompetent erleben, teilen dennoch diese positive Grundeinschätzung. Die Beeinträchtigung des Kompetenzerlebens scheint somit nicht so stark ausgeprägt, als dass daraus negative Auswirkungen auf die Motivation resultieren.

Im Hinblick auf das situationale Interesse werden allerdings treatmentsspezifische Auffälligkeiten erkennbar (s. Abb. 128 und 129).

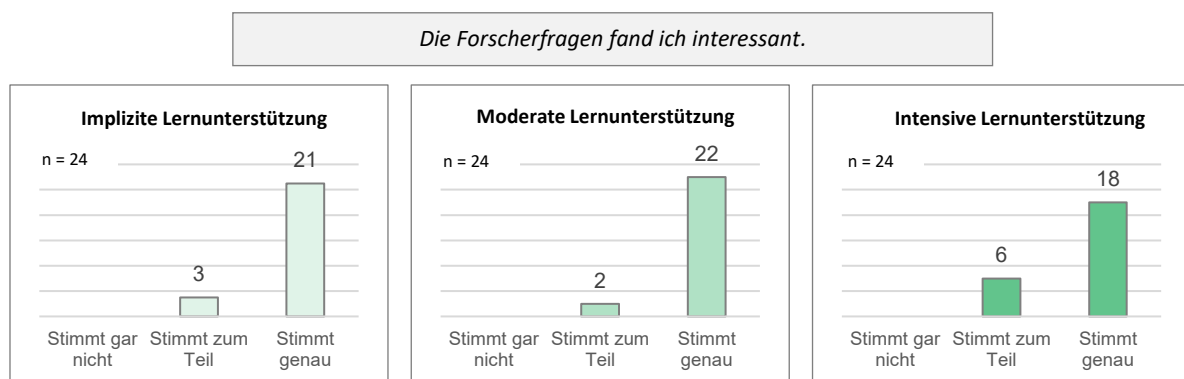


Abb. 128: Einschätzung des Lernerlebens: Situationales Interesse – Interessantheit

Ich würde gerne noch mehr über das Thema erfahren.

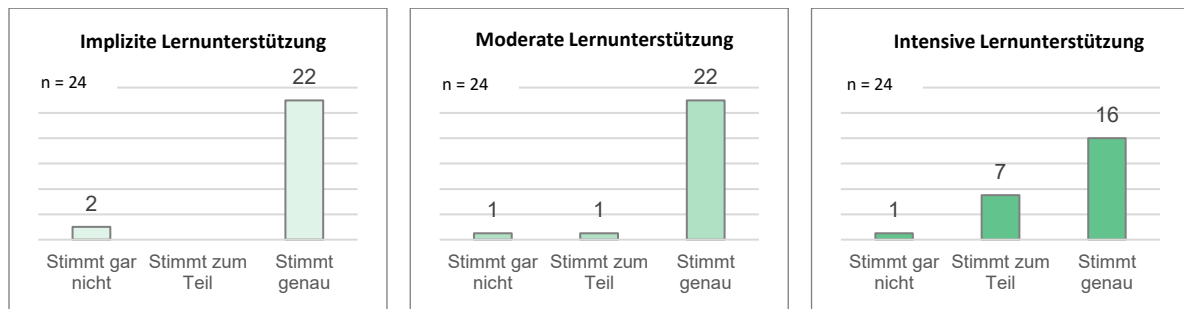


Abb. 129: Einschätzung des Lernerlebens: Situationales Interesse - Weitere Auseinandersetzung

Bei intensiver Lernunterstützung geben weniger Lernende an, den Lerngegenstand interessant zu finden und noch mehr über das Thema erfahren zu wollen. Es handelt sich dabei sowohl um Jungen als auch um Mädchen (s. Abb. 130).

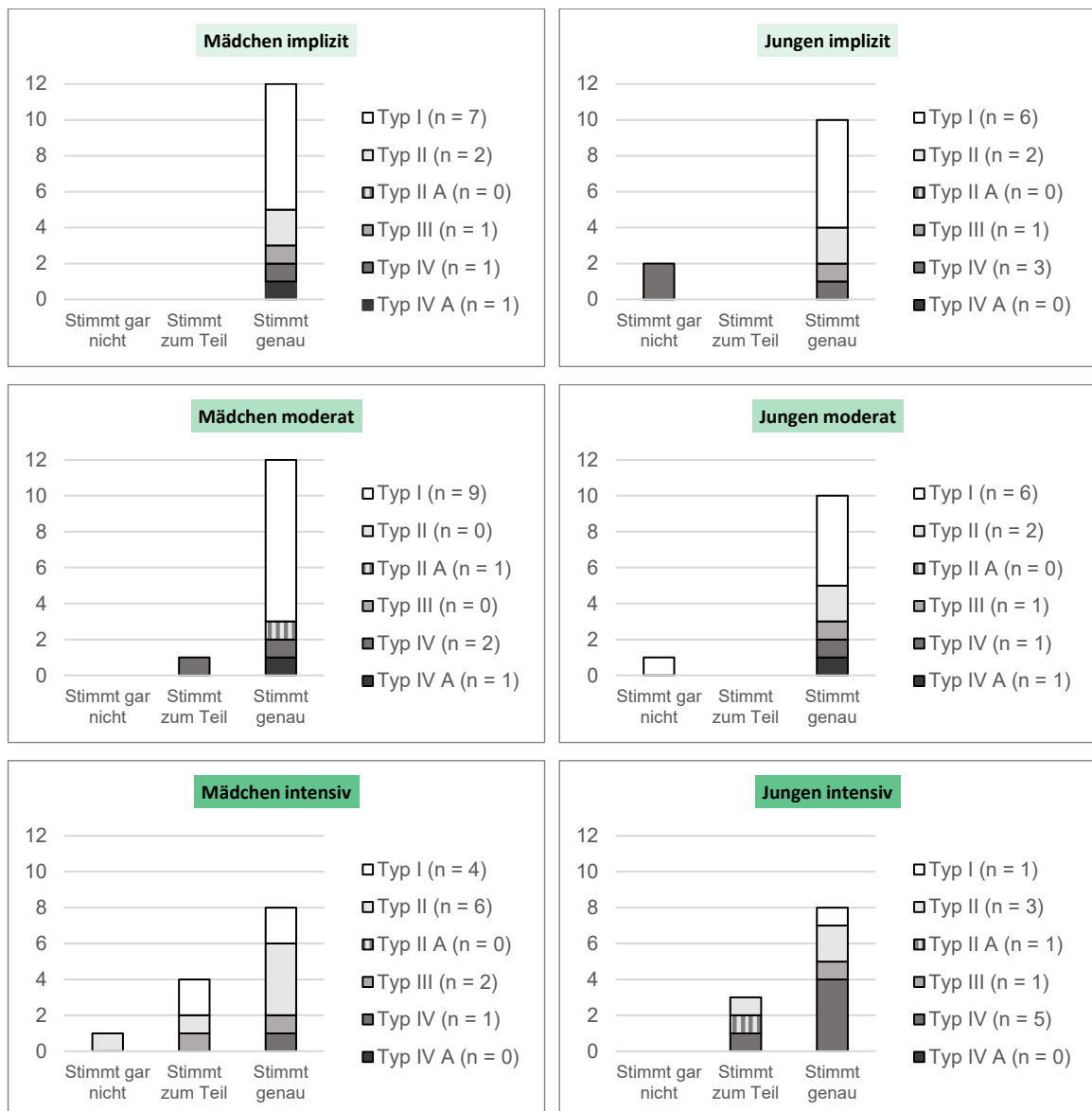


Abb. 130: Einschätzungen zum Item „Ich würde gerne noch mehr über das Thema erfahren.“

Während auf Seiten der Jungen allerdings auch bei impliziter und moderater Lernunterstützung ähnliche Abweichungen vorliegen, zeigen sich auf Seiten der Mädchen Unterschiede zur impliziten und moderaten Lernunterstützung. Schülerinnen der intensiven Lernunterstützung schätzen ihr situationales Interesse geringer ein als Schülerinnen in der impliziten und moderaten Bedingung.

Im Hinblick auf die Typen des Lernerlebens zeigt sich dabei insgesamt, dass abweichende Einschätzungen tendenziell häufiger von den Lernenden vorgenommen werden, die sich als stärker kognitiv belastet und weniger kompetent wahrnehmen (Typen II-IV). Dies trifft auch auf die Schülerinnen der intensiven Unterstützungsbedingung zu. Es schätzen sich allerdings auch zwei Schülerinnen als weniger interessiert ein, die sich als kompetent und nicht belastet wahrgenommen haben.

Betrachten wir die individuellen Lernvoraussetzungen, wird erkennbar, dass die Schülerinnen, die sich bei intensiver Lernunterstützung als weniger interessiert erleben, mehrheitlich über hohe und durchschnittliche kognitive Lernvoraussetzungen verfügen (s. Abb. 131). Darunter befinden sich auch die Schülerinnen mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen (s. Abb. 132).

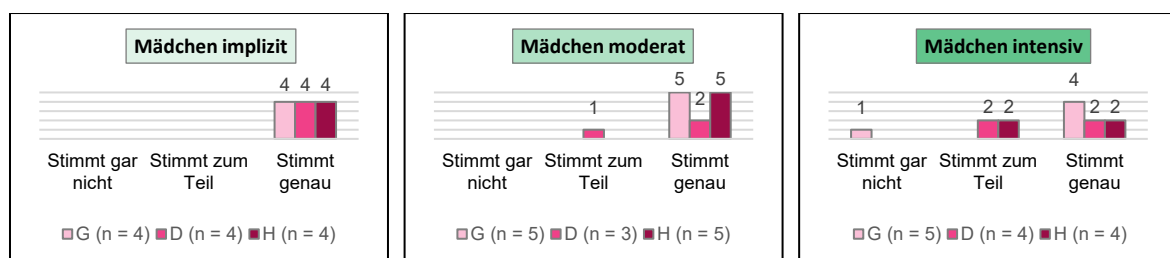


Abb. 131: Einschätzung der Mädchen zum Item „Ich würde gerne noch mehr über das Thema erfahren.“

Die hier erkennbaren tendenziellen Abweichungen lassen den Rückschluss zu, dass sich ein zu hohes Maß an Lernunterstützung bei Schülerinnen mit hohen kognitiven Lernvoraussetzungen oder hohem inhaltsspezifischem Wissen negativ auf das situationale Interesse auswirkt. Gemäß der Selbstbestimmungstheorie der Motivation ist dies auf die geringen Freiheitsgrade und die nicht optimale Passung zwischen Herausforderung und Unterstützung zurückzuführen (vgl. Deci & Ryan, 1993). Schülerinnen mit ausgeprägten kognitiven Lernvoraussetzungen und hohen inhaltsspezifischen Vorkenntnissen scheinen bei intensiver Lernunterstützung zu wenig Gelegenheit zu erhalten, sich als autonom und selbstwirksam zu erleben. Dies beeinflusst die Entstehung und Entwicklung des gegenstandsbezogenen Interesses (vgl. Hartinger, 2022; Krapp, 2005). Die Schülerinnen bringen dem Lerngegenstand weniger Interesse entgegen und sind dementsprechend weniger motiviert, sich weiterführend mit den Lerninhalten auseinanderzusetzen. Auch wenn die hier erkennbaren Abweichungen sich als gering erweisen, kommt ihnen aus pädagogischer und didaktischer Perspektive eine zentrale Bedeutung zu. So betont Hartinger (2022), dass „das situationale Interesse [...] einen wichtigen, vermutlich sogar unabdingbaren Ausgangspunkt für die Entwicklung eines individuellen Interesses [bildet]“ (S. 114). Da Mädchen sozialisationsbedingt ohnehin über ein geringes Technikinteresse verfügen, erscheint es umso wichtiger, dieses im Unterricht zu fördern und weiterzuentwickeln. Bedeutend ist dabei, dass die Beschäftigung mit technischen Lerninhalten mit positiven

Gefühlen verbunden ist (vgl. Hartinger, 2022). In Anbetracht der Befunde zur intrinsischen Motivation scheint dies auch bei intensiver Lernunterstützung grundlegend gegeben, wird aber durch die instruktionale Umsetzung beeinträchtigt.

Auf Seiten der Schüler zeigen sich hingegen bei intensiver Lernunterstützung trotz der Einschränkungen im Kompetenzerleben keine Beeinträchtigungen des situationalen Interesses. Dies scheint darauf zurückzuführen zu sein, dass Jungen aufgrund ihrer spezifischen Sozialisationsbedingungen bereits ein individuelles Interesse an technischen Lerninhalten entwickeln konnten. Diese interessenbezogenen Dispositionen scheinen so stabil, dass sie nicht durch instruktionale Passungsprobleme beeinflusst werden. Auch bei Schülern mit hohem inhaltsspezifischem Vorwissen, die sich mehrheitlich als zum Teil belastet und zum Teil kompetent erleben, zeigen sich keine negativen Zusammenhänge zum situationalen Interesse (s. Abb. 132).

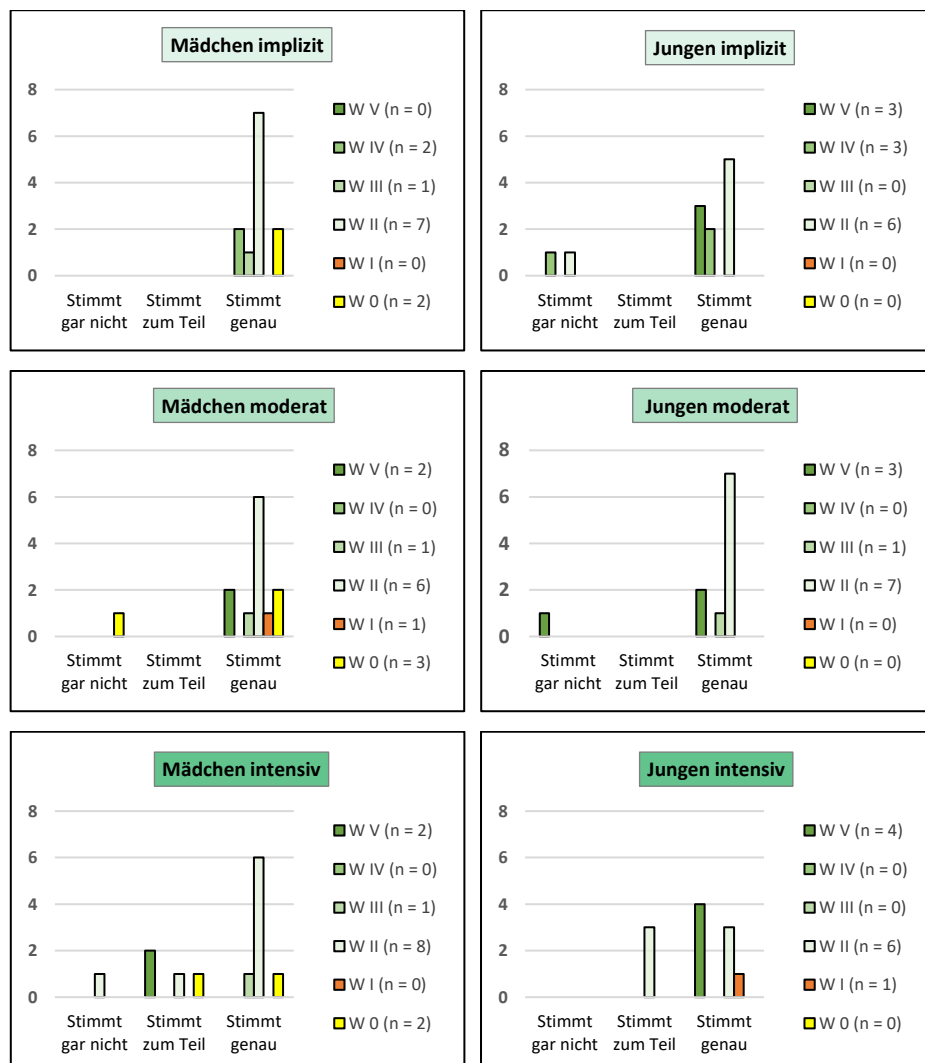


Abb. 132: Einschätzung zum Item „Ich würde gerne noch mehr über das Thema erfahren“ - Lernende mit unterschiedlichen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen

7.6.3 Zusammenfassung und Diskussion der Gesamtbefunde

Im Rahmen der vorliegenden Teilstudie wurde untersucht, wie sich verschiedene Grade der Lernunterstützung bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen auf die Lernergebnisse und das Lernerleben von Schülerinnen und Schülern aus dritten Grundschulklassen auswirken. Unter Berücksichtigung der erkenntnisleitenden und der konkretisierten Forschungsfragen werden in diesem Kapitel die zentralen Ergebnisse zusammengefasst und diskutiert. Dabei wird auch auf die Limitationen dieser Untersuchung eingegangen. Die abgeleiteten lerntheoretischen und unterrichtspraktischen Implikationen werden vorgestellt. Abschließend wird die forschungsmethodische Umsetzung reflektiert.

Die Ergebnisse der qualitativen Wirkanalyse zeigen, dass sich die verschiedenen Grade der Lernunterstützung in unterschiedlicher Weise auf die Lernergebnisse und das Lernerleben der Schülerinnen und Schüler auswirken. Bei intensiver Lernunterstützung werden treatmentspezifische Unterschiede erkennbar, die einerseits auf eine kognitive Passung der Lernunterstützungsmaßnahmen, andererseits auf motivational-affektive Passungsprobleme hindeuten (vgl. Stark et al., 1998). Während sich die intensive Lernunterstützungsbedingung im Hinblick auf die Erfassung der technischen Funktionsprinzipien und einen nachhaltigen Wissensaufbau als vorteilhaft erweist, zeigen sich in Bezug auf das Lernerleben einschränkende Befunde.

Bei der Ergebnisinterpretation bleibt allerdings zu berücksichtigen, dass die ermittelten Befunde nicht verallgemeinerbar sind, sondern vielmehr eine „lokale Lehr-Lern-Theorie“ darstellen (Prediger et al., 2012, S. 455). Die Kontextgebundenheit ist für Entwicklungsforschungsprojekte charakteristisch und muss auch im Rahmen der vorliegenden Teilstudie beachtet werden. So beziehen sich die hier ermittelten Befunde auf einen bestimmten Lerngegenstand, auf spezifische Lernunterstützungsmaßnahmen und letztlich auch auf die jeweils ausgewählten Schülerinnen und Schüler. Aufgrund der geringen Stichprobengröße können zudem keine Aussagen zur Repräsentativität und statistischen Signifikanz getroffen werden (vgl. Kap. 4.2.4). Die ermittelten Befunde liefern allerdings konkrete Einblicke in die individuellen Lernprozesse und legen offen, welche Unterschiede sich in Abhängigkeit vom Grad der Lernunterstützung in den Lernergebnissen und im Lernerleben von Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen zeigen. Auf dieser Basis lassen sich zum einen begründete Hypothesen für breiter angelegte quantitative Wirkstudien und zum anderen Impulse zur Unterrichtsgestaltung generieren.

7.6.3.1 Lerntheoretische Implikationen

Die hier ermittelten Befunde liefern erste Erkenntnisse zur differenziellen Wirkung unterschiedlich intensiver Lernunterstützungsgrade beim frühen technischen Lernen.

Auffällig erscheinen diesbezüglich vor allem die geschlechtsspezifischen Unterschiede in der Einschätzung des Lernerlebens. Das verstärkte Problematisieren, Reflektieren, Modellieren und Zusammenfassen bei intensiver Lernunterstützung scheint die Jungen eher zu verunsichern und beeinträchtigt ihr Kompetenzerleben. Bei den Mädchen zeigen sich dagegen tendenziell Auswirkungen auf das empfundene situationale Interesse.

Darüber hinaus verdeutlichen die Ergebnisse allerdings auch, dass neben den sozialisationsbedingt vorliegenden Unterschieden in den technikbezogenen Kompetenzen auch die individuellen kognitiven Lernvoraussetzungen berücksichtigt werden müssen. So zeigt sich, dass Mädchen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen sowohl im Hinblick auf die inhaltsspezifischen Lernergebnisse als auch hinsichtlich des Lernerlebens in besonderer Weise von dem hohen Maß an Lernunterstützung profitieren.

Auf Seiten der Jungen wird erkennbar, dass vor allem Schüler mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen auf ein hohes Maß an Lernunterstützung angewiesen sind, um einen nachhaltigen Lernzuwachs zu erzielen.

Anhand der ermittelten geschlechts- und lernvoraussetzungsspezifischen Auffälligkeiten lassen sich verschiedene Hypothesen zur Wirkung unterschiedlicher Lernunterstützungsgrade ableiten, die Anknüpfungsmöglichkeiten für weiterführende Untersuchungen im Bereich des technischen Lernens bieten (s. Tab. 88).

Tab. 88: Hypothesen zur Wirkung verschiedener Lernunterstützungsgrade im Bereich des technischen Lernens

I.	Auf Seiten der Mädchen zeigen sich positive Zusammenhänge zwischen dem Maß an Lernunterstützung und den inhaltsspezifischen Lernergebnissen.
I.I	Mädchen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen profitieren in besonderer Weise von einem hohen Maß an Lernunterstützung.
I.II	Mädchen mit geringen inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen profitieren in besonderer Weise von einem hohen Maß an Lernunterstützung.
II.	Auf Seiten der Jungen zeigen sich positive Zusammenhänge zwischen dem Maß an Lernunterstützung und der Nachhaltigkeit der inhaltsspezifischen Lernergebnisse.
II.I	Jungen mit geringen kognitiven Lernvoraussetzungen profitieren in besonderer Weise von einem hohen Maß an Lernunterstützung.
III.	Auf Seiten der Mädchen zeigen sich negative Zusammenhänge zwischen dem Maß an Lernunterstützung und dem empfundenen situationalen Interesse.
III.I	Vor allem bei Mädchen mit hohen und durchschnittlichen kognitiven Lernvoraussetzungen wirkt sich ein hohes Maß an Lernunterstützung negativ auf das empfundene situationale Interesse aus.
III.II	Vor allem bei Mädchen mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen wirkt sich ein hohes Maß an Lernunterstützung negativ auf das empfundene situationale Interesse aus.
IV.	Auf Seiten der Jungen zeigen sich negative Zusammenhänge zwischen dem Maß an Lernunterstützung und dem Kompetenzerleben.
IV.I	Vor allem bei Jungen mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen wirkt sich ein hohes Maß an Lernunterstützung negativ auf das Kompetenzerleben aus.

Im Hinblick auf die kognitiven Lernergebnisse decken sich die hier ermittelten Befunde im Kern mit den bisherigen Forschungsergebnissen. So scheinen insbesondere Lernende mit ungünstigeren kognitiven und inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen von einem hohen Maß an Lernunterstützung zu profitieren, während Lernende mit günstigen Lernvoraussetzungen weniger auf Lernunterstützung angewiesen sind (vgl. Möller, 2016). Betrachten wir allerdings

die Befunde zum Lernerleben so zeigt sich, dass bei einem zu hohen Maß an Lernunterstützung motivational-affektive Passungsprobleme erkennbar werden. „Ein ,immer mehr = immer besser““ scheint hier insbesondere für Lernende mit günstigen Lernvoraussetzungen nicht zuzutreffen (Kunter & Ewald, 2016, S. 25). Diese Befundlage kann zum einen auf die besonderen Lernausgangslagen im Bereich des technischen Lernens zurückgeführt werden. So verfügen die Jungen sozialisationsbedingt über ein ausgeprägtes technikbezogenes Selbstkonzept, was sich anscheinend nicht ohne Weiteres mit einem hohen Maß an Lernunterstützung vereinbaren lässt. Zum anderen scheint relevant, dass im Zuge der vorliegenden Untersuchung nicht nur inhaltlich strukturierende, sondern auch kognitiv aktivierende Lernunterstützungsmaßnahmen eingesetzt wurden (vgl. Möller et al., 2002). Es ist davon auszugehen, dass diese besonderen Anregungen zum vertieften Nachdenken bei Lernenden mit günstigen Lernvoraussetzungen eher zu Verunsicherung und Demotivation führen, da hier die erforderliche moderate Diskrepanz zwischen der zu bewältigenden Aufgabe und dem Fähigkeitsniveau nicht gegeben ist (vgl. Stark et al., 1998). Dies scheint insbesondere auf Lernende mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen zuzutreffen.

Da die Befunde zudem den interpretativen Rückschluss zulassen, dass mit Zunahme der kognitiven Aktivierung auch die kognitive Belastung ansteigt, erscheint es zielführend, in weiteren Erhebungen die Wirkung der einzelnen Lernunterstützungsmaßnahmen genauer zu untersuchen. Auf diese Weise kann gezielt ermittelt werden, welche Wirkung sich auf die strukturierenden und aktivierenden Maßnahmen zurückführen lässt. Im Hinblick auf die kognitive Aktivierung erscheint relevant zu überprüfen, inwiefern die folgenden sechs Hypothesen verifiziert werden können (s. Tab. 89).

Tab 89: Hypothesen zur Wirkung der kognitiven Aktivierungsmaßnahmen

I.	Es bestehen positive Zusammenhänge zwischen dem Maß an kognitiver Aktivierung und dem inhaltsspezifischen Lernzuwachs.
I.I	Kognitive Aktivierungsmaßnahmen wirken sich positiv auf die Nachhaltigkeit des inhaltsspezifischen Lernzuwachses aus.
II.	Es bestehen positive Zusammenhänge zwischen dem Maß an kognitiver Aktivierung und der kognitiven Belastung der Lernenden.
II.I	In Abhängigkeit von den inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen resultiert das erhöhte Belastungserleben aus den initiierten Lernprozessen oder aus kognitiven Passungsproblemen.
III.	In Abhängigkeit von den inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen wirken sich kognitive Aktivierungsmaßnahmen differenziell auf das Kompetenzerleben aus.
III.I	Vor allem bei Lernenden mit inhaltsspezifischen Vorkenntnissen zeigen sich negative Zusammenhänge zwischen dem Maß an kognitiver Aktivierung und dem Kompetenzerleben.

