

Psychologie

Wissenselemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger erfassen und verändern

Studien zum naturwissenschaftlichen
Thema einseitiger Hebel

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

im Fachbereich Psychologie und Sportwissenschaft
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Vorgelegt von

Britta Naber

aus Düsseldorf

- 2016 -

Dekan:	Prof. Dr. Elmar Souvignier
Erste Gutachterin:	Prof. Dr. Miriam Leuchter
Zweiter Gutachter:	Prof. Dr. Manfred Holodynski
Tag der mündlichen Prüfung:	23.08.2016
Tag der Promotion:	23.08.2016

Abstract

Die Wissenselemente und Vorstellungen (diSessa, 1983; 1988) 6- bis 7-Jähriger zum Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln, z. B. im Kontext Balkenwaage, wurden in vielen entwicklungs- und lernpsychologischen Studien untersucht (z. B. Siegler, 1976; 1978; Krist, Bach, Öndül & Huber, 2004). Über die Wissenselemente und Vorstellungen zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel, z. B. im Kontext Schubkarre oder Schraubenschlüssel, ist hingegen wenig bekannt. Um jedoch Unterricht zu einseitigen Hebeln, der eine Veränderung von Vorstellungen anregt, gestalten zu können, reichen die Erkenntnisse über zweiseitige Hebel nicht aus. Daher wurde in 2 Studien der Frage nachgegangen, welche Vorstellungen 6- bis 7-Jährige zu einseitigen Hebeln zeigen und welche Impulse (Handlung, verbale Impulse, Bilder und deren Kombination) eine Veränderung der Vorstellungen in der Zone der nächsten Entwicklung (Vygotsky, 1978) ermöglichen.

*In **Studie I** ($N_1 = 384$) wurde mithilfe einer Hauptkomponentenanalyse gezeigt, dass sich bei 6- bis 7-Jährigen die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm als Wissenselemente einseitiger Hebel abbilden lassen. 6- bis 7-Jährige lösen im Kontext Schubkarre mehr Items zur Last als zum Lastarm und Kraftarm korrekt. Zum Lastarm werden wiederum mehr Items korrekt gelöst als zum Kraftarm. Da bei den Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre Entwicklungspotenzial in Bezug auf die wissenschaftlich korrekte Sichtweise besteht, wurden in **Studie II** ($N_2 = 225$) mithilfe einer handlungsorientierten Intervention im Kontext Schubkarre Veränderungen der Vorstellungen angeregt. Ein quasi-experimentelles 2 x 2-Design (UV1 = verbale Impulse; UV2 = Bilder) mit einer Kontrollgruppe über 3 Befragungszeitpunkte (Prä-, Post-, und Follow-Up) wurde realisiert. Eine zusätzliche Unterstützung während der handlungsorientierten Intervention durch verbale Impulse, Bilder oder verbale Impulse und Bilder regt eine Veränderung der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Lastarm und Kraftarm an. Eine Übertragung der Vorstellungen vom Kontext Schubkarre auf den neuen Kontext Hebelmodell gelingt den 6- bis 7-Jährigen beim Kraftarm.*

Handlung, verbale Impulse, Bilder und deren Kombination scheinen eine Veränderung von Vorstellungen zu Last und Kraftarm bei einseitigen Hebeln zu ermöglichen. Die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation bilden einen ersten Schritt zur Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts zu einseitigen Hebeln.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	3
1 Einleitung	10
2 Sachanalyse: ein- und zweiseitige Hebel	16
3 Lern- und entwicklungspsychologische Grundlagen 6- bis 7-Jähriger	19
4 Naturwissenschaftliches Wissen: Organisation und Arten	22
4.1 Die Organisation naturwissenschaftlichen Wissens: der Fragmentierungsansatz	22
4.2 Arten der Wissensrepräsentationen	26
5 Wissenselemente und Vorstellungen zu Hebeln erfassen und auswerten	29
5.1 Systematisierung von Aufgaben an der Balkenwaage	30
5.2 Methoden zur Erfassung der Vorstellungen zu Hebeln.....	31
5.3 Methoden zur Auswertung der Vorstellungen	34
5.3.1 Analyse von Protokollen/Videos.....	34
5.3.2 Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode	35
5.3.3 Zuordnen zu Regeln per Latenter Klassenanalyse	37
5.3.4 Zuordnung zu Regeln per Information Integration Theory.....	38
5.3.5 Die Relational Complexity Theory.....	39
5.3.6 Weitere Auswertungsmethoden	41
6 Wissenselemente und Vorstellungen zu Kraftverstärkung und Gleichgewicht bei Hebeln	42
6.1 Vorstellungen über das Prinzip Kraftverstärkung bei einseitigen Hebeln	43
6.2 Vorstellungen über das Prinzip Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln.....	44
6.2.1 Vorstellungen zum Wissenselement Gewicht.....	44
6.2.2 Vorstellungen zum Wissenselement Abstand	49
6.2.3 Vorstellungen zur Kombination von Gewicht und Abstand	52
6.3 Fazit: Wissenselemente und Vorstellungen zu Hebeln	56
7 Die Veränderung von Vorstellungen anregen: Scaffolding und seine Wirkmechanismen.....	58
7.1 Berücksichtigung der Zone der nächsten Entwicklung (ZPD) bei der Veränderung von Vorstellungen	59
7.2 Scaffolding	60
7.2.1 Scaffolding als Unterstützung von Gruppen	60
7.2.2 Kernmerkmale von Scaffolding	61
7.2.3 Statisches und adaptives Scaffolding	61
7.3 Wirkmechanismus I: inhaltlich strukturierend	63

7.3.1	Strukturierung in der Lehr-Lernforschung	64
7.3.2	Inhaltliche Aspekte der Strukturierung	65
7.3.3	Inhaltliche Strukturierung, ausgerichtet an der ZPD	66
7.3.4	Herausforderung von inhaltlichen Aspekten der Strukturierung	67
7.4	Wirkmechanismus II: kognitiv aktivierend	67
7.5	Bedeutung von Scaffolding und dessen Wirkmechanismen für die vorliegende Arbeit	68
8	Vorstellungen verändern mithilfe von Gegenständen	72
8.1	Funktionen von Gegenständen	72
8.2	Herausforderungen bei der Verwendung von Gegenständen	75
8.3	Vorstellungen verändern mithilfe der Beobachtung von Gegenständen	75
8.4	Vorstellungen verändern mithilfe von Handlungen an Gegenständen	78
8.5	Fazit: Gegenstände können die Veränderung von Vorstellungen unterstützen	80
9	Vorstellungen verändern mithilfe von Bildern	82
9.1	Arten von Bildern	82
9.2	Affektive und motivationale Funktionen von Bildern	83
9.3	Kognitive Funktionen von Bildern	84
9.4	Voraussetzungen auf Seiten der Rezipienten und der Bilder	86
9.5	Vorstellungen verändern mithilfe von Handlung an Gegenständen und Bildern	88
9.6	Fazit und Vergleich: Vorstellungen verändern mithilfe von Gegenständen und Bildern	88
10	Vorstellungen verändern mithilfe verbaler Impulse	90
10.1	Begriffsbestimmung ‚verbaler Impuls‘	90
10.2	Arten verbaler Impulse	91
10.2.1	Aufmerksamkeitslenkende Hinweise geben	92
10.2.2	Fragen stellen	92
10.2.3	Begründungen einfordern	93
10.2.4	Ideenaustausch anregen	95
10.2.5	Zusammenfassungen geben	95
10.3	Fazit und Bedeutung verbaler Impulse für die vorliegende Arbeit	96
11	Vorstellungen verändern mithilfe verschiedener Kombinationen von Gegenständen, Bildern und verbalen Impulsen	98
11.1	Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Beobachtung von Gegenständen	98
11.2	Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Bildern	100
11.3	Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Handlungen an Gegenständen	101

11.4	Gegenüberstellung: Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Handlung am Gegenstand vs. in Kombination mit Bildern.....	104
11.5	Vorstellungen verändern mithilfe einer Kombination von verbalen Impulsen, Gegenständen und Bildern	105
12	Multimediales Lernen	107
12.1	Prinzipien des multimedialen Lernens	107
12.2	Bedeutung der Multimedia-Prinzipien für das naturwissenschaftliche Lernen von Gruppen 6- bis 7-Jähriger	109
13	Der Einfluss kognitiver und verbaler Fähigkeiten auf Vorstellungen zu Hebeln und deren Veränderung	111
14	Forschungslücke, -vorhaben und Hypothesen.....	114
14.1	Forschungslücke.....	114
14.2	Forschungsvorhaben.....	115
14.3	Hypothesen.....	119
15	Methode Studie I: Erfassung der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln.....	127
15.1	Methodische Vorüberlegungen	127
15.2	Prä-Pilotierung der Befragung zu einseitigen Hebeln.....	130
15.2.1	Stichprobe, Items und Ablauf der Prä-Pilotierung	130
15.2.2	Ergebnisse, Reflexion der Prä-Pilotierung und Konsequenzen für die Pilotierung	133
15.3	Pilotierung der Befragung zu einseitigen Hebeln.....	134
15.3.1	Stichprobe, Items und Ablauf der Pilotierung.....	134
15.3.2	Reliabilität und Itemschwierigkeit der Pilotierung	136
15.3.3	Vorstellungen zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel	138
15.3.4	Reflexion der Pilotierung und Konsequenzen für die Hauptuntersuchung.....	139
15.4	Items der Hauptuntersuchung.....	141
15.5	Erhebungsinstrumente zur Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten	142
15.6	Bestimmung des optimalen Stichprobenumfangs und Wahl des Signifikanzniveaus	143
15.7	Stichprobe der Hauptuntersuchung	144
15.8	Ablauf der Befragung.....	145
15.9	Überprüfung der Güte der Befragung zu einseitigen Hebeln.....	146
15.9.1	Umgang mit fehlenden Werten und Befragungsversionen A und B.....	146
15.9.2	Die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm lassen sich empirisch trennen und als Wissens Elemente abbilden (Hypothese 1)	149
15.9.3	Objektivität.....	150
15.9.4	Reliabilität	150

15.9.5	Validität	151
15.9.6	Itemschwierigkeit	152
15.9.7	Trennschärfe	152
16	Ergebnisse Studie I: Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln.....	154
16.1	Verteilung der Antworten auf die drei Antwortoptionen	154
16.2	Lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zum Gewicht als zum Abstand beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre korrekt? (Hypothese 2).....	156
16.3	Lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zum Lastarm als zum Kraftarm beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre korrekt? (Hypothese 3).....	157
16.4	Lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel als im Kontext Schubkarre korrekt? (Hypothese 4).....	157
16.5	Häufigkeit der Wahl der korrekten Antwortalternative	158
16.6	Zusammenhang der Vorstellungen mit kognitiven und verbalen Fähigkeiten (Nebenfragestellung 1)	160
17	Diskussion Studie I: Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln.....	165
17.1	Zusammenfassungen der wichtigsten Ergebnisse bzgl. der Hypothesen 1 bis 4 und der Nebenfragestellung 1	165
17.2	Theoretische Bezüge der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln	166
17.2.1	Empirische Bestätigung der Wissens Elemente Last, Lastarm und Kraftarm (Hypothese 1).....	166
17.2.2	Häufigkeit korrekter Vorstellungen zu Gewicht und Abstand im Kontext Schubkarre (Hypothese 2)	167
17.2.3	Verortung der Vorstellungen zur Last im Kontext Schubkarre in bisherigen Forschungsergebnissen	168
17.2.4	Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm unterscheiden sich im Kontext Schubkarre (Hypothese 3)	171
17.2.5	Verortung der Vorstellungen zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre in bisherigen Forschungsergebnissen.....	173
17.2.6	Vorstellungen zum Kraftarm in verschiedenen Kontexten (Hypothese 4) ..	174
17.2.7	Verortung der Vorstellungen zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel in bisherigen Forschungsergebnissen.....	174
17.2.8	Hinweise auf die Organisation der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln	175
17.2.9	Zusammenhang der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln mit kognitiven und verbalen Fähigkeiten (Nebenfragestellung 1)	176
17.3	Methodische Diskussion der Vorgehensweise	178
17.3.1	Güte der Befragung	178
17.3.2	Mögliche Einflussfaktoren der Befragung auf die Vorstellungen.....	178
17.3.3	Anzahl der zu berücksichtigenden Aspekte bei der Lösung von Items	182
17.3.4	Struktur der Daten	183
17.3.5	Bedeutung der Standardabweichungen	184

17.3.6	Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten	184
17.4	Anregungen für die Praxis.....	185
18	Methode Studie II: Veränderungen von Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm.....	187
18.1	Design Studie II.....	187
18.2	Methodische (Vor-)Überlegungen zur Entwicklung der Intervention	189
18.3	Prä-Pilotierung der Intervention.....	190
18.3.1	Stichprobe und Ablauf der Prä-Pilotierung.....	190
18.3.2	Ergebnisse, Reflexion und Konsequenzen für die Pilotierung.....	192
18.4	Pilotierung der Intervention.....	194
18.4.1	Stichprobe der Pilotierung.....	194
18.4.2	Ablauf der Pilotierung	195
18.4.3	Ergebnisse der Pilotierung.....	200
18.4.4	Reflexion der Pilotierung und Konsequenzen für die Hauptuntersuchung.....	203
18.5	Stichprobe der Hauptuntersuchung	207
18.6	Ablauf der Intervention der Hauptuntersuchung.....	208
18.6.1	Basisintervention (EG 4).....	211
18.6.2	Intervention mit Bildern (EG 3)	211
18.6.3	Intervention mit verbalen Impulsen (EG 2)	213
18.6.4	Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern (EG 1)	213
18.6.5	Kontrollgruppe (KG).....	213
18.7	Erhebungsinstrumente	213
18.7.1	Erfassung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln in den Kontexten Schubkarre und Hebelmodell	213
18.7.2	Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten	215
19	Ergebnisse Studie II: Veränderungen der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm.....	216
19.1	Vorüberlegungen zur Hypothesenauswertung	216
19.2	Ergebnisse der Interventionsstudie.....	220
19.2.1	Die handlungsorientierte Basisintervention führt zu gleich vielen korrekt gelösten Items wie keine Intervention (Hypothese 5)	220
19.2.2	Übersicht der Ergebnisse im Kontext Schubkarre	221
19.2.3	Die handlungsorientierte Intervention mit weiteren Impulsen führt meist zu mehr korrekt gelösten Items im Kontext Schubkarre als die handlungsorientierte Intervention (Hypothese 6).....	222
19.2.4	Die Annahme ‚verbale Impulse + Bilder‘ > ‚verbale Impulse‘ > ‚Bilder‘ > ‚Basisintervention‘ wird für den Kontext Schubkarre nicht bestätigt (Hypothese 7).....	224
19.2.5	Beim Kraftarm gelingt eine Übertragung der Vorstellungen auf den neuen Kontext Hebelmodell (Hypothese 8)	226

19.2.6	Die Annahme ‚verbale Impulse + Bilder‘ > ‚verbale Impulse‘ > ‚Bilder‘ > ‚Basisintervention‘ wird für den Kontext Hebelmodell nicht bestätigt (Hypothese 9).....	228
19.2.7	Kognitive und verbale Fähigkeiten haben kaum Einfluss auf die Anzahl korrekter Vorstellungen nach der Intervention (Nebenfragestellung 2)	229
20	Diskussion Studie II: Veränderungen der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm	232
20.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	232
20.2	Theoretische Bezüge der Ergebnisse.....	234
20.3	Methodische Diskussion der Vorgehensweise	245
20.4	Anregungen für die Praxis.....	250
21	Generelle Diskussion	253
21.1	Zusammenfassung der Ergebnisse von Studie I und Studie II.....	253
21.2	Limitationen	254
21.3	Implikationen für zukünftige Forschung – Optimierungsmöglichkeiten und Ausblick.....	256
21.3.1	Optimierungen bzgl. der Erfassung der Vorstellungen	256
21.3.2	Optimierungen bzgl. der Veränderung der Vorstellungen	259
21.3.3	Weiterführende Fragestellungen	261
22	Fazit	265
	Literaturverzeichnis.....	268
	Abbildungsverzeichnis.....	294
	Tabellenverzeichnis.....	296
	Lebenslauf.....	298
	Dank.....	299
	Erklärung.....	300
	A Anhang.....	301

1 Einleitung

Kinder spielen mit einer Schippe im Sand, sitzen mit Freunden auf einer Wippe, brechen Stöcke durch, wiegen Dinge ab, zerschneiden Papier mit einer Schere, lösen eine Schraube mit einem Schraubenschlüssel oder transportieren Gegenstände mit Spielzeugschubkarren. Bei diesen und etlichen anderen Alltagstätigkeiten sammeln sie spielerisch und beiläufig Erfahrungen mit Hebeln (Anders, Hardy, Pauen & Steffensky, 2013; Lanz, 2015). Ausgehend von diesen Alltagserfahrungen entwickeln Kinder Vorstellungen über die Funktionsweise von Hebeln. Diese Vorstellungen sind häufig an den Kontext (z. B. an die Schubkarre oder den Schraubenschlüssel) gebunden (diSessa, 1983; 1988). Zudem stimmen sie häufig nicht mit dem wissenschaftlich korrekten Funktionsprinzip eines Hebels überein (Duit & Häußler, 1997; Wandersee, Mintzes & Novak, 1994).

Der Aufbau wissenschaftlich korrekter Vorstellungen kann mithilfe von naturwissenschaftlichem Unterricht unterstützt werden (Möller, 2006). Viele Gründe sprechen für eine frühe Thematisierung naturwissenschaftlicher Lerninhalte bereits bei Kindern in der Elementar- und Primarstufe (Flottmann, Naber, Plöger & Leuchter, 2014; Leuchter & Möller, 2014; Möller & Steffensky, 2010). Bspw. interessieren sich Kinder dieser Altersgruppen bereits für naturwissenschaftliche Phänomene. Zudem kann eine frühe Beschäftigung mit naturwissenschaftlichen Inhalten später zu einem tieferen Verständnis führen (für einen Überblick siehe Eshach & Fried, 2005; Mammes & Tuncsoy, 2013). Daher ist der Themenbereich *Hebel* im Fach Sachunterricht bereits in Jahrgangsstufe Eins und Zwei curricular verankert (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2008).

Um lernwirksamen Unterricht planen zu können, ist die Kenntnis darüber, welche *Wissenselemente* (diSessa, 1983; 1988) 6- bis 7-Jährige zu Hebeln besitzen und wie die Vorstellungen dazu aussehen, von Bedeutung. Wissenselemente bestehen aus intuitiven *Vorstellungen*, die aus alltäglichen Erfahrungen abgeleitet werden (diSessa, 1983; 1988). Hinweise auf diese Wissenselemente und dazugehörige Vorstellungen liefern entwicklungspsychologische Studien, die allerdings vornehmlich die Vorstellungen über Gleichgewicht bei *zweiseitigen Hebeln* im Kontext *Balkenwaage* (z. B. Siegler, 1976; 1978) fokussieren. Lernpsychologische Studien im Kontext *Balkenwaage* ergänzen entwicklungspsychologische Befunde dahingehend, dass sie untersuchen, mit welchen

Impulsen eine Veränderung der Vorstellungen zu Hebeln, ebenfalls hauptsächlich im Kontext Balkenwaage, angeregt werden kann (z. B. Day & Cordón, 1993; Siegler, 1976).

Problemstellung

Zweiseitige Hebel (z. B. Balkenwaage und Wippe), bei denen beide Hebelarme auf je einer Seite des Drehpunkts liegen, werden von einseitigen Hebeln (z. B. Schubkarre und Schraubenschlüssel) unterschieden, bei denen beide Hebelarme auf derselben Seite des Drehpunkts liegen (vgl. Kapitel 2, S. 16). Einseitige Hebel werden im Alltag hauptsächlich dazu eingesetzt, Kraft zu sparen, und sind entwicklungs- und lernpsychologisch kaum erforscht. Kenntnisse der Entwicklungs- und Lernpsychologie, die Vorstellungen über Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln untersuchen, reichen nicht aus, um naturwissenschaftlichen Unterricht zum kraftsparenden Einsatz von einseitigen Hebeln zu gestalten. Dafür können verschiedene Gründe angeführt werden:

Erstens nehmen sich Entwicklungs- und Lernpsychologie zwar naturwissenschaftlicher Inhalte an, so auch dem Hebelgesetz im Kontext Balkenwaage, ihr Erkenntnisinteresse zielt jedoch auf allgemeine Entwicklungs- und Lernprinzipien (Flottmann et al., 2014). Dabei wird die Balkenwaage meist verwendet, um die kognitive Entwicklung und das Problemlösen von Kindern zu untersuchen. Physikalisch relevante Aspekte des Hebelgesetzes, wie die Differenzierung der Dimensionen *Gewicht* und *Abstand* in die Aspekte *Last*, *Kraft*, *Lastarm* und *Kraftarm*, bleiben dabei zumeist unberücksichtigt. Die Balkenwaage kann jedoch auch als Instrument zur Diagnose von Vorstellungen zum Hebelgesetz genutzt werden (Krist et al., 2004), dies ist aus fachdidaktischer Perspektive von besonderem Interesse.

Zweitens stehen in der entwicklungspsychologischen Forschung alltagsnahe Kontexte nicht zwingend im Erkenntnisinteresse (Flottmann et al., 2014). Selbiges gilt für die Lernpsychologie. Ziel der Entwicklungs- und Lernpsychologie ist, wie oben erwähnt, allgemeine Entwicklungs- und Lernprinzipien zu untersuchen. Dazu wird sich verschiedener Kontexte bedient. Beim frühen naturwissenschaftlichen Lernen sind alltagsnahe Kontexte hingegen wichtig, um an die Lebenswelt der Kinder anzuknüpfen (Leuchter & Möller, 2014) und das erworbene Wissen später auch im Alltag anwenden zu können.

Drittens ist die Balkenwaage wegen ihres symmetrischen Aufbaus weniger als z. B. eine Schubkarre geeignet, alle vier Aspekte des Hebelgesetzes – Last, Lastarm, Kraft und Kraftarm – zu verdeutlichen (Lohrmann, Hartinger & Schwelle, 2013). Daher werden an der Balkenwaage nur die Dimensionen Gewicht und Abstand betrachtet und die Gewichte nicht weiter in Last und Kraft sowie der Abstand nicht weiter in Lastarm und Kraftarm differenziert. Um beim zweiseitigen Hebel Balkenwaage Gleichgewicht herzustellen, reicht die Kenntnis des Einflusses von Gewicht und Abstand aus. Um einen einseitigen Hebel zum Zweck der Kraftersparnis einzusetzen, ist jedoch Wissen über die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm von Bedeutung.

Viertens ist Unterricht an andere organisatorische Bedingungen gebunden als entwicklungs- und lernpsychologische Forschung. Unterricht findet nicht, wie entwicklungs- und lernpsychologische Forschung, in laborähnlichen Eins-zu-eins-Situationen unter standardisierter Bedingungskontrolle statt, sondern mit einer Gruppe von Kindern in der Institution Schule.

Die zuvor aufgeführten Gründe verdeutlichen, dass Befunde der Entwicklungs- und Lernpsychologie zum zweiseitigen Hebel Balkenwaage kaum unmittelbar für die Entwicklung von naturwissenschaftlichem Anfangsunterricht zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel genutzt werden können. Vielmehr werden weiterführende naturwissenschaftlich-didaktische Überlegungen und Kenntnisse der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln bei 6- bis 7-Jährigen benötigt, um Unterricht entwicklungsangemessen gestalten zu können.

Forschungslücke und Ziel

Ziel der Dissertation ist es, einen ersten Schritt zur Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel zu machen. Dazu sollen bereits vorhandene entwicklungs- und lernpsychologische Erkenntnisse sowie naturwissenschaftlich-didaktische Überlegungen einbezogen werden.

Die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zum kraftsparenden Einsatz von einseitigen Hebeln sind bisher kaum erforscht. Ein Instrument, mit dem sich die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger für die Aspekte Last, Lastarm, Kraft und Kraftarm eines einseitigen Hebels systematisch erfassen lassen, ist ebenfalls nicht bekannt. Daher muss ein solches erst entwickelt werden. Im Anschluss können mit dessen Hilfe die Vorstellungen 6- bis 7-

Jähriger zu einseitigen Hebeln erfasst werden. Unter Berücksichtigung entwicklungs- und lernpsychologischer Erkenntnisse kann anschließend eine an die Vorstellungen anknüpfende Lernumgebung gestaltet werden. Diese Lernumgebung sollte nach Vygotsky (1978) nicht nur die *Zonen der aktuellen Entwicklung* berücksichtigen, sondern insbesondere die *Zonen der nächsten Entwicklung* (engl. *zone of proximal development, ZPD*; Vygotsky, 1978) von 6- bis 7-Jährigen beachten. Mithilfe von *Scaffolding* (Wood, Bruner & Ross, 1976) können in der Zone der nächsten Entwicklung Vorstellungen ausdifferenziert oder verändert werden. Dazu werden in dem hier vorliegenden Forschungsvorhaben Gegenstände, verbale Impulse, Bilder sowie deren Kombinationen herangezogen. Diese haben sich bereits z. T. bei zweiseitigen Hebeln oder anderen Themenbereichen als hilfreich erwiesen (z. B. Day & Cordon, 1993; Hogan & Pressley, 1997; Krist et al., 2004; Levin, Anglin & Carney, 1987; Siegler, 1976). Ob sich diese Impulse auch zur Unterstützung von Veränderungen der Vorstellungen zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel eignen, ist bisher offen und soll daher geprüft werden.

Die Ziele der vorliegenden Dissertation umfassen eine theoretische, methodische und empirische Ebene.

Ziel 1: Beschreibung eines Theorierahmens

Auf theoretischer Ebene erfolgt ein Überblick über entwicklungs- und lernpsychologische Forschung zu Hebeln. In diesem Zusammenhang werden die Wissens Elemente (und Vorstellungen dazu) der 6- bis 7-Jährigen zu Hebeln analysiert. Außerdem wird ein Überblick über Scaffolding als Unterstützung in der ZPD gegeben und dessen inhaltlich strukturierende und kognitiv aktivierende Funktion erläutert. Aufgeführt und belegt wird, inwiefern Gegenstände, verbale Impulse, Bilder sowie deren Kombinationen das Potenzial zur Veränderung von Vorstellungen haben.

Ziel 2: Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Veränderung von Vorstellungen

Auf methodischer Ebene wird eine Gruppenbefragung im Paper-Pencil-Format entwickelt. In dieser Befragung wird untersucht, ob 6- bis 7-Jährige die Auswirkung von Last, Lastarm und Kraftarm auf die aufzubringende Kraft im Kontext eines einseitigen Hebels einschätzen können. Zu den Aspekten, zu denen wenig korrekte Vorstellungen vorhanden sind (Lastarm und Kraftarm), werden Interventionen entwickelt, mithilfe derer die Vorstellungen verändert werden sollen. Impulse, die in diesen Interventionen zu einer

Veränderung von Vorstellungen beitragen sollen, sind Gegenstände, Bilder, verbale Impulse sowie deren Kombinationen.

Ziel 3: Empirische Untersuchung der Vorstellungen und Veränderung von Vorstellungen

Auf empirischer Ebene werden die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu dem Einfluss von Last, Lastarm und Kraftarm auf die Ersparnis von Kraft mithilfe der zuvor entwickelten Befragung in den Kontexten *Schubkarre* und *Schraubenschlüssel* erhoben. Darüber hinaus wird unter Verwendung eines 2 x 2-Designs mit einer Kontrollgruppe über drei Befragungszeitpunkte geprüft, mit welcher Unterstützung (Gegenstände alleine oder in Kombination mit Bildern, verbalen Impulsen oder beidem) eine Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext *Schubkarre* möglich ist. Zudem wird untersucht, ob den 6- bis 7-Jährigen eine Übertragung der Vorstellungen auf einen anderen Kontext (*Hebelmodell*) gelingt.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen für zukünftige Forschung mit dem Ziel einer Unterrichtsentwicklung zu einseitigen Hebeln nutzbar sein. Daher werden Bedingungen, die für die Entwicklung von Unterricht wichtig sind, bereits in der vorliegenden Studie berücksichtigt. Bspw. werden die Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger, im Gegensatz zu Eins-zu-eins-Situationen in entwicklungs- und lernpsychologisch orientierten Studien, in dem vorliegenden Forschungsvorhaben im ökologisch valideren Schulklassenkontext (Helmke, 2009) erfasst. Durch dieses Vorgehen sollen die Ergebnisse größere Bedeutung für das Alltagsgeschehen (Fahrenberg, 2014; Fahrenberg, Myrtek, Pawlik & Perrez, 2007) im naturwissenschaftlichen Unterricht haben.