7.6.3.2 Unterrichtspraktische Implikationen

Die ermittelten Befunde konkretisieren, wie es gelingen kann, frühe technikbezogene Lernprozesse angemessen zu fördern. Am Beispiel des Lehr-Lernarrangements zum Kurbelkarussell wird deutlich, welches Maß an Lernunterstützung sich zur Erreichung kognitiver und motivational-affektiver Lernziele individuell als lernwirksam erweist. Erkennbar wird dabei vor allem auch, inwieweit es erforderlich ist, das Maß an Unterstützung und Verantwortungsübernahme zu variieren. Auf dieser Basis lassen sich konkrete Hinweise und Handlungsempfehlungen zu einer gendersensiblen und adaptiven Unterrichtsgestaltung ableiten, die den Prinzipien des Scaffoldings entsprechen (vgl. Kap. 3.3). Dabei wird grundlegend deutlich, dass neben der Förderung der Mädchen auch die Bedürfnisse der Jungen nicht außer Acht gelassen werden sollten. Dies darf allerdings nicht zu einer Pauschalisierung oder gar zu einer Verstärkung der Geschlechterstereotype führen. Es geht vielmehr darum, die sozialisationsbedingt vorliegenden geschlechtsspezifischen Unterschiede „anzuerkennen, an sie anzuknüpfen und alle Lernenden bestmöglich zu fördern“ (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2022, S. 17). Zu berücksichtigen bleiben dabei immer auch die individuellen Lernausgangslagen.

In Anbetracht der motivational-affektiven Passungsprobleme erscheint es erforderlich, die intensiven Lernunterstützungsmaßnahmen anzupassen. Die Befunde lassen den Rückschluss zu, dass insbesondere den Jungen, aber auch Mädchen mit hohen inhaltsspezifischen und kognitiven Lernvoraussetzungen mehr Freiheitsgrade eingeräumt werden müssen. Gemäß der Konzeption des Scaffoldings scheint für diese Lernenden die individuelle und situationale Passung (Contingency) nicht gegeben, sodass eine allmähliche Verringerung (Fading) und die Rückgabe der Verantwortung (Transfer of responsibility) ermöglicht werden sollten (vgl. van de Pol et al., 2010). Grundsätzlich muss dabei aber berücksichtigt werden, dass sich das hohe Maß an Lernunterstützung und somit auch die damit verbundenen Maßnahmen durchaus positiv auf den Lernzuwachs, die Nachhaltigkeit der Lernergebnisse und die Transferfähigkeit auswirken. Anstelle einer allgemeinen Reduzierung sollten die verwendeten Lernunterstützungsmaßnahmen daher vielmehr so eingesetzt und angepasst werden, dass sie den Lernenden auch die Möglichkeit eröffnen, sich als kompetent und selbstwirksam zu erleben.

Ein besonderes Augenmerk muss dabei auf die situationale und individuelle Passung des Problematisierens und Modellierens gelegt werden (s. Tab. 90, KA 2 und IS 7). So scheint es zielführend, die problematisierenden Nachfragen und die modellierenden Hilfestellungen adaptiv in individuellen Gesprächen einzusetzen. Diese Variation der Interaktionsqualität kann im Unterricht über die Einrichtung einer „Besprechungssecke“ oder einer „Besprechungszeit“ etabliert werden oder spontan erfolgen. Dabei sollte gewährleistet sein, dass sich einerseits die Lernenden die individuell erforderliche Unterstützung einholen können, andererseits aber auch die Lehrkraft gezielt Schülerinnen und Schüler zu einer Besprechungsrunde einladen kann. Darüber hinaus scheint es grundlegend bedeutsam, dass die Maßnahmen der Lernunterstützung nicht ausschließlich durch die Lehrperson umgesetzt und angeregt werden. Über die Dokumentationen in einem Forscherheft kann ein Teil der Verantwortung für den Lernprozess an die Lernenden zurückgegeben werden (s. Tab 90, IS 5). Der Vorteil ist hier

zudem, dass die Lehrkraft anhand der Einträge erkennt, inwieweit noch eine weitere Unterstützung oder Klärung erforderlich ist.

Im Hinblick auf die Reflexion der eigenen Lernwege scheint es vor allem für die Lernenden, die über inhaltspezifische Vorkenntnisse verfügen, elementar, auch darlegen zu können, was sie schon *richtig* erkannt haben. Bislang war der Fokus bei der reflektierenden Betrachtung der Sachzeichnungen auf die erforderlichen Änderungen gelegt worden (s. Tab. 90, KA 6). Eine Maßnahme, die bei Lernenden mit geringen inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen angemessen zu sein scheint. Bei Lernenden mit inhaltspezifischen Vorkenntnissen kann auf diese Weise allerdings auch der Eindruck entstehen, etwas nicht richtig gemacht zu haben, da sich bei ihnen keine Änderungen ergeben. Hieraus resultieren dann Beeinträchtigungen des Kompetenzerlebens.

Tab. 90: Optimierung und Anpassung der intensiven Lernunterstützungsmaßnahmen

	Kognitiv anregende (KA) und inhaltlich strukturierende (IS) Lernunterstützungsmaßnahmen (Adamina et al., 2017)	Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	Anpassungen nach Wirkanalyse
KA 6	Über Lerninhalte und -wege nachdenken	Die Lernenden erhalten ihre Sachzeichnung zurück und sollen benennen, ob und welche Änderungen sie nun vornehmen würden.	<i>Die Lernenden erhalten ihre Sachzeichnung zurück und halten im Forscherheft fest, was sie schon richtig erkannt haben und ob und welche Änderungen sie nun vornehmen würden.</i>
KA 2	Kognitive Konflikte auslösen	Die Lehrkraft problematisiert, indem sie auf Widersprüche und offene Fragen hinweist und Rückfragen stellt.	<i>Die Problematisierungen werden von der Lehrkraft adaptiv und optional eingesetzt.</i>
IS 5	Zusammenfassen	Die Lehrkraft fasst die Beiträge der Lernenden und bisherige Erkenntnisse zusammen.	<i>Die Lernenden erhalten ein Forscherheft und dokumentieren hier ihren Lernzuwachs. Sie stellen ihre Erkenntnisse im Plenum vor.</i>
IS 7	Modellieren	Die Lehrkraft agiert modellierend, indem sie laut denkt, Lösungen vorzeigt und erläutert: „Wenn ich den Riemen also so kreuze, dann ändert sich die Richtung.“	<i>Die Modellierungen werden von der Lehrkraft adaptiv und optional eingesetzt.</i>

Den Prinzipien der fachdidaktischen Entwicklungsforschung folgend gilt es nun, die angepassten Unterstützungsmaßnahmen auf ihre intendierte Nutzung hin zu untersuchen. Daran anschließend kann über eine erneute Wirkanalyse ermittelt werden, welche Änderungen sich im Hinblick auf die Lernergebnisse und das Lernerleben zeigen. Sollten die Befunde eine multikriteriale Zielerreichung bestätigen, kann der Transfer auf Klassenebene erfolgen. Neben den hier vorgestellten Anpassungen erscheint es dabei grundsätzlich auch denkbar, kooperative Lernformen einzusetzen, um die Eigenverantwortung der Lernenden zu stärken und ihnen mehr Freiheitsgrade einräumen zu können. Auf diese Weise würde auch die Unterrichtsführung entlastet. In Anbetracht der heterogenen Lernausgangslagen muss dabei aber ein besonderes Augenmerk auf die jeweiligen Gruppenkonstellationen und die initiierten Lernprozesse gerichtet werden. So scheint es vor allem im Hinblick auf das Kompetenzerleben relevant zu überprüfen, inwieweit sich die Durchführung des Unterrichts in

leistungsheterogenen Partnergruppen (Lerntandems) sowohl für Lernende mit günstigen als auch für Lernende mit ungünstigen Lernvoraussetzungen als vorteilhaft erweist. Berücksichtigt werden muss in diesem Zusammenhang vor allem, dass Mädchen in der Regel über ein geringes technikbezogenes Selbstkonzept verfügen und in Kooperationsphasen mit Jungen eher Assistenzrollen einnehmen (vgl. Hallström et al., 2015). Die bestehenden Geschlechterstereotype könnten so in ungünstiger Weise zusätzlich gestärkt werden.

Darüber hinaus scheint unklar, inwieweit die kognitive Aktivierung und inhaltliche Strukturierung durch einen Lernpartner in gleicher Weise lernwirksam wird wie durch den Austausch mit der Lehrkraft. Aus diesen Überlegungen ergeben sich vielfältige Ansatzpunkte für anschließende Teilstudien oder weiterführende Entwicklungsforschungsprojekte.

7.6.3.3 Reflexion des methodischen Vorgehens

Während die Lernwirksamkeit inhaltlicher Strukturierungsmaßnahmen für den naturwissenschaftlichen Sachunterricht bereits nachgewiesen werden konnte (vgl. Hardy et al., 2006), erwies sich die Befundlage im Bereich des technischen Lernens bislang als noch weitgehend ungeklärt. Im Rahmen der vorgenommenen ergebnis- und prozessorientierten Wirkanalyse wurde daher bewusst ein explorativer und hypothesengenerierender Forschungsansatz verfolgt. Ziel war es, erste Einblicke in die Wirkung verschiedener Grade an strukturierender und aktivierender Lernunterstützung im Bereich des frühen technischen Lernens zu gewinnen. Da sowohl die Maßnahmen zur inhaltlichen Strukturierung als auch die Maßnahmen zur kognitiven Aktivierung stets fach- und lerngegenstandsbezogen konkretisiert werden müssen, erschien es zielführend, Lehr-Lerntheorie und Unterrichtspraxis miteinander zu verknüpfen und somit den Prinzipien der Fachdidaktischen Entwicklungsforschung zu folgen (vgl. Prediger et al., 2012). Im Gegensatz zur reinen Grundlagenforschung umfasst die Entwicklungsforschung auch das anwendungsbezogene Gestalten von Unterricht. Von der reinen Anwendungsforschung unterscheidet sie sich wiederum durch die erkenntnisorientierte und forschungsgeleitete Ausrichtung (vgl. Einsiedler, 2011). Im Hinblick auf die grundlegende Forschungsfrage erwies sich der hier umgesetzte Zwischenschritt zwischen Grundlagen- und Anwendungsforschung als gewinnbringend. Auf Basis der Befunde konnten einerseits empirisch begründete Hypothesen zur Wirkung der tiefenstrukturellen Unterrichtsmerkmale und andererseits empirisch abgesicherte Handlungsempfehlungen zur Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis abgeleitet werden.

Im Folgenden wird näher auf die forschungsmethodische Umsetzung der ergebnis- und prozessorientierten Wirkanalyse eingegangen.

Wie bei Entwicklungsforschungsprojekten üblich, wurde die Wirkanalyse nicht im regulären Klassenunterricht, sondern in Kleingruppen durchgeführt. Unter diesen Bedingungen konnten die individuellen Lernprozesse beobachtet und kontrolliert werden. Bei der Auswahl der Lernenden wurde darauf geachtet, möglichst viele unterschiedliche Lernausgangslagen abbilden zu können. Neben dem Geschlecht wurden auch die kognitiven sowie die inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen der Lernenden berücksichtigt. Auf diese Weise konnten sehr konkrete Hinweise zur Wirkung der Maßnahmen abgeleitet werden. Allerdings erwies sich der Stichprobenumfang jeweils als sehr gering. Insbesondere die ermittelten

Befunde zu den kognitiven und inhaltsspezifischen Lernvoraussetzungen beziehen sich zum Teil lediglich auf eine Kleingruppe oder einzelne Lernende. Auch wenn Entwicklungsforschungsprojekte nicht den Anspruch auf Repräsentativität erheben, sollte dies zukünftig über eine höhere Anzahl von Treatmentgruppen optimiert werden. Auch im Rahmen der vorliegenden Studie waren ursprünglich jeweils fünf Treatmentgruppen angedacht. Pandemiebedingt musste hiervon allerdings abgesehen werden.

Die eingesetzten Methoden der Datenerhebung und -auswertung erwiesen sich als geeignet, um das motivational-affektive Lernerleben und die inhaltsspezifischen Lernergebnisse der Schülerinnen und Schüler zu erfassen.

Mithilfe der Sachzeichnungen gelang es den Lernenden auch im Post- und Follow-up-Test, ihre Vorstellungen zu den Forscherfragen darzulegen. Als äußerst gewinnbringend erwies sich die Weiterführung der im Rahmen der Pretestung entwickelten Kategoriensysteme. Auf diese Weise konnten die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet und generelle sowie individuelle Lernentwicklungsverläufe ermittelt werden. Zudem war es möglich, auch neue Konzepte und Vorstellungen der Lernenden zu berücksichtigen und weitere Kategorien einzupflegen.

Der angepasste Fragebogen zum Lernerleben konnte von den Lernenden ohne Schwierigkeiten genutzt werden. Als wichtig erwies sich allerdings dennoch, die jeweiligen Items vorzulesen und so auch direkt auf Fragen reagieren zu können. Die dreistufige Ratingskala wurde im Vorfeld bewusst gewählt, um den Lernenden die Einschätzung zu erleichtern. In Anbetracht der eingenommenen Tendenz zur Mitte erscheint es allerdings zielführend, eine Optimierung vorzunehmen und weitere Abstufungen (z.B. „Stimmt eher“ / „Stimmt eher nicht“) hinzuzunehmen. Auch hier sollte jedoch ergänzend zu den verbalen Beschreibungen das Daumensymbol eingesetzt werden.

Im Zuge der weiteren Optimierung des Erhebungsinstruments erscheint es zudem gewinnbringend, Items zum Autonomieerleben aufzunehmen. So können die hier bislang nur abgeleiteten Zusammenhänge direkt belegt werden. Herausfordernd wird es allerdings sein, die Formulierung der Items so anzupassen, dass ihr semantischer Kern von Schülerinnen und Schülern der Grundschule erfasst werden kann. So scheinen die beiden im Fragebogen von Berger und Hänze (2004) genutzten Items nur schwer verständlich (s. Tab. 91).

Tab. 91: Items zur Erfassung des Autonomieerlebens und Anpassungsvorschläge

Items zur Erfassung des Autonomieerlebens (Berger & Hänze, 2004)	Vorschläge zur Anpassung der Items
Ich hatte die Möglichkeit, neue Bereiche eigenständig zu erkunden.	Ich hatte die Möglichkeit, mich eigenständig mit neuen Dingen zu beschäftigen.
Ich hatte das Gefühl, Entscheidungsspielräume zu haben.	Ich hatte das Gefühl, eigene Entscheidungen treffen zu können.

Inwieweit die vorgeschlagenen Anpassungen tatsächlich von den Lernenden nachvollzogen werden können und somit passende Operationalisierungen des Autonomieerlebens darstellen, sollte im Vorfeld überprüft werden. Dabei scheint es unerlässlich, die Lernenden direkt einzubeziehen und die vorgenommenen Einschätzungen erläutern zu lassen. Entscheidend ist

dabei zu klären, wie Grundschulkinder das Wort „eigenständig“ deuten und was genau sie damit verbinden.

Die Erhebung der Sozialen Eingebundenheit scheint im Kontext des Forschungsprojektes LERNnetze bislang verzichtbar, da die Sozialformen hier nicht variieren. Sollte allerdings in Folgeerhebungen die Lernwirksamkeit kooperativer Lernformen untersucht werden, ist eine weitere Ergänzung erforderlich (vgl. Kap. 7.6.3.2). Eine Anpassung der von Berger und Hänze (2004) genutzten Items muss in diesem Fall nicht vorgenommen werden, da davon auszugehen ist, dass sie auch von Lernenden der Grundschule erfasst werden können (s. Tab. 92).

Tab. 92: Items zur Erfassung der Sozialen Eingebundenheit

Items zur Erfassung der Sozialen Eingebundenheit (Berger & Hänze, 2004)
Ich empfand die Stimmung als sehr angenehm.
Ich hatte das Gefühl dazuzugehören.

Um den im Rahmen des Forschungsprojektes LERNnetze angepassten und im Hinblick auf die Variablen des Lernerlebens und die Ratingskala nachträglich optimierten Fragebogen zum Lernerleben auch für weiterführende quantitative Forschungszwecke einsetzen zu können, müssen die eingesetzten Kurzskalen allerdings erneut im Hinblick auf ihre interne Konsistenz und Dimensionalität überprüft werden (vgl. Berger & Hänze, 2004).

Die im Rahmen der typenbildenden qualitativen Inhaltsanalyse vorgenommene Fokussierung des Kompetenzerlebens und der kognitiven Belastung erwies sich als zielführend. Anhand dieser beiden Variablen des Lernerlebens konnte die differenzielle Wirkung der unterschiedlichen Lernunterstützungsgrade konkretisiert werden. Zudem wurde erkennbar, welche tendenziellen Zusammenhänge sich zwischen der Typenzugehörigkeit und den weiteren Variablen des Lernerlebens zeigen. Bei der Interpretation der Daten bleibt allerdings grundsätzlich zu berücksichtigen, dass den polythetischen Typen jeweils unterschiedliche Fälle angehören, deren Einschätzungsverhalten variiert. Die zugehörigen Fälle sind somit nicht vollkommen identisch, sondern einander nur sehr ähnlich. Im Zuge der Erhebung konnten auf Basis dieser zusammenfassenden Betrachtungsweise aber grundlegende treatmentspezifische Muster identifiziert werden, die Anhaltspunkte für weiterführende Forschungsprojekte liefern. Anzumerken bleibt, dass die Aussagekraft der hier ermittelten Befunde durch einen Abgleich mit den motivational-affektiven technikbezogenen Lernvoraussetzungen erhöht werden könnte. Um eine Aktivierung der Stereotype zu vermeiden, wurde dies in der Pretestung bewusst nicht umgesetzt. In Anbetracht der erkennbaren geschlechterstereotypen Unterschiede sollte dieses Vorgehen auch beibehalten werden. Ergänzend könnten aber im Nachgang der Erhebung Einzelinterviews mit Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden, deren Einschätzungen Auffälligkeiten zeigen. Auf diese Weise könnten die Befunde ergänzt und exemplarisch die Hintergründe der vorgenommenen Einschätzungen ermittelt werden.

Auf diese Weise würde dann auch Näheres zu den Lernenden des Typs III in Erfahrung gebracht werden können, die sich unabhängig von der Treatmentbedingung als nicht kognitiv belastet, aber dennoch nur zum Teil kompetent wahrnehmen.

8 Schlussbetrachtung und Ausblick

Reusser (2011) bezeichnet die allgemein zunehmende Heterogenität der Lernenden als didaktisches Schlüsselproblem, dem nicht allein über eine schulartenbezogene, äußere Differenzierung begegnet werden kann. Im Sinne einer adaptiven Unterrichtsgestaltung gilt es vielmehr „eine optimale Passung des Unterrichts an das Fassungsvermögen und an die Voraussetzungen der Lernenden“ zu gewährleisten (Reusser, 2011, S. 13).

Auf das frühe technische Lernen trifft dies in besonderer Weise zu. So kommt dem Sachunterricht als für alle verbindliches Unterrichtsfach die Aufgabe zu, Defizite in der Techniksozialisation auszugleichen und technikbezogene Kompetenzen aufzubauen. Dabei stellen nicht nur die sozialisationsbedingt vorliegenden inhaltsbezogenen Disparitäten, sondern vor allem auch die geschlechterstereotypen Unterschiede in den technikbezogenen Überzeugungen und Einstellungen eine besondere Herausforderung dar. Es bleibt zudem zu hinterfragen, wie die technischen Lerninhalte sowohl kind- als auch sachgerecht aufbereitet werden können.

Im Forschungsprojekt LERNnetze wurden diese fachdidaktischen Herausforderungen aufgegriffen und mit den Erkenntnissen der Lehr-Lernforschung verknüpft. Über die Entwicklung eines Lehr-Lernarrangements mit unterschiedlichen Graden an inhaltlich strukturierender und kognitiv aktivierender Lernunterstützung und die Erforschung der jeweils initiierten Lernprozesse konnten sowohl Erkenntnisse zur Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis als auch erste Einblicke in die lerntheoretischen Wirkzusammenhänge gewonnen werden.

Die Befunde belegen die mit der Gestaltung früher technikbezogener Lehr-Lernprozesse verbundene Komplexität, zeigen aber auch auf, wie es gelingen kann, die Schülerinnen und Schüler angemessen zu unterstützen.

Im Rahmen der Entwicklung des Lehr-Lernarrangements zum Kurbelkarussell wurde deutlich, wie bedeutsam es in diesem Zusammenhang ist, geplante unterrichtliche Maßnahmen im Hinblick auf mögliche Lernschwierigkeiten zu überprüfen. Auf diese Weise war es möglich, Hemmnisse in der Angebotsnutzung aufzudecken und Optimierungen vorzunehmen.

Die im Kontext der Teilstudie LERNnetze II ermittelten Befunde zeigen auf, wie unterschiedlich die inhaltspezifischen Lernvoraussetzungen der Schülerinnen und Schüler im Bereich des technischen Lernens ausgeprägt sind und konkretisieren somit die mit der Unterrichtsplanung und -durchführung verbundenen didaktischen Herausforderungen.

Die Ergebnisse der qualitativen Wirkanalyse belegen, dass aus diesen unterschiedlichen Lernvoraussetzungen ebenso unterschiedliche Lernbedürfnisse resultieren und liefern somit erste Erkenntnisse zur differenziellen Wirkung unterschiedlicher Lernunterstützungsgrade. Auf Basis dieser „lokalen Lehr-Lern-Theorie“ (Prediger et al., 2012, S. 455) lassen sich konkrete Handlungsmöglichkeiten zur individuellen Weiterentwicklung des Unterrichts ableiten. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der gendersensiblen Unterrichtsgestaltung zu. Zu berücksichtigen bleiben aber auch die individuellen Lernausgangslagen. So zeigt sich anhand der Befunde, dass auch die individuellen kognitiven Lernvoraussetzungen und das inhaltspezifische Vorwissen die individuellen Lernbedürfnisse entscheidend beeinflussen.

Um den unterschiedlichen Lernausgangslagen gerecht werden zu können, ist eine adaptive Unterrichtsgestaltung unumgänglich. Hierzu erscheint es aber nicht erforderlich, gänzlich unterschiedliche Unterrichtsangebote zu generieren. Entscheidend ist vielmehr die Variation der Interaktionsqualität (vgl. Kunter & Ewald, 2016). Wie dies umgesetzt werden kann, lässt sich anhand des entwickelten Lehr-Lernarrangements konkretisieren. Das im Rahmen des Forschungsprojekts entstandene „Entwicklungsprodukt“ kann somit konstruktiv zu einer Weiterentwicklung der Unterrichtspraxis beitragen (vgl. Prediger et al., 2012).

Nach weiterer Erprobung und entsprechendem Transfer auf Klassenebene kann das LERNNetz zum Kurbelkarussell im Unterricht eingesetzt werden. Im Rahmen dieses Transfers gilt es dann allerdings auch, die mit den Lehr-Lernarrangement verbundenen inklusionsdidaktischen Herausforderungen und Potenziale zu berücksichtigen. Kahlert und Heimlich (2012) zeigen anhand der Konzeption der *inklusionsdidaktischen Netze* auf, wie es gelingen kann, neben den fachlichen Lernmöglichkeiten auch kognitive, kommunikative, soziale, emotionale und sensomotorische Fördermöglichkeiten zu erschließen. Im Zuge der Unterrichtsplanung wird der Unterrichtsgegenstand hier nicht nur aus dem Blickwinkel der unterschiedlichen Fachperspektiven, sondern auch aus Perspektive der Entwicklungsbereiche der sonderpädagogischen Fachrichtungen entfaltet. Auch das LERNNetz zum Kurbelkarussell bietet vielfältige Ansatzpunkte zur individuellen Förderung (s. Abb. 133).

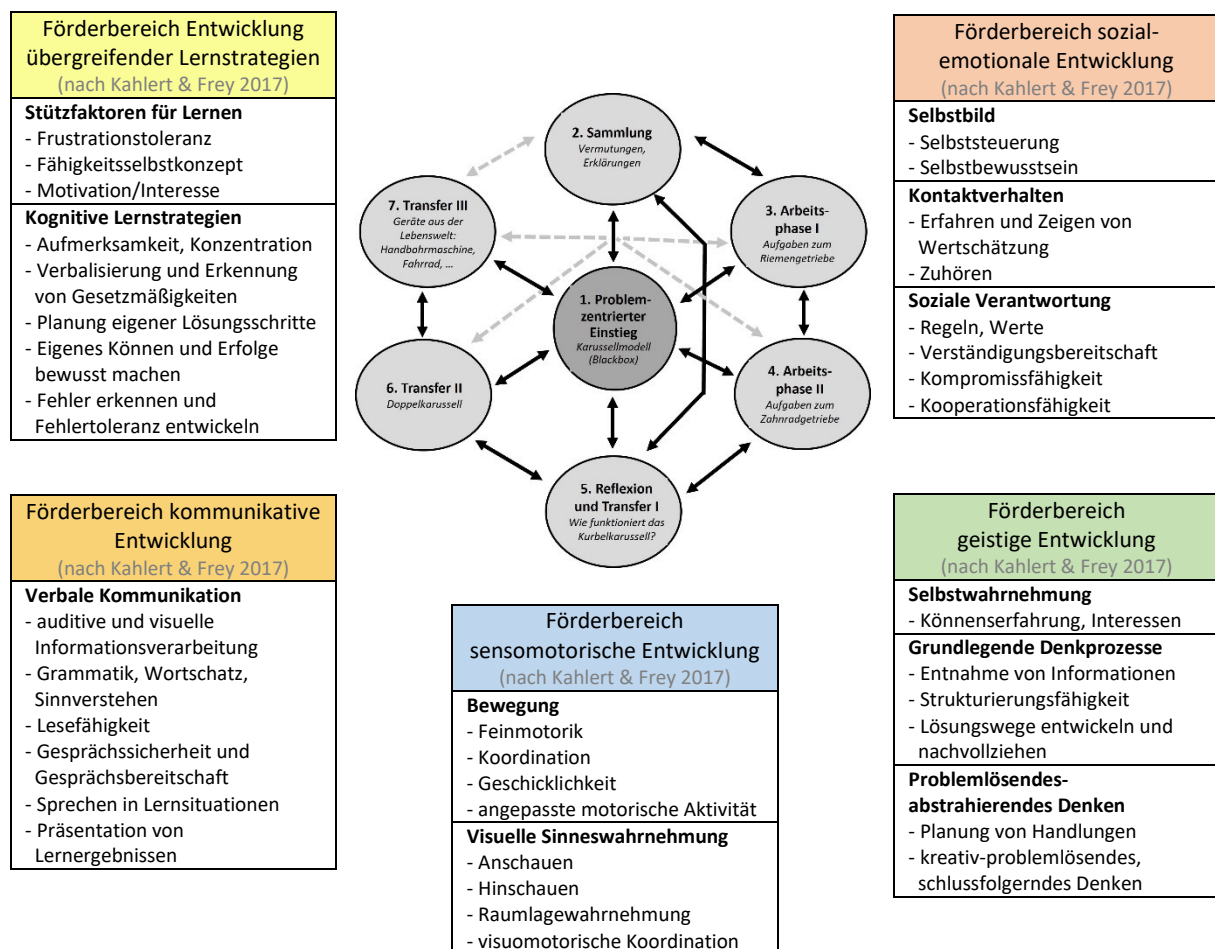


Abb. 133: Das LERNNetz zum Kurbelkarussell und die abgeleiteten entwicklungsorientierten Potenziale

Die hier abgeleiteten entwicklungsorientierten Potenziale des Lehr-Lernarrangements müssen allerdings in einem weiteren Schritt an die jeweiligen Lerngruppen und die einzelnen Schülerinnen und Schüler angepasst und entsprechend konkretisiert werden. Kahlert und Frey (2017) betonen, dass „nicht nur kein Kind ist wie ein anderes, sondern auch keine Klassenzusammensetzung mit ihren spezifischen Herausforderungen ist wie eine andere“ (S. 41). Es erscheint daher grundlegend gewinnbringend, die im Kontext des Forschungsprojektes entwickelten Materialien im Rahmen der Fort- und Weiterbildung von Sachunterrichtslehrkräften einzusetzen und es den Lehrpersonen auf diesem Wege auch zu ermöglichen, das LERNnetz zum Kurbelkarussell mit den eigenen Lerngruppen erproben und reflektieren zu können (vgl. Lipowsky & Rzejak, 2021).