Aufbau der Dissertation

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in einen theoretischen und einen empirischen Teil. Weil die Wissens Elemente und Vorstellungen von 6- bis 7-Jährigen zu Hebeln untersucht werden, wird im **theoretischen Teil** in Kapitel 2 zunächst der Untersuchungsgegenstand Hebel einer Sachanalyse unterzogen. Anschließend werden in Kapitel 3 die lern- und entwicklungspsychologischen Grundlagen 6- bis 7-Jähriger dargelegt und in Kapitel 4 die Organisation und Art naturwissenschaftlichen Wissens beschrieben. In Kapitel 5 werden Erhebungs- und Auswertungsmethoden zur Erfassung der Vorstellungen das Hebelgesetz betreffend dargelegt. Kapitel 6 stellt Vorstellungen von 6- bis 7-Jährigen zu den Prinzipien Kraftverstärkung und Gleichgewicht bei Hebeln vor. Darauf aufbauend wird in Kapitel 7

dargestellt, welche theoretischen Ansätze sich mit einer Veränderung von Vorstellungen in der ZPD befassen. Konkrete Impulse, mit denen Vorstellungen verändert werden können, werden vorgestellt. Dazu zählen: Gegenstände (vgl. Kapitel 8), Bilder (vgl. Kapitel 9), verbale Impulse (vgl. Kapitel 10) und die Kombination dieser Unterstützungsformen (vgl. Kapitel 11). In Kapitel 12 werden die Kombinationen der Unterstützungsformen nochmals unter der Perspektive des multimedialen Lernens betrachtet. Kapitel 13 geht auf den möglichen Einfluss von kognitiven und verbalen Fähigkeiten auf Vorstellungen und Veränderungen von Vorstellungen ein. Nachdem in Kapitel 14 die Forschungslücke und das Forschungsvorhaben vorgestellt werden, schließt dieses Kapitel mit der Herleitung der Hypothesen.

Dem theoretischen Teil folgt der **empirische Teil**. Dieser besteht aus zwei Studien: **Studie I** untersucht Wissenselemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln. In Kapitel 15 wird die Entwicklung der Befragung zu einseitigen Hebeln beschrieben. Kapitel 16 stellt die Ergebnisse zu den Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln vor. Abschließend werden die Ergebnisse unter Rückbezug auf die Theorie und das methodische Vorgehen diskutiert (vgl. Kapitel 17). **Studie II** untersucht die Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm. Nachdem in Kapitel 18 auf die methodische Vorgehensweise und in Kapitel 19 auf die Ergebnisse zur Veränderung der Vorstellungen eingegangen wird, werden diese diskutiert (vgl. Kapitel 20). Eine zusammenfassende Diskussion, die auch Limitationen und einen Ausblick auf zukünftige Forschung beinhaltet, findet in Kapitel 21 statt. Die Arbeit schließt mit einem Fazit (vgl. Kapitel 22).

2 Sachanalyse: ein- und zweiseitige Hebel

Sollen die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Hebeln erfasst und in einem Unterricht verändert werden, ist die Kenntnis des fachlichen Hintergrunds des Untersuchungsgegenstands notwendig (Kattmann, 2007). Daher wird im vorliegenden Kapitel der fachliche Hintergrund von ein- und zweiseitigen Hebeln erläutert.

Hebel gehören der Gruppe einfacher Maschinen an. Die simpelste Form eines Hebels ist ein um eine Achse (Drehpunkt D) drehbar gelagerter Körper, auf den, vereinfacht betrachtet, zwei Kräfte (F_1 , F_2) in einem bestimmten Abstand wirken. Der senkrechte Abstand einer Kraft vom Drehpunkt wird als Hebelarm (d_1 , d_2) bezeichnet. Das Produkt aus Kraft und Abstand erzeugt eine Drehwirkung: das Drehmoment (Gascha, 1998).

Hebelgesetz: Ein Hebel befindet sich im Gleichgewicht, wenn sich die Beträge der beiden Drehmomente entsprechen, also die Beträge der Produkte aus Kraft und Abstand identisch sind:

$$|F_1 \times d_1| = |F_2 \times d_2|$$

Unterschieden werden *einseitige* und *zweiseitige Hebel*. Sie werden danach klassifiziert, ob die Kräfte auf derselben Seite des Drehpunkts oder an verschiedenen Seiten angreifen. Bei einseitigen Hebeln greifen die beiden gegenläufigen Kräfte auf derselben Seite des Drehpunkts an (Gascha, 1998). Einseitige Hebel werden häufig mit dem Ziel Kraft zu sparen eingesetzt. In Abbildung 1 ist die idealisierte Darstellung eines einseitigen Hebels im Kontext Schubkarre dargestellt.

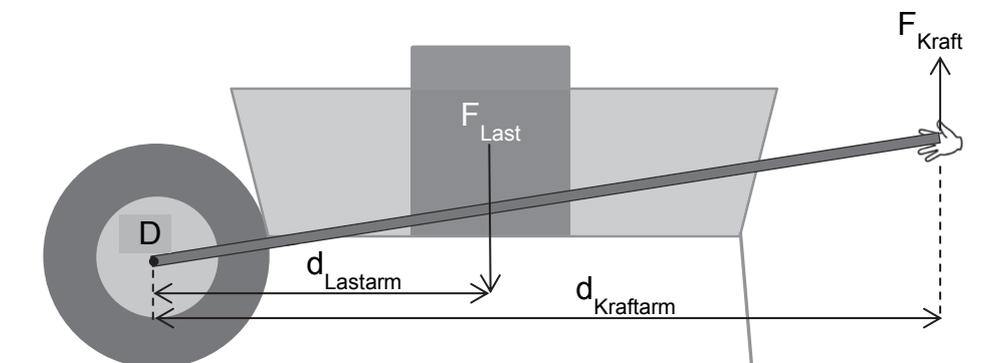


Abbildung 1. Einseitiger Hebel im Kontext Schubkarre

In dieser idealisierten Darstellung wird das Eigengewicht des Hebels vernachlässigt. Eine der beiden Kräfte wird im Kontext Schubkarre als *Last* (F_{Last}) bezeichnet. Sie setzt sich

zusammen aus der Masse der Last (m) und der Gravitationskonstante g , $F = m \cdot g$. Eine weitere Kraft (F_{Kraft}) wird benötigt, um die Schubkarre anzuheben. Sie wird von einer Person aufgebracht. Als *Lastarm* (d_{Lastarm}) wird der senkrechte Abstand der Wirklinie der Last (F_{Last}) zum Drehpunkt (D) bezeichnet. Der *Kraftarm* (d_{Kraftarm}) ist der senkrechte Abstand der Wirklinie der Kraft (F_{Kraft}) zum Drehpunkt (Heepmann, Muckenfuß, Schröder & Stiegler, 1995). Ist das Produkt (Drehmoment) aus F_{Kraft} und d_{Kraftarm} betragsmäßig größer als das Produkt aus F_{Last} und d_{Lastarm} , wird die Schubkarre angehoben. Um beim Transport einer Last mit einer Schubkarre wenig Kraft aufbringen zu müssen, stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung: Erstens die Platzierung der Last in der Wanne nahe dem Drehpunkt (Achse des Rades), sodass ein kurzer Lastarm vorliegt. Zweitens die Verwendung einer Schubkarre mit verlängerten Griffen, sodass ein langer Kraftarm entsteht. Drittens das Beladen der Schubkarre mit einer kleinen Last, sodass eine geringe Gewichtskraft wirkt.

Ein Schraubenschlüssel ist ebenfalls ein einseitiger Hebel. Damit eine Schraube mithilfe eines Schraubenschlüssels gelöst werden kann, muss das Drehmoment bestehend aus Kraft (F_{Kraft}) und Kraftarm (d_{Kraftarm} , Länge des Griffs) größer sein als das Produkt aus Vorspannkraft (F_{Schraube}) der Schraube (abhängig z. B. von dem Gewindereibewert und dem Steigungswinkel des Gewindes) und dem Flankendurchmesser der Schraube (d_{Lastarm}). Hat ein Schraubenschlüssel einen langen Griff und wirkt die Kraft, die von einer Person aufgebracht wird, senkrecht am Ende des Griffs, ist eine Schraube leichter zu lösen als wenn die Kraft senkrecht in der Mitte des langen Griffs oder am Ende eines kurzen Griffs ansetzt (Zeitler & Simon, 2010). In Abbildung 2 ist die idealisierte Darstellung eines einseitigen Hebels im Kontext Schraubenschlüssel dargestellt.

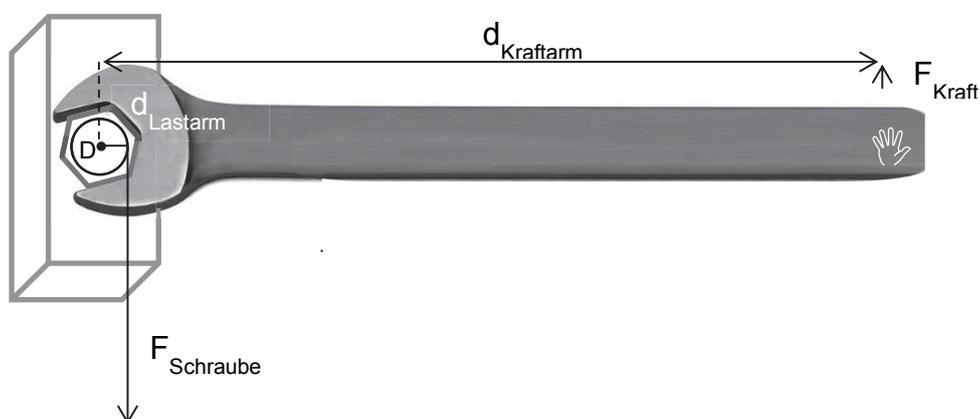


Abbildung 2. Einseitiger Hebel im Kontext Schraubenschlüssel

Im Gegensatz zu einseitigen Hebeln greifen bei zweiseitigen Hebeln die Kräfte auf den gegenüberliegenden Seiten des Drehpunkts an (Gascha, 1998). In Abbildung 3 sind die relevanten Kräfte und Abstände bei einem zweiseitigen Hebel im Kontext Balkenwaage dargestellt. In dieser idealisierten Darstellung wird das Eigengewicht des Hebels ebenfalls vernachlässigt.

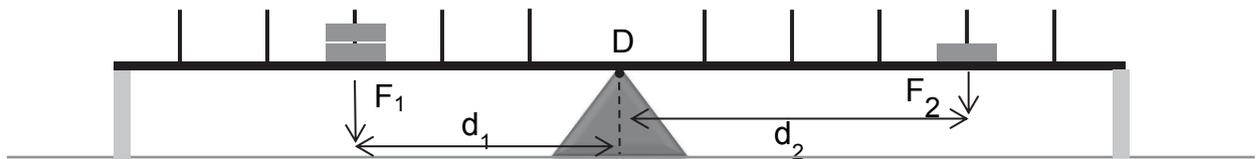


Abbildung 3. Zweiseitiger Hebel im Kontext Balkenwaage

Beim zweiseitigen Hebel im Kontext Balkenwaage bestimmt die Anzahl der Gewichte (runde Scheiben) zusammen mit der Gravitationskonstante g auf beiden Seiten des Drehpunkts die Gewichtskräfte (F_1, F_2). Die Abstände (d_1, d_2) vom Drehpunkt (D) werden bestimmt durch die Position der Gewichte auf der Balkenwaage. Aus den Drehmomenten, also dem jeweiligen Produkt aus Gewichtskraft und Abstand, auf der rechten bzw. linken Seite der Balkenwaage kann berechnet werden, ob die Balkenwaage im Gleichgewicht verbleibt oder sich zu einer Seite neigt. Die Balkenwaage in Abbildung 3 würde sich, nach Entfernen der Stützen, zur linken Seite neigen, da das Drehmoment dort betragsmäßig größer ist als auf der rechten Seite.

Studien, die Wissens Elemente und Vorstellungen verschiedener Altersgruppen zur Balkenwaage untersuchen, operationalisieren die Gewichtskräfte fast immer über die Anzahl an Gewichten, die sich auf den beiden Hebelarmen befinden (z. B. Siegler, 1976; 1978). Daher wird im Folgenden, anstelle von der physikalisch korrekten Bezeichnung *Gewichtskraft*, vereinfacht von *Gewicht* gesprochen. Die Abstände der Gewichte vom Drehpunkt einer Balkenwaage werden vereinfacht als *Abstand* bezeichnet. Gelegentlich werden Wissens Elemente und Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln auch im Kontext *Wippe* untersucht (z. B. Amsel, Goodman, Savoie & Clark, 1996). Auch in diesem Kontext werden im Folgenden die Anzahl an Personen als *Gewicht* und die Position der Personen auf der Wippe als *Abstand* vom Drehpunkt bezeichnet.

3 Lern- und entwicklungspsychologische Grundlagen 6- bis 7-Jähriger

Bei der Erfassung und Veränderung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Hebeln sollten, neben einer Analyse des Lerngegenstands (vgl. Kapitel 2, S. 16), auch die lern- und entwicklungspsychologischen Bedingungen dieser Altersgruppe (Hasselhorn & Grube, 2008) Berücksichtigung finden. Dazu zählen domänenübergreifende Fähigkeiten (Leuchter & Möller, 2014; Leuchter, Naber, Plöger & Stipp, 2014) und spezifische Vorkenntnisse zum Inhaltsbereich Hebel (Leuchter et al., 2014). In diesem Kapitel wird auf die domänenübergreifenden lern- und entwicklungspsychologischen Voraussetzungen 6- bis 7-Jähriger eingegangen. Dabei wird zwischen motivationalen und kognitiven Komponenten unterschieden (Leuchter et al., 2014).