Auf diese Weise kann zudem die Implementierung technikbezogener Lerninhalte unterstützt werden. Bislang sind technische Themen trotz curricularer Verankerung im Sachunterricht stark unterrepräsentiert (vgl. Mammes et al., 2022; Möller, Tenberge & Ziemann, 1996). Die Gründe hierfür sind nachvollziehbar. Viele Lehrkräfte kommen im Rahmen ihrer Ausbildung nicht mit technischen Themen in Kontakt und fühlen sich daher nicht kompetent, um diese im Unterricht zu vermitteln. Auch der Mangel an Unterrichtsmaterialien und die fehlende Ausstattung an den Schulen werden häufig als Ursachen benannt.

Die international festgelegten *Standards for Technological and Engineering Literacy* zielen hingegen darauf ab, jeden Menschen dazu zu befähigen, Technik zu verstehen, verantwortungsvoll zu nutzen und bewerten zu können (ITEEA, 2020). Zur Realisierung dieser Zielsetzung ist es erforderlich, bereits Kindern Gelegenheiten zur aktiven Auseinandersetzung mit Technik zu ermöglichen, die dazu beitragen, technische Kompetenzen aufzubauen, das technikbezogene Selbstkonzept zu stärken und Interesse an Technik zu wecken oder aufrechtzuerhalten.

Dies kann nur sichergestellt werden, wenn sowohl die Unterrichtsentwicklung als auch die Aus- und Weiterbildung der Lehrkräfte fokussiert und intensiviert werden.

Fachdidaktische Entwicklungsforschungsprojekte können hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten.

Literaturverzeichnis

- Adamina, M., Kübler, M., Kalcsics, K., Bietenhard, S. & Engeli, E. (2018). Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Themen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft - Einführung. In M. Adamina, M. Kübler, K. Kalcsics, S. Bietenhard & E. Engeli (Hrsg.), *"Wie ich mir das denke und vorstelle..."*. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft (S. 7–20). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Adamina, M., Möller, K., Steffensky, M., Sunder, C. & Wyssen, H.-P. (2017). *Maßnahmen der Lernunterstützung im naturwissenschaftlichen Sachunterricht - Kognitiv anregen und inhaltlich strukturieren*. VIU-Portal der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.
- Adenstedt, V. (2021). Attributionen von Grundschulkindern zur Erklärung von Leistungsergebnissen bei technischen Alltagsaufgaben. In B. Landwehr, I. Mammes & L. Murmann (Hrsg.), *Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt?* (S. 73–93). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Aebli, H. (1961). *Grundformen des Lehrens. Ein Beitrag zur psychologischen Grundlegung der Unterrichtsmethode*. Stuttgart: Klett.
- Aronson, J., Fried, C. B. & Good, C. (2002). Reducing the effects of stereotype threat on African American college students by shaping theories of intelligence. *Journal of Experimental Social Psychology*, 38(2), 113–125.
- Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-Based Research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1–14.
- Baumert, J. (1996). Technisches Problemlösen im Grundschulalter: Zum Verhältnis von Alltags- und Schulwissen. Eine kulturvergleichende Studie. In A. Leschinsky (Hrsg.), *Die Institutionalisierung von Lehren und Lernen. Beiträge zu einer Theorie der Schule* (Zeitschrift für Pädagogik, 34. Beiheft, S. 187–209). Weinheim: Beltz.
- Baumert, J. & Geiser, H. (1996). *Alltagserfahrungen, Fernsehverhalten, Selbstvertrauen, sachkundliches Wissen und naturwissenschaftlich-technisches Problemlösen im Grundschulalter: Bericht [Projekt CROSSTEL]*. Kiel: Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Berger, R. & Hänze, M. (2004). Das Gruppenpuzzle im Physikunterricht der Sekundarstufe II - Einfluss auf Motivation, Lernen und Leistung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 10, 205–219.
- Berliner, D. C. (2005). The near impossibility of testing for teacher quality. *Journal of Teacher Education*, 56(3), 205–213.
- Biester, W. (1991). Denken über Natur und Technik. In W. Biester (Hrsg.), *Denken über Natur und Technik. Zum Sachunterricht in der Grundschule* (S. 24–67). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Blumberg, E., Möller, K. & Hardy, I. (2004). Erreichen motivationaler und selbstbezogener Zielsetzungen in einem schülerorientierten naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht - Bestehen Unterschiede in Abhängigkeit der Leistungsstärke? In W. Bos, E. Lankes, N. Pläßmeier & K. Schwippert (Hrsg.), *Heterogenität - Eine Herausforderung an die empirische Bildungsforschung* (S. 41–55). Münster: Waxmann.

- Blumberg, E., Möller, K., Jonen, A. & Hardy, I. (2003). Multikriteriale Zielerreichung im naturwissenschaftsbezogenen Sachunterricht der Grundschule. In D. Cech & H.-J. Schwier (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht* (S. 77–92). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Brennan, R. L. & Prediger, D. J. (1981). Coefficient kappa: Some uses, misuses, and alternatives. *Educational and Psychological Measurement*, 41(3), 687–699.
- Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31, 21–32.
- Canning, E. A., Muenks, K., Green, D. J. & Murphy, M. C. (2019). STEM faculty who believe ability is fixed have larger racial achievement gaps and inspire less student motivation in their classes. *Science Advances*, 5(2).
Verfügbar unter: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aau4734>
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9–13.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt. (1992). The Jasper Series as an example of anchored instruction: Theory, program, description, and assessment data. *Educational Psychologist*, 27(3), 291–315.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 37–46.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing and mathematics. In L. B. Resnick (Hrsg.), *Knowing, learning, and instruction. Essays in honor of Robert Glaser* (S. 453–494). Hillsdale: Erlbaum.
- Cronbach, L. J. & Snow, R. (1977). *Aptitudes and instructional methods: A handbook for research on interactions*. New York: Irvington.
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- De Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201.
- Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung (Hrsg.). (2018). *Grundsatzpapier Nr. 1. Anliegen und Grundzüge Allgemeiner Technischer Bildung*. Berlin: Deutsche Gesellschaft für Technische Bildung e.V.
- Dölle, S. (2021a). LERNnetze - Lernunterstützung im technischen Sachunterricht. Erprobung kognitiv aktivierender und inhaltlich strukturierender Maßnahmen der Lernunterstützung und Überprüfung der Angebotsnutzung. In B. Landwehr, I. Mammes & L. Murmann (Hrsg.), *Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt?* (S. 51–72). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Dölle, S. (2021b). Technik erkunden und analysieren - Wie funktioniert das Kurbelkarussell? In K. Möller, C. Tenberge & M. Bohrmann (Hrsg.), *Die technische Perspektive konkret. Begleitband 5 zum Perspektivrahmen Sachunterricht* (S. 163–175). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Dölle, S. (2023). Lernunterstützung im technischen Sachunterricht: Eine perspektiven-spezifische Herausforderung. In D. Schmeinck, K. Michalik & T. Goll (Hrsg.), *Herausforderungen und Zukunftsperspektiven für den Sachunterricht* (S. 188–195). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschafts-
didaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 41(6), 905–923.
- Dweck, C. S. & Leggett, E. L. (1988). A social-cognitive approach to motivation and personality. *Psychological Review*, 95(2), 256–273.
- Einsiedler, W. (2011). Was ist Didaktische Entwicklungsforschung? In W. Einsiedler (Hrsg.), *Unterrichtsentwicklung und Didaktische Entwicklungsforschung* (S. 41–70). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Einsiedler, W. & Hardy, I. (2010). Kognitive Strukturierung im Unterricht: Einführung und Begriffserklärungen. *Unterrichtswissenschaft*, 38(3), 194–209.
- Fauth, B., Decristan, J., Rieser, S., Klieme, E. & Büttner, G. (2014a). Grundschulunterricht aus Schüler-, Lehrer- und Beobachterperspektive: Zusammenhänge und Vorhersage von Lernerfolg. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28(3), 127–137.
- Fauth, B., Decristan, J., Rieser, S., Klieme, E. & Büttner, G. (2014b). Student ratings of teaching quality in primary school. Dimensions and prediction of student outcomes. *Learning and Instruction*, 29, 1–9.
- Flehsig, K.-H. (1991). *Kleines Handbuch didaktischer Modelle*. Nörten-Hardenberg: Zentrum für didaktische Studien e.V.
- Gabriel, K. (2014). *Videobasierte Erfassung von Unterrichtsqualität im Anfangsunterricht der Grundschule. Klassenführung und Unterrichtsklima in Deutsch und Mathematik*. Kassel: university press.
- Gabriel-Busse, K., Pereira Kastens, C. & Kucharz, D. (2018). Fachspezifisch oder nicht? - Eine Studie zur Analyse der Binnenstruktur des Selbstkonzepts Sachunterricht. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 11(2), 333–348.
- Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (Hrsg.). (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Gilbert, A.-F. (2021). Zum Verhältnis von Gender und Technik. Wege zu einer gendersensiblen Technischen Bildung. In M. Müller & S. Schumann (Hrsg.), *Technische Bildung. Stimmen aus Forschung, Lehre und Praxis* (S. 69–88). Münster: Waxmann.
- Gold, A. (2015). *Guter Unterricht. Was wir wirklich darüber wissen*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Gruber, H., Mandl, H. & Renkl, A. (2000). Was lernen wir in Schule und Hochschule: Träges Wissen? In H. Mandl & J. Gerstenmaier (Hrsg.), *Die Kluft zwischen Wissen und Handeln. Empirische und theoretische Lösungsansätze* (S. 139–156). Göttingen: Hogrefe.
- Guest, G., MacQueen, K. M. & Namey, E. E. (2012). *Applied Thematic Analysis*. Thousand Oaks: SAGE Publications.
- Hallström, J., Elvstrand, H. & Hellberg, K. (2015). Gender and technology in free play in Swedish early childhood education. *International Journal of Technology and Design Education*, 25(2), 137–149.
- Hardy, I., Jonen, A., Möller, K. & Stern, E. (2006). Effects of instructional support within constructivist learning environments for elementary school students' understanding of "floating and sinking". *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 307–326.
- Hart, S. G. (2006). NASA-TASK LOAD INDEX (NASA-TLX); 20 years later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(9), 904–908.

- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Hrsg.), *Human mental workload* (S. 139–183). Amsterdam: North Holland Press.
- Harteringer, A. (2022). Interessen entwickeln. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Harteringer, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (3., überarbeitete Aufl., S. 126–130). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Heinzel, F. (2000). Methoden und Zugänge der Kindheitsforschung im Überblick. In F. Heinzel (Hrsg.), *Methoden der Kindheitsforschung. Ein Überblick über Forschungszugänge zur kindlichen Perspektive* (S. 21–36). Weinheim und München: Juventa.
- Helmke, A. (2010). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität. Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts* (3. Aufl.). Seelze: Klett-Kallmeyer.
- Höfer, D., Loleit, P., Steffens, U. & Diehl, G. (2010). *Kompetenzorientiertes Unterrichten nach dem neuen Kerncurriculum für Hessen. Ein Text für die interessierte Öffentlichkeit*. Wiesbaden: Hessisches Kultusministerium. Institut für Qualitätsentwicklung.
- Hoffmann, L., Häußler, P. & Peters-Haft, S. (1997). *An den Interessen von Mädchen und Jungen orientierter Physikunterricht*. Kiel: Institut für Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Hopf, C. & Schmidt, C. (1993). *Zum Verhältnis von innerfamilialen sozialen Erfahrungen, Persönlichkeitsentwicklung und politischen Orientierungen: Dokumentation und Erörterung des methodischen Vorgehens in einer Studie zu diesem Thema*. Verfügbar unter: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-456148>
- Hußmann, S., Thiele, J., Hinz, R., Prediger, S. & Ralle, B. (2013). Gegenstandsorientierte Unterrichtsdesigns entwickeln und erforschen. Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. In M. Komorek & S. Prediger (Hrsg.), *Der lange Weg zum Unterrichtsdesign. Zur Begründung und Umsetzung fachdidaktischer Forschungs- und Entwicklungsprogramme* (S. 25–42). Münster: Waxmann.
- International Technology and Engineering Educators Association (Hrsg.). (2020). *Standards for technological and engineering literacy. The role of technology and engineering in STEM education*: International Technology and Engineering Educators Association.
- Jonen, A. & Möller, K. (2005). *Die KiNT-Boxen - Kinder lernen Naturwissenschaft und Technik*. Klassenkisten für den Sachunterricht. Band 1: Schwimmen und Sinken. Essen: Spectra.
- Kahlert, J. (2001). Sachverhalte in unterschiedlichen Perspektiven entfalten - der fächerübergreifende Anspruch im Sachunterricht. *Sache-Wort-Zahl*, 29(40), 47–51.
- Kahlert, J. (2016). *Der Sachunterricht und seine Didaktik* (4., aktualisierte Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kahlert, J. & Frey, A. (2017). Wie inklusiv kann Schule sein - und werden? Anmerkungen zu einer ideologieanfälligen Debatte. In F. Hellmich & E. Blumberg (Hrsg.), *Inklusiver Unterricht in der Grundschule* (S. 34–49). Stuttgart: Kohlhammer.
- Kahlert, J. & Heimlich, U. (2012). Inklusionsdidaktische Netze - Konturen eines Unterrichts für alle (dargestellt am Beispiel des Sachunterrichts). In U. Heimlich & J. Kahlert (Hrsg.), *Inklusion in Schule und Unterricht. Wege zur Bildung für alle* (S. 153–190). Stuttgart: Kohlhammer.
- Kahlert, J. & Zierer, K. (2011). Didaktische Entwicklungsforschung aus Sicht der pragmatischen Entwicklungsarbeit. In W. Einsiedler (Hrsg.), *Unterrichtsentwicklung und Didaktische Entwicklungsforschung* (S. 71–87). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Kaiser, A. (1986). Arbeiten - ein Thema für Jungen und Mädchen im Grundschulalter? *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 82(2), 132–147.

- Khacharem, A., Zoudji, B. & Kalyuga, S. (2015). Expertise reversal for different forms of instructional designs in dynamic visual representations. *British Journal of Educational Technology*, 46(4), 756–767.
- Kirschner, P. A., Sweller, J. & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching, 41(2), 75–86.
- Kleickmann, T. (2012). *Kognitiv aktivieren und inhaltlich strukturieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht*. Handreichung des Programms SINUS an Grundschulen. Kiel: Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften und der Mathematik (IPN).
- Klieme, E. (2006). Empirische Unterrichtsforschung: aktuelle Entwicklungen, theoretische Grundlagen und fachspezifischen Befunde. Einführung in den Thementeil. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 765–773.
- Klieme, E., Schümer, G. & Knoll, S. (2001). Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I: "Aufgabekultur" und Unterrichtsgestaltung im internationalen Vergleich. In E. Klieme & J. Baumert (Hrsg.), *TIMSS - Impulse für Schule und Unterricht* (S. 43–57). Forschungsbefunde, Reforminitiativen, Praxisberichte und Video-Dokumente. Bonn: Bildungsministerium für Bildung und Forschung.
- Köhnlein, W. (2012). *Sachunterricht und Bildung*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Krapp, A. (2005). Basic needs and the development of interest and intrinsic motivational orientations. *Learning and Instruction*, 15, 381–395.
- Kuckartz, U. (2018). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (4. Aufl.). Weinheim: Beltz Juventa.
- Kunter, M. & Baumert, J. (2011). Das COACTIV-Forschungsprogramm zur Untersuchung professioneller Kompetenz von Lehrkräften - Zusammenfassung und Diskussion. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 345–366). Münster: Waxmann.
- Kunter, M. & Ewald, S. (2016). Bedingungen und Effekte von Unterricht: Aktuelle Forschungsperspektiven aus der pädagogischen Psychologie. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. Gebauer & F. Schwabe (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (S. 9–31). Münster: Waxmann.
- Kunter, M. & Voss, T. (2011). Das Modell der Unterrichtsqualität in COACTIV: Eine multikriteriale Analyse. In M. Kunter, J. Baumert, W. Blum, U. Klusmann, S. Krauss & M. Neubrand (Hrsg.), *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV* (S. 85–113). Münster: Waxmann.
- Landwehr, B., Mammes, I. & Murmann, L. (2021). Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule - elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt. In B. Landwehr, I. Mammes & L. Murmann (Hrsg.), *Technische Bildung im Sachunterricht der Grundschule. Elementar bildungsbedeutsam und dennoch vernachlässigt?* (S. 7–10). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Lipowsky, F. (2007). Was wissen wir über guten Unterricht? Im Fokus: die fachliche Lernentwicklung. *Friedrich-Jahresheft*, 25, 26–30.
- Lipowsky, F. (2020). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S. 69–118). Berlin: Springer.

- Lipowsky, F., Rakoczy, K., Pauli, C., Drollinger-Vetter, B., Klieme, E. & Reusser, K. (2009). Quality of geometry instruction and its short-term impact on students' understanding of the Pythagorean Theorem. *Learning and Instruction*, 19(6), 527–537.
- Lipowsky, F. & Rzejak, D. (2021). *Fortbildungen für Lehrpersonen wirksam gestalten. Ein praxisorientierter und forschungsgestützter Leitfaden*. Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- Lotz, M., Gabriel, K. & Lipowsky, F. (2013). Niedrig und hoch inferente Verfahren der Unterrichtsbeobachtung. Analysen zu deren gegenseitiger Validierung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 59(3), 357–380.
- Mammes, I., Zolg, M. & Dölle, S. (2022). Technische Aspekte. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (3., überarbeitete Aufl., S. 157–163). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Mandl, H. (2010). Lernumgebungen problemorientiert gestalten - Zur Entwicklung einer neuen Lernkultur. In E. Jürgens & J. Standop (Hrsg.), *Was ist "guter" Unterricht? Namhafte Expertinnen und Experten geben Antwort* (S. 19–38). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59(1), 14–19.
- Meschede, N., Steffensky, M., Wolters, M. & Möller, K. (2015). Professionelle Wahrnehmung der Lernunterstützung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. Theoretische Beschreibung und empirische Erfassung. *Unterrichtswissenschaft*, 43(4), 317–335.
- Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). (2022). *Pädagogische Orientierung für eine geschlechtersensible Bildung an Schulen in Nordrhein-Westfalen*. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/q/upload/Gender/Padagogische_Orientierung_2022_web.pdf
- Möller, K. (1991). *Handeln, Denken und Verstehen. Untersuchungen zum naturwissenschaftlichen Sachunterricht in der Grundschule*. Essen: Westarp.
- Möller, K. (1998). Kinder und Technik. In H. Brügelmann (Hrsg.), *Kinder lernen anders. Von der Schule - in der Schule*. (S. 89–106). Lengwil: Libelle.
- Möller, K. (2001). Konstruktivistische Sichtweisen für das Lernen in der Grundschule? In H.-G. Roßbach, K. Nölle & K. Czerwenka (Hrsg.), *Forschungen zu Lehr- und Lernkonzepten für die Grundschule* (Jahrbuch Grundschulforschung, Bd. 4, S. 16–31). Opladen: Leske+Budrich.
- Möller, K. (2016). Bedingungen und Effekte qualitätsvollen Unterrichts - ein Beitrag aus fachdidaktischer Perspektive. In N. McElvany, W. Bos, H. G. Holtappels, M. Gebauer & F. Schwabe (Hrsg.), *Bedingungen und Effekte guten Unterrichts* (S. 43–64). Münster: Waxmann.
- Möller, K. (2019). Lernen von Naturwissenschaften heißt: Vorstellungen verändern. In P. Labudde & S. Metzger (Hrsg.), *Fachdidaktik Naturwissenschaft. 1.-9. Schuljahr* (3. Aufl., S. 59–74). Bern: Haupt.
- Möller, K. (2020). Technisches Lernen im Sachunterricht. Kinder - Sachen - Welten. *Grundschulmagazin*, (6), 7–11.
- Möller, K., Jonen, A., Hardy, I. & Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. In M. Prenzel & J. Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen* (S. 176–191). Weinheim: Beltz.

- Möller, K., Tenberge, C. & Ziemann, U. (1996). *Technische Bildung im Sachunterricht. Eine quantitative Studie zur Ist-Situation an nordrhein-westfälischen Grundschulen*. Münster: Westfälische Wilhelms-Universität, Institut für Forschung und Lehre für die Primarstufe, Abteilung Didaktik des Sachunterrichts.
- Möller, K. & Wyssen, H.-P. (2018). Technische Entwicklungen und Umsetzungen erschließen - und dabei Schülervorstellungen berücksichtigen. In M. Adamina, M. Kübler, K. Kalcsics, S. Bietenhard & E. Engeli (Hrsg.), *"Wie ich mir das denke und vorstelle..."*. Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zu Lerngegenständen des Sachunterrichts und des Fachbereichs Natur, Mensch, Gesellschaft (S. 157–174). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Palincsar, A. S. (1998). Social constructivist perspectives on teaching and learning. *Annual Review of Psychology*, 49, 345–375.
- Pauli, C. & Reusser, K. (2006). Von international vergleichenden Video Surveys zur videobasierten Unterrichtsforschung und -entwicklung. *Zeitschrift für Pädagogik*, 52(6), 774–798.
- Piaget, J. (1985). *The equilibration of cognitive structures*. Chicago: University of Chicago Press.
- Pintrich, P. R., Marx, R. W. & Boyle, R. A. (1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167–199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accomodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227.
- Praetorius, A.-K., Pauli, C., Reusser, K., Rakoczy, K. & Klieme, E. (2014). One lesson is all you need? Stability of instructional quality across lessons. *Learning and Instruction*, 31, 2–12.
- Prediger, S., Link, M., Hinz, R., Hußmann, S., Thiele, J. & Ralle, B. (2012). Lehr-Lernprozesse initiieren und erforschen - Fachdidaktische Entwicklungsforschung im Dortmunder Modell. *MNU*, 65(8), 452–457.
- Prenzel, M., Eitel, F., Holzbach, F., Schoenheinz, R.-J. & Schweiberer, L. (1993). Lernmotivation im studentischen Unterricht in der Chirurgie. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 7(2/3), 125–137.
- Reinmann, G. & Mandl, H. (2006). Unterrichten und Lernumgebungen gestalten. In A. Krapp & B. Weidenmann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (5. Aufl., S. 613–658). Weinheim: Beltz.
- Reiser, B. J. (2004). Scaffolding complex learning: The mechanisms of structuring and problematizing student work. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 273–304.
- Renkl, A. (2015). Drei Dogmen guten Lernens und Lehrens: Warum sie falsch sind. *Psychologische Rundschau*, 66(4), 211–220.
- Renkl, A. (2020). Wissenserwerb. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (3. Aufl., S. 3–24). Berlin: Springer.
- Renkl, A., Gruber, H., Weber, S., Lerche, T. & Schweizer, K. (2003). Cognitive Load beim Lernen aus Lösungsbeispielen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 17(2), 93–101.
- Reusser, K. (2006). Konstruktivismus - vom epistemologischen Leitbegriff zur Erneuerung der didaktischen Kultur. In M. Baer, M. Fuchs, P. Füglistner, K. Reusser & H. Wyss (Hrsg.), *Didaktik auf psychologischer Grundlage. Von Hans Aebli's kognitionspsychologischer Didaktik zur modernen Lehr-Lernforschung* (S. 151–168). Bern: hep.
- Reusser, K. (2011). Von der Unterrichtsforschung zur Unterrichtsentwicklung - Probleme, Strategien, Werkzeuge. In W. Einsiedler (Hrsg.), *Unterrichtsentwicklung und Didaktische Entwicklungsforschung* (S. 11–40). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

- Reusser, K. & Pauli, C. (2010). Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität - Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht: Einleitung und Überblick. In K. Reusser, C. Pauli & M. Waldis (Hrsg.), *Unterrichtsgestaltung und Unterrichtsqualität - Ergebnisse einer internationalen und schweizerischen Videostudie zum Mathematikunterricht* (S. 9–32). Münster: Waxmann.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik* (3., überarbeitete Aufl.). Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions. *Contemporary Educational Psychology*, 25(1), 54–67.
- Schmayl, W. & Wilkening, F. (1995). *Technikunterricht* (2., überarb. und erw. Aufl.). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schuster, M. (2000). *Psychologie der Kinderzeichnung* (3., überarbeitete Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1991). Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. *Educational Technology*, 31(5), 24–33.
- Spreckelsen, K. (1992). Weltverstehen im Sachunterricht und Selbständigkeitsentwicklung. *Grundschule*, 24(9), 30–32.
- Spreckelsen, K. (1997). Wie Grundschulkinder physikalische Phänomene verstehen. *Grundschule*, 29(10), 18–19.
- Stark, R., Gruber, H. & Mandl, H. (1998). Motivationale und kognitive Passungsprobleme beim komplexen situierten Lernen. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 44, 202–215.
- Stern, E. (2003). Kompetenzerwerb in anspruchsvollen Inhaltsgebieten bei Grundschulkindern. In D. Cech & H.-J. Schwier (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht* (S. 37–58). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
- Sweller, J., VanMerriënboer, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Thomas, B. (2022). Vielperspektivischer Sachunterricht. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. Miller & S. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (3., überarbeitete Aufl., S. 269–276). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Ullrich, H. (1994). Mein Fahrrad. Zur Entwicklung des technischen Denkens beim Kind. *Grundschule*, 26(9), 16–19.
- Ullrich, H. & Klante, D. (1994). *Technik im Unterricht der Grundschule*. Villingen-Schwenningen: Neckar-Verlag.
- Van de Pol, J., Volman, M. & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher-student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271–296.
- Vincent, S. & Janneck, M. (2012). Das Technikbezogene Selbstkonzept von Frauen und Männern in technischen Berufsfeldern: Modell und empirische Anwendung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns*, 5(1), 53–67.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society. The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wagenschein, M. (1971). *Die Pädagogische Dimension der Physik* (3. ergänzte Aufl.). Braunschweig: Westermann.