Zu den **motivationalen Grundlagen** zählt der *frühkindliche Überoptimismus*. Bis ca. 8 Jahren glauben Kinder, dass nicht ihre Fähigkeit für die Bewältigung einer Aufgabe entscheidend ist, sondern allein ihre Anstrengung. Diese Überzeugung liegt vor, bis Kinder mit etwa 6 Jahren beginnen, mithilfe von sozialen Vergleichen bereichsspezifische Fähigkeitskonzepte aufzubauen (Hasselhorn & Grube, 2008). Eine weitere motivationale Grundlage ist das *Interesse*. Dies ist u. a. durch die Richtung der Aufmerksamkeit auf Phänomene und Gegenstände gekennzeichnet (Wirtz, 2014). Interesse für naturwissenschaftliche Fragestellungen zeigen bereits 4- bis 8-Jährige. Die meisten Phänomene sind den Kindern dabei aus ihrem Alltag bekannt (für einen Überblick siehe Eshach & Fried, 2005). Um das Interesse der Kinder zu nutzen, sollten daran anknüpfend bei der Erfassung und Veränderung von Vorstellungen Kontexte mit Lebensweltbezug gewählt werden (Leuchter & Möller, 2014; Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2008).

Die **kognitiven Grundlagen** sind insbesondere durch eine noch nicht vorhandene *selektive Informationsaufnahme* und eine geringe *Kapazität des Arbeitsgedächtnisses* gekennzeichnet (Hasselhorn & Grube, 2008). Erstere zeichnet sich u. a. dadurch aus, dass 4- bis 8-Jährige schnell ablenkbar sind und ihre Aufmerksamkeit noch nicht gut fokussieren können. Da das Arbeitsgedächtnis noch nicht seine volle Kapazität erreicht hat (Hasselhorn & Grube, 2008), können nicht alle Informationen auf einmal berücksichtigt werden. Beim Lösen einer Aufgabe entsteht durch das Nachdenken über die zu

berücksichtigenden Variablen und deren Zusammenhänge eine kognitive Beanspruchung, auch *Load* genannt (Chandler & Sweller, 1991; Halford, Wilson & Phillips, 1998). Müssen zu viele Variablen parallel berücksichtigt werden, übersteigt dies die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Daher gilt: Je weniger Relationen gleichzeitig zu berücksichtigen sind, desto besser fällt die Leistung aus. Mit zunehmendem Alter können immer mehr Relationen gleichzeitig berücksichtigt werden (Halford et al., 1998). Außerdem ist die *sprachliche Aufmerksamkeitskapazität* des Arbeitsgedächtnisses bei 6- bis 7-Jährigen noch begrenzt. Dies hängt mit der Größe und Verarbeitungskapazität des phonetischen Speichers zusammen (Hasselhorn & Gold, 2006). Zur Entlastung des verbalen Arbeitsgedächtnisses sollten Informationen auch handlungsorientiert präsentiert werden (Leuchter & Möller, 2014).

Sprache wird bei Kindern zwischen 2 und 7 Jahren als wichtiges Instrument für Handlung sowie Denk- und Problemlöseprozesse angesehen (Vygotsky, 1962). Mit sich selbst laut zu sprechen (*egozentrisches* oder *privates Sprechen*) gilt dabei als Voraussetzung, um Denk- und Problemlöseprozesse sowie Handlungen vollziehen zu können. Dies gilt insbesondere bei schwierigen Aufgabenstellungen. Während der ersten Schuljahre sinkt die Notwendigkeit egozentrischen Sprechens für Handlung sowie Denk- und Problemlöseprozesse. Gleichzeitig entwickelt sich das *innere Sprechen*, bei dem Denk- und Problemlöseprozesse vom lauten Sprechen entkoppelt ablaufen (Vygotsky, 1962).

Eine weitere kognitive Grundlage ist die *Fähigkeit zur repräsentationalen Einsicht* (DeLoache & Burns, 1994; DeLoache, 2000; Uttal & O'Doherty, 2008). Diese bezeichnet das Verständnis, dass ein Bild für ein konkretes Objekt stehen kann und andersherum (z. B. das Bild eines Hebels für einen echten Hebel; der echte Hebel für das Bild). Diese ist insbesondere bei der Veränderung von Vorstellung mithilfe von Bildern relevant. Sie kann bei 6- bis 7-Jährigen vorausgesetzt werden (DeLoache, 2000; 1987; 1991).

Als Herausforderung bei der Erfassung und Veränderung von Vorstellungen zu verschiedenen Themenbereichen kann außerdem angesehen werden, dass 6- bis 7-Jährige gerade erst beginnen, *Lesen und Schreiben* zu lernen. Zudem stellen 6- bis 7-Jährige zunehmend *soziale Vergleiche* an (Hasselhorn & Grube, 2008), was sich in einem Interesse für das Antwortverhalten anderer Kinder zeigen kann. Darüber hinaus werden Informationen häufig passend zu den eigenen Erwartungen ausgewählt und interpretiert. Diese Strategie wird auch als *confirmation bias* bezeichnet (Duit, 1996; Möller, 2007a; Oswald & Grosjean, 2004). Als Konsequenz kann das Widerlegen von Vorstellungen

mithilfe von Gegenevidenz eine Herausforderung sein (Pauen, 2013). Neben der begrenzten sprachlichen Aufmerksamkeitskapazität des Arbeitsgedächtnisses sind auch die *verbalen Fähigkeiten* (Sprachverständnis und Sprachfähigkeit) von 6- bis 7-Jährigen noch nicht voll entwickelt. Schlechte verbale Fähigkeiten können sogar eine Veränderung von Vorstellungen behindern (Hasselhorn & Grube, 2008). Als Herausforderung bei der Erfassung und Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln sollte daher berücksichtigt werden, dass 6- bis 7-Jährigen die Fachbegriffe Last, Kraft, Lastarm und Kraftarm noch nicht geläufig sind (Schwelle, Hartinger, Lohrmann & Groß Ophoff, 2013). Darüber hinaus ist beim Thema Hebel zu beachten, dass 6- bis 7-Jährige Größe und Gewicht eines Objekts als positiv korreliert ansehen, d. h. eine größere Last wird auch als schwerer angesehen. Erst ab 8 Jahren wird die Dichte berücksichtigt (Smith, Carey & Wisner, 1985).

Obige Ausführungen zeigen, dass 6- bis 7-Jährige einige Fähigkeiten und Fertigkeiten, die das Erfassen und Verändern von Vorstellungen erleichtern können, noch nicht vollständig erworben haben. Dieser Umstand wird in der Planung der empirischen Untersuchung zur Erfassung und Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln berücksichtigt.

4 Naturwissenschaftliches Wissen: Organisation und Arten

Trotz der lern- und entwicklungspsychologischen Bedingungen, denen 6- bis 7-Jährige unterliegen, hat sich diese Altersgruppe schon naturwissenschaftliches Wissen angeeignet. Dieses Wissen, auch das zu Hebeln, ist auf eine bestimmte Weise organisiert. Im Rahmen des Fragmentierungsansatzes (diSessa, 1983; 1988; diSessa, Gillespie & Esterly, 2004) werden dazu Annahmen getroffen, die im Folgenden beschrieben werden. Zudem werden verschiedene Arten naturwissenschaftlichen Wissens und Wissensrepräsentation vorgestellt. Die Kenntnis von Organisation und Arten naturwissenschaftlichen Wissens ist wichtig, um Erhebungsmethoden und Forschungsergebnisse zu Hebeln einordnen zu können.

4.1 Die Organisation naturwissenschaftlichen Wissens: der Fragmentierungsansatz

Der Fragmentierungsansatz (diSessa, 1983; 1988; diSessa et al., 2004) versucht, die Organisation naturwissenschaftlichen Wissens zu erklären. Angenommen wird, dass anfängliches naturwissenschaftliches Wissen in vielen einzelnen *Wissenselementen* (p-prims) vorliegt. Diese sind fragmentiert, d. h. unstrukturiert, und stehen nicht oder kaum miteinander in Beziehung. Wissenselemente können daher von physikalischen Konzepten, z. B. ‚Gleichgewicht‘ und ‚Kraftverstärkung‘, abgegrenzt werden. Solche Konzepte beschreiben ein komplexes System vieler kleiner aufeinander bezogener Wissenselemente. Ein Wissenselement umfasst eine intuitive Vorstellung, die aus alltäglichen Erfahrungen abstrahiert wurde (diSessa, 1983; 1988). Wissenselemente beschreiben, wie der Beobachtende eine Klasse an Phänomenen wahrnimmt und ggf. erklärt (diSessa, 1983; 1988; Fischbein, 1987). Beobachten 5-Jährige bspw. eine Balkenwaage, bei der beide Seiten mit verschiedener Anzahl an Gewichten in gleichem Abstand beladen sind, bauen die Kinder zum Wissenselement ‚Gewicht‘ die Vorstellung auf ‚Neigt sich zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten‘. Wissenselemente und dazugehörige Vorstellungen sind selbsterklärend, d. h. sie erklären eine Situation hinreichend. Eine Begründung, warum sich die Balkenwaage zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt, ist nicht notwendig. Demnach ist im Wissenselement nicht enthalten, dass sich das

Neigungsverhalten der Balkenwaage aus dem Produkt aus Anzahl der Gewichte und deren Abstand vom Drehpunkt (Drehmoment, vgl. Kapitel 2, S. 16) vorhersagen lässt.

Wissenselemente beinhalten nicht immer die wissenschaftlich korrekte Vorstellung (diSessa, 1983; 1988), sondern können eher als intuitives Äquivalent verstanden werden (unveröffentlichter Artikel, diSessa 1983b, zitiert nach Fischbein, 1987). Daher werden anfängliche naturwissenschaftliche Wissenselemente auch als „primitiv“ (diSessa, 1988, S. 5) angesehen.

Korrekte Vorstellungen zu Wissenselementen in verschiedenen Kontexten eines Hebels

In der vorliegenden Arbeit wird sich auf die Wissenselemente *Last*, *Lastarm* und *Kraftarm* bei einseitigen Hebeln sowie auf die Wissenselemente *Gewicht* und *Abstand bei zweiseitigen Hebeln* bezogen. Zu jedem Wissenselement können verschiedene Vorstellungen vorliegen. Bspw. kann beim Wissenselement *Last* im Kontext des einseitigen Hebels Schubkarre die Vorstellung existieren, dass eine kleine Last oder eine mittlere Last oder eine große Last leichter anzuheben ist. Jedoch entspricht nur eine Vorstellung der wissenschaftlich korrekten Sichtweise. Die wissenschaftlich korrekten Vorstellungen zu den Wissenselementen *Last*, *Lastarm* und *Kraftarm* eines einseitigen Hebels im Kontext Schubkarre lauten:

- *Last*: Eine kleine Last ist leichter anzuheben.
- *Lastarm*: Eine Last in der Nähe des Rades (Drehpunkt) ist leichter anzuheben.
- *Kraftarm*: Eine Last in einer Schubkarre mit langen Griffen ist leichter anzuheben.

Auch beim zweiseitigen Hebel können zu den Wissenselementen *Gewicht* und *Abstand* verschiedene Vorstellungen existieren. Bspw. kann beim Wissenselement *Gewicht* im Kontext des zweiseitigen Hebels *Balkenwaage* die Vorstellung existieren, dass sich die Balkenwaage bei gleichem Abstand der Gewichte vom Drehpunkt zu der Seite mit der größeren oder der kleineren Anzahl an Gewichten neigt. Auch eine Vorstellung, dass die Anzahl der Gewichte keine Rolle für das Neigungsverhalten spielt, ist denkbar. Die wissenschaftlich korrekten Vorstellungen zu den Wissenselementen *Gewicht* und *Abstand* eines zweiseitigen Hebels im Kontext *Balkenwaage* lauten:

- *Gewicht*: Bei gleichem Abstand der Gewichte vom Drehpunkt neigt sich die Balkenwaage zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten.

- *Abstand*: Bei gleicher Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten neigt sich die Balkenwaage zur Seite mit dem größeren Abstand.

Ob bereits 6- bis 7-Jährige diese wissenschaftlich korrekten Vorstellungen bei ein- und zweiseitigen Hebeln in verschiedenen Kontexten zeigen, wird in Kapitel 6 (S. 42) dargestellt.

Kontextabhängigkeit von Wissen

Wissenselemente sind stark an den spezifischen Kontext gebunden, in dem sie erworben wurden. Sie werden folglich in einer konkreten Situation aktiviert, wenn die Situation einer Klasse von Situationen ähnelt, zu der bereits ein Wissenselement erworben wurde (diSessa, 1983). Dies ist z. B. der Fall, wenn die Darstellung von Situationen in einer Aufgabe Situationen einer anderen Aufgabe ähnlich sind (Van den Heuvel-Panhuizen, 2005). DiSessa, Gillespie und Esterly (2004) bestätigen, dass die Vorstellungen 5- bis 15-Jähriger zur Kraft von den Merkmalen der Aufgabe, wie z. B. dem Kontext, abhängen. Die Übertragung der Vorstellung von einem auf einen anderen Kontext, z. B. von der Balkenwaage auf die Wippe, kann eine Herausforderung für Kinder darstellen. Dies liegt u. a. daran, dass Lernende häufig auf die oberflächlichen Merkmale der Kontexte, z. B. Form und Farbe, achten (Kozma, 2003). Das Erkennen der gemeinsam zugrundeliegenden Struktur, in diesem Fall das Hebelgesetz, fällt Lernenden jedoch meist schwer (Kozma, 2003; Lohrmann et al., 2013; Schalk, Saalbach & Stern, 2011). Insbesondere für Lernende mit wenig inhaltlichem Vorwissen, z. B. jungen Kindern, ist es schwierig, auf strukturelle Aspekte zu fokussieren, weshalb sie sich häufig von oberflächlichen Merkmalen leiten lassen. Personen mit viel Vorwissen, d. h. mit gut miteinander verknüpften und hierarchisierten Wissenselementen, z. B. Experten, achten hingegen selbstständig auf die gemeinsame Struktur (Kozma, 2003).

Veränderung von Vorstellungen

Bereits vorhandene Vorstellungen beeinflussen die Veränderung von Vorstellungen (Dochy & Alexander, 1995; Duit, 2002; Hasselhorn & Grube, 2008). Im Verlauf naturwissenschaftlichen Lernens werden die vorhandenen Wissenselemente und dazugehörigen Vorstellungen modifiziert (diSessa, 1983). Eine Vernetzung und Reorganisation findet statt, indem Wissenselemente und Vorstellungen hinzugefügt, entfernt oder miteinander verbunden werden.