- Wiesemann, J. & Wille, F. (2014). *Formate didaktischer Forschung zum Sachunterricht*. Widerstreit Sachunterricht: 20. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.25673/92478>
- Wild, K.-P. (2000). Der Einfluss von Unterrichtsmethoden und motivationalen Orientierungen auf das kognitive Engagement im Berufsschulunterricht. In R. Duit & C. von Rhöneck (Hrsg.), *Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung* (S. 35–54). Kiel: IPN-Report Nr. 169.
- Wittmann, E. C. (1995). Mathematics education as a 'design science'. *Educational Studies in Mathematics*, 29(4), 355–374.
- Witzel, A. (2000). Das problemzentrierte Interview. *Forum Qualitative Sozialforschung*, 1(1). Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0114-fqs0001228>.
- Wodzinski, R. (2006). *Lernschwierigkeiten erkennen - verständnisvolles Lernen fördern*. Beschreibung des Naturwissenschaftsmoduls G4. SINUS-Transfer Grundschule. Kiel: IPN.
- Wood, D., Bruner, J. S. & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17(2), 89–100.
- Ziefle, M. & Jakobs, E.-M. (2009). *Wege zur Technikfaszination. Sozialisationsverläufe und Interventionszeitpunkte*. Berlin: Springer.
- Zohar, A. & Dori, Y. J. (2003). Higher order thinking skills and low-achieving students: Are they mutually exclusive? *The Journal of the Learning Sciences*, 12(2), 145–181.
- Zolg, M. (1997). Zur Notwendigkeit technischer Elementarbildung. *Die Grundschulzeitschrift*, (108), 6–11.
- Zolg, M. (2001). Vorstellungen zur Alltagstechnik. Haushalt als Erfahrungsfeld für Technik: Theorien und Gedanken von Kindern zum Aufbau und zur Funktionsweise des Staubsaugers. *Grundschulunterricht*, 48(2), 19–24.
- Zolg, M. (2014). Das eigene Fahrrad zeichnen. Die Sachzeichnung als Spiegel des kindlichen Denkens. *Weltwissen Sachunterricht*, (1), 40–42.
- Zolg, M. & Dölle, S. (2021). Sachzeichnen - ein Medium des technischen Denkens. In K. Möller, C. Tenberge & M. Bohrmann (Hrsg.), *Die technische Perspektive konkret. Begleitband 5 zum Perspektivrahmen Sachunterricht* (S. 191–204). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

ANHANG

A 1	Unterrichtsmaterial LERNnetze I: IMPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG	208
A 2	Unterrichtsmaterial LERNnetze I: MODERAT EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG	211
A 3	Unterrichtsmaterial LERNnetze I: INTENSIV EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG	215
A 4	Beobachtungsmanual zur Überprüfung der Angebotsnutzung: IMPLIZITE Lernunterstützungsmaßnahmen	220
A 5	Beobachtungsmanual zur Überprüfung der Angebotsnutzung: MODERAT EXPLIZITE Lernunterstützungsmaßnahmen	225
A 6	Beobachtungsmanual zur Überprüfung der Angebotsnutzung: INTENSIV EXPLIZITE Lernunterstützungsmaßnahmen	227
A 7	Erhebungsbogen zur Erfassung der sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen	230
A 8	Erhebungsbogen zur Erfassung der bereits behandelten Unterrichtsinhalte	232
A 9	Interviewleitfaden Pretest	233
A 10	Erhebungsbögen Pretest	234
A 11	Unterrichtsmaterial LERNnetze III: IMPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG	237
A 12	Unterrichtsmaterial LERNnetze III: MODERAT EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG	241
A 13	Unterrichtsmaterial LERNnetze III: INTENSIV EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG	245
A 14	Auszug aus dem Forscherheft: Aufgaben zum Riemengetriebe	250
A 15	Beobachtungsbogen zur Kontrolle der Treatmentbedingungen: IMPLIZITE Lernunterstützung	255
A 16	Beobachtungsbogen zur Kontrolle der Treatmentbedingungen: MODERAT EXPLIZITE Lernunterstützung	258
A 17	Beobachtungsbogen zur Kontrolle der Treatmentbedingungen: INTENSIV EXPLIZITE Lernunterstützung	262
A 18	Interviewleitfaden Posttest	267
A 19	Interviewleitfaden Follow-up-Test	268
A 20	Interviewleitfaden Transferaufgaben und Reproduktionsaufgabe	269
A 21	Erhebungsbögen Posttest und Follow-up-Test	270
A 22	Erhebungsbögen Transferaufgaben und Reproduktionsaufgabe	273
A 23	Fragebogen zum Lernerleben	275
A 24	Zusammensetzung der Treatment- und der Kontrollgruppe	276
A 25	Krankheitsbedingte Nachtestungen LERNnetze III	277
A 26	Abgleich der Ergebnisse: Lerngruppen 4, 6 und 10	277

A 1 Unterrichtsmanual LERNnetze I: IMPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Zeit	Phase	Verhalten der Lehrperson (L) / Erwartetes Verhalten der Schülerinnen und Schüler (S)	Sozialform	Medien & Materialien
(ca. 5 Min.)	Begrüßung und Vorstellung	L. stellt sich und das Projekt kurz vor. L.: „Mein Name ist Frau Dölle. Ich bin Grundschullehrerin, arbeite zurzeit aber an der Universität mit Student/-innen zusammen, die Lehrer/-in werden wollen. Zu meiner Arbeit gehört es zu überlegen, welche Themen man im Sachunterricht mit Grundschulkindern bearbeiten kann. Eine meiner Ideen haben wir euch heute mitgebracht und mit euch wollen wir diesen Unterrichtsvorschlag nun ausprobieren. Damit wir gut beobachten können, ob sich die Idee eignet, habe ich zwei Studierende mitgebracht, die euch bei der Bearbeitung der Aufgaben beobachten und sich dazu auch etwas notieren werden.“ L. stellt die Studierenden vor. L.: „Wie ihr schon gemerkt habt, arbeiten wir nicht mit der ganzen Klasse zusammen, sondern mit Kleingruppen. Es wäre toll, wenn ihr den anderen, die morgen (übermorgen) an der Reihe sind und auch den anderen dritten Klassen noch nichts darüber verraten würdet, was ihr hier kennengelernt und vor allem, was ihr hier herausgefunden habt.“ Verteilung der Namensschilder	Sitzkreis	Namensschilder
(ca. 5 Min.)	Problemzentrierter Einstieg	L. präsentiert Blackbox. L.: „Was könnte das sein?“ (Hinführung zu „Kurbelkarussell“) L.: „Was passiert, wenn ich an der Kurbel drehe?“ (L. dreht an der Kurbel) L.: „Wie ist das zu erklären?“ / „Wieso dreht sich das Karussell (Zeigen: Da), wenn ich (Zeigen: Hier) an der Kurbel drehe?“ „Was befindet sich wohl in der Kiste?“ L. zeigt Schilder mit Forscherauftrag und erster Forscherfrage. L.: „Ihr sollt heute herausfinden, wie das Kurbelkarussell funktioniert. Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ S. äußern erste Ideen.	Gelenktes Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell (Übersetzung 1:1 / Gleiche Drehrichtung) Schilder mit Forscherauftrag und erster Forscherfrage
(ca. 10 Min.)	Anfertigung Sachzeichnung	L.: „Ihr habt ja schon ganz interessante und unterschiedliche Ideen – prima!“ „Du sollst nun eine Zeichnung anfertigen und deine Vermutungen hier in den Karussellumriss einzeichnen.“ „Beschrifte deine Zeichnung zusätzlich, dann verstehen wir besser, was genau du meinst.“ S. fertigen Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an. S. erläutern Sachzeichnung.	Einzelarbeit	Vorlage Sachzeichnung, Bleistifte, Radiergummi
(ca. 10 Min.)	Vertiefung der Problemstellung	L.: „Es gibt beim Kurbelkarussell noch mehr zu entdecken – ich bin gespannt, ob ihr herausfindet, was sich verändert.“ Umstellung Kurbelkarussell: Übersetzung ins Schnelle / Übersetzung ins Langsame Drehrichtungswechsel S. melden sich und teilen Beobachtungen mit.	Gelenktes Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Kurbelkarussell, Schilder mit weiteren Forscherfragen

			L: „Es kommen also noch zwei Forscherfragen dazu: Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“ L: „Um die Forscherfragen beantworten zu können, habe ich euch Aufgaben und Materialien mitgebracht, die ich euch nun vorstelle.“ L. erläutert und verweist auf Karten und Materialien: 1 + 2 und die entsprechenden Modelle. L: „Bei Aufgabe 1 geht es um Versuche mit diesen Riemenscheiben, bei Aufgabe 2 geht es um Zahnräder. Bleiben wir erst einmal bei den Aufgaben 1. Es gibt drei Aufgaben: A, B und C. Im Aufgabenteil 1 A geht es um die Richtung, in die sich die zweite Scheibe dreht. (Zeigen der Symbolkarte) . Bei Aufgabe B geht es darum, wie oft sich die zweite Scheibe dreht.“ (Zeigen der Symbolkarte) L: „Im Aufgabenteil C sollt ihr selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen.“ L. zeigt die entsprechenden Materialien. L: „Die genauen Aufgaben sind auf diesen Karten notiert. Wichtig ist, dass ihr die Aufgaben gut durchlest, bevor ihr mit dem Arbeiten beginnt! Dieser Smiley zeigt dir, bis wohin du erst einmal lesen musst, bevor du mit dem Arbeiten beginnst.“ L: „Die Materialien zum Bauen findest du immer neben den Aufgaben.“ Tüteninhalt (A) ausschütten und gemeinsam betrachten. L: „Diese Zangen helfen dir, wenn du die roten Mittelstücke nicht mehr herausbekommen solltest.“ (Zeigen)	Halbkreis vor der Materialtheke	Schilder: 1/2/A/B/C Modelle Riemenscheiben und Zahnräder / „Mini-Karussell“ Materialtüten und -boxen Aufgabenkarten
(ca. 10 Min.)	Einführung Erläuterung Arbeitsauftrag		L: „Die Aufgaben A, B und C sind bei Aufgabe 2 genau gleich, hier benutzt du statt der Scheiben aber Zahnräder. Wer kann die unterschiedlichen Aufgaben A, B und C noch einmal für die Aufgaben mit den Zahnrädern vorstellen?“ S. erläutern Aufgaben und die Vorgehensweise.		S.O.
(ca. 5 Min.)	Einführung Wiederholung Arbeitsauftrag			Einzelarbeit	Aufgabenkarten und Materialboxen, bzw. -tüten Ausmalbild und Wortsuchrätsel als zeitl. Differenzierung
(ca. 60 Min.)	Erarbeitung Arbeitsphase		S. bearbeiten die unterschiedlichen Aufgabenformate. L. kontrolliert und gibt optional Hilfestellung, z.B. beim Überprüfen der Drehzahl.		

(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen A	L: „Ihr habt die Aufgaben ganz wunderbar bearbeitet.“ L: „Was meint ihr, können uns die Aufgabe helfen, den Forscherauftrag und die Forscherfragen zu lösen?“ Forscherfragen werden einzeln durchgegangen. S. bringen ihre Ideen ein.	Stuhlkreis	Forscherfragen
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen B Blackbox	L. präsentiert Blackbox. „Wir wollen jetzt überprüfen, ob eure Ideen stimmen und wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. geht auf Lösungsvorschlag „Zahnrad“ und „Riemen“ ein. L: „Beides ist richtig. Ich habe mich aber für eines der beiden entschieden. Hast du eine Idee für was und warum?“ S. äußern ihre Vermutungen. L. geht darauf ein, ohne die Lösung vorwegzunehmen. L: „Dann wollen wir doch mal sehen, was sich hier drin befindet.“ L. öffnet Blackbox. S. äußern erste Ideen. L: „Hier sind also auch solche Scheiben drin, sie sind aber etwas anders als die blauen, die ihr genutzt habt. Die gelben Scheiben sind Doppelscheiben. Sie bestehen aus einer größeren Scheibe und einer kleineren Scheibe.“ L. zeigt Scheiben am Kurbelkarussell. Der Begriff Getriebe wird durch die Lehrperson eingeführt. L: „Die Scheiben und das Gummiband bilden zusammen das sogenannte Riemengetriebe.“ L: „Nun müssen wir aber noch unsere Forscherfragen beantworten.“ Forscherauftrag und -fragen werden abschließend durch die S. nacheinander beantwortet. - Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? - Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? - Wie kann die Drehrichtung geändert werden? L. hebt nicht hervor/fasst nicht zusammen/problematisiert und modelliert nicht, lässt die Forscherfragen aber nicht unkorrekt stehen, sondern sorgt ggf. selbst für Korrektur der Antwort.	Gruppentisch	Blackbox Forscherfragen
(ca. 5 Min.)	Transfer II Doppelkarussell	L: „Zum Abschluss habe ich noch ein ganz besonderes Karussell mitgebracht.“ Präsentation doppeltes Kurbelkarussell. „Wie funktioniert wohl das Doppelkarussell?“ S. äußern ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. betätigt die Kurbel und erfragt erneut die Funktions- und Konstruktionsweise. S. äußern erneut ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.	Sitzkreis	Doppeltes Karussell
	Abschluss und Verabschiedung	L. bedankt sich für die Mitarbeit verabschiedet sich von den Kindern. L: „Ihr habt heute ganz toll geforscht und herausgefunden, wie das Kurbelkarussell funktioniert! Das war echt Klasse! Vielen Dank für eure Mitarbeit!“	Sitzkreis	

A 2 Unterrichtsmanual LERNnetze I: MODERAT EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Zeit	Phase	Verhalten der Lehrperson (L) / Erwartetes Verhalten der Schülerinnen und Schüler (S)	Sozialform	Medien & Materialien
(ca. 5 Min.)	Begrüßung und Vorstellung	L. stellt sich und das Projekt kurz vor. L: „Mein Name ist Frau Dölle. Ich bin Grundschullehrerin, arbeite zurzeit aber an der Universität mit Student/-innen zusammen, die Lehrer/-in werden wollen. Zu meiner Arbeit gehört es zu überlegen, welche Themen man im Sachunterricht mit Grundschulkindern bearbeiten kann. Eine meiner Ideen haben wir euch heute mitgebracht und mit euch wollen wir diesen Unterrichtsvorschlag nun ausprobieren. Damit wir gut beobachten können, ob sich die Idee eignet, habe ich zwei Studierende mitgebracht, die euch bei der Bearbeitung der Aufgaben beobachten und sich dazu auch etwas notieren werden.“ L. stellt die Studierenden vor. L: „Wie ihr schon gemerkt habt, arbeiten wir nicht mit der ganzen Klasse zusammen, sondern mit Kleingruppen. Es wäre toll, wenn ihr den anderen, die morgen (übermorgen) an der Reihe sind und auch den anderen dritten Klassen noch nichts darüber verraten würdet, was ihr hier kennengelernt und vor allem, was ihr hier herausgefunden habt.“ Verteilung der Namensschilder	Sitzkreis	Namensschilder
(ca. 5 Min.)	Problemzentrierter Einstieg	L. präsentiert Blackbox. L: „Was könnte das sein?“ (Hinführung zu „Kurbelkarussell“) L: „Was passiert, wenn ich an der Kurbel drehe?“ (L. dreht an der Kurbel) L: „Wie ist das zu erklären?“ / „Wieso dreht sich das Karussell (Zeigen: Da), wenn ich (Zeigen: Hier) an der Kurbel drehe?“ „Was befindet sich wohl in der Kiste?“ L. zeigt Schilder mit Forscherauftrag und erster Forscherfrage. L: „Ihr sollt heute herausfinden, wie das Kurbelkarussell funktioniert. Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ S. äußern erste Ideen.	Gelenktes Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell (Übersetzung 1:1 / Gleiche Drehrichtung) Schilder mit Forscherauftrag und erster Forscherfrage
(ca. 10 Min.)	Anfertigung Sachzeichnung	L: „Ihr habt ja schon ganz interessante und unterschiedliche Ideen – prima!“ „Du sollst nun eine Zeichnung anfertigen und deine Vermutungen hier in den Karussellumriss einzeichnen.“ „Beschrifte deine Zeichnung zusätzlich, dann verstehen wir besser, was genau du meinst.“ S. fertigen Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an. S. erläutern Sachzeichnung.	Einzelarbeit	Vorlage Sachzeichnung, Bleistifte, Radiergummi
(ca. 10 Min.)	Vertiefung der Problemstellung	L: „Es gibt beim Kurbelkarussell noch mehr zu entdecken – ich bin gespannt, ob ihr herausfindet, was sich verändert.“ Umstellung Kurbelkarussell: Übersetzung ins Schnelle / Übersetzung ins Langsame Drehrichtungswechsel S. melden sich und teilen Beobachtungen mit.	Gelenktes Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Kurbelkarussell, Schilder mit weiteren Forscherfragen

(ca. 10 Min.)	Einführung Erläuterung Arbeitsauftrag	L: „Es kommen also noch zwei Forscherfragen dazu: Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“ L: „Um die Forscherfragen beantworten zu können, habe ich euch Aufgaben und Materialien mitgebracht, die ich euch nun vorstelle.“ L. erläutert und verweist auf Karten und Materialien: 1 + 2 und die entsprechenden Modelle. L: „Bei Aufgabe 1 geht es um Versuche mit diesen Riemenscheiben, bei Aufgabe 2 geht es um Zahnräder. Bleiben wir erst einmal bei den Aufgaben 1. Es gibt drei Aufgaben: A, B und C. Im Aufgabenteil 1 A geht es um die Richtung, in die sich die zweite Scheibe dreht. (Zeigen der Symbolkarte). Bei Aufgabe B geht es darum, wie oft sich die zweite Scheibe dreht.“ (Zeigen der Symbolkarte) L: „Im Aufgabenteil C sollt ihr selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen.“ L. zeigt die entsprechenden Materialien. L: „Die genauen Aufgaben sind auf diesen Karten notiert. Wichtig ist, dass ihr die Aufgaben gut durchlest, bevor ihr mit dem Arbeiten beginnt! Dieser Smiley zeigt dir, bis wohin du erst einmal lesen musst, bevor du mit dem Arbeiten beginnst.“ L: „Die Materialien zum Bauen findest du immer neben den Aufgaben.“ Tüteninhalt (A) ausschütten und gemeinsam betrachten. L: „Diese Zangen helfen dir, wenn du die roten Mittelstücke nicht mehr herausbekommen solltest.“ (Zeigen)	Halbkreis vor der Materialtheke	Schilder: 1/2/A/B/C Modelle Riemenscheiben und Zahnräder / „Mini-Karussell“ Materialtüten und -boxen Aufgabenkarten
(ca. 5 Min.)	Einführung Wiederholung Arbeitsauftrag	L: „Die Aufgaben A, B und C sind bei Aufgabe 2 genau gleich, hier benutzt du statt der Scheiben aber Zahnräder. Wer kann die unterschiedlichen Aufgaben A, B und C noch einmal für die Aufgaben mit den Zahnrädern vorstellen?“ S. erläutern Aufgaben und die Vorgehensweise.		S.O.
(ca. 60 Min.)	Erarbeitung Arbeitsphase	S. bearbeiten die unterschiedlichen Aufgabenformate. L. kontrolliert und gibt optional Hilfestellung, z.B. beim Überprüfen der Drehzahl.	Einzelarbeit	Aufgabenkarten und Materialboxen, bzw. -tüten Ausmalbild und Wortsuchrätsel als zeitl. Differenzierung

(ca. 10 Min.)	Transfer I Zusammenhänge Aufgaben	L: „Ihr habt die Aufgaben ganz wunderbar bearbeitet.“ L: „Hier seht ihr noch einmal die Modelle von den Aufgaben A und B. Ich möchte gerne wissen, welche Aufgaben etwas gemeinsam haben.“ S. gruppieren die Aufgaben. L. hebt wichtige Äußerungen hervor.	Stuhlkreis	Aufgabenmodelle
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen A	L: „Was meint ihr, können uns die Aufgabe helfen, den Forscherauftrag und die Forscherfragen zu lösen?“ Forscherfragen werden einzeln durchgegangen. S. bringen ihre Ideen ein. L. hebt wichtige Äußerungen hervor.	Stuhlkreis	Forscherfragen
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen B Blackbox	L. präsentiert Blackbox. „Wir wollen jetzt überprüfen, ob eure Ideen stimmen und wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. geht auf Lösungsvorschlag „Zahnrad“ und „Riemen“ ein. L: „Beides ist richtig. Ich habe mich aber für eines der beiden entschieden. Hast du eine Idee für was und warum?“ S. äußern ihre Vermutungen. L. geht darauf ein, ohne die Lösung vorwegzunehmen. L: „Dann wollen wir doch mal sehen, was sich hier drin befindet.“ L. öffnet Blackbox. S. äußern erste Ideen. L: „Hier sind also auch solche Scheiben drin, sie sind aber etwas anders als die blauen, die ihr genutzt habt. Die gelben Scheiben sind Doppelscheiben. Sie bestehen aus einer größeren Scheibe und einer kleineren Scheibe.“ L. zeigt Scheiben am Kurbelkarussell. Der Begriff Getriebe wird durch die Lehrperson eingeführt. L: „Die Scheiben und das Gummiband bilden zusammen das sogenannte Riemengetriebe.“ L: „Nun müssen wir aber noch unsere Forscherfragen beantworten.“ Forscherauftrag und -fragen werden abschließend durch die S. nacheinander beantwortet. - Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? - Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? - Wie kann die Drehrichtung geändert werden? L. hebt wichtige Äußerungen hervor.	Gruppentisch	Blackbox Forscherfragen
(ca. 10 Min.)	Transfer I	L: „Nun habe ich noch eine Knobelaufgabe für euch. Um eine Lösung zu der Aufgabe zu finden, sollt ihr euch gemeinsam in der Gruppe absprechen.“	Unterrichtsgespräch Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell Schild mit Aufgabe

	Austausch von Vorstellungen	L. zeigt Schild mit der Aufgabe: Das Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Das Karussell soll sich in eine in andere Richtung drehen. S. tauschen sich zur Lösungsfindung aus und stellen ihre Ergebnisse vor. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. Karussell wird eingestellt und Drehrichtung/Geschwindigkeit überprüft.		
(ca. 5 Min.)	Transfer II Doppelkarussell	L: „Zum Abschluss habe ich noch ein ganz besonderes Karussell mitgebracht.“ Präsentation doppeltes Kurbelkarussell. „Wie funktioniert wohl das Doppelkarussell?“ S. äußern ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. betätigt die Kurbel und erfragt erneut die Funktions- und Konstruktionsweise. S. äußern erneut ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.	Sitzkreis	Doppeltes Karussell
	Abschluss und Verabschiedung	L. bedankt sich für die Mitarbeit verabschiedet sich von den Kindern. L: „Ihr habt heute ganz toll geforscht und herausgefunden, wie das Kurbelkarussell funktioniert! Das war echt Klasse! Vielen Dank für eure Mitarbeit!“	Sitzkreis	

A 3 Unterrichtsmanual LERNnetze I: INTENSIV EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Zeit	Phase	Verhalten der Lehrperson (L) / Erwartetes Verhalten der Schülerinnen und Schüler (S)	Sozialform	Medien & Materialien
(ca. 5 Min.)	Begrüßung und Vorstellung	L. stellt sich und das Projekt kurz vor. L.: „Mein Name ist Frau Dölle. Ich bin Grundschullehrerin, arbeite zurzeit aber an der Universität mit Student/-innen zusammen, die Lehrer/-in werden wollen. Zu meiner Arbeit gehört es zu überlegen, welche Themen man im Sachunterricht mit Grundschulkindern bearbeiten kann. Eine meiner Ideen haben wir euch heute mitgebracht und mit euch wollen wir diesen Unterrichtsvorschlag nun ausprobieren. Damit wir gut beobachten können, ob sich die Idee eignet, habe ich zwei Studierende mitgebracht, die euch bei der Bearbeitung der Aufgaben beobachten und sich dazu auch etwas notieren werden.“ L. stellt die Studierenden vor. L.: „Wie ihr schon gemerkt habt, arbeiten wir nicht mit der ganzen Klasse zusammen, sondern mit Kleingruppen. Es wäre toll, wenn ihr den anderen, die morgen (übermorgen) an der Reihe sind und auch den anderen dritten Klassen noch nichts darüber verraten würdet, was ihr hier kennengelernt und vor allem, was ihr hier herausgefunden habt.“ Verteilung der Namensschilder	Sitzkreis	Namensschilder
(ca. 5 Min.)	Problemzentrierter Einstieg	L. präsentiert Blackbox. L.: „Was könnte das sein?“ (Hinführung zu „Kurbelkarussell“) L.: „Was passiert, wenn ich an der Kurbel drehe?“ (L. dreht an der Kurbel) L.: „Wie ist das zu erklären?“ / „Wieso dreht sich das Karussell (Zeigen: Da), wenn ich (Zeigen: Hier) an der Kurbel drehe?“ „Was befindet sich wohl in der Kiste?“ L. zeigt Schilder mit Forscherauftrag und erster Forscherfrage. L.: „Ihr sollt heute herausfinden, wie das Kurbelkarussell funktioniert. Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“ S. äußern erste Ideen.	Gelenktes Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell (Übersetzung 1:1 / Gleiche Drehrichtung) Schilder mit Forscherauftrag und erster Forscherfrage
(ca. 10 Min.)	Anfertigung Sachzeichnung	L.: „Ihr habt ja schon ganz interessante und unterschiedliche Ideen – prima!“ „Du sollst nun eine Zeichnung anfertigen und deine Vermutungen hier in den Karussellumriss einzeichnen.“ „Beschrifte deine Zeichnung zusätzlich, dann verstehen wir besser, was genau du meinst.“ S. fertigen Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an. S. erläutern Sachzeichnung.	Einzelarbeit	Vorlage Sachzeichnung, Bleistifte, Radiergummi
(ca. 10 Min.)	Vertiefung der Problemstellung	L.: „Es gibt beim Kurbelkarussell noch mehr zu entdecken – ich bin gespannt, ob ihr herausfindet, was sich verändert.“ Umstellung Kurbelkarussell: Übersetzung ins Schnelle / Übersetzung ins Langsame Drehrichtungswechsel S. melden sich und teilen Beobachtungen mit.	Gelenktes Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Kurbelkarussell, Schilder mit weiteren Forscherfragen