Im Kontext Balkenwaage kann bspw. das Wissenselement ‚Gewicht‘ mit der Vorstellung ‚Neigt sich zu der Seite mit dem größeren Gewicht‘ mithilfe mehrerer Modifikationen zu der Vorstellung ‚Neigt sich zu der Seite mit dem größeren Produkt aus Gewicht und Abstand (Drehmoment)‘ umgestaltet werden. Letztere entspricht einer physikalisch elaborierteren Sichtweise (vgl. Kapitel 2, S. 16). Gleichzeitig findet mit zunehmender Modifikation eine Übertragung auf andere Kontexte statt (diSessa, 1983). Das Wissenselement kann also neben dem Kontext Balkenwaage auch auf den Kontext Wippe angewendet werden. Der Übertragung von bestehenden Vorstellungen auf andere Kontexte kommt beim naturwissenschaftlichen Lernen eine wichtige Bedeutung zu (Möller, 2001).

Mithilfe von Modifikation werden z. B. vorherige Wissenselemente und Vorstellungen als Erklärungen vernachlässigt, weil neuere Vorstellungen bestimmte Klassen von Phänomenen besser erklären (Fischbein, 1987). Bspw. kann die Vorstellung, dass für das Neigungsverhalten einer Balkenwaage allein die Anzahl der Gewichte ausschlaggebend ist, nicht gehalten werden, da auch der Abstand einen Einfluss hat. Eine Hierarchisierung der Wissenselemente in komplexere kognitive Strukturen findet statt und zwischen den Fragmenten werden Beziehungen hergestellt (diSessa, 1983). Schließlich werden im besten Fall die einzelnen Wissenselemente mit den zugehörigen Vorstellungen zu einer kohärenten, wissenschaftlich korrekten Sichtweise integriert (Linn, 2006).

Alternative Sichtweise

Neben dem Fragmentierungsansatz (diSessa, 1983; 1988; diSessa et al., 2004) beschreiben weitere Ansätze die Organisation anfänglichen naturwissenschaftlichen Wissens. Der Kohärenzansatz (Chi, 2008; Vosniadou, 1994; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou, Vamvakoussi & Skopeliti, 2008) geht bspw. im Gegensatz zu dem Fragmentierungsansatz (diSessa, 1983; 1988; diSessa et al., 2004) davon aus, dass schon anfängliches naturwissenschaftliches Wissen integriert, strukturiert, kohärent und theorieähnlich organisiert ist. Für beide Positionen liegen empirische Belege, auch zum Konzept der *Kraft*, vor (diSessa et al., 2004; Ionides & Vosniadou, 2002). Eine abschließende Klärung, wie anfängliches naturwissenschaftliches Wissen beschaffen ist, steht noch aus (Kleickmann, Hardy, Pollmeier & Möller, 2011). Erste Hinweise deuten darauf hin, dass beide, Fragmentierungs- und Kohärenzansatz, nicht als alternativ zu sehen sind, sondern die Wissensorganisation bei Personen mit qualitativ unterschiedlichem Wissen beschreiben (Kleickmann et al., 2011). Da bei 6- bis 7-Jährigen davon ausgegangen werden kann, dass sie nur beiläufig und punktuell Alltagserfahrungen zu Hebeln sammeln und daher wenig

Gelegenheit haben, Wissen zu Hebeln integriert und kohärent zu organisieren, wird in der vorliegenden Arbeit auf den Fragmentierungsansatz fokussiert.

4.2 Arten der Wissensrepräsentationen

Von der Organisation von Wissens-elementen und Vorstellungen ist die Art der Wissensrepräsentation zu unterscheiden. Unterschieden wird zwischen *deklarativem*, *konzeptuellem* und *prozeduralem Wissen* (z. B. Goldman & Hasselbring, 1997; Miller & Hudson, 2007; Schwelle et al., 2013) sowie *enaktivem*, *ikonischem* und *symbolischem Wissen* (Bruner, 1964; Bruner, Olver & Greenfield, 1971; Straka & Macke, 2002).

Deklaratives Wissen umfasst einzelne Fakten oder auch ‚wissen, dass‘ (‚knowing that‘; Ryle, 1969). Beim Themenbereich Hebel handelt es sich um deklaratives Wissen, wenn ein Kind, ohne zu raten, korrekt vorhersagt, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigen wird. Beinhaltet deklaratives Wissen ein tieferes Verständnis des Gegenstands, handelt es sich um *konzeptuelles Wissen* (Renkl, 2007).

Konzeptuelles Wissen bedeutet zu verstehen ‚warum‘ etwas funktioniert (Schwelle et al., 2013). Zum Thema Hebel liegt konzeptuelles Wissen vor, wenn ein Kind den multiplikativen Zusammenhang zwischen Last, Lastarm, Kraft und Kraftarm verstanden hat und dadurch korrekt vorhersagen kann, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigen wird. Das Hebelgesetz wird in diesem Fall altersgemäß formuliert (Schwelle, Lohrmann & Hartinger, 2014a). Bei konzeptuellem Wissen handelt es sich um ein Netzwerk an Informationen, bei dem die Beziehungen der Wissens-elemente genauso wichtig sind wie die einzelnen verbundenen Wissens-elemente und deren Vorstellungen selbst (Goldman & Hasselbring, 1997). Im Laufe naturwissenschaftlichen Lernens werden vorhandene Wissens-elemente strukturiert, hierarchisiert und in Beziehung gesetzt (diSessa, 1983). Dadurch wird konzeptuelles Wissen aufgebaut. Wird der Fragmentierungsansatz hinzugezogen (vgl. Kapitel 4.1, S. 22), bedeutet dies, dass die meisten 6- bis 7-Jährigen mit ihren bruchstückartigen Wissens-elementen eher deklaratives Wissen zu naturwissenschaftlichen Phänomenen besitzen. Eine Gemeinsamkeit deklarativen und konzeptuellen Wissens ist, dass beide verbalisiert werden können (Anderson & Lebiere, 1998; De Jong & Ferguson-Hessler, 1996).

Ob auch *prozedurales Wissen* verbalisiert werden kann, ist hingegen strittig (Anderson & Lebiere, 1998; De Jong & Ferguson-Hessler, 1996). Prozedurales Wissen bezeichnet das ‚Wissen wie‘ (‚knowing how‘; Ryle, 1969) und beinhaltet Wissen über Regeln, Vorgehensweisen und Handlungsabläufe (Goldman & Hasselbring, 1997). Das Wissen darüber, ‚wie‘ bspw. eine Balkenwaage ins Gleichgewicht gebracht wird, ist prozedurales Wissen. Alltagssprachlich wird prozedurales Wissen häufig auch mit ‚Können‘ bezeichnet (Renkl, 2007; Ryle, 1969).

In Studien zu Hebeln, z. B. im Kontext Balkenwaage, sind die verschiedenen Wissensarten nicht immer eindeutig voneinander zu trennen. Angenommen, ein Kind sagt korrekt vorher, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt, bei der sich nur die Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten unterscheidet, nicht aber der Abstand, kann aus der korrekten Vorhersage nicht abgeleitet werden, ob das Kind rät oder ob es deklaratives oder konzeptuelles Wissen besitzt. Löst ein Kind eine Aufgabe aufgrund seines Wissens, ‚dass‘ sich die Balkenwaage zu der Seite mit dem größeren Gewicht neigt, handelt es sich um deklaratives Wissen. Löst ein anderes Kind die gleiche Aufgabe mithilfe seines Wissens, ‚warum‘ sich die Balkenwaage zu der Seite neigt, also dem Vergleich beider Drehmomente, handelt es sich um konzeptuelles Wissen. Balanciert ein Kind korrekt eine Balkenwaage aus, kann ebenfalls nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob ihm dies allein mithilfe von konzeptuellem Wissen, ‚wie‘ die Balkenwaage ausbalanciert wird, gelingt oder ob nicht auch deklaratives oder konzeptuelles Wissen vorhanden sind. Daher wird im Folgenden darauf verzichtet, eine Klassifikation in deklarativ, konzeptuell und prozedural vorzunehmen.

Die Klassifikation von Bruner (1964) in *enaktive*, *ikonische* und *symbolische* Wissensrepräsentation ist hingegen im Hinblick auf das Anregen von Veränderung der Vorstellungen zu Hebeln (vgl. Studie II) hilfreich. Daher werden im Folgenden diese drei Arten der Wissensrepräsentation, die das Endprodukt aus Verarbeitung und Kodierung von Wissen in der kognitiven Struktur darstellen, vorgestellt. Eine *enaktive Repräsentation* liegt vor, wenn sich Wissen durch Handeln oder Können zeigt. Beim Themenbereich Hebel liegt eine enaktive Wissensrepräsentation bspw. vor, wenn Kinder mit unterschiedlichem Körpergewicht eine Wippe ins Gleichgewicht bringen können, indem sie sich auf diese setzen. Gegenstände, z. B. die Wippe, sind bei Vorlage einer enaktiven Wissensrepräsentation durch Handlungen gekennzeichnet, die an dieser vollzogen werden können, z. B. das Wippen (Straka & Macke, 2002). Eine *ikonische Wissensrepräsentation*

liegt vor, wenn sich Wissen durch Bilder, Diagramme oder Zeichnungen darstellen lässt (Bruner, 1964; Straka & Macke, 2002). Gegen Ende des ersten Lebensjahres zeigen Kinder auch ikonische Repräsentationen (Bruner, Olver & Greenfield, 1971). Malt ein älteres Kind eine Balkenwaage, die sich bei gleichem Abstand der Gewichte vom Drehpunkt zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt, handelt es sich um eine ikonische Repräsentation des Wissens über das Gewicht. Die komplexeste Art der Wissensrepräsentation ist die *symbolische*. Bei dieser wird Wissen durch Zeichen und Zeichensysteme dargestellt (Bruner, 1964; Straka & Macke, 2002). Dazu zählen mündliche und schriftliche Sprache, Begriffe, Symbole und Formeln. Mit dem Erlernen von Sprache und Schrift kommt diese Repräsentationsebene hinzu. Verbalisiert ein Kind bspw. altersangemessen das Hebelgesetz, liegt eine symbolische Repräsentation vor. Die enaktive Repräsentation ist bei Kindern vorherrschend, nimmt aber mit zunehmendem Alter ab und wird durch ikonische und symbolische Repräsentation ergänzt (Bruner, 1964; Bruner, Olver & Greenfield, 1971; Straka & Macke, 2002). Die Kenntnis über die Art der Wissensrepräsentation kann dazu genutzt werden, um Unterstützungsmaßnahmen zur Veränderung von Vorstellungen auszuwählen, die die verschiedenen Repräsentationsarten ansprechen (vgl. Kapitel 8, S. 72; Kapitel 9, S. 82; Kapitel 10, S. 90; Kapitel 11, S. 98).

Das vorliegende Kapitel stellt zwei Dimensionen von Wissensrepräsentation, Organisation und Art vor. Die Kenntnis beider Dimensionen ist z. B. hilfreich, um die Forschungsergebnisse zu Hebeln einzuordnen. Auch eine Darstellung der verwendeten Erhebungs- und Auswertungsmethode erleichtert die Einordnung von Forschungsergebnissen. Daher wird im folgenden Kapitel auf die Art der Erhebung und Auswertung von Wissens-elementen und Vorstellungen zu Hebeln eingegangen.

5 Wissenselemente und Vorstellungen zu Hebeln erfassen und auswerten

Erste Wissenselemente und dazugehörige Vorstellungen über den Gebrauch und die Funktionsweise von Hebeln bauen Kinder durch alltägliche Erfahrungen mit Hebeln auf (diSessa, 1983; 1988). Bereits 1- bis 2-Jährige können eine Stange als Hebel verwenden, um ein Spielzeugauto in ihre Reichweite zu holen (Koslowski & Bruner, 1972). Der Mehrheit 3-Jähriger gelingt es, einen Hebel als Katapult zu bedienen, um z. B. ein Bohnensäckchen fliegen zu lassen (Kamii, Miyakawa & Kato, 2007). Beide Studien zeigen, dass schon 1- bis 3-Jährige einen Hebel als Hilfsmittel einsetzen können. Um die Vorstellungen zu Gewicht, Abstand und deren Kombination zu erfassen, eignen sich die Kontexte Stange und Katapult jedoch weniger. Schließlich geben sie keine Auskunft, ob Kinder ein Verständnis für die Prinzipien *Kraftverstärkung* eines Hebels oder *Gleichgewicht* besitzen. Dagegen ermöglicht der Kontext Balkenwaage die Erfassung der Vorstellungen über Gleichgewicht getrennt für die Dimensionen Gewicht und Abstand. Erstmals wurde die Balkenwaage von Inhelder und Piaget (1958) verwendet, seitdem ist sie in der entwicklungspsychologischen Forschung ein häufig verwendetes Aufgabenparadigma (Wilkening & Cacchione, 2011). Dabei wurden Kinder und Erwachsene verschiedenen Alters untersucht (z. B. Halford, Andrews, Dalton, Boag & Zielinski, 2002; Krist et al., 2004; Siegler, 1976). Vorstellungen über das Prinzip der Kraftverstärkung lassen sich allerdings nicht an der Balkenwaage zeigen. Dazu eignen sich viel mehr die Schubkarre oder der Schraubenschlüssel. Diese Kontexte werden jedoch nur in wenigen Studien verwendet (z. B. Duismann, 2009).

Im Folgenden wird ein Überblick gegeben, mit welchen Methoden in der entwicklungs- und lernpsychologischen Forschung die Wissenselemente und dazugehörigen Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln (fast immer im Kontext Balkenwaage) erfragt und ausgewertet werden. Die Kenntnis dieser Erhebungs- und Auswertungsmethoden bei zweiseitigen Hebeln soll helfen, im empirischen Teil dieser Arbeit eine geeignete Erhebungs- und Auswertungsmethode zur Erfassung der Wissenselemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln zu wählen und die Ergebnisse zu vergleichen. Bevor jedoch Erhebungs- und Auswertungsmethoden dargestellt werden, ist eine Beschreibung verschiedener Aufgabentypen vorzunehmen.