(ca. 10 Min.)	Einführung Erläuterung Arbeitsauftrag	L: „Es kommen also noch zwei Forscherfragen dazu: Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“ L: „Um die Forscherfragen beantworten zu können, habe ich euch Aufgaben und Materialien mitgebracht, die ich euch nun vorstelle.“ L. erläutert und verweist auf Karten und Materialien: 1 + 2 und die entsprechenden Modelle. L: „Bei Aufgabe 1 geht es um Versuche mit diesen Riemenscheiben, bei Aufgabe 2 geht es um Zahnräder. Bleiben wir erst einmal bei den Aufgaben 1. Es gibt drei Aufgaben: A, B und C. Im Aufgabenteil 1 A geht es um die Richtung, in die sich die zweite Scheibe dreht. (Zeigen der Symbolkarte). Bei Aufgabe B geht es darum, wie oft sich die zweite Scheibe dreht.“ (Zeigen der Symbolkarte) L: „Im Aufgabenteil C sollt ihr selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen.“ L. zeigt die entsprechenden Materialien. L: „Die genauen Aufgaben sind auf diesen Karten notiert. Wichtig ist, dass ihr die Aufgaben gut durchlest, bevor ihr mit dem Arbeiten beginnt! Dieser Smiley zeigt dir, bis wohin du erst einmal lesen musst, bevor du mit dem Arbeiten beginnst.“ L: „Die Materialien zum Bauen findest du immer neben den Aufgaben.“ Tüteninhalt (A) ausschütten und gemeinsam betrachten. L: „Diese Zangen helfen dir, wenn du die roten Mittelstücke nicht mehr herausbekommen solltest.“ (Zeigen)	Halbkreis vor der Materialtheke	Schilder: 1/2/A/B/C Modelle Riemenscheiben und Zahnräder / „Mini-Karussell“ Materialtüten und -boxen Aufgabenkarten
(ca. 5 Min.)	Einführung Wiederholung Arbeitsauftrag	L: „Die Aufgaben A, B und C sind bei Aufgabe 2 genau gleich, hier benutzt du statt der Scheiben aber Zahnräder. Wer kann die unterschiedlichen Aufgaben A, B und C noch einmal für die Aufgaben mit den Zahnrädern vorstellen?“ S. erläutern Aufgaben und die Vorgehensweise.		S.O.
(ca. 60 Min.)	Erarbeitung Arbeitsphase	S. bearbeiten die unterschiedlichen Aufgabenformate. L. kontrolliert und gibt optional Hilfestellung, z.B. beim Überprüfen der Drehzahl.	Einzelarbeit	Aufgabenkarten und Materialboxen, bzw. -tüten Ausmalbild und Wortsuchrätsel als zeitl. Differenzierung

(ca. 10 Min.)	Transfer I Zusammenhänge Aufgaben	L: „Ihr habt die Aufgaben ganz wunderbar bearbeitet.“ L: „Hier seht ihr noch einmal die Modelle von den Aufgaben A und B. Ich möchte gerne wissen, welche Aufgaben etwas gemeinsam haben.“ S. gruppieren die Aufgaben. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B. „Wenn ich an dieser Scheibe drehe, dann dreht sich die zweite in die gleiche Richtung. Wenn ich an diesem Zahnrad drehe, dann dreht sich das letzte Zahnrad auch in die gleiche Richtung.“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „Ihr habt gesagt, dass diese beiden Aufgaben zusammengehören. Kann man hier wirklich Ähnliches beobachten? / Hier dreht sich das zweite Rad öfter... hier also auch?“ L: „Was meint ihr, können uns die Aufgabe helfen, den Forscherauftrag und die Forscherfragen zu lösen?“ Forscherfragen werden einzeln durchgegangen. S. bringen ihre Ideen ein. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B. „Also ich finde auch diese Aufgabe kann uns dabei helfen, zu klären wie die Drehrichtung geändert werden kann.“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „XY ist der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – stimmt ihr dem zu?“	Stuhlkreis	Aufgabenmodelle
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen A	L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B. „Also ich finde auch diese Aufgabe kann uns dabei helfen, zu klären wie die Drehrichtung geändert werden kann.“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „XY ist der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – stimmt ihr dem zu?“	Stuhlkreis	Forscherfragen
(ca. 5 Min.)	Transfer I Rückbezug auf Sachzeichnungen	L. präsentiert Sachzeichnungen der Kinder (Pretest). L: „Ich habe hier noch einmal eure Zeichnungen vom ...tag mitgebracht. Hier habt ihr ja eure ersten Ideen zur ersten Forschungsfrage aufgezeichnet. Schaut euch eure Zeichnung jetzt noch einmal an und überlegt dabei, was ihr nun ändern, wegnehmen oder hinzufügen würdet. Vielleicht würdest du jetzt auch etwas ganz anderes zeichnen?“ S. betrachten ihre Zeichnung und teilen mögliche Änderungen/Ergänzungen mit.	Gruppentisch	Sachzeichnungen der SuS
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen B Blackbox	L. präsentiert Blackbox. „Wir wollen jetzt überprüfen, ob eure Ideen stimmen und wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. geht auf Lösungsvorschlag „Zahnrad“ und „Riemen“ ein. L: „Beides ist richtig. Ich habe mich aber für eines der beiden entschieden. Hast du eine Idee für was und warum?“ S. äußern ihre Vermutungen. L. geht darauf ein, ohne die Lösung vorwegzunehmen. L: „Dann wollen wir doch mal sehen, was sich hier drin befindet.“	Gruppentisch	Blackbox Forscherfragen

		L. öffnet Blackbox. S. äußern erste Ideen. L.: „Hier sind also auch solche Scheiben drin, sie sind aber etwas anders als die blauen, die ihr genutzt habt. Die gelben Scheiben sind Doppelscheiben. Sie bestehen aus einer größeren Scheibe und einer kleineren Scheibe.“ L. zeigt Scheiben am Kurbelkarussell. Der Begriff Getriebe wird durch die Lehrperson eingeführt. L.: „Die Scheiben und das Gummiband bilden zusammen das sogenannte Riemengetriebe.“ L.: „Nun müssen wir aber noch unsere Forscherfragen beantworten.“ Forscherauftrag und -fragen werden abschließend durch die S. nacheinander beantwortet. Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? - Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? - Wie kann die Drehrichtung geändert werden? L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B.: „Ah, ich nehme das Gummi also hier auf die kleinere Scheibe, dann dreht sich das Karussell schneller. Und wenn ich es über die große Scheibe lege?“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „XY ist der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – stimmt ihr dem zu?“		
(ca. 10 Min.)	Transfer I Austausch von Vorstellungen	L.: „Nun habe ich noch eine Knobelaufgabe für euch. Um eine Lösung zu der Aufgabe zu finden, sollt ihr euch gemeinsam in der Gruppe absprechen.“ L. zeigt Schild mit der Aufgabe: Das Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Das Karussell soll sich in eine in andere Richtung drehen. S. tauschen sich zur Lösungsfindung aus und stellen ihre Ergebnisse vor. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. Karussell wird eingestellt und Drehrichtung/Geschwindigkeit überprüft. L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: „Ihr wart ja der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – was sagt ihr nun zu dieser Idee?“ L. modelliert: „Genau, wenn ich das Band kreuze, dann dreht sich die zweite Scheibe in die andere Richtung.“ Ggf. Vorführen am Modell.	Unterrichtsgespräch Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell Schild mit Aufgabe
(ca. 5 Min.)	Transfer II	L.: „Zum Abschluss habe ich noch ein ganz besonderes Karussell mitgebracht.“ Präsentation doppeltes Kurbelkarussell.	Sitzkreis	Doppeltes Karussell

	Doppelkarussell	„Wie funktioniert wohl das Doppelkarussell?“ S. äußern ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. betätigt die Kurbel und erfragt erneut die Funktions- und Konstruktionsweise. S. äußern erneut ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.		
	Abschluss und Verabschiedung	L. bedankt sich für die Mitarbeit verabschiedet sich von den Kindern. L: „Ihr habt heute ganz toll geforscht und herausgefunden, wie das Kurbelkarussell funktioniert! Das war echt Klasse! Vielen Dank für eure Mitarbeit!“	Sitzkreis	

A 4 Beobachtungsmanual zur Überprüfung der Angebotsnutzung: IMPLIZITE Lernunterstützungsmaßnahmen

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	<u>ANGEBOT:</u> Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	<u>NUTZUNG:</u> Intendierte Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler	<u>EINSCHÄTZUNG</u>				
Vorhandene Vorstellungen erschließen Vorwissen der Lernenden aufnehmen	Anfertigen einer Sachzeichnung Sammlung der Vermutungen und Erklärungen zum Kurbelkarussell	Die Schüler/-innen legen ihr Vorwissen dar.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
<u>Beobachtungen:</u>							
Herausfordernde Aufgaben stellen Reichhaltige, problemhaltige Lernaufgaben stellen, die zum entdeckenden Lernen, zum Fragen und zum Vermuten anregen	Kurbelkarussell als Blackbox: - Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Was befindet sich in der Kiste?	Die Aufgabenstellung regt die Schüler/-innen an, sich mit den Funktions- und Konstruktionsprinzipien auseinanderzusetzen.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
<u>Beobachtungen:</u>							

Anwendung von Konzepten ermöglichen Angebote für die Übertragung und Anwendung der im Unterricht angebotenen und aufgetauten Konzepte machen	Aufgaben I: Aufgaben zum Riemengetriebe ➡ Transfer auf Mini-Kurbelkarussell Aufgaben II: Aufgaben zum Zahnradgetriebe ➡ Transfer auf Mini-Kurbelkarussell Transfer I: Transfer auf Blackbox	Die Schüler/-innen übertragen die Funktions- und Konstruktionsprinzipien des Riemengetriebes auf das Mini-Kurbelkarussell. Die Schüler/-innen übertragen die Funktions- und Konstruktionsprinzipien des Zahnradgetriebes auf das Mini-Kurbelkarussell. Die Schüler/-innen übertragen die Funktions- und Konstruktionsprinzipien auf das Blackbox-Karussell.	Trifft völlig zu Trifft zu Trifft überwiegend zu Trifft teilweise zu Trifft nicht zu 1 2 3 4 5	
Beobachtungen:				

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	NUTZUNG: Intendierte Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler	EINSCHÄTZUNG				
Zielklarheit schaffen Klarheit über das fachliche Lernziel schaffen	Fokussierung der Frage: Wie funktioniert das Kurbelkarussell?	Die Schüler/-innen beschäftigen sich mit der Frage, wie das Kurbelkarussell funktioniert.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
Beobachtungen:							
Sequenzieren In Teilbereiche gliedern Schritte strukturieren und Abfolgen festlegen	Aufgaben zu Riemen- und Zahnradgetrieben: Aufgaben I: Aufgaben zum Riemengetriebe Weiterleitung & Drehrichtung Übersetzung Montage Mini-Kurbelkarussell Aufgaben II: Aufgaben zum Zahnradgetriebe Weiterleitung & Drehrichtung Übersetzung Montage Mini-Kurbelkarussell Transfer I: Transfer auf Blackbox	Der Unterricht ist so sequenziert, dass die Schüler/-innen die angestrebten Inhalte verstehen können. Die Teilbereiche sind so ausgewählt, dass die Schüler/-innen die angestrebten Inhalte verstehen können. Die Abfolge der Teilbereiche ist so gewählt, dass die Schüler/-innen die angestrebten Inhalte verstehen können.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
Beobachtungen:							

Veranschaulichen Sach- und lernendengemäße Repräsentationsformen und Analogien einsetzen	Montagematerial Riemengetriebe	Die Materialien sind so anschaulich, dass die Schüler/-innen die grundlegenden Konstruktions- und Funktionsprinzipien des Riemengetriebes entdecken und nachvollziehen können.	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
	Konstruktionsmaterial Mini – Kurbelkarussell (Riemen)	Die Materialien sind so anschaulich, dass die Schüler/-innen die Konstruktions- und Funktionsprinzipien anwenden und ein Mini-Kurbelkarussell mit Riemengetriebe konstruieren können.	1	2	3	4	5
	Montagematerial Zahnradgetriebe	Die Materialien sind so anschaulich, dass die Schüler/-innen die grundlegenden Konstruktions- und Funktionsprinzipien des Zahnradgetriebes entdecken und nachvollziehen können.	1	2	3	4	5
	Konstruktionsmaterial Mini – Kurbelkarussell (Zahnrad)	Die Materialien sind so anschaulich, dass die Schüler/-innen die Konstruktions- und Funktionsprinzipien anwenden und ein Mini-Kurbelkarussell mit Zahnradgetriebe konstruieren können.	1	2	3	4	5
<u>Beobachtungen:</u>							

Auf sprachliche Klarheit achten Klare Sprache Sach- und lernenden- gemäße Formulierungen Mögliche sprachliche Schwierigkeiten antizipieren	Schriftliche Arbeitsanweisungen im Forscherheft. Mündliche Erläuterungen und Hinweise während des Unterrichts (siehe: Manual).	Die schriftlichen Arbeitsanweisungen sind für die Schüler/-innen nachvollziehbar und verständlich. Die mündlichen Arbeitsanweisungen sind für die Schüler/-innen nachvollziehbar und verständlich.	<table><tr><td>Trifft völlig zu</td><td>Trifft zu</td><td>Trifft überwiegend zu</td><td>Trifft teilweise zu</td><td>Trifft nicht zu</td></tr><tr><td>①</td><td>②</td><td>③</td><td>④</td><td>⑤</td></tr><tr><td>①</td><td>②</td><td>③</td><td>④</td><td>⑤</td></tr></table>	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu														
①	②	③	④	⑤														
①	②	③	④	⑤														
<u>Beobachtungen:</u>																		

A 5 Beobachtungsmanual zur Überprüfung der Angebotsnutzung: MODERAT EXPLIZITE Lernunterstützungsmaßnahmen

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	NUTZUNG: Intendierte Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler	<u>EINSCHÄTZUNG</u>				
Vorstellungen aufbauen und weiterentwickeln Zum Erkennen von Regelmäßigkeiten und Zusammenhängen motivieren	Die bearbeiteten Aufgabenformate werden vergleichend betrachtet.	Die Schüler/-innen benennen phänotypische Gemeinsamkeiten der Aufgabenformate. Die Schüler/-innen benennen genotypische Gemeinsamkeiten der Aufgabenformate.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
<u>Beobachtungen:</u>							
Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen Zum Austausch unter den Lernenden anregen	Die Lehrperson nimmt eine Einstellung am Karussell vor oder erfragt, wie eine bestimmte Drehgeschwindigkeit oder –richtung eingestellt werden kann. Die Antwortfindung erfolgt über den gemeinsamen Austausch der Lernenden.	Die Schüler/-innen tauschen sich untereinander über die notwendigen Einstellungen; bzw. die resultierenden Karussellbewegungen aus.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
<u>Beobachtungen:</u>							

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	NUTZUNG / UMSETZUNG: Intendierte Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler / Intendierte Umsetzung im Unterricht durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG				
Hervorheben Wichtige Äußerungen der Lernenden hervorheben, herausstellen und verstärken.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase I wichtige Äußerungen der Schüler*innen hervor.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase wichtige Äußerungen hervor. Die Hervorhebungen erweisen sich inhaltlich im Hinblick auf die Forscherfragen als unterstützend.	Trifft völlig zu ①	Trifft zu ②	Trifft überwiegend zu ③	Trifft teilweise zu ④	Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:							

A 6 Beobachtungsmanual zur Überprüfung der Angebotsnutzung: INTENSIV EXPLIZITE Lernunterstützungsmaßnahmen

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	<u>ANGEBOT:</u> Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	<u>NUTZUNG:</u> Intendierte Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler	<u>EINSCHÄTZUNG</u>				
Über Lerninhalte und –wege nachdenken Gelegenheiten schaffen, über die Veränderung des eigenen Wissens nachzudenken	In der Transferphase I erhalten die Lernenden ihre Sachzeichnung zurück. Sie sollen benennen, was sie nun anders darstellen und einzeichnen würden.	Die Schüler/-innen benennen Änderungen, bzw. Ergänzungen zu ihrer Zeichnung.	Trifft völlig zu ①	Trifft zu ②	Trifft überwiegend zu ③	Trifft teilweise zu ④	Trifft nicht zu ⑤
<u>Beobachtungen:</u>							

Kognitive Konflikte auslösen Problematisieren, Rückfragen aufwerfen, auf Widersprüche hinweisen	In der Transferphase greift die Lehrperson problematisierend in die Unterrichtsgespräche ein.	Die Schüler/-innen reagieren auf die problematisierenden Rückfragen und bringen sich ein. <u>Im Hinblick auf die Umsetzung:</u> Die Lehrperson wirft während der Transferphase problematisierende Rückfragen auf und weist auf Widersprüche hin. Die Rückfragen sind nachvollziehbar und verständlich. Die Rückfragen erweisen sich inhaltlich im Hinblick auf die Forscherfrage als unterstützend.	<table><tr><td>Trifft völlig zu</td><td>Trifft zu</td><td>Trifft überwiegend zu</td><td>Trifft teilweise zu</td><td>Trifft nicht zu</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table> <table><tr><td>Trifft völlig zu</td><td>Trifft zu</td><td>Trifft überwiegend zu</td><td>Trifft teilweise zu</td><td>Trifft nicht zu</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table> <table><tr><td>Trifft völlig zu</td><td>Trifft zu</td><td>Trifft überwiegend zu</td><td>Trifft teilweise zu</td><td>Trifft nicht zu</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table> <table><tr><td>Trifft völlig zu</td><td>Trifft zu</td><td>Trifft überwiegend zu</td><td>Trifft teilweise zu</td><td>Trifft nicht zu</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td></tr></table>	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu	1	2	3	4	5	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu	1	2	3	4	5	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu	1	2	3	4	5	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu	1	2	3	4	5
Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu																																							
1	2	3	4	5																																							
Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu																																							
1	2	3	4	5																																							
Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu																																							
1	2	3	4	5																																							
Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu																																							
1	2	3	4	5																																							
<u>Beobachtungen:</u>																																											

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	NUTZUNG/ UMSETZUNG: Intendierte Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler / Intendierte Umsetzung im Unterricht durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG				
Zusammenfassen	Während der Transferphase I fasst die Lehrperson die Beiträge der Lernenden und bereits Besprochenes zusammen.	Die Lehrperson fasst während der Transferphase die Beiträge der Lernenden und bisher Besprochenes zusammen. Die Zusammenfassungen sind verständlich. Die Zusammenfassungen erweisen sich inhaltlich im Hinblick auf die Forscherfragen als unterstützend.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)
Beobachtungen:							
Modellieren Als Lehrperson modellhaft vormachen, laut denken, Lösungen oder Teile von Lösungen zeigen	Während der Transferphase I (Gemeinsamkeiten der Aufgaben / Rückbezug auf Sachzeichnungen) agiert die Lehrperson modellierend.	Die Lehrperson agiert während der Transferphase (Gemeinsamkeiten der Aufgaben / Rückbezug auf Sachzeichnungen) modellierend. Die Schüler/-innen reagieren auf die Modellierungen und bringen sich ein. Die Modellierungen sind nachvollziehbar und verständlich. Die Modellierungen erweisen sich inhaltlich im Hinblick auf die Forscherfrage als unterstützend.	Trifft völlig zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft überwiegend zu (3)	Trifft teilweise zu (4)	Trifft nicht zu (5)

A 7 Erhebungsbogen zur Erfassung der sachunterrichtsbezogenen Lernvoraussetzungen

	Trifft voll zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe möglich
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
1. Die Schülerin/Der Schüler verfügt über grundlegende Kenntnisse zu den bereits im Sachunterricht behandelten Inhalten.							
2. Die Schülerin/Der Schüler verfügt darüber hinaus über besondere Kenntnisse in dem Bereich/in den Bereichen:							
	Trifft voll zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft eher nicht zu	Trifft nicht zu	Keine Angabe möglich
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
3. Der Schülerin/Dem Schüler gelingt es im Sachunterricht, eigene Lösungsansätze zu finden.							
4. Die Schülerin/Der Schüler kann sich Aufgaben und Lerninhalte im Sachunterricht eigenständig erarbeiten.							
5. Der Schülerin/Dem Schüler gelingt es, Sachverhalte zu durchschauen.							

		Trifft voll zu (1)	Trifft zu (2)	Trifft über- wiegend zu (3)	Trifft teil- weise zu (4)	Trifft eher nicht zu (5)	Trifft nicht zu (6)	Keine Angabe möglich
6.	Die Schülerin/Der Schüler begegnet den sachunterrichtlichen Lehr- und Lerninhalten interessiert.							
7.	Die Schülerin/Der Schüler kann Ideen, Lösungsansätze und eigene Erfahrungen mündlich versprachlichen.							
8.	Der Schülerin/Dem Schüler gelingt es im Sachunterricht, Zusammenhänge zu erkennen und auf andere Sachverhalte zu übertragen.							
9.	Die Schülerin/Der Schüler kann im Sachunterricht mit anderen konstruktiv zusammenarbeiten.							
10.	Die Schülerin/Der Schüler kann Sachverhalte, Vorschläge und Lösungsansätze anderer durchdenken und beurteilen.							
11.	Die Schülerin/Der Schüler kann Ideen, Lösungsansätze und eigene Erfahrungen schriftlich dokumentieren.							
12.	Die Schülerin/Der Schüler kann eigene Handlungen (z.B. beim Experimentieren oder bei der Bearbeitung offenerer Aufgaben) planen und zielgerichtet umsetzen.							
13.	Die Schülerin/der Schüler kann eigene Lösungsansätze hinterfragen und reflektieren.							
14.	Die Schülerin/Der Schüler muss sich anstrengen, um die Lehrinhalte zu verstehen.							
15.	Die Schülerin/Der Schüler denkt im Sachunterricht vertiefend über die Lerninhalte nach.							

Einschätzung der Lerneingangsvoraussetzungen im Sachunterricht

(Einmal für die Lerngruppe auszufüllen)

Themenbereiche und Inhalte des Sachunterrichts

Bitte kreuzen Sie die bereits behandelten Themenbereiche an und benennen Sie die jeweiligen Unterrichtsinhalte (z.B. Historisches Lernen: Das Leben vor 100 Jahren)

Folgende Themenbereiche und Inhalte wurden bislang im Sachunterricht behandelt

☐ **Naturwissenschaftliches Lernen (Menschen, Tiere, Pflanzen):**

☐ **Historisches Lernen:**

☐ **Geographisches Lernen:**

☐ **Technisches Lernen:**

☐ **Politisches / Soziales Lernen:**

☐ **Naturwissenschaftliches Lernen (Physikalische Phänomene / Stoffeigenschaften):**

☐ **Sonstige:**

L. begrüßt die Schülerin/den Schüler und präsentiert die Blackbox.

L: „Ich habe ein Kurbelkarussell mitgebracht. Hier ist eine Kurbel und dort ist eine Karussellscheibe. (Zeigen) Zu diesem Karussell gibt es drei Forscherfragen. Diese Fragen sind ganz neu für dich und es kann gut sein, dass du noch keine Idee oder Antwort zu den Fragen hast. Das ist überhaupt nicht schlimm und das darfst du dann auch sagen. Wir werden uns ja erst später noch genauer mit dem Kurbelkarussell beschäftigen.“

L: „Dann fangen wir mal an. Was meinst du passiert, wenn ich an der Kurbel drehe?“

S. vermutet. L. dreht an der Kurbel

L: „Richtig - die Scheibe dreht sich!“

L: „Da haben wir auch schon unsere erste Forscherfrage: Wieso dreht sich das Karussell (Zeigen: Da), wenn man (Zeigen: Hier) an der Kurbel dreht? Was befindet sich wohl in der Kiste?“

L: „Ich habe dir ein Bild von dem Karussell mitgebracht. (L. zeigt Karussellumriss) Hier kannst du deine Ideen einzeichnen. Wenn du fertig bist, sollst du deine Zeichnung beschriften, dann verstehe ich besser, was genau du meinst.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L: „Es gibt beim Kurbelkarussell noch mehr zu entdecken – ich bin gespannt, ob du herausfindest, was sich verändert.“

Umstellung Kurbelkarussell: Übersetzung ins Schnelle

S. teilt Beobachtung mit.

Umstellung Kurbelkarussell: Übersetzung ins Langsame

S. teilt Beobachtung mit.

L: „Daraus ergibt sich unsere zweite Forscherfrage: Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? Hast du schon Ideen zu dieser Frage? Falls ja, dann zeichne deine Ideen ein, falls nein, dann machen wir hier ein Kreuz.“

L: „Es gibt noch eine weitere Sache beim Kurbelkarussell zu entdecken – ich bin gespannt, ob du herausfindest, was sich verändert.“

Umstellung Kurbelkarussell: Änderung der Drehrichtung

S. teilt Beobachtung mit.

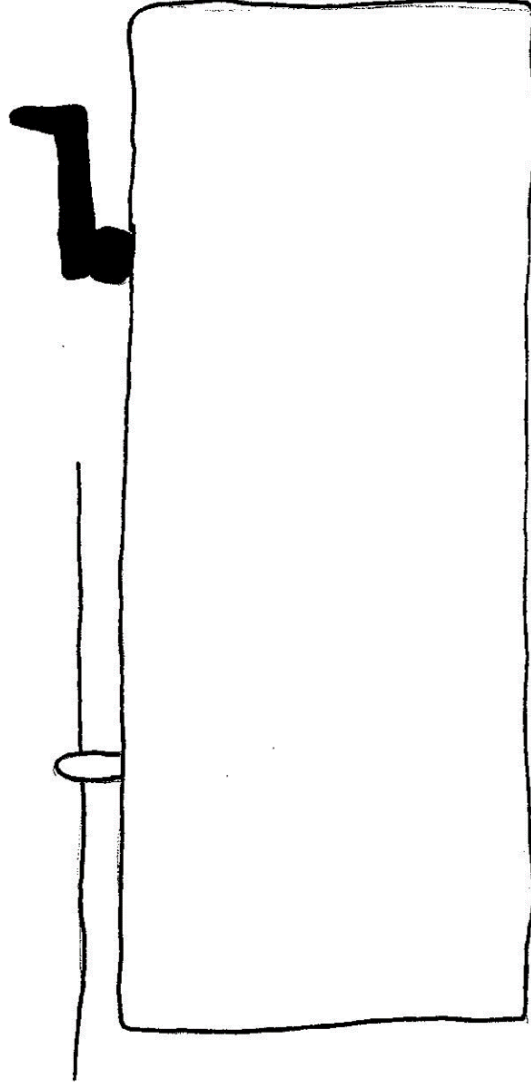
L: „Daraus ergibt sich unsere dritte und letzte Forscherfrage: Wie kann die Drehrichtung des Karussells geändert werden? Hast du schon Ideen zu dieser Frage? Falls ja, dann zeichne deine Ideen ein, falls nein, dann machen wir hier ein Kreuz.“

L: „Vielen Dank für deine Mitarbeit! Du kannst jetzt wieder zur Klasse gehen und mir XY schicken.“

Forschfrage 1:

Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?

1. Zeichne ein, was sich in dem Karton befindet.



2. Beschrifte deine Zeichnung.

Forscherfrage 2:

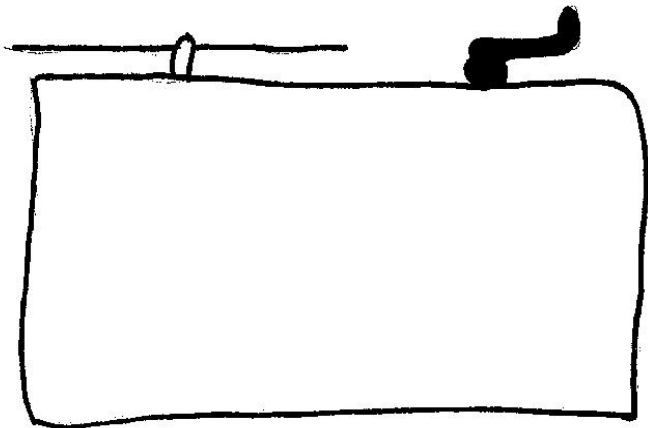
Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?



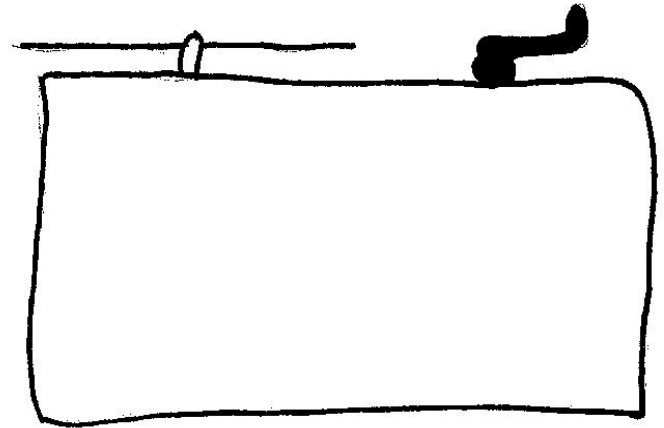
Hier kannst du ankreuzen, wenn du noch keine Idee zu dieser Forscherfrage hast:

☐

Hier kannst du deine Ideen einzeichnen:



Das Karussell dreht sich schnell.
Es dreht sich öfter als die Kurbel.



Das Karussell dreht sich langsam.
Es dreht sich nicht so oft wie die Kurbel.

Forscherfrage 3:

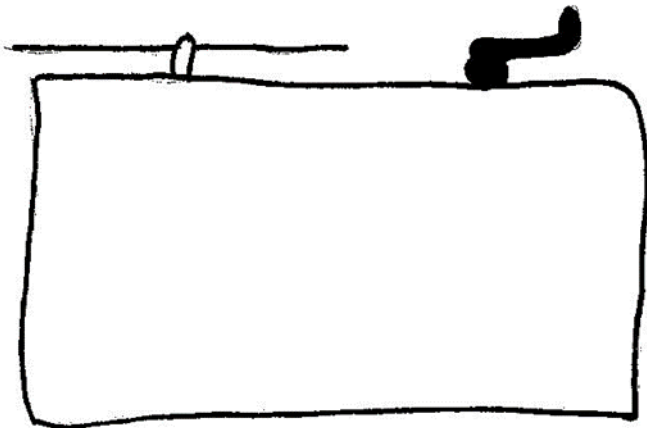
Wie kann die Drehrichtung geändert werden?



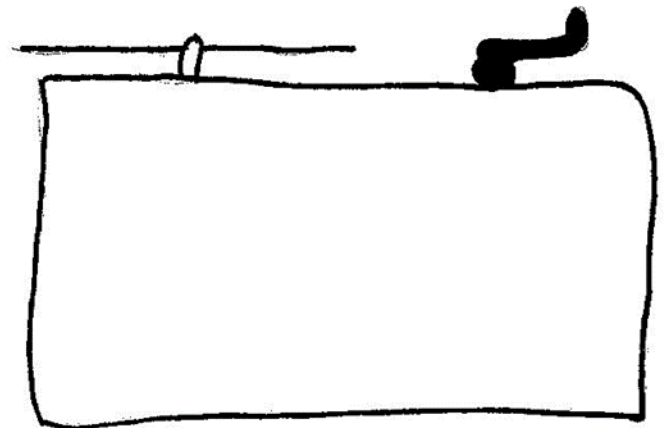
Hier kannst du ankreuzen, wenn du noch keine Idee zu dieser Forscherfrage hast:

☐

Hier kannst du deine Ideen einzeichnen:



Das Karussell und die Kurbel
drehen sich
in die gleiche Richtung.



Das Karussell und die Kurbel
drehen sich
nicht in die gleiche Richtung.

A 11 Unterrichtsmanual LERNnetze III: IMPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Zeit	Phase	Verhalten der Lehrperson (L) / Erwartetes Verhalten der Schülerinnen und Schüler (S)	Sozialform	Medien & Materialien
(ca. 5 Min.)	Begrüßung und Einstieg	L: „Guten Morgen liebe Kinder der Klasse 3! Ihr sollt heute herausfinden, wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. präsentiert den Forscherauftrag. L: „Das ist also euer Forscherauftrag. Um diesen Auftrag erfüllen zu können, müsst ihr die drei Forscherfragen beantworten. Erinnert ihr euch noch an die Forscherfragen?“ Gemeinsames Sammeln und Zusammentragen/Präsentation Forscherfragen L. führt jeweils die Funktionen noch einmal vor: Weiterleitung / Übersetzung / Drehrichtungswechsel Forscherauftrag und -fragen werden gut sichtbar aufgehängt.	Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Schilder: Forscherauftrag und Forscherfragen Blackbox Kurbelkarussell (Übersetzung 1:1 / Gleiche Drehrichtung)
(ca. 15 Min.)	Einführung Erläuterung Arbeitsauftrag	L: „Um die Forscherfragen beantworten zu können, habe ich euch Aufgaben und Materialien mitgebracht, die ich euch nun vorstelle.“ L. erläutert und verweist auf Karten und Materialien: 1 + 2 und die entsprechenden Modelle. L: „Es gibt 2 Aufgabenbereiche 1 und 2 mit jeweils drei Unteraufgaben A, B und C. Bei Aufgabe 1 geht es um Versuche mit diesen (Riemen)scheiben; bei Aufgabe 2 geht es um Zahnräder.“ L: „Bleiben wir erst einmal bei Aufgabe 1. Bei Aufgabe 1 A sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, in welche Richtung sich die zweite Scheibe dreht. Stell dir vor, du drehst hier (Zeigen am Schild) an der Kurbel, dreht sich die zweite Scheibe dann in die gleiche Richtung wie die erste oder in die andere Richtung?“ „Bei Aufgabe 1 B sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, wie oft sich die zweite Scheibe dreht, wenn du die erste genau einmal herumdreht (Zeigen am Schild). Klebe dazu einen Klebepunkt auf die zweite Scheibe, das hilft dir beim genauen Beobachten. Außerdem musst du dir den Ausgangspunkt der Kurbel merken, damit du weißt, wann du einmal herumgedreht hast.“ L: „Bei Aufgabe C sollst du selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen. Dein Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Es soll sich in die gleiche Richtung drehen. Zum Bau stehen dir diese Materialien zur Verfügung.“ Material zeigen „Wichtig ist, dass du die Kurbel und das Karussell in die Löcher mit den roten Markierungen steckst, gebaut wird dann von der anderen Seite.“	Halbkreis vor der Materialtheke	Schilder: 1/2/A/B/C Modelle Riemenscheiben und Zahnräder / „Mini-Karussell“ Materialtüten und -boxen Forscherhefte

		„Bei den Aufgaben A und B sollst du immer zuerst lesen und vermuten und erst danach bauen und überprüfen.“ L. zeigt Schilder und Forscherheft. „Dies erkennst du auch in deinem Forscherheft: Auf der Seite mit dem roten Balken musst du zuerst lesen und vermuten, auf der blauen Seite darfst du dann bauen und überprüfen.“ „Unten auf der Seite findest du zwei Smileys: Wenn du die Aufgaben auf der Seite erfüllt hast, dann darfst du einen Smiley abhaken/ankreuzen oder ausmalen. Den anderen Smiley hake ich ab, wenn ich die Seite kontrolliert habe.“ „Das Forscherheft muss von vorne nach hinten Seite für Seite durchgearbeitet werden. Das Material zum Bauen für die blauen Seiten (Zeigen) findest du immer neben den Aufgaben. Wir schauen uns das jetzt Mal an.“ Tüteneinhalt (A + B) ausschütten und gemeinsam betrachten. „Es sind mehr Dinge erhalten als du bei der ersten Aufgabe brauchst. Schaue immer auf dem Bild nach, was du zum Bauen verwenden sollst.“ „Diese Zangen liegen auf deinem Tisch. Sie helfen dir, wenn du die roten Mittelstücke nicht mehr hinausbekommst.“	Schilder: „Lesen und Vermuten“ / „Bauen und Überprüfen“ Forscherheft
(ca. 5 Min.)	Einführung Wiederholung Arbeitsauftrag	L: „Die Aufgaben A, B und C sind bei Aufgabe 2 genau gleich, hier benutzt du statt der Scheiben aber Zahnräder. Wer kann die unterschiedlichen Aufgaben noch einmal wiederholen?“ L. zeigt nacheinander Aufgabenschilder (A, B und C) und das Forscherheft (Lesen und Vermuten / Bauen und Überprüfen) S. erläutern Aufgaben und die Vorgehensweise. L: „Zur Bearbeitung der Aufgaben sitzt ihr an diesen Tischen. Damit du deinen Platz findest, haben wir Namensschilder aufgestellt.“	s.o. Namensschilder für Tische
(ca. 60 Min.)	Erarbeitung Arbeitsphase	S. bearbeiten die unterschiedlichen Aufgabenformate. L. kontrolliert und gibt optional Hilfestellung, z.B. beim Überprüfen der Drehzahl.	Einzelarbeit an Zweiertischen Forscherhefte und Materialboxen, bzw. -tüten Ausmalbild und Wortsuchrätsel als zeitl. Differenzierung

(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen A	L: „Ihr habt die Aufgaben ganz wunderbar bearbeitet.“ L: „Was meint ihr, können uns die Aufgabe helfen, den Forscherauftrag und die Forscherfragen zu lösen?“ Forscherfragen werden einzeln durchgegangen. S. bringen ihre Ideen ein. L. hebt nicht hervor/fasst nicht zusammen/problematisiert und modelliert nicht. L. präsentiert Blackbox. „Wir wollen jetzt überprüfen, ob eure Ideen stimmen und wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. geht auf Lösungsvorschlag „Zahnrad“ und „Riemen“ ein. L: „Beides ist richtig. Ich habe mich aber für eines der beiden entschieden. Hast du eine Idee für was und warum?“ S. äußern ihre Vermutungen. L. geht darauf ein, ohne die Lösung vorwegzunehmen. L: „Dann wollen wir doch mal sehen, was sich hier drin befindet.“ L. öffnet Blackbox. S. äußern erste Ideen. L: „Hier sind also auch solche Scheiben drin, sie sind aber etwas anders als die blauen, die ihr genutzt habt. Die gelben Scheiben sind Doppelscheiben. Sie bestehen aus einer größeren Scheibe und einer kleineren Scheibe.“ L. zeigt Scheiben am Kurbelkarussell. Der Begriff Getriebe wird durch die Lehrperson eingeführt. L: „Die Scheiben und das Gummiband bilden zusammen das sogenannte Riemengetriebe.“ L: „Nun müssen wir aber noch unsere Forscherfragen beantworten.“ Forscherauftrag und -fragen werden abschließend durch die S. nacheinander beantwortet. Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? - Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? - Wie kann die Drehrichtung geändert werden? L. hebt nicht hervor/fasst nicht zusammen/problematisiert und modelliert nicht, lässt die Forscherfragen aber nicht unkorrekt stehen, sondern sorgt ggf. selbst für Korrektur der Antwort.	Stuhlkreis	Forscherfragen
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen B Blackbox	L. hebt nicht hervor/fasst nicht zusammen/problematisiert und modelliert nicht. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.	Gruppentisch	Blackbox Forscherfragen
(ca. 5 Min.)	Transfer II Doppelkarussell	L: „Zum Abschluss habe ich noch ein ganz besonderes Karussell mitgebracht.“ Präsentation doppeltes Kurbelkarussell. „Wie funktioniert wohl das Doppelkarussell?“ S. äußern ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt nicht hervor/fasst nicht zusammen/problematisiert und modelliert nicht. L. betätigt die Kurbel und erfragt erneut die Funktions- und Konstruktionsweise. S. äußern erneut ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt nicht hervor/fasst nicht zusammen/problematisiert und modelliert nicht. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.	Sitzkreis	Doppeltes Karussell

(ca. 10 Min)	Fragebogen zum Lernerleben	L. bedankt sich für die Mitarbeit und bittet die Kinder, noch einmal an den Tischen Platz zu nehmen. <i>L.: „Ich habe zum Abschluss noch einen Fragebogen für euch. Wir würden gern herausfinden, wie es dir beim Bearbeiten der Forscherfragen zum Kurbelkarussell gegangen ist. Hinter jedem Satz sind drei Daumen abgebildet, mit deren Hilfe du angeben kannst, ob der Satz auf dich zutrifft.“</i> L. zeigt: Daumen nach oben heißt „Stimmt genau“ Daumen in der Mitte heißt: Stimmt zum Teil“ Daumen nach unten heißt: „Stimmt gar nicht!“ <i>L.: „Kreuze das Kästchen an, was am besten zu dir passt. Es gibt keine falschen Antworten. Richtig ist, wie du es erlebt hast und was du denkst. Ich lese euch gleich jeden Satz einzeln vor.“</i> S. füllen Fragebogen aus.		Fragebögen
	Abschluss und Verabschiedung	L. verabschiedet sich und erinnert an das nächste Treffen. Fragebögen werden eingesammelt.		

A 12 Unterrichtsmanual LERNnetze III: MODERAT EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Zeit	Phase	Verhalten der Lehrperson (L) / Erwartetes Verhalten der Schülerinnen und Schüler (S)	Sozialform	Medien & Materialien
(ca. 5 Min.)	Begrüßung und Einstieg	L: „Guten Morgen liebe Kinder der Klasse 3! Ihr sollt heute herausfinden, wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. präsentiert den Forscherauftrag. L: „Das ist also euer Forscherauftrag. Um diesen Auftrag erfüllen zu können, müsst ihr die drei Forscherfragen beantworten. Erinnert ihr euch noch an die Forscherfragen?“ Gemeinsames Sammeln und Zusammentragen/Präsentation Forscherfragen L. führt jeweils die Funktionen noch einmal vor: Weiterleitung / Übersetzung / Drehrichtungswechsel Forscherauftrag und -fragen werden gut sichtbar aufgehängt.	Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Schilder: Forscherauftrag und Forscherfragen Blackbox Kurbelkarussell (Übersetzung 1:1 / Gleiche Drehrichtung)
(ca. 15 Min.)	Einführung Erläuterung Arbeitsauftrag	L: „Um die Forscherfragen beantworten zu können, habe ich euch Aufgaben und Materialien mitgebracht, die ich euch nun vorstelle.“ L. erläutert und verweist auf Karten und Materialien: 1 + 2 und die entsprechenden Modelle. L: „Es gibt 2 Aufgabenbereiche 1 und 2 mit jeweils drei Unteraufgaben A, B und C. Bei Aufgabe 1 geht es um Versuche mit diesen (Riemen)scheiben; bei Aufgabe 2 geht es um Zahnräder.“ L: „Bleiben wir erst einmal bei Aufgabe 1. Bei Aufgabe 1 A sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, in welche Richtung sich die zweite Scheibe dreht. Stell dir vor, du drehst hier (Zeigen am Schild) an der Kurbel, dreht sich die zweite Scheibe dann in die gleiche Richtung wie die erste oder in die andere Richtung?“ „Bei Aufgabe 1 B sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, wie oft sich die zweite Scheibe dreht, wenn du die erste genau einmal herumdreht (Zeigen am Schild). Klebe dazu einen Klebepunkt auf die zweite Scheibe, das hilft dir beim genauen Beobachten. Außerdem musst du dir den Ausgangspunkt der Kurbel merken, damit du weißt, wann du einmal herumgedreht hast.“ L: „Bei Aufgabe C sollst du selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen. Dein Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Es soll sich in die gleiche Richtung drehen. Zum Bau stehen dir diese Materialien zur Verfügung.“ Material zeigen „Wichtig ist, dass du die Kurbel und das Karussell in die Löcher mit den roten Markierungen steckst, gebaut wird dann von der anderen Seite.“	Halbkreis vor der Materialtheke	Schilder: 1/2/A/B/C Modelle Riemenscheiben und Zahnräder / „Mini-Karussell“ Materialtüten und -boxen Forscherhefte

		„Bei den Aufgaben A und B sollst du immer zuerst lesen und vermuten und erst danach bauen und überprüfen.“ L. zeigt Schilder und Forscherheft. „Dies erkennst du auch in deinem Forscherheft: Auf der Seite mit dem roten Balken musst du zuerst lesen und vermuten, auf der blauen Seite darfst du dann bauen und überprüfen.“ „Unten auf der Seite findest du zwei Smileys: Wenn du die Aufgaben auf der Seite erfüllt hast, dann darfst du einen Smiley abhaken/ankreuzen oder ausmalen. Den anderen Smiley habe ich ab, wenn ich die Seite kontrolliert habe.“ „Das Forscherheft muss von vorne nach hinten Seite für Seite durchgearbeitet werden. Das Material zum Bauen für die blauen Seiten (Zeigen) findest du immer neben den Aufgaben. Wir schauen uns das jetzt Mal an.“ Tüteninhalt (A + B) ausschütten und gemeinsam betrachten. „Es sind mehr Dinge erhalten als du bei der ersten Aufgabe brauchst. Schau immer auf dem Bild nach, was du zum Bauen verwenden sollst.“ „Diese Zangen liegen auf deinem Tisch. Sie helfen dir, wenn du die roten Mittelstücke nicht mehr hinausbekommst.“	Schilder: „Lesen und Vermuten“ / „Bauen und Überprüfen“ Forscherheft
(ca. 5 Min.)	Einführung Wiederholung Arbeitsauftrag	L: „Die Aufgaben A, B und C sind bei Aufgabe 2 genau gleich, hier benutzt du statt der Scheiben aber Zahnräder. Wer kann die unterschiedlichen Aufgaben noch einmal wiederholen?“ L. zeigt nacheinander Aufgabenschilder (A, B und C) und das Forscherheft (Lesen und Vermuten / Bauen und Überprüfen) S. erläutern Aufgaben und die Vorgehensweise. L: „Zur Bearbeitung der Aufgaben sitzt ihr an diesen Tischen. Damit du deinen Platz findest, haben wir Namensschilder aufgestellt.“	S.O. Namensschilder für Tische
(ca. 60 Min.)	Erarbeitung Arbeitsphase	S. bearbeiten die unterschiedlichen Aufgabenformate. L. kontrolliert und gibt optional Hilfestellung, z.B. beim Überprüfen der Drehzahl.	Einzelarbeit an Zweiertischen Forscherhefte und Materialboxen, bzw. -tüten Ausmalbild und Wortsuchrätsel als zeitl. Differenzierung

(ca. 10 Min.)	Transfer I Zusammenhänge Aufgaben	L: „Ihr habt die Aufgaben ganz wunderbar bearbeitet.“ L: „Hier seht ihr noch einmal die Modelle von den Aufgaben A und B. Ich möchte gerne wissen, bei welchen Aufgaben du etwas Ähnliches beobachten konntest.“ S. gruppieren die Aufgaben. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. zeigt optional ein „Pärchen“ und erfragt Ähnlichkeiten. „Ich konnte auch bei diesen beiden etwas Ähnliches beobachten. Habt ihr eine Idee, was hier ähnlich ist?“	Stuhlkreis	Aufgabenmodelle
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen A	L: „Was meint ihr, können uns die Aufgabe helfen, den Forscherauftrag und die Forscherfragen zu lösen?“ Forscherfragen werden einzeln durchgegangen. S. bringen ihre Ideen ein. L. hebt wichtige Äußerungen hervor.	Stuhlkreis	Forscherfragen
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen B Blackbox	L. präsentiert Blackbox. „Wir wollen jetzt überprüfen, ob eure Ideen stimmen und wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. geht auf Lösungsvorschlag „Zahnrad“ und „Riemen“ ein. L: „Beides ist richtig. Ich habe mich aber für eines der beiden entschieden. Hast du eine Idee für was und warum?“ S. äußern ihre Vermutungen. L. geht darauf ein, ohne die Lösung vorwegzunehmen. L: „Dann wollen wir doch mal sehen, was sich hier drin befindet.“ L. öffnet Blackbox. S. äußern erste Ideen. L: „Hier sind also auch solche Scheiben drin, sie sind aber etwas anders als die blauen, die ihr genutzt habt. Die gelben Scheiben sind Doppelscheiben. Sie bestehen aus einer größeren Scheibe und einer kleineren Scheibe.“ L. zeigt Scheiben am Kurbelkarussell. Der Begriff Getriebe wird durch die Lehrperson eingeführt. L: „Die Scheiben und das Gummiband bilden zusammen das sogenannte Riemengetriebe.“ L: „Nun müssen wir aber noch unsere Forscherfragen beantworten.“ Forscherauftrag und -fragen werden abschließend durch die S. nacheinander beantwortet. Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? - Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? - Wie kann die Drehrichtung geändert werden? L. hebt wichtige Äußerungen hervor.	Gruppentisch	Blackbox Forscherfragen

(ca. 10 Min.)	Transfer I Austausch von Vorstellungen	L: „Nun habe ich noch eine Knobelaufgabe für euch. Um eine Lösung zu der Aufgabe zu finden, sollt ihr euch erst mit eurem Tischnachbarn absprechen, danach besprechen wir uns alle gemeinsam.“ L zeigt Schild mit der Aufgabe: Das Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Das Karussell soll sich in eine in andere Richtung drehen. S. tauschen sich zur Lösungsfindung aus und stellen ihre Ergebnisse vor. In der Gruppe wird beraten, ob es eine gemeinsame Lösung gibt oder ob unterschiedliche Lösungen existieren. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. Karussell wird eingestellt und Drehrichtung/Geschwindigkeit überprüft.	Unterrichtsgespräch Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell Schild mit Aufgabe
(ca. 5 Min.)	Transfer II Doppelkarussell	L: „Zum Abschluss habe ich noch ein ganz besonderes Karussell mitgebracht.“ Präsentation doppeltes Kurbelkarussell. „Wie funktioniert wohl das Doppelkarussell?“ S. äußern ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. betätigt die Kurbel und erfragt erneut die Funktions- und Konstruktionsweise. S. äußern erneut ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.	Sitzkreis	Doppeltes Karussell
(ca. 10 Min)	Fragebogen zum Lernerleben	L. bedankt sich für die Mitarbeit und bittet die Kinder, noch einmal an den Tischen Platz zu nehmen. L: „Ich habe zum Abschluss noch einen Fragebogen für euch. Wir würden gern herausfinden, wie es dir beim Bearbeiten der Forscherfragen zum Kurbelkarussell gegangen ist. Hinter jedem Satz sind drei Daumen abgebildet, mit deren Hilfe du angeben kannst, ob der Satz auf dich zutrifft.“ L. zeigt: Daumen nach oben heißt „Stimmt genau“ Daumen in der Mitte heißt: „Stimmt zum Teil“ Daumen nach unten heißt: „Stimmt gar nicht!“ L: „Kreuze das Kästchen an, was am besten zu dir passt. Es gibt keine falschen Antworten. Richtig ist, wie du es erlebt hast und was du denkst. Ich lese euch gleich jeden Satz einzeln vor.“ S. füllen Fragebogen aus.		Fragebögen
	Abschluss und Verabschiedung	L. verabschiedet sich und erinnert an das nächste Treffen. Fragebögen werden eingesammelt.		