5.1 Systematisierung von Aufgaben an der Balkenwaage

Siegler (1976) systematisierte erstmals Aufgaben im Kontext Balkenwaage nach verschiedenen Aufgabentypen. Eine Klassifikation wird danach vorgenommen, ob sich beide Seiten der Balkenwaage in keiner, einer (z. B. Gewicht) oder zwei Dimensionen (Gewicht und Abstand) unterscheiden. Je nach Aufgabentyp befindet sich eine gleiche oder unterschiedliche Anzahl an Gewichten in gleichem oder unterschiedlichem Abstand auf der rechten und linken Seite der Balkenwaage. Die Kombination von Gewicht und Abstand auf beiden Seiten der Balkenwaage entscheidet darüber, zu welcher Seite sie sich neigt. Aus dieser Systematisierung ergeben sich sechs Aufgabentypen. In Tabelle 1 sind die verschiedenen Aufgabentypen dargestellt. Je nach Aufgabentyp unterscheidet sich a) die Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage, b) die Abstände vom Drehpunkt, c) die Anzahl der Gewichte und die Abstände oder d) weder die Anzahl der Gewichte noch die Abstände. Auch das Ergebnis, zu welcher Seite sich die Balkenwaage nach entfernen der Stützen neigen würde, ist für den Aufgabentyp kennzeichnend.

Tabelle 1. Aufgabentypen an der Balkenwaage (Siegler, 1976)

Aufgabentyp	Gewichte	Abstände	Ergebnis: Die Balkenwaage neigt sich ...
Nonkonflikt Gewicht	unterschiedlich	gleich	zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten.
Nonkonflikt Distanz	gleich	unterschiedlich	zu der Seite mit dem größeren Abstand der Gewichte.
Nonkonflikt Balance	gleich	gleich	nicht (Gleichgewicht).
Konflikt Gewicht	unterschiedlich	unterschiedlich	zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten.
Konflikt Distanz	unterschiedlich	unterschiedlich	zu der Seite mit dem größeren Abstand der Gewichte.
Konflikt Balance	unterschiedlich	unterschiedlich	nicht (Gleichgewicht).

Bei *Nonkonflikt Gewicht-Aufgaben* unterscheiden sich die beiden Seiten der Balkenwaage ausschließlich in der Anzahl an Gewichten. Nach Entfernung der Stützen neigt sich die Balkenwaage zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten. Bei *Nonkonflikt Distanz-Aufgaben* ist die Anzahl der Gewichte gleich, aber die Abstände zum Drehpunkt unterscheiden sich. Die Balkenwaage neigt sich zu der Seite, bei der die Gewichte weiter vom Drehpunkt entfernt sind. Bei *Konflikt Gewicht-* und *Konflikt Distanz-Aufgaben* unterscheiden sich beide Seiten der Balkenwaage in Gewicht und Abstand. Die Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt sich bei *Konflikt Gewicht-Aufgaben* nach unten. Ein Beispiel für eine *Konflikt Gewicht-Aufgabe* ist in Abbildung 3 (S. 18) dargestellt. Bei

Konflikt Distanz-Aufgaben neigt sich die Balkenwaage zu der Seite mit dem größeren Abstand der Gewichte. *Nonkonflikt Balance-Aufgaben* unterscheiden sich weder in Gewicht noch Abstand, d. h. die Balkenwaage verbleibt im Gleichgewicht. Bei *Konflikt Balance-Aufgaben* unterscheiden sich sowohl die Anzahl der Gewichte als auch die Distanz vom Drehpunkt, jedoch bleibt auch bei diesem Aufgabentyp die Balkenwaage im Gleichgewicht. Diese Systematisierung der Aufgaben wird in vielen Studien zum Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln explizit oder implizit aufgegriffen, wobei sich die Methoden, mit denen die Vorstellungen erfasst werden, unterscheiden.

5.2 Methoden zur Erfassung der Vorstellungen zu Hebeln

Unabhängig vom Aufgabentyp (vgl. Kapitel 5.1, S. 30) kann die Art des Hebels und damit einhergehend der Kontext der Aufgabe variieren. Beim Aufgabenformat kann es sich um eine Beurteilungsaufgabe oder eine Produktionsaufgabe handeln. Sie kann im geschlossenen oder offenen Antwortformat vorliegen und in einer Eins-zu-eins-Situation mittels Interview oder in einer Gruppe mithilfe eines Paper-Pencil-Fragebogens gelöst werden.

Art und Kontext des Hebels

In der entwicklungs- und lernpsychologischen Forschung findet die Erfassung von Wissenselementen und Vorstellungen zu Hebeln hauptsächlich an zweiseitigen Hebeln statt. Fast immer wird der Kontext Balkenwaage gewählt. Bei 2-Jährigen wird eine vereinfachte Balkenwaage mit weniger Gewichten und Abstandsmarkierungen genutzt (Halford et al., 2002). Bei Kindern ab 3 Jahren wird häufig die von Siegler (Siegler, 1976; 1978) verwendete Balkenwaage eingesetzt. Diese hat sich auch bei Erwachsenen bewährt (Siegler, 1976). Die Gewichte der Balkenwaage bestehen meistens aus metallenen oder hölzernen Scheiben (z. B. Krist et al., 2004; Siegler, 1976; 1978). Seltener werden bei 3- bis 5-Jährigen Puppen als Gewichte verwendet (Inhelder & Piaget, 1958; Metz, 1993) oder die Balkenwaage bei 5- bis 12-Jährigen als Wippe kontextualisiert (Amsel et al., 1996; Schwelle, Lohrmann & Hartinger, 2012; Schwelle et al., 2013; Schwelle et al., 2014a; Surber & Gzesh, 1984). Zweiseitige Hebel im Kontext eines Bretts, mit dessen Hilfe ein Gegenstand angehoben wird, finden in Untersuchungen mit 5- bis 12-Jährigen Verwendung (Amsel et al., 1996). Nur eine Seite einer Balkenwaage präsentierten Andrews, Halford, Murphy und Knox (2009) 3- bis 7-Jährigen. Einseitige Hebel werden

äußerst selten und nur beiläufig betrachtet. Untersuchte Kontexte einseitiger Hebel sind der Nussknacker bei 8- bis 9-Jährigen (Schwelle et al., 2012; Schwelle et al., 2013; Schwelle et al., 2014a) oder der Schraubenschlüssel bei 12- bis 16-Jährigen (Duismann, 2009).

Art des Aufgabenformats: Beurteilung vs. Produktion

Bei *Beurteilungsaufgaben* wird vorhergesagt, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt. Ein Modell einer Balkenwaage oder eine Abbildung dieser werden präsentiert, bei der die Gewichte auf einem bestimmten Abstand vom Drehpunkt platziert sind. Die Antwortalternativen ergeben sich aus den drei möglichen Verhaltensweisen der Balkenwaage, wenn die Stützen entfernt werden. Die Balkenwaage kann sich zur rechten, linken oder zu keiner Seite (Gleichgewicht) neigen. Diese Art der Aufgabe, bei der eine Antwortoption ausgewählt werden muss, wird auch als Single-Choice-Wahlaufgabe bezeichnet (Bühner, 2011; Rost, 2004). Beurteilungsaufgaben wurden erstmals von Siegler (1976) verwendet und im Folgenden in einer Vielzahl späterer Studien eingesetzt (z. B. Amsel et al., 1996; Boom, Hooijink & Kunnen, 2001; Case, 1985; Ferretti & Butterfield, 1986; Halford et al., 2002; Jansen & van der Maas, 2002; McFadden, Dufresne & Kobasigawa, 1987; Normandeau, Larivée, Roulin & Longeot, 1989; 2013; Siegler, 1978).

Bei *Produktionsaufgaben*, erstmals von Inhelder und Piaget (1958) verwendet, sollen die Befragten ein bestimmtes Ereignis an der Balkenwaage produzieren. Vorgegeben ist bspw. auf beiden Seiten der Balkenwaage die Anzahl der Gewichte. Auf der linken Seite ist zusätzlich der Abstand des Gewichts vorgegeben. Der Befragte soll die Gewichte rechts derart platzieren, dass die Balkenwaage im Gleichgewicht ist, wenn die Arretierung entfernt wird. Formal handelt es sich dabei auch um Single-Choice-Wahlaufgaben (Bühner, 2011; Rost, 2004). Produktionsaufgaben sind jedoch differenzierter. Bei diesen geht es nicht darum, etwas Bestehendes einzuschätzen, sondern vielmehr selbst über eine mögliche Lösung, in diesem Fall die Bestimmung des Ausmaßes von Abstand oder Gewicht, nachzudenken. Den Kindern stehen nicht wie bei Beurteilungsaufgaben drei Antwortalternativen (rechts, links, Gleichgewicht) zur Auswahl, sondern so viele, wie Gewichte bzw. Abstände vorgegeben sind. Der Vorteil von Produktionsaufgaben gegenüber Beurteilungsaufgaben liegt darin, dass z. B. die Auswahl einer bestimmten Anzahl an Gewichten eine präzisere Spezifikation der Dimensionen notwendig macht als die Beurteilung, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt (Philips & Tolmie, 2007). Produktionsaufgaben wurden unter anderem von McFadden et al. (1987), Metz (1993), Surber und Gzesh (1984) sowie Wilkening und Anderson (1991) eingesetzt.

Art der Befragung: Interview (einzeln) vs. Paper-Pencil-Befragung (Gruppe)

Die Erfassung der Vorstellungen zu Hebeln erfolgt in der bisherigen Forschung entweder in *Eins-zu-eins-Interviews* (z. B. Andrews et al., 2009; Halford et al., 2002; McFadden et al., 1987; Metz, 1993; Philips & Tolmie, 2007; Siegler, 1976; 1978; Surber & Gzesh, 1984; Wilkening & Anderson, 1991) oder in *Gruppenbefragungen im Paper-Pencil-Format* (z. B. Amsel et al., 1996; Boom et al., 2001; Duismann & Meschenmoser, 2009; Jansen & van der Maas, 2002; Normandeau et al., 1989; Schwelle et al., 2013). Ein Vorteil der Paper-Pencil-Befragung ist die höhere Ökonomie. Mehrere Personen können gleichzeitig befragt werden. Jedoch bieten sich Gruppenbefragungen nicht für alle Aufgabenformate an. Bspw. sind diese schwieriger einzusetzen, wenn eine Balkenwaage handelnd ins Gleichgewicht gebracht werden soll (Produktionsaufgabe). Darüber hinaus kann der Einsatz einer Paper-Pencil-Befragung in einer Gruppensituation bei 6- bis 7-Jährigen wegen bestimmter lern- und entwicklungspsychologischer Besonderheiten, z. B. der geringen Aufmerksamkeitskapazität (Hasselhorn & Gold, 2006) und die zunehmende Tendenz zu sozialen Vergleichen (Hasselhorn & Grube, 2008), problematisch sein (vgl. Kapitel 3, S. 19).

Art des Antwortformats: geschlossen vs. offen

Sowohl bei Produktionsaufgaben als auch bei Beurteilungsaufgaben werden hauptsächlich geschlossene Antwortformate verwendet. Das *geschlossene Antwortformat* der Kategorie ‚Single-Choice‘ ist gekennzeichnet durch eine bestimmte Anzahl von Antwortoptionen, aus denen die Befragten die korrekte Antwortalternative auswählen sollen (Single-Choice-Wahlaufgaben, Bühner, 2011; Rost, 2004). Bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Balkenwaage liegen drei Antwortoptionen vor: Die Balkenwaage neigt sich zur rechten, zur linken oder zu keiner Seite. Bei Produktionsaufgaben wird die Anzahl der Antwortalternativen durch die zur Verfügung gestellten Gewichte bzw. Abstände vorgegeben. Gelegentlich werden in schriftlichen Paper-Pencil-Tests ergänzend auch offene Antwortformate, z. B. Ergänzungsaufgaben, eingesetzt (z. B. Schwelle et al., 2013). Dieses *offene Antwortformat* ist dadurch gekennzeichnet, dass Probanden keine Antwort vorgegeben bekommen, sondern ihre Antwort selber formulieren und diese später einer Kategorie zugeordnet wird (Bühner, 2011; Rost, 2004). Offene Antworten ermöglichen somit einen tieferen Einblick in die verwendeten Lösungsschritte und Kognitionen (Bortz & Döring, 2006). Ein weiterer Vorteil gegenüber dem geschlossenen Antwortformat ist, dass Zufallslösungen seltener sind (Bühner, 2011). Zur Erfassung der Wissensselemente

und Vorstellungen zu Hebeln wurden auch standardisierte Interviews mit offenem Antwortformat durchgeführt (z. B. Inhelder & Piaget, 1958; Schwelle et al., 2012).

Die Bedeutung des vorstehenden Abschnitts für die vorliegende Arbeit kann folgendermaßen zusammengefasst werden. Sollen Wissensselemente und Vorstellungen zu Hebeln erfasst werden, müssen Art und Kontext des Hebels, Aufgabenformat, Art der Befragung und Antwortformat ausgewählt werden.

5.3 Methoden zur Auswertung der Vorstellungen zu Hebeln

Ebenso wie verschiedene Erhebungsmethoden zur Erfassung der Wissensselemente und Vorstellungen zu Hebeln zur Verfügung stehen, kann zwischen verschiedenen Auswertungsmethoden ausgewählt werden. Dazu zählen u. a. die Analyse von Protokollen/Videos (z. B. Inhelder & Piaget, 1958; Metz, 1985), die Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode (z. B. Siegler, 1976), die Zuordnung zu Regeln per Latenter Klassenanalyse (z. B. Jansen & van der Maas, 2002), die Zuordnung zu Regeln per Relational Complexity Theory (z. B. Halford et al., 1998; Halford et al., 2002), die Information Integration Theory (z. B. Wilkening & Anderson, 1991; Surber & Gzesh, 1984) und weitere Auswertungsmethoden. Im Folgenden werden die verschiedenen Auswertungsmethoden vorgestellt. Die Kenntnis dieser ist für die Einordnung und den Vergleich der Forschungsergebnisse zu Hebeln, die in Kapitel 6 (S. 42) berichtet werden, von Bedeutung.

5.3.1 Analyse von Protokollen/Videos

Inhelder und Piaget (1958) analysierten erstmals Protokolle von Interviews, in denen Kinder und Jugendliche zum Ausbalancieren einer Balkenwaage befragt wurden. Die Handlungen und Antworten, die in den Protokollen vermerkt waren, wurden einer von drei Stufen, die die Fähigkeit der Kinder beschreiben, zugeordnet. Stufe I ist u. a. dadurch gekennzeichnet, dass die Kinder keinen Zusammenhang zwischen ihrer Handlung und dem Verhalten der Balkenwaage erkennen. Stufe II zeichnet sich dadurch aus, dass die Kinder zwar erkennen, dass Gewicht und Abstand einen Einfluss haben, aber die multiplikative Verknüpfung noch nicht erkannt wird. Stufe III ist gekennzeichnet durch das Erkennen und Beschreiben des Hebelgesetzes. Ähnliches Vorgehen wählte Metz (1993). Videos, in denen Kinder Aufgaben an der Balkenwaage bearbeiteten, wurden analysiert und die

Lösungsstrategien protokolliert. Anschließend wurden aus den Lösungsstrategien drei prototypische Antwortmodelle entwickelt.

5.3.2 Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

Im Gegensatz zum qualitativen Auswerten von Protokollen (vgl. Kapitel 5.3.1, S. 34) entwickelte Siegler (1976) die *Entscheidungsbaummethode* als ersten quantitativen Ansatz zur Erfassung des Antwortverhaltens im Kontext Balkenwaage. Deduktiv wurden aus theoretischen Überlegungen *Regeln* aufgestellt. Diese Regeln beschreiben ein konstantes Antwortverhalten. Eine Versuchsperson wendet eine Regel an, wenn sie in mindestens 80 % ihrer Antworten die Antwortoption auswählt, die durch die entsprechende Regel vorhergesagt wird. Die konsistente Anwendung eines Algorithmus über verschiedene Probleme hinweg ist notwendig, um einer Regel zugewiesen zu werden. Gewöhnlich werden Probanden 24 Aufgaben (vier pro Aufgabentyp, vgl. Kapitel 5.1, S. 30) präsentiert.

Obwohl für die Entscheidung, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt, zwei Dimensionen (Gewicht und Abstand) entscheidend sind, wird angenommen, dass bei allen Regeln bis auf Regel IV nur eine Dimension auf einmal betrachtet wird. Die Regeln basieren demnach auf einer Serie binärer Entscheidungen und können daher mithilfe von Entscheidungsbäumen visualisiert werden. In Abbildung 4 (S. 36) sind die Entscheidungsbäume für Regel I bis IV dargestellt.

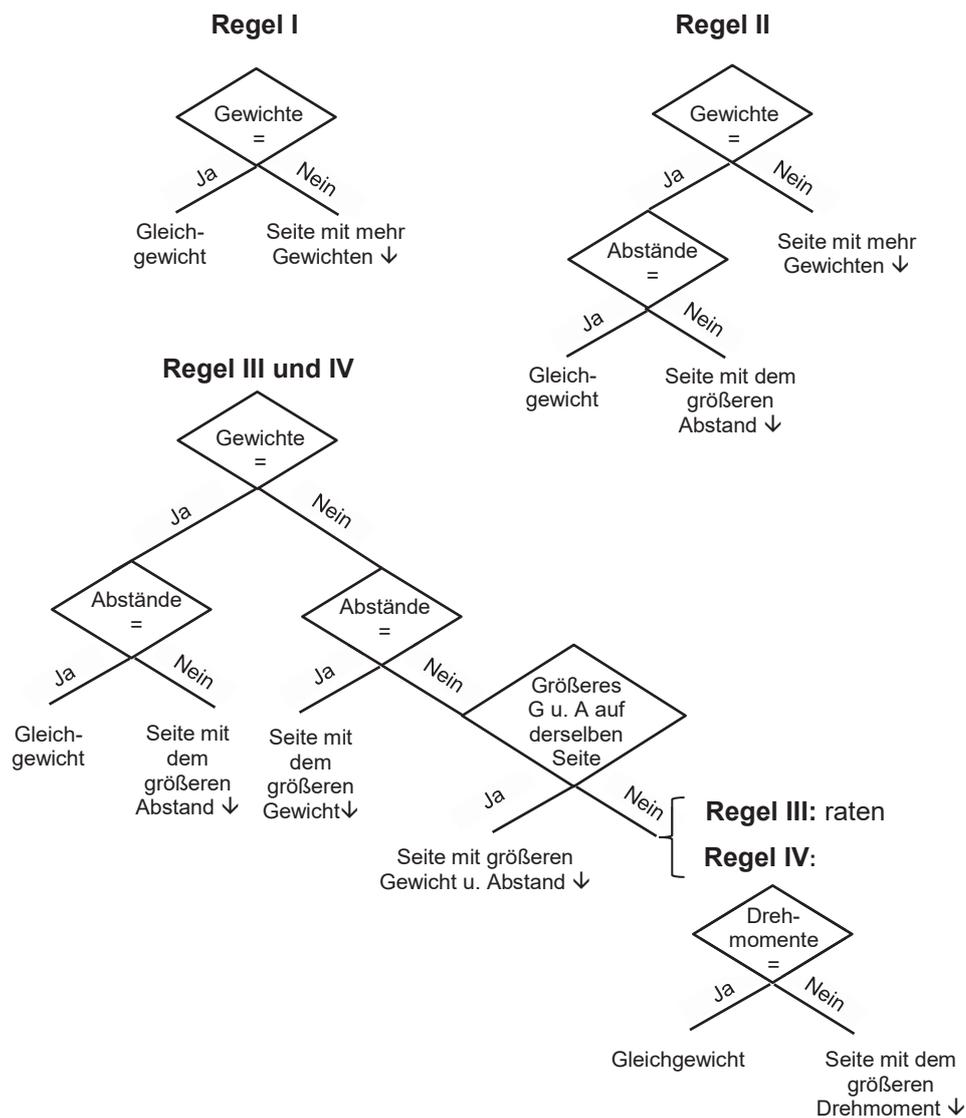


Abbildung 4. Entscheidungsbäume für die Regeln I-IV im Kontext Balkenwaage nach Siegler (1976, 1978)

Ein Kind, das *Regel I* anwendet, berücksichtigt ausschließlich eine Dimension: das Gewicht. Ist die Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage gleich, wird vorhergesagt, dass diese im Gleichgewicht bleibt, wenn die Stützen entfernt werden. Ist die Anzahl der Gewichte nicht gleich, wird vorhergesagt, dass sich die Balkenwaage zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt. Bei der Verwendung von *Regel II* wird ggf. eine weitere Dimension berücksichtigt. Ist das Gewicht auf beiden Seiten der Balkenwaage gleich, wird in einem nächsten Schritt auch der Abstand in das Urteil, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt, einbezogen. Bei gleichem Abstand wird weiterhin angenommen, dass sich die Balkenwaage zur der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt. Ein Kind, das *Regel III* folgt, berücksichtigt in einer Serie binärer Entscheidungen nacheinander die beiden Dimensionen Gewicht und Abstand. Sind beide Dimensionen gleich, wird vorhergesagt, dass die Balkenwaage im Gleichgewicht bleibt.

Wenn eine Dimension gleich ist, bestimmt die andere Dimension das Urteil. Unterscheiden sich beide Dimensionen und befindet sich auf derselben Seite der Balkenwaage sowohl die größere Anzahl an Gewichten als auch der größere Abstand, wird vorhergesagt, dass sich die Balkenwaage zu dieser Seite neigt. Besitzt eine Seite der Balkenwaage in der einen Dimension den größeren Wert und die andere Seite der Balkenwaage in der anderen Dimension den größeren Wert, raten Kinder, die Regel III anzuwenden. *Regel IV* beschreibt die Berücksichtigung der korrekten multiplikativen Verknüpfung des Hebelgesetzes (vgl. Kapitel 2, S. 16). Zunächst wird, wie bei Regel III, seriell Gewicht und Abstand betrachtet. Zeigt die eine Seite das größere Gewicht und die andere Seite den größeren Abstand, wird das Produkt aus Gewicht und Abstand auf jeder Seite der Balkenwaage berechnet und miteinander verglichen. Abschließend wird die Seite der Balkenwaage bestimmt und gewählt, die das größere Produkt besitzt (Siegler, 1976). Regel I bis III werden auch als ‚Non-Integrationsregeln‘ bezeichnet, da bei ihnen Gewicht und Abstand getrennt voneinander betrachtet werden. Regel IV hingegen ist eine ‚Integrationsregel‘, da bei dieser Gewicht und Abstand multiplikativ verknüpft werden (Wilkening & Anderson, 1991).

Vorteile der Entscheidungsbaummethode sind u. a., dass eine Anwendung schon bei kleinen Stichproben und eine Zuordnung fast aller Probanden zu einer der Regeln möglich sind. Die Anwendung von Regeln ist nicht an den Kontext Balkenwaage oder das Thema Hebel gebunden, sondern kann auch in anderen Themenbereichen, z. B. der Projektion von Schatten (Siegler, Strauss & Levin, 1981), bestätigt werden (Siegler & Chen, 2002). Kritisiert wird an der Entscheidungsbaummethode, dass die Schlussfolgerung, Kinder, Jugendliche und Erwachsene trafen binäre Entscheidungen, ein Artefakt der Methode sei. Darüber hinaus führt die Entscheidungsbaummethode häufig zur Unterschätzung der Fähigkeit, Gewicht und Abstand zu kombinieren. Für eine ausführliche Diskussion der Vor- und Nachteile wird auf Siegler und Chen (2002) sowie Wilkening und Anderson (1982) verwiesen. Die Auswertung des Antwortverhaltens an der Balkenwaage mithilfe der Zuordnung zu Regeln wurde nach Siegler (1976) von weiteren Autoren aufgegriffen. Diese alternativen Ansätze werden im Folgenden beschrieben.

5.3.3 Zuordnen zu Regeln per Latenter Klassenanalyse

Eine Zuordnung des Antwortverhaltens an der Balkenwaage zu Regeln kann auch mithilfe der *Latenten Klassenanalyse*, einer Form von Strukturgleichungsmodellen, erfolgen (z. B.

Jansen & van der Maas, 2002). Im Gegensatz zu Siegler (1976) deduktiv abgeleiteter Regeldiagnose mithilfe der Entscheidungsbaummethode ist die Latente Klassenanalyse eine induktive Vorgehensweise. Unabhängig von theoretischen Annahmen wird das Antwortverhalten auf Regelmäßigkeiten untersucht. Diese Regelmäßigkeiten basieren idealerweise auf einer gemeinsamen Strategie, die zur Lösung der Aufgaben angewendet wird (Boom et al., 2001). Die Verwendung einer Latenten Klassenanalyse ermöglicht im Gegensatz zur Entscheidungsbaummethode eine Angabe der statistischen Passung zwischen den Daten und den gefundenen Regeln. Eine Zuordnung von Regeln innerhalb einer kleinen Stichprobe ist mithilfe der Latenten Klassenanalyse jedoch nicht möglich (Siegler & Chen, 2002).

5.3.4 Zuordnung zu Regeln per Information Integration Theory

Ein weiterer Ansatz, der das Antwortverhalten an der Balkenwaage Regeln zuordnet, ist die *Information Integration Theory* (Anderson, 1980). Diese analysiert das Antwortverhalten bei Produktionsaufgaben (vgl. Kapitel 5.2, S. 31). Im Gegensatz zum binären Entscheidungsbaummodell nimmt die Information Integration Theory an, dass mehr als eine Dimension auf einmal betrachtet wird. Der Fokus liegt auf der Integration von mehreren Dimensionen. Im Kontext Balkenwaage werden drei Werte vorgegeben, z. B. Gewicht rechts, Abstand rechts, Gewicht links. Das Ausmaß des vierten Wertes wird bestimmt, indem das Kind handelnd ein gewünschtes Ergebnis, meist Gleichgewicht, herstellt. Häufig besitzt die verwendete Balkenwaage vorgegebene Abstandsmarkierungen (Wilkening & Anderson, 1982), jedoch kann darauf verzichtet werden, um kontinuierliche Antworten zu ermöglichen (z. B. Inhelder & Piaget, 1958). Mithilfe solcher Anpassungsaufgaben werden numerische Werte erfasst, die in Graphen darstellbar sind. Auf Basis der numerischen Antworten können Kinder mithilfe von varianzanalytischen Auswertungsverfahren und der Angabe von Haupteffekten und Interaktionen den von Siegler (1976) aufgestellten Regeln zugeordnet werden. Eine Person wird nach *Regel I* bzw. *Regel II* klassifiziert, wenn ein Haupteffekt für Gewicht bzw. Abstand gezeigt wird und der andere Haupteffekt nicht signifikant ist. Bei Anwendung von *Regel III* liegen signifikante Haupteffekte für beide Dimensionen vor, aber keine signifikante Interaktion, der Graph zeigt ein paralleles Muster. *Regel IV* wird diagnostiziert, wenn sowohl Haupteffekte als auch Interaktionen signifikant sind und der Graph aufgefächert ist. Wie die Latente Klassenanalyse ermöglicht auch die Auswertung mithilfe der Information Integration Theory eine Angabe darüber, wie gut sich die gewonnenen Daten mithilfe von

Regeln abbilden lassen (Wilkening & Anderson, 1982). Das Antwortverhalten bei Beurteilungsaufgaben kann jedoch nicht mithilfe der Information Integration Theory ausgewertet werden. Das liegt daran, weil bei Beurteilungsaufgaben ausschließlich erfasst wird, ob Abstand, Gewicht oder beides berücksichtigt werden. Ein numerischer Wert bzgl. Gewicht und Abstand, der bei Produktionsaufgaben durch die Auswahl der Anzahl und Platzierung der Gewichte auf der Balkenwaage erfasst und im Anschluss in einen Graphen eingetragen werden kann, wird nicht erhoben.