A 13 Unterrichtsmanual LERNnetze III: INTENSIV EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Zeit	Phase	Verhalten der Lehrperson (L) / Erwartetes Verhalten der Schülerinnen und Schüler (S)	Sozialform	Medien & Materialien
(ca. 5 Min.)	Begrüßung und Einstieg	L: „Guten Morgen liebe Kinder der Klasse 3! Ihr sollt heute herausfinden, wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L: präsentiert den Forscherauftrag. L: „Das ist also euer Forscherauftrag. Um diesen Auftrag erfüllen zu können, müsst ihr die drei Forscherfragen beantworten. Erinnert ihr euch noch an die Forscherfragen?“ Gemeinsames Sammeln und Zusammentragen/Präsentation Forscherfragen L: führt jeweils die Funktionen noch einmal vor: Weiterleitung / Übersetzung / Drehrichtungswechsel Forscherauftrag und -fragen werden gut sichtbar aufgehängt.	Unterrichtsgespräch am Gruppentisch	Schilder: Forscherauftrag und Forscherfragen Blackbox Kurbelkarussell (Übersetzung 1.1 / Gleiche Drehrichtung)
(ca. 15 Min.)	Einführung Erläuterung Arbeitsauftrag	L: „Um die Forscherfragen beantworten zu können, habe ich euch Aufgaben und Materialien mitgebracht, die ich euch nun vorstelle.“ L. erläutert und verweist auf Karten und Materialien: 1 + 2 und die entsprechenden Modelle. L: „Es gibt 2 Aufgabenbereiche 1 und 2 mit jeweils drei Unteraufgaben A, B und C. Bei Aufgabe 1 geht es um Versuche mit diesen (Riemen)scheiben; bei Aufgabe 2 geht es um Zahnräder.“ L: „Bleiben wir erst einmal bei Aufgabe 1.“ Bei Aufgabe 1 A sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, in welche Richtung sich die zweite Scheibe dreht. Stell dir vor, du drehst hier (Zeigen am Schild) an der Kurbel, dreht sich die zweite Scheibe dann in die gleiche Richtung wie die erste oder in die andere Richtung?“ „Bei Aufgabe 1 B sollst du zuerst vermuten und dann überprüfen, wie oft sich die zweite Scheibe dreht, wenn du die erste genau einmal herumdrehst (Zeigen am Schild). Klebe dazu einen Klebepunkt auf die zweite Scheibe, das hilft dir beim genauen Beobachten. Außerdem musst du dir den Ausgangspunkt der Kurbel merken, damit du weißt, wann du einmal herumgedreht hast.“ L: „Bei Aufgabe C sollst du selbst ein Mini-Karussell zum Drehen bringen. Dein Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Es soll sich in die gleiche Richtung drehen. Zum Bau stehen dir diese Materialien zur Verfügung.“ Material zeigen „Wichtig ist, dass du die Kurbel und das Karussell in die Löcher mit den roten Markierungen steckst, gebaut wird dann von der anderen Seite.“	Halbkreis vor der Materialtheke	Schilder: 1/2/A/B/C Modelle Riemenscheiben und Zahnräder / „Mini-Karussell“ Materialtüten und -boxen Forscherhefte

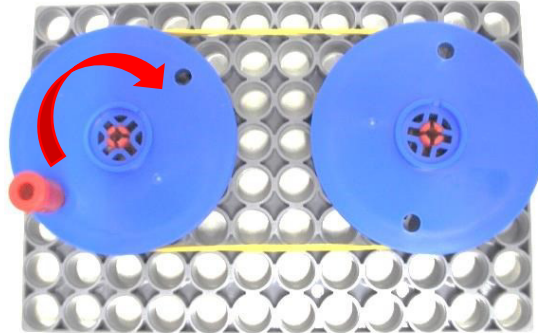
		„Bei den Aufgaben A und B sollst du immer zuerst lesen und vermuten und erst danach bauen und überprüfen.“ L. zeigt Schilder und Forscherheft. „Dies erkennst du auch in deinem Forscherheft: Auf der Seite mit dem roten Balken musst du zuerst lesen und vermuten, auf der blauen Seite darfst du dann bauen und überprüfen.“ „Unten auf der Seite findest du zwei Smileys: Wenn du die Aufgaben auf der Seite erfüllt hast, dann darfst du einen Smiley abhaken/ankreuzen oder ausmalen. Den anderen Smiley habe ich ab, wenn ich die Seite kontrolliert habe.“ „Das Forscherheft muss von vorne nach hinten Seite für Seite durchgearbeitet werden. Das Material zum Bauen für die blauen Seiten (Zeigen) findest du immer neben den Aufgaben. Wir schauen uns das jetzt Mal an.“ Tüteninhalt (A + B) ausschütten und gemeinsam betrachten. „Es sind mehr Dinge erhalten als du bei der ersten Aufgabe brauchst. Schau immer auf dem Bild nach, was du zum Bauen verwenden sollst.“ „Diese Zangen liegen auf deinem Tisch. Sie helfen dir, wenn du die roten Mittelstücke nicht mehr hinausbekommst.“	Schilder: „Lesen und Vermuten“ / „Bauen und Überprüfen“ Forscherheft
(ca. 5 Min.)	Einführung Wiederholung Arbeitsauftrag	L: „Die Aufgaben A, B und C sind bei Aufgabe 2 genau gleich, hier benutzt du statt der Scheiben aber Zahnräder. Wer kann die unterschiedlichen Aufgaben noch einmal wiederholen?“ L. zeigt nacheinander Aufgabenschilder (A, B und C) und das Forscherheft (Lesen und Vermuten / Bauen und Überprüfen) S. erläutern Aufgaben und die Vorgehensweise. L: „Zur Bearbeitung der Aufgaben sitzt ihr an diesen Tischen. Damit du deinen Platz findest, haben wir Namensschilder aufgestellt.“	S.O. Namensschilder für Tische
(ca. 60 Min.)	Erarbeitung Arbeitsphase	S. bearbeiten die unterschiedlichen Aufgabenformate. L. kontrolliert und gibt optional Hilfestellung, z.B. beim Überprüfen der Drehzahl.	Einzelarbeit an Zweiertischen Forscherhefte und Materialboxen, bzw. -tüten Ausmalbild und Wortsuchrätsel als zeitl. Differenzierung

(ca. 10 Min.)	Transfer I Zusammenhänge Aufgaben	L.: „Ihr habt die Aufgaben ganz wunderbar bearbeitet.“ L.: „Hier seht ihr noch einmal die Modelle von den Aufgaben A und B. Ich möchte gerne wissen, bei welchen Aufgaben du etwas Ähnliches beobachten konntest.“ S. gruppieren die Aufgaben. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. zeigt optional ein „Pärchen“ und erfragt Ähnlichkeiten. „Ich konnte auch bei diesen beiden etwas Ähnliches beobachten. Habt ihr eine Idee, was hier ähnlich ist?“ L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B. „Wenn ich an dieser Scheibe drehe, dann dreht sich die zweite in die gleiche Richtung. Wenn ich an diesem Zahnrad drehe, dann dreht sich das letzte Zahnrad auch in die gleiche Richtung. Was meint ihr dazu?“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „Ihr habt gesagt, dass diese beiden Aufgaben zusammengehören. Kann man hier wirklich Ähnliches beobachten? / Hier dreht sich das zweite Rad öfter... hier also auch?“	Stuhlkreis	Aufgabenmodelle
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen A	L.: „Was meint ihr, können uns die Aufgabe helfen, den Forscherauftrag und die Forscherfragen zu lösen?“ Forscherfragen werden einzeln durchgegangen. S. bringen ihre Ideen ein. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B. „Also ich finde auch diese Aufgabe kann uns dabei helfen, zu klären wie die Drehrichtung geändert werden kann. Was meint ihr dazu?“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „XY ist der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – stimmt ihr dem zu?“	Stuhlkreis	Forscherfragen
(ca. 5 Min.)	Transfer I Rückbezug auf Sachzeichnungen	L. präsentiert Sachzeichnungen der Kinder (Pretest). L.: „Ich habe hier noch einmal eure Zeichnungen vom ...tag mitgebracht. Hier habt ihr ja eure ersten Ideen zur ersten Forschungsfrage aufgezeichnet. Schaut euch eure Zeichnung jetzt noch einmal an und überlegt dabei, was ihr nun ändern, wegnehmen oder hinzufügen würdet. Vielleicht würdest du jetzt auch etwas ganz anderes zeichnen?“ S. betrachten ihre Zeichnung und teilen mögliche Änderungen/Ergänzungen mit.	Gruppentisch	Sachzeichnungen der SuS
(ca. 10 Min.)	Transfer I Forscherfragen B Blackbox	L. präsentiert Blackbox. „Wir wollen jetzt überprüfen, ob eure Ideen stimmen und wie das Kurbelkarussell funktioniert.“ L. geht auf Lösungsvorschlag „Zahnrad“ und „Riemen“ ein.	Gruppentisch	Blackbox Forscherfragen

		L: „Beides ist richtig. Ich habe mich aber für eines der beiden entschieden. Hast du eine Idee für was und warum?“ S. äußern ihre Vermutungen. L. geht darauf ein, ohne die Lösung vorwegzunehmen. L: „Dann wollen wir doch mal sehen, was sich hier drin befindet.“ L. öffnet Blackbox. S. äußern erste Ideen. L: „Hier sind also auch solche Scheiben drin, sie sind aber etwas anders als die blauen, die ihr genutzt habt. Die gelben Scheiben sind Doppelscheiben. Sie bestehen aus einer größeren Scheibe und einer kleineren Scheibe.“ L. zeigt Scheiben am Kurbelkarussell. Der Begriff Getriebe wird durch die Lehrperson eingeführt. L: „Die Scheiben und das Gummiband bilden zusammen das sogenannte Riemengetriebe.“ L: „Nun müssen wir aber noch unsere Forscherfragen beantworten.“ Forscherauftrag und -fragen werden abschließend durch die S. nacheinander beantwortet. Wie funktioniert das Kurbelkarussell? - Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? - Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? - Wie kann die Drehrichtung geändert werden? L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. modelliert: z.B.: „Ah, ich nehme das Gummi also hier auf die kleinere Scheibe, dann dreht sich das Karussell schneller. Und wenn ich es über die große Scheibe lege?“ L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: z.B. „XY ist der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – stimmt ihr dem zu?“		
(ca. 10 Min.) Transfer I Austausch von Vorstellungen	L: „Nun habe ich noch eine Knobelaufgabe für euch. Um eine Lösung zu der Aufgabe zu finden, sollt ihr euch erst mit eurem Tischnachbarn absprechen, danach besprechen wir uns alle gemeinsam.“ L. zeigt Schild mit der Aufgabe: Das Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel. Das Karussell soll sich in eine in andere Richtung drehen. S. tauschen sich zur Lösungsfindung aus und stellen ihre Ergebnisse vor. In der Gruppe wird beraten, ob es eine gemeinsame Lösung gibt oder ob unterschiedliche Lösungen existieren. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. Karussell wird eingestellt und Drehrichtung/Geschwindigkeit überprüft.	Unterrichtsgespräch Gruppentisch	Blackbox Kurbelkarussell Schild mit Aufgabe	

		L. problematisiert, wirft Rückfragen auf, weist auf Widersprüche hin: „XY waren ja der Meinung, dass sich durch das Kreuzen des Gummis das Karussell schneller dreht – was sagt ihr zu dieser Idee?“ L. modelliert: „Genau, wenn ich das Band kreuze, dann dreht sich die zweite Scheibe in die andere Richtung.“ Ggf. Vorführen am Modell.		
(ca. 5 Min.)	Transfer II Doppelkarussell	L: „Zum Abschluss habe ich noch ein ganz besonderes Karussell mitgebracht.“ Präsentation doppeltes Kurbelkarussell. „Wie funktioniert wohl das Doppelkarussell?“ S. äußern ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. betätigt die Kurbel und erfragt erneut die Funktions- und Konstruktionsweise. S. äußern erneut ihre Vermutungen zur Funktionsweise. L. hebt wichtige Äußerungen hervor. L. fasst Besprochenes zusammen. L. öffnet das Doppelkarussell und führt die Funktionsweise vor.	Sitzkreis	Doppeltes Karussell
(ca. 10 Min)	Fragebogen zum Lernerleben	L. bedankt sich für die Mitarbeit und bittet die Kinder, noch einmal an den Tischen Platz zu nehmen. L: „Ich habe zum Abschluss noch einen Fragebogen für euch. Wir würden gern herausfinden, wie es dir beim Bearbeiten der Forscherfragen zum Kurbelkarussell gegangen ist. Hinter jedem Satz sind drei Daumen abgebildet, mit deren Hilfe du angeben kannst, ob der Satz auf dich zutrifft.“ L. zeigt: Daumen nach oben heißt: „Stimmt genau“ Daumen in der Mitte heißt: Stimmt zum Teil“ Daumen nach unten heißt: „Stimmt gar nicht!“ L: „Kreuze das Kästchen an, was am besten zu dir passt. Es gibt keine falschen Antworten. Richtig ist, wie du es erlebt hast und was du denkst. Ich lese euch gleich jeden Satz einzeln vor.“ S. füllen Fragebogen aus.		Fragebögen
	Abschluss und Verabschiedung	L. verabschiedet sich und erinnert an das nächste Treffen. Fragebögen werden eingesammelt.		

Aufgabe 1a: LESEN und VERMUTEN



Drehe die Scheibe.

In welche Richtung dreht sich die zweite Scheibe?

☐

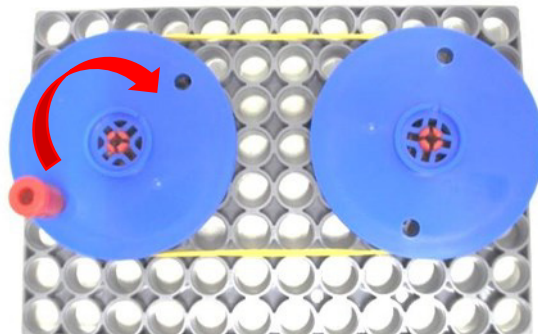
Die zweite Scheibe dreht sich in die gleiche Richtung.

☐

Die zweite Scheibe dreht sich in die andere Richtung.



Aufgabe 1a: BAUEN und ÜBERPRÜFEN



Drehe die Scheibe.

In welche Richtung dreht sich die zweite Scheibe?

☐

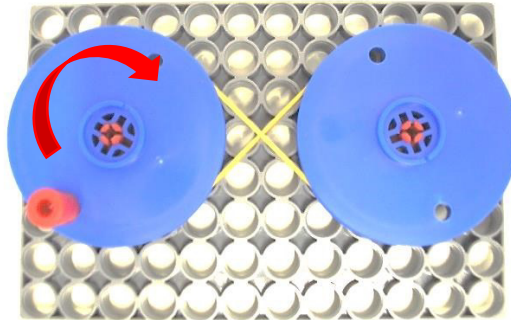
Die zweite Scheibe dreht sich in die gleiche Richtung.

☐

Die zweite Scheibe dreht sich in die andere Richtung.



Aufgabe 1a: LESEN und VERMUTEN



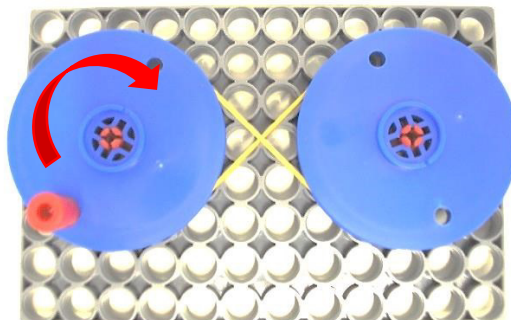
Drehe die Scheibe.

In welche Richtung dreht sich die zweite Scheibe?

- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich in die gleiche Richtung.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich in die andere Richtung.



Aufgabe 1a: BAUEN und ÜBERPRÜFEN



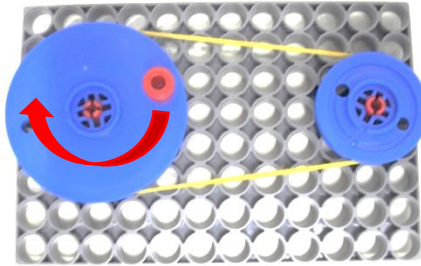
Drehe die Scheibe.

In welche Richtung dreht sich die zweite Scheibe?

- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich in die gleiche Richtung.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich in die andere Richtung.



Aufgabe 1b: LESEN und VERMUTEN



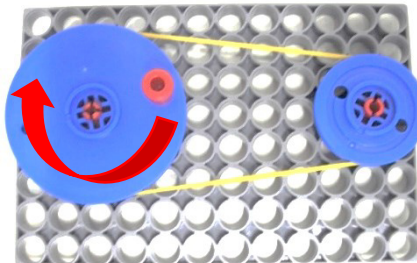
Drehe die erste Scheibe genau einmal herum.

Wie oft dreht sich die zweite Scheibe?

- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich auch einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich weniger als einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich mehr als einmal herum.



Aufgabe 1b: BAUEN und ÜBERPRÜFEN



Drehe die erste Scheibe genau einmal herum.

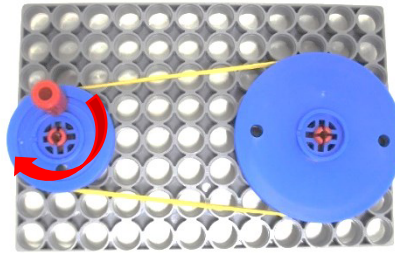
Wie oft dreht sich die zweite Scheibe?

- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich auch einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich weniger als einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich mehr als einmal herum.

Tipp: Benutze
einen
Klebepunkt
als Hilfe!



Aufgabe 1b: LESEN und VERMUTEN



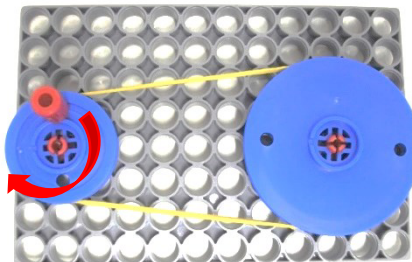
Drehe die erste Scheibe genau einmal herum.

Wie oft dreht sich die zweite Scheibe?

- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich auch einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich weniger als einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich mehr als einmal herum.



Aufgabe 1b: BAUEN und ÜBERPRÜFEN



Drehe die erste Scheibe genau einmal herum.

Wie oft dreht sich die zweite Scheibe?

- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich auch einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich weniger als einmal herum.
- ☐ Die zweite Scheibe dreht sich mehr als einmal herum.

Tipp: Benutze
einen
Klebpunkt
als Hilfe!



Aufgabe 1c: LESEN BAUEN ZEICHNEN

1. Baue aus den vorgegebenen Materialien ein Karussell.

- Das Karussell soll sich öfter drehen als die Kurbel.

☐

- Das Karussell soll sich in die gleiche Richtung drehen wie die Kurbel.

☐

2. Zeichne deine Lösung auf der Rückseite auf.

☐

A 15 Beobachtungsbogen zur Kontrolle der Treatmentbedingungen: IMPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG
Hervorheben Wichtige Äußerungen der Lernenden hervorheben, herausstellen und verstärken.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase I wichtige Äußerungen der Schüler/-innen hervor.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase wichtige Äußerungen hervor.	Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:			

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG									
Zusammenfassen	Während der Transferphase fasst die Lehrperson die Beiträge der Lernenden und bereits Besprochenes zusammen.	Die Lehrperson fasst während der Transferphase die Beiträge der Lernenden und bisher Besprochenes zusammen.	Trifft völlig zu	①	Trifft zu	②	Trifft überwiegend zu	③	Trifft teilweise zu	④	Trifft nicht zu	⑤
<u>Beobachtungen:</u>												
Modellieren Als Lehrperson modellhaft vormachen, laut denken, Lösungen oder Teile von Lösungen zeigen	Während der Transferphase agiert die Lehrperson modellierend.	Die Lehrperson agiert während der Transferphase modellierend.	Trifft völlig zu	①	Trifft zu	②	Trifft überwiegend zu	③	Trifft teilweise zu	④	Trifft nicht zu	⑤
<u>Beobachtungen:</u>												

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG
Kognitive Konflikte auflösen Problematisieren, Rückfragen aufwerfen, auf Widersprüche hinweisen	In der Transferphase I greift die Lehrperson problematisierend in die Unterrichtsgespräche ein.	Die Lehrperson wirft während der Transferphase problematisierende Rückfragen auf und weist auf Widersprüche hin.	Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:			

A 16 Beobachtungsbogen zur Kontrolle der Treatmentbedingungen: MODERAT EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	NUTZUNG: Einschätzung der Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler
Vorstellungen aufbauen und weiterentwickeln Zum Erkennen von Regelmäßigkeiten und Zusammenhängen motivieren	Die bearbeiteten Aufgabenformate werden vergleichend betrachtet: „Bei welchen Aufgaben konntest du Ähnliches beobachten?“	Die Lehrperson regt zur vergleichenden Betrachtung der Aufgabenformate an: „Bei welchen Aufgaben konntest du Ähnliches beobachten?“ Trifft völlig zu (1) Trifft zu (2) Trifft überwiegend zu (3) Trifft teilweise zu (4) Trifft nicht zu (5)	Die Schüler/-innen benennen genotypische Gemeinsamkeiten der Aufgabenformate. Trifft völlig zu (1) Trifft zu (2) Trifft überwiegend zu (3) Trifft teilweise zu (4) Trifft nicht zu (5)
Beobachtungen:			
Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen Zum Austausch unter den Lernenden anregen	Die Lehrperson nimmt eine Einstellung am Karussell vor oder erfragt, wie eine bestimmte Drehgeschwindigkeit oder –richtung eingestellt werden kann. Die Drehgeschwindigkeit oder –richtung eingestellt werden kann. Die Antwortfindung erfolgt über den gemeinsamen Austausch der Lernenden.	Die Lehrperson erfragt, wie eine bestimmte Drehgeschwindigkeit oder –richtung eingestellt werden kann und fordert die Schüler/-innen auf, sich darüber in Partnergruppen auszutauschen. Trifft völlig zu (1) Trifft zu (2) Trifft überwiegend zu (3) Trifft teilweise zu (4) Trifft nicht zu (5)	Die Schüler/-innen tauschen sich untereinander über die notwendigen Einstellungen; bzw. die resultierenden Karussellbewegungen aus. Trifft völlig zu (1) Trifft zu (2) Trifft überwiegend zu (3) Trifft teilweise zu (4) Trifft nicht zu (5)

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG
Hervorheben Wichtige Äußerungen der Lernenden hervorheben, herausstellen und verstärken.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase I wichtige Äußerungen der Schüler/-innen hervor.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase wichtige Äußerungen hervor.	Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:			

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG				
Zusammenfassen	Während der Transferphase fasst die Lehrperson die Beiträge der Lernenden und bereits Besprochenes zusammen.	Die Lehrperson fasst während der Transferphase die Beiträge der Lernenden und bisher Besprochenes zusammen.	Trifft völlig zu ①	Trifft zu ②	Trifft überwiegend zu ③	Trifft teilweise zu ④	Trifft nicht zu ⑤
<u>Beobachtungen:</u>							
Modellieren Als Lehrperson modellhaft vormachen, laut denken, Lösungen oder Teile von Lösungen zeigen	Während der Transferphase agiert die Lehrperson modellierend.	Die Lehrperson agiert während der Transferphase modellierend.	Trifft völlig zu ①	Trifft zu ②	Trifft überwiegend zu ③	Trifft teilweise zu ④	Trifft nicht zu ⑤
<u>Beobachtungen:</u>							

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell In der Transferphase I greift die Lehrperson problematisierend in die Unterrichtsgespräche ein.	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG
Kognitive Konflikte auflösen Problematisieren, Rückfragen aufwerfen, auf Widersprüche hinweisen		Die Lehrperson wirft während der Transferphase problematisierende Rückfragen auf und weist auf Widersprüche hin.	Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:			

A 17 Beobachtungsbogen zur Kontrolle der Treatmentbedingungen: INTENSIV EXPLIZITE LERNUNTERSTÜTZUNG

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	NUTZUNG: Einschätzung der Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler
Vorstellungen aufbauen und weiterentwickeln Zum Erkennen von Regelmäßigkeiten und Zusammenhängen motivieren	Die bearbeiteten Aufgabenformate werden vergleichend betrachtet: „Bei welchen Aufgaben konntest du Ähnliches beobachten?“	Die Lehrperson regt zur vergleichenden Betrachtung der Aufgabenformate an: „Bei welchen Aufgaben konntest du Ähnliches beobachten?“ Trifft völlig zu Trifft zu Trifft überwiegend zu Trifft teilweise zu Trifft nicht zu ① ② ③ ④ ⑤	Die Schüler/-innen benennen genotypische Gemeinsamkeiten der Aufgabenformate. Trifft völlig zu Trifft zu Trifft überwiegend zu Trifft teilweise zu Trifft nicht zu ① ② ③ ④ ⑤
Beobachtungen:			
Austausch über Vorstellungen und Konzepte anregen Zum Austausch unter den Lernenden anregen	Die Lehrperson nimmt eine Einstellung am Karussell vor oder erfragt, wie eine bestimmte Drehgeschwindigkeit oder –richtung eingestellt werden kann. Die Antwortfindung erfolgt über den gemeinsamen Austausch der Lernenden.	Die Lehrperson erfragt, wie eine bestimmte Drehgeschwindigkeit oder –richtung eingestellt werden kann und fordert die Schüler/-innen auf, sich darüber in Partnergruppen auszutauschen. Trifft völlig zu Trifft zu Trifft überwiegend zu Trifft teilweise zu Trifft nicht zu ① ② ③ ④ ⑤	Die Schüler/-innen tauschen sich untereinander über die notwendigen Einstellungen; bzw. die resultierenden Karussellbewegungen aus. Trifft völlig zu Trifft zu Trifft überwiegend zu Trifft teilweise zu Trifft nicht zu ① ② ③ ④ ⑤
Beobachtungen:			

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	NUTZUNG: Einschätzung der Nutzung auf Seiten der Schülerinnen und Schüler
Über Lerninhalte und -wege nachdenken Gelegenheiten schaffen, über die Veränderung des eigenen Wissens nachzudenken	In der Transferphase I erhalten die Lernenden ihre Sachzeichnung zurück. Sie sollen benennen, was sie nun anders darstellen und einzeichnen würden.	Die Lehrperson fordert die Schüler/-innen auf, ihre Sachzeichnungen zu betrachten und mögliche Änderungen und Ergänzungen zu benennen. Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤	Die Schüler/-innen benennen Änderungen, bzw. Ergänzungen zu ihrer Zeichnung. Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤
Beobachtung			

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	<u>EINSCHÄTZUNG</u>				
Hervorheben Wichtige Äußerungen der Lernenden hervorheben, herausstellen und verstärken.	Die Lehrperson hebt während der Transferphase I wichtige Äußerungen der Schüler/-innen hervor.	Die Lehrperson hebt während der Transferphasen wichtige Äußerungen hervor.	Trifft völlig zu	Trifft zu	Trifft überwiegend zu	Trifft teilweise zu	Trifft nicht zu
			①	②	③	④	⑤
<u>Beobachtungen:</u>							

Inhaltlich strukturierende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG				
Zusammenfassen	Während der Transferphase fasst die Lehrperson die Beiträge der Lernenden und bereits Besprochenes zusammen.	Die Lehrperson fasst während der Transferphase die Beiträge der Lernenden und bisher Besprochenes zusammen.	Trifft völlig zu ①	Trifft zu ②	Trifft überwiegend zu ③	Trifft teilweise zu ④	Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:							
Modellieren Als Lehrperson modellhaft vormachen, laut denken, Lösungen oder Teile von Lösungen zeigen	Während der Transferphase agiert die Lehrperson modellierend.	Die Lehrperson agiert während der Transferphase modellierend.	Trifft völlig zu ①	Trifft zu ②	Trifft überwiegend zu ③	Trifft teilweise zu ④	Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:							

Kognitiv anregende Maßnahmen der Lernunterstützung (nach Adamina et al., 2017)	ANGEBOT: Umsetzung im LERNnetz zum Kurbelkarussell	UMSETZUNG: Überprüfung der Umsetzung durch die Lehrperson	EINSCHÄTZUNG
Kognitive Konflikte auflösen Problematisieren, Rückfragen aufwerfen, auf Widersprüche hinweisen	In der Transferphase I greift die Lehrperson problematisierend in die Unterrichtsgespräche ein.	Die Lehrperson wirft während der Transferphase problematisierende Rückfragen auf und weist auf Widersprüche hin.	Trifft völlig zu ① Trifft zu ② Trifft überwiegend zu ③ Trifft teilweise zu ④ Trifft nicht zu ⑤
Beobachtungen:			

A 18 Interviewleitfaden Posttest

L: „Hallo XY! Vorgestern habt ihr ja herausgefunden, wie das Kurbelkarussell funktioniert. Heute möchte ich dir noch ein paar Fragen zum Kurbelkarussell stellen. Einige davon kennst du schon, es gibt aber auch Fragen, die neu für dich sind. Wir beginnen mit unseren Forscherfragen.“

Zeigen und Vorlesen der ersten Forscherfrage.

„Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

L. zeigt Erhebungsbogen mit Abbildung vom Kurbelkarussell.

„Hier sollst du einzeichnen, was sich in dem Karton befindet, damit das Karussell sich dreht.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

L: „Kommen wir nun zur zweiten Forscherfrage.“

Zeigen und Vorlesen der zweiten Forscherfrage.

„Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

L. zeigt Erhebungsbogen mit Abbildungen vom Kurbelkarussell.

L: „Hier kannst du deine Lösung einzeichnen. Hier **(Zeigen)** dreht sich das Karussell öfter als die Kurbel. Es dreht sich schnell. Hier **(Zeigen)** dreht sich das Karussell nicht so oft wie die Kurbel. Es dreht sich langsam.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

L: „Jetzt machen wir mit der dritten Forscherfrage weiter.“

Zeigen und Vorlesen der dritten Forscherfrage.

L: „Wie kann die Drehrichtung geändert werden?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

L. zeigt Erhebungsbogen mit Abbildungen vom Kurbelkarussell.

L: „Hier kannst du deine Lösung einzeichnen. Hier **(Zeigen)** drehen sich das Karussell und die Kurbel in die gleiche Richtung. Hier **(Zeigen)** drehen sich das Karussell und die Kurbel nicht in die gleiche Richtung.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

A 19 Interviewleitfaden Follow-up-Test

L: „Hallo XY! Vor einigen Wochen habt ihr ja herausgefunden, wie das Kurbelkarussell funktioniert. Heute möchte ich dir wieder ein paar Fragen zum Kurbelkarussell stellen. Die Fragen kennst du schon. Ich möchte gerne wissen, ob du sie auch heute noch beantworten kannst. Wir beginnen mit unseren Forscherfragen.“

Zeigen und Vorlesen der ersten Forscherfrage.

L: „Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht? Erinnerst du dich noch daran, was sich in dem Karussell befindet?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

L. zeigt Erhebungsbogen mit Abbildung vom Kurbelkarussell.

L: „Hier sollst du einzeichnen, was sich in dem Karton befindet, damit das Karussell sich dreht.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

L: „Kommen wir nun zur zweiten Forscherfrage.“

Zeigen und Vorlesen der zweiten Forscherfrage.

L: „Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden? Hast du dazu noch Ideen?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

L. zeigt Erhebungsbogen mit Abbildungen vom Kurbelkarussell.

L: „Hier kannst du deine Lösung einzeichnen. Hier **(Zeigen)** dreht sich das Karussell öfter als die Kurbel. Es dreht sich schnell. Hier **(Zeigen)** dreht sich das Karussell nicht so oft wie die Kurbel. Es dreht sich langsam.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

L: „Jetzt machen wir mit der dritten Forscherfrage weiter.“

Zeigen und Vorlesen der dritten Forscherfrage.

L: „Wie kann die Drehrichtung geändert werden? Kannst du dich daran auch noch erinnern?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

L. zeigt Erhebungsbogen mit Abbildungen vom Kurbelkarussell.

L: „Hier kannst du deine Lösung einzeichnen. Hier **(Zeigen)** drehen sich das Karussell und die Kurbel in die gleiche Richtung. Hier **(Zeigen)** drehen sich das Karussell und die Kurbel nicht in die gleiche Richtung.“

S. fertigt Sachzeichnung zum Kurbelkarussell an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

A 20 Interviewleitfaden Transferaufgaben und Reproduktionsaufgabe

L: „Schau mal, hier ist ein Bild von dem Doppelkarussell. Erinnerst du dich daran? Mit der Kurbel werden zwei Karusselle angetrieben. Das Karussell A (**Zeigen**) soll sich schnell drehen. Das Karussell B (**Zeigen**) soll sich langsam drehen. Kannst du hier (**Zeigen**) einzeichnen, was sich im Inneren des Karussells befindet, damit das so funktioniert?“

S. fertigt Sachzeichnung an und beschriftet diese.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

L: „Jetzt kommt eine Aufgabe zu Zahnrädern.“

Zeigen des Bildes und Vorlesen der Aufgabe.

L: „In welche Richtung dreht sich das dritte Zahnrad? In die gleiche Richtung wie das erste? In die andere Richtung?“

Zeigen der Ankreuzoptionen.

S. wählt Antwortmöglichkeit aus und kreuzt an.

L: „Bei der nächsten Aufgabe geht es wieder um ein Kurbelkarussell. Diesmal sind Kurbel und Karussell aber mit Zahnrädern verbunden. Es ist ein Kurbelkarussell mit Zahnrädern.“

Zeigen und Vorlesen der Aufgabe.

L: „Das Karussell soll sich nicht so oft drehen wie die Kurbel. Zeichne hier (**Zeigen**) die Zahnräder ein.“

S. fertigt Sachzeichnung an.

L. bedankt sich und nimmt Bogen an sich.

L: „Jetzt kommen wir zur letzten Aufgabe. Ich habe dir eine Handbohrmaschine mitgebracht. (**Zeigen**) Hier unten (**Zeigen**) kann man einen Bohrer einspannen und dann kann man damit Löcher bohren.“

Handhabung zeigen.

L: „Schau mal, in der Handbohrmaschine sind auch Zahnräder eingebaut. Ein großes hier (**Zeigen**) und ein kleines hier (**Zeigen**). Warum ist es günstig (klug/clever) ein großes Zahnrad hier und ein kleines hier zu verwenden?“

S. formuliert Antwort. L. schreibt mit.

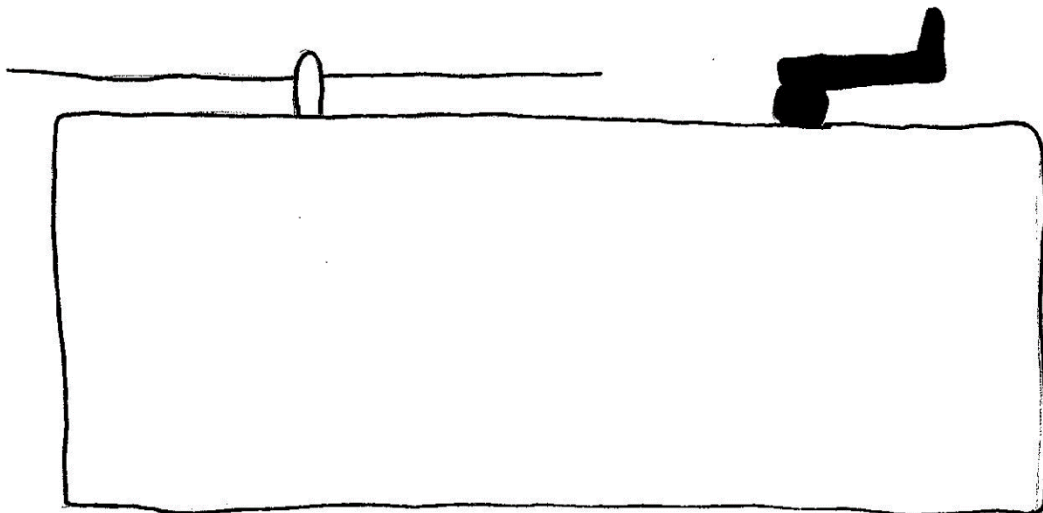
L. bedankt sich für die Mitarbeit und verabschiedet sich.

L: „Vielen Dank, dass du so prima mitgearbeitet hast! Du kannst nun wieder in die Klasse gehen und mir XY herschicken. Auf Wiedersehen!“

Forscherfrage 1:

Wieso dreht sich das Karussell, wenn man an der Kurbel dreht?

2. Zeichne ein, was sich in dem Karton befindet.

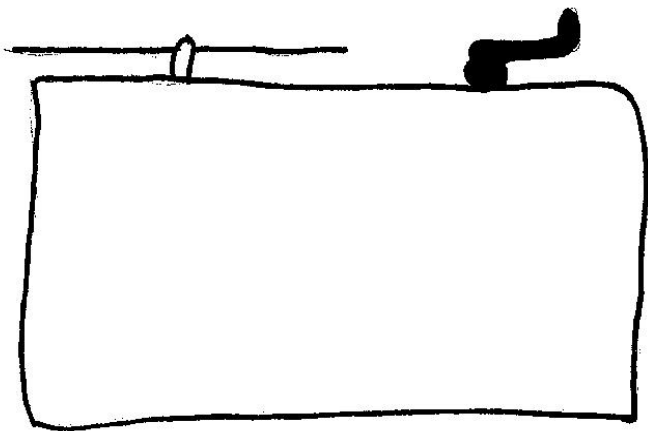


3. Beschrifte deine Zeichnung.

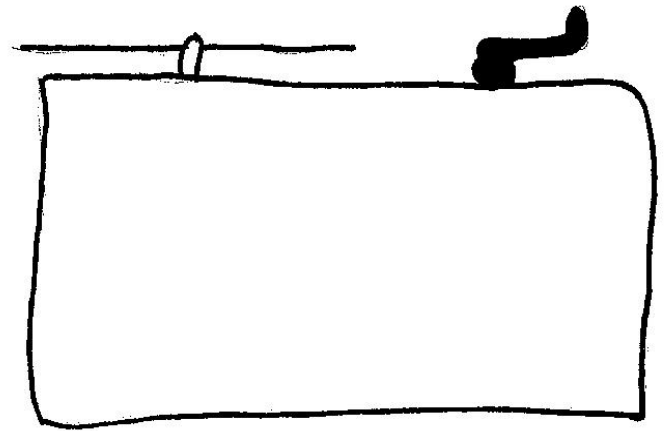
Forschfrage 2:

Wie kann die Geschwindigkeit verändert werden?

Zeichne ein:



Das Karussell dreht sich
öfter als die Kurbel.

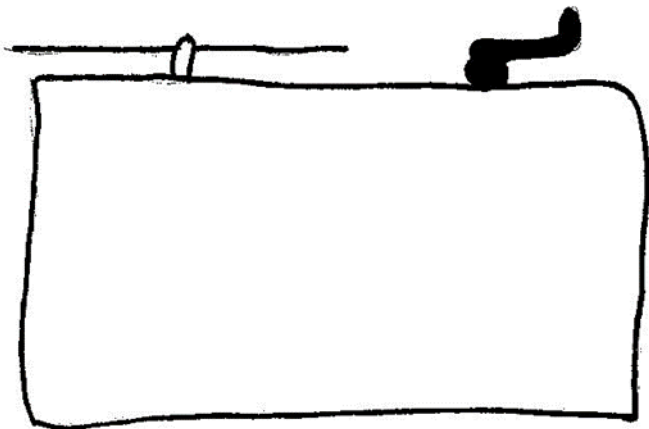


Das Karussell dreht sich
nicht so oft
wie die Kurbel.

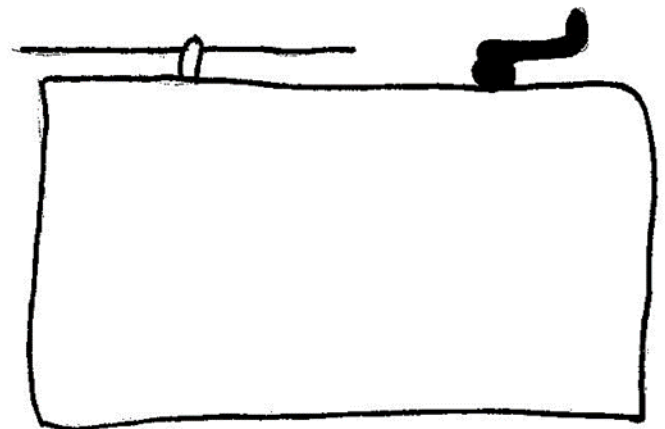
Forscherfrage 3:

Wie kann die Drehrichtung geändert werden?

Zeichne ein:



Das Karussell und die Kurbel
drehen sich
in die gleiche Richtung.



Das Karussell und die Kurbel
drehen sich nicht
in die gleiche Richtung.

Doppelkarussell

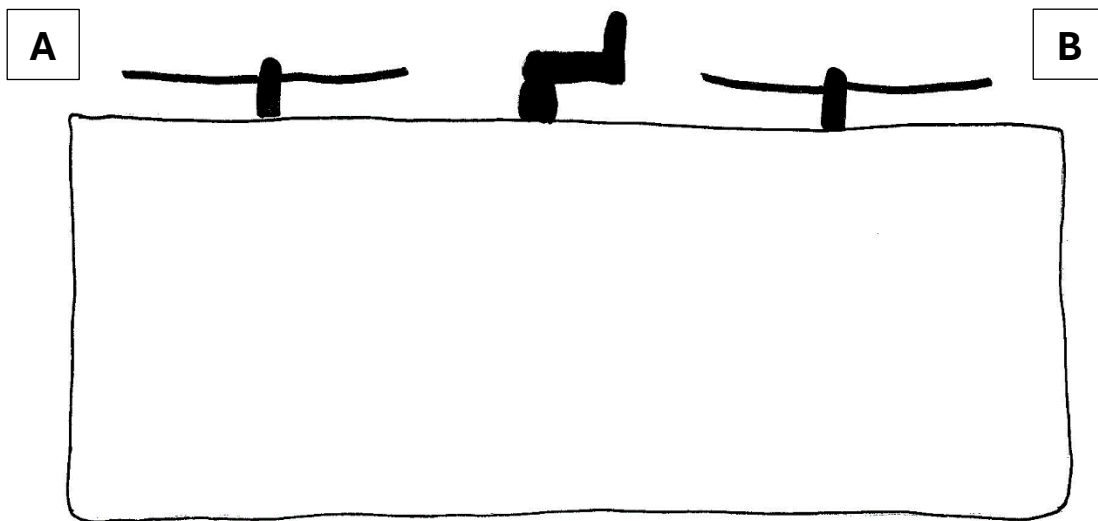
Mit einer Kurbel werden 2 Karussellscheiben angetrieben.

Das Karussell A soll sich schnell drehen.

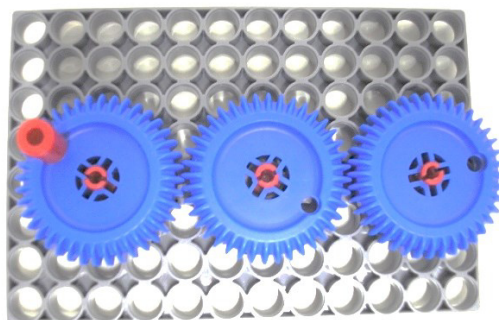
Das Karussell B soll sich langsam drehen.

1. Zeichne deine Lösung ein

2. Beschrifte deine Zeichnung



Zahnräder



Drehe das erste Zahnrad.

In welche Richtung dreht sich das dritte Zahnrad?

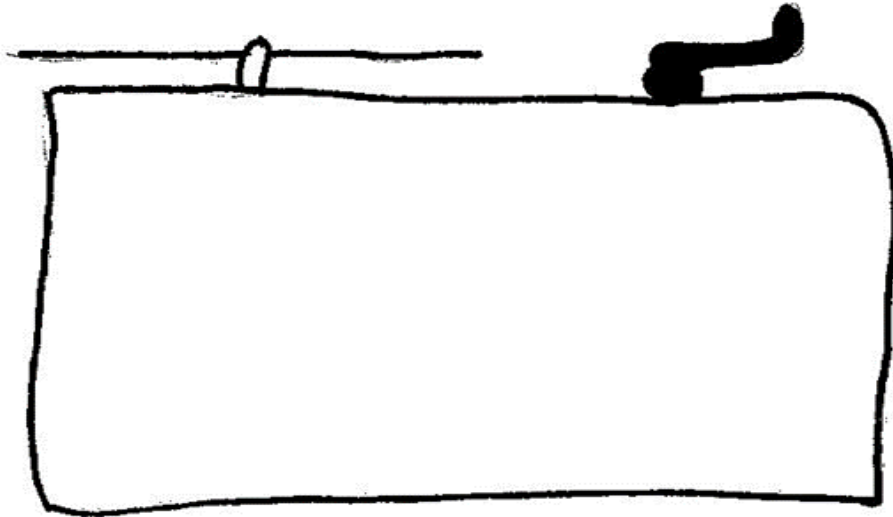
- ☐ Das dritte Zahnrad dreht sich in die gleiche Richtung wie das erste.
- ☐ Das dritte Zahnrad dreht sich in die andere Richtung.

Kurbelkarussell mit Zahnrädern

Hier sind die Kurbel und das Karussell mit Zahnrädern verbunden.

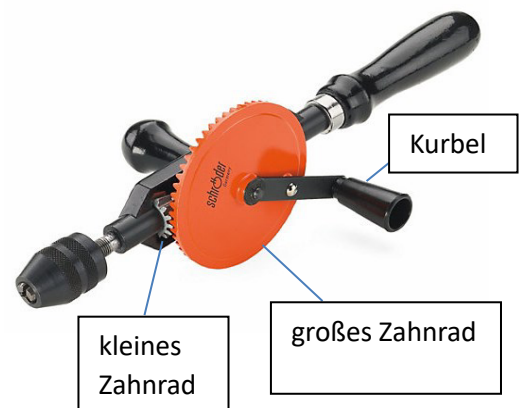
Das Karussell soll sich nicht so oft drehen wie die Kurbel.

Zeichne die Zahnräder ein.



Handbohrmaschine

Warum ist es günstig, ein großes und ein kleines Zahnrad zu verwenden?



A 23 Fragebogen zum Lernerleben

Liebe Schülerin, lieber Schüler,

wir würden gern herausfinden, wie es dir beim Bearbeiten der Forscherfragen zum Kurbelkarussell gegangen ist.

Hinter jedem Satz sind drei Daumen abgebildet, mit deren Hilfe du angeben kannst, ob der Satz auf dich zutrifft:

		
Stimmt genau	Stimmt zum Teil	Stimmt gar nicht

Kreuze das Kästchen an, was am besten zu dir passt. Es gibt keine falschen Antworten. Richtig ist, wie du es erlebt hast und was du denkst.

1	Ich habe gemerkt, dass ich die Dinge verstanden habe.			
2	Ich musste mich anstrengen, um die Forscherfragen zu lösen.			
3	Ich würde gerne noch mehr über das Thema erfahren.			
4	Ich fand, die Forscherfragen waren leicht zu bearbeiten.			
5	Ich konnte mich beim Bearbeiten der Forscherfragen gut konzentrieren.			
6	Die Forscherfragen fand ich interessant.			
7	Ich konnte die Forscherfragen lösen.			
8	Ich fand es schwierig, die Forscherfragen zu verstehen.			
9	Das Bearbeiten der Forscherfragen hat Spaß gemacht.			
10	Ich habe die ganze Zeit darüber nachgedacht, wie das Kurbelkarussell funktioniert.			
11	Ich fand es schwer, die Forscherfragen zu beantworten.			

A 24 Zusammensetzung der Treatment- und der Kontrollgruppe

Lerngruppen implizite Lernunterstützung	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen		
		Hoch	Durchschnittlich	Gering
2	M (n = 4)	1	2	1
	J (n = 4)	1	2	1
5	M (n = 4)	1	2	1
	J (n = 4)	2	1	1
9	M (n = 4)	2	0	2
	J (n = 4)	1	2	1
Insgesamt	M (n = 12)	4	4	4
	J (n = 12)	4	5	3
		8	9	7

Lerngruppen moderate Lernunterstützung	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen		
		Hoch	Durchschnittlich	Gering
1	M (n = 4)	1	2	1
	J (n = 4)	1	2	1
3	M (n = 5)	2	1	2
	J (n = 3)	1	1	1
7	M (n = 4)	2	0	2
	J (n = 4)	0	3	1
Insgesamt	M (n = 13)	5	3	5
	J (n = 11)	2	6	3
		7	9	8

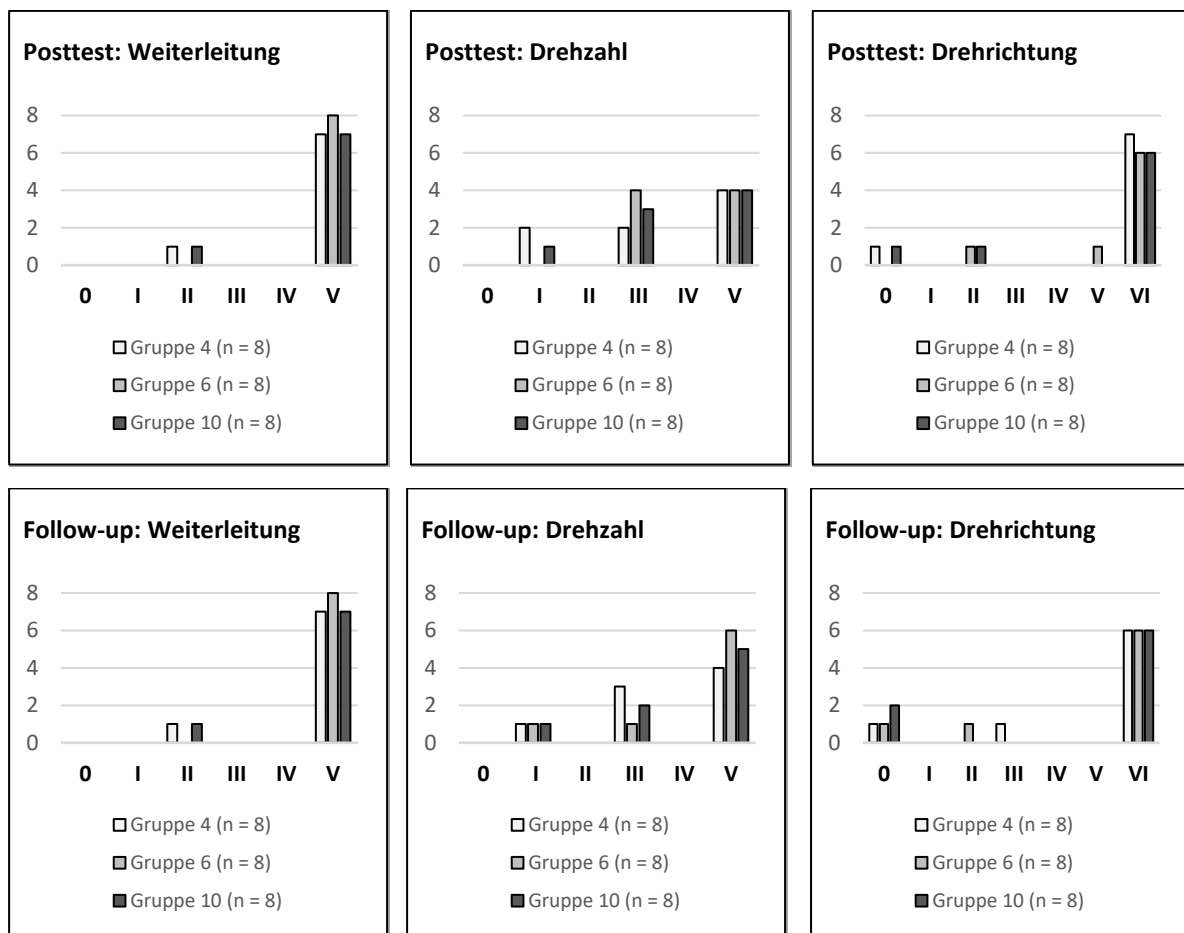
Lerngruppen intensive Lernunterstützung	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen		
		Hoch	Durchschnittlich	Gering
4	M (n = 4)	2	1	1
	J (n = 4)	1	2	1
6	M (n = 5)	1	2	2
	J (n = 3)	2	0	1
10	M (n = 4)	1	1	2
	J (n = 4)	1	2	1
Insgesamt	M (n = 13)	4	4	5
	J (n = 11)	4	4	3
		8	8	8

Kontrollgruppe	Anzahl der Mädchen (M) und Jungen (J)	Kognitive sachunterrichtsbezogene Lernvoraussetzungen		
		Hoch	Durchschnittlich	Gering
	M (n = 4)	0	3	1
	J (n = 4)	2	1	1
Insgesamt		2	4	2

A 25 Krankheitsbedingte Nachtestungen LERNnetze III

Lern- gruppe	Schulamts- bezirk	Treatment	Posttest	Posttest Nachholtermin	Follow-up	Follow-up Nachholtermin
4	Stadt Kassel	Intensiv	08.11.2019	12.11.2019 1 Schüler/-in	16.12.2019	17.12.2019 1 Schüler/-in
5	Stadt Kassel	Implizit	04.12.2019	05.12.2019 1 Schüler/-in	17.01.2020	----
6	Landkreis Kassel	Intensiv	13.12.2019	20.12.2019 1 Schüler/-in	21.01.2020	30.01.2020 1 Schüler/-in
8	Landkreis Kassel	Kontrollgruppe	29.01.2020	05.02.2020 1 Schüler/-in	10.03.2020	16.03.2020 2 Schüler/-innen

A 26 Abgleich der Ergebnisse: Lerngruppen 4, 6 und 10



Die Umsetzung technikbezogener Lehr- und Lernprozesse ist mit besonderen didaktischen Herausforderungen verbunden. Zum einen sind technische Funktionszusammenhänge zumeist komplex und nicht unmittelbar durchschaubar. Zum anderen ist sozialisationsbedingt von äußerst heterogenen inhaltsbezogenen sowie motivational-affektiven Lernvoraussetzungen auszugehen. Es bleibt somit zu hinterfragen, wie technikbezogene Lernprozesse gefördert werden können und welches Maß an Lernunterstützung sich bei unterschiedlichen Lernvoraussetzungen als lernwirksam erweist. Diese fachspezifischen Herausforderungen wurden im Forschungsprojekt *LERNnetze* aufgegriffen und konkretisiert. Ziel des explorativen und hypothesengenerierenden Forschungsansatzes war es, sowohl Impulse zur adaptiven Unterrichtsgestaltung als auch Ansatzpunkte für weiterführende Forschungsprojekte ableiten zu können. Den Prinzipien der fachdidaktischen Entwicklungsforschung folgend wurden dabei Unterrichtsentwicklung und Forschung miteinander verknüpft.

ISBN 978-3-7376-1195-4



9 783737 611954 >