5.3.5 Die Relational Complexity Theory

Ein Ansatz, der das Antwortverhalten bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Balkenwaage nicht über die Zuordnung zu Regeln untersucht, wird von Halford, Wilson und Phillips (1998) beschrieben. Sie erklären die Entwicklung des Verständnisses für die beiden Dimensionen Gewicht und Abstand an der Balkenwaage mithilfe der *Relational Complexity Theory*. Nach dieser verursacht das Nachdenken über Variablen und deren Zusammenhänge eine kognitive Beanspruchung (*Load*), die sich aus der Anzahl der für eine Entscheidung relevanten Dimensionen ergibt. Die Anzahl der Dimensionen entspricht der Anzahl der interagierenden Variablen, die bei einer Entscheidung berücksichtigt werden müssen. Eine einfache Relation (*unary relation*) bezieht sich auf eine Variable, z. B. ‚Das Objekt ist eine Balkenwaage‘. Zweifache Relationen (*binary relation*) beziehen sich auf zwei Variablen (z. B. ‚Auf der rechten Seite der Balkenwaage sind mehr Gewichte als auf der linken Seite‘). Eine dreifache Relation (*ternary relation*) bezieht sich auf drei Variablen. Addition und Multiplikation beschreiben dreifache Relationen, da drei Variablen berücksichtigt werden müssen (z. B. das Produkt aus der Anzahl an Gewichten auf der rechten Seite und deren Abstand vom Drehpunkt ergibt das Drehmoment). Eine vierfache Relation (*quaternary relation*) verbindet vier Variablen. Das Hebelgesetz $|F_1 \times d_1| = |F_2 \times d_2|$ (vgl. Kapitel 2, S. 16) stellt eine vierfache Relation dar. Die Komplexität einer Aufgabe wird durch die komplexeste Relation bestimmt, die zur Lösung notwendig ist. Jedoch kann durch die Anwendung einer bestimmten Strategie, z. B. der *Segmentation*, die Komplexität einer Aufgabe herabgesetzt werden. Bei der *Segmentationsstrategie* wird die Aufgabe in kleinere, weniger komplexe Schritte zerteilt, die seriell gelöst werden können (Halford et al., 1998).

Welche Relationen zur Lösung verschiedener Aufgabentypen (vgl. Kapitel 5.1, S. 30) im Kontext Balkenwaagen notwendig sind, wird im Folgenden in Anlehnung an Halford, et al. (1998) beschrieben. Zur Lösung einer Nonkonflikt-Aufgabe, bei der nur eine Dimension,

z. B. das Gewicht, variiert wird, ist die Berücksichtigung einer zweifachen Relation notwendig. Das Gewicht auf der rechten Seite muss mit dem Gewicht auf der linken Seite verglichen werden. Die Balkenwaage neigt sich bei gleichem Abstand immer zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten. Bei Nonkonflikt Distanz-Aufgaben neigt sich die Balkenwaage immer zu der Seite mit der größeren Distanz. Konfliktaufgaben, bei denen Gewicht und Abstand variieren, sind komplexer, ihnen liegt eine vierfache Relation, abbildbar durch das Hebelgesetz, zugrunde. Wird die multiplikative Verknüpfung erkannt, muss jedoch nicht zwingend eine vierfache Relation zur Lösung verwendet werden. Unter Verwendung von Segmentation kann die Aufgabe in mehrere einfachere Relationen zerlegt und mittels *Multiplikationsstrategie* gelöst werden. Dabei wird zunächst das Produkt aus Gewicht und Abstand auf der linken Seite berechnet (dreifache Relation). Im zweiten Schritt wird das Produkt auf der rechten Seite berechnet (dreifache Relation) und anschließend beide Produkte in einem dritten Schritt durch eine binäre Relation miteinander verglichen. Der Proband wählt die Seite der Balkenwaage, die das größere Produkt zeigt. Erkennt das Kind die multiplikative Verknüpfung nicht, kann es die Aufgabe ebenfalls über Segmentation mithilfe einer *Additionsstrategie* lösen. Dabei wird wie zuvor beschrieben vorgegangen, allerdings werden anstelle der Produkte auf beiden Seiten der Balkenwaage die Summen aus Gewicht und Abstand berechnet und miteinander verglichen. Sowohl bei der Multiplikations- wie auch Additionsstrategie müssen mindestens drei Variablen miteinander verglichen werden. Jedoch wird angenommen, dass für die Anwendung der *Multiplikationsstrategie* die Repräsentation einer vierfachen Relation notwendig ist. Halford, et al. (1998) gehen davon aus, dass Kinder, die ein Verständnis für das Hebelgesetz besitzen, eine multiplikative Verknüpfung anwenden, auch wenn sie sich die Aufgabe durch Anwendung von Segmentierung vereinfachen.

Die Relational Complexity Theory macht in Bezug auf das Lösen von Aufgaben im Kontext Balkenwaage einige Aussagen, die dem Entscheidungsbaummodell (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) widersprechen. Bspw. wird angenommen, dass Nonkonflikt-Aufgaben, denen eine binäre Relation zugrunde liegt, schon von 2-Jährigen gelöst werden können. Individuell verschieden kann sich zuerst die Berücksichtigung des Gewichts oder des Abstands entwickeln, da Nonkonflikt Gewicht-Aufgaben und Nonkonflikt Distanz-Aufgaben die gleiche Komplexität (binäre Relation) aufweisen. Jedoch wird aufgrund von häufigeren Alltagserfahrungen davon ausgegangen, dass das Gewicht tendenziell vor dem Abstand berücksichtigt wird. In Übereinstimmung mit der Entscheidungsbaummethode wird angenommen, dass Konfliktaufgaben, bei denen Gewicht und Abstand berücksichtigt

werden müssen, komplexer sind und deshalb erst von älteren Kindern korrekt gelöst werden (Halford et al., 2002).

5.3.6 Weitere Auswertungsmethoden

Einige Studien stützen sich bei der Auswertung nicht auf eine der oben beschriebenen Ansätze, sondern betrachten entweder ausschließlich die absolute bzw. prozentuale Anzahl korrekter Lösungen oder werten die Daten varianzanalytisch aus (z. B. Amsel et al, 1996; Case, 1985; Roth, 1970; 1974). Da diese Auswertungsmethoden allgemein bekannt sind, werden sie im Folgenden nicht einzeln erläutert.

Verschiedene Methoden zur Auswertung der Wissensselemente und Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln im Kontext Balkenwaage stehen zur Verfügung. Die Wahl der Auswertungsmethode hängt auch von der gewählten Erhebungsmethode ab. Die Kenntnis von Aufgabentypen, Erhebungs- sowie Auswertungsmethoden ist wichtig, um die Forschungsergebnisse zu Hebeln einordnen und miteinander vergleichen zu können. Welche Wissensselemente und Vorstellungen Kinder zu den Prinzipien Kraftverstärkung und Gleichgewicht bei ein- und zweiseitigen Hebeln unter Verwendung der oben beschriebenen Erhebungs- und Auswertungsmethoden zeigen, wird im folgenden Kapitel dargestellt.

6 Wissens Elemente und Vorstellungen zu Kraftverstärkung und Gleichgewicht bei Hebeln

Aufbauend auf den in Kapitel 5 (S. 29) vorgestellten Aufgabentypen sowie Erhebungs- und Auswertungsmethoden werden in Kapitel 6 Ergebnisse bisheriger Forschung bzgl. der Wissens Elemente und Vorstellungen von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen zu Hebeln vorgestellt.

Funktionen von Hebeln sind vielfältig. Sie können u. a. zum Herstellen von Gleichgewicht oder zur Kraftverstärkung eingesetzt werden. Schwelle, Lohrmann und Hartinger (2014a) überprüften mithilfe eines „Wissenstest[s] zum Hebelgesetz“ (S. 181), ob die Prinzipien *Gleichgewicht*, *Kraftverstärkung* und *Begriffswissen* empirisch als Dimensionen getrennt werden können. 8- bis 9-Jährige bearbeiteten Aufgaben im offenen und geschlossenen Antwortformat zu ein- und zweiseitigen Hebeln in den Kontexten Wippe (zweiseitiger Hebel, Prinzip Gleichgewicht), Brechstange (zweiseitiger Hebel, Prinzip Kraftverstärkung) und Nussknacker (einseitiger Hebel, Prinzip Kraftverstärkung). Ein eindimensionales Modell zum Hebelgesetz, auf dem alle drei Faktoren (Gleichgewicht, Kraftverstärkung, Begriffswissen) laden, konnte mithilfe einer konfirmatorischen Faktorenanalyse nicht nachgewiesen werden. Neben einem zweidimensionalen Modell, das zwischen dem ‚Wissen wie‘ und dem ‚Wissen warum‘ (vgl. Kapitel 4.2, S. 26) ein Hebel funktioniert differenziert, konnte auch ein dreidimensionales Modell bestätigt werden. Dieses Modell zeigte eine gute Passung und differenziert die Faktoren ‚Gleichgewicht‘, ‚Kraftverstärkung‘ und ‚Begriffswissen‘ (Schwelle et al., 2014a).

Aufgrund des Ergebnisses von Schwelle et al. (2014), dass die Prinzipien Gleichgewicht und Kraftverstärkung getrennt voneinander betrachtet werden können, wird in der folgenden Darstellung bisheriger Forschungsergebnisse zunächst auf Vorstellungen zum Prinzip der Kraftverstärkung primär bei einseitigen Hebeln eingegangen (vgl. Kapitel 6.1, S. 43). Da zum Prinzip der Kraftverstärkung bisher wenige Ergebnisse vorliegen, werden diese im Anschluss um die Ergebnisdarstellung zum Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln (vgl. Kapitel 6.2, S. 44) ergänzt.

6.1 Vorstellungen über das Prinzip Kraftverstärkung bei einseitigen Hebeln

Zur Erfassung von Wissensselementen und Vorstellungen über das Prinzip der Kraftverstärkung eines Hebels eignen sich insbesondere einseitige Hebel wie Schraubenschlüssel, Brechstange oder Nussknacker. Im Gegensatz zum breiten Forschungsstand das Gleichgewicht zweiseitiger Hebel betreffend ist weniger über Vorstellungen zu Gewicht und Abstand beim kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel bekannt.

Duismann und Meschenmoser (2009) erfassten mit einer einzigen Paper-Pencil-Aufgabe die Vorstellungen 12- bis 16-Jähriger zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel. Aufgabe war es, den Schraubenschlüssel zu wählen, mit dem eine Schraube möglichst leicht gelöst werden kann. Drei Antwortalternativen standen zur Auswahl: a) kürzerer Schraubenschlüssel, b) längerer Schraubenschlüssel und c) beide Schraubenschlüssel. Ca. 50 % der 12- bis 16-Jährigen wählte korrekt Antwortoption a) den längeren Schraubenschlüssel (Duismann & Meschenmoser, 2009).

Schwelle et al. (2013) untersuchten neben dem Gleichgewicht im Kontext Wippe auch die Kraftverstärkung in den Kontexten Nussknacker und Sackkarre. 8- bis 9-Jährige lösten mehr Aufgaben im geschlossenen als im offenen Antwortformat korrekt. Die Mehrheit der 8- bis 9-Jährigen fokussierte bei ihrer Antwort oberflächliche Merkmale wie das Material und nicht das Hebelgesetz. Ein Kind begründete: „Ein Nussknacker ist aus Metall und deshalb stärker als die Hand“ (Schwelle et al., 2013, S. 1). Nur selten beinhalteten die Begründungen der 8- bis 9-Jährigen Ansätze der multiplikativen Verknüpfung des Hebelgesetzes. Ein Kind jedoch äußerte, dass beim Nussknacker die Hand weiter hinten anfassen soll, weil dort die Kraft größer ist. Die Anzahl korrekter Begründungen in offenen Antwortformaten unterschied sich zwischen den verschiedenen Kontexten. Im Kontext Wippe nannten 17 % der 8- bis 9-Jährigen Antworten, die Ansätze des Hebelgesetzes beinhalteten, im Kontext Nussknacker gelang dies nur 4 % der Kinder. Unterschiedliche Alltagserfahrungen in beiden Kontexten werden als Grund für diesen Unterschied angeführt (Schwelle et al., 2013). Die Autoren (Schwelle et al., 2012; Schwelle et al., 2013) schlussfolgern, dass 8- bis 9-Jährige Vorstellungen darüber besitzen, ‚wie‘ (vgl. Kapitel 4.2, S. 26) z. B. Nussknacker oder Sackkarre zu gebrauchen sind und ‚dass‘ (vgl. Kapitel 4.2, S. 26) damit Kraft gespart werden kann. Eine Begründung, *warum* (vgl.

Kapitel 4.2, S. 26) mit diesen Gegenständen Kraft gespart werden kann, wurde nur im Ausnahmefall gegeben.

Obige Studien zeigen, dass bisher wenig über die Wissenselemente und Vorstellungen zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel bekannt ist. Zudem fand bisher keine Differenzierung der Rolle von Gewicht und Abstand bzw. von Last, Lastarm und Kraftarm statt. Da eine solche differenzierte fachliche Betrachtung aber Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist, wird im Folgenden auf Befunde zum Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln zurückgegriffen. In diesem Kontext fand eine differenzierte Betrachtung für die Dimensionen Gewicht und Abstand bereits statt.

6.2 Vorstellungen über das Prinzip Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln

Im Folgenden werden bisherige Befunde, ab welchem Alter Kinder, Jugendliche und Erwachsene die Dimensionen *Gewicht* und *Abstand* sowie deren Kombination beim Gleichgewicht von zweiseitigen Hebeln berücksichtigen, vorgestellt. Diese Ergebnisse der verschiedenen Studien werden nach Erkenntnissen in Bezug auf das Gewicht und den Abstand getrennt berichtet. Innerhalb jeder Dimension findet darüber hinaus eine Strukturierung nach Erhebungs- und Auswertungsmethoden statt (vgl. Kapitel 5.2, S. 31; Kapitel 5.3, S. 34)¹. Aus den Befunden sollen erste Hinweise in Bezug auf die Wissenselemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Gewicht und Abstand bei einseitigen Hebeln abgeleitet werden.

6.2.1 Vorstellungen zum Wissenselement Gewicht

Gewicht und Abstand sind bei zweiseitigen Hebeln die beiden wichtigen Größen zur Bestimmung des Drehmoments. Wird vereinfacht vom *Gewicht* gesprochen, ist aus physikalischer Sicht die Gewichtskraft gemeint, die sich aus dem Produkt der Masse der Last und der Gravitationskonstante zusammensetzt (vgl. Kapitel 2, S. 16). Studien, die Wissenselemente und Vorstellungen verschiedener Altersgruppen zum Hebelgesetz untersuchen, operationalisieren die Gewichtskraft fast immer über die Anzahl an

¹ Ergebnisse von Studien, die sich auf die Relational Complexity Theory (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39) stützen, werden erst in Kapitel 8 (S. 72) berichtet. Der Grund dafür ist, dass in diesen Studien primär eine Veränderung von Vorstellungen untersucht wurde und keine Angaben zu den Vorstellungen vor der Intervention vorliegen.

Gewichten, die sich auf einem Hebel befinden. Im Folgenden werden Studien nur unter dem Gesichtspunkt der Dimension Gewicht betrachtet. Ergebnisse selbiger Studien bzgl. der Dimension Abstand werden in Kapitel 6.2.2, (S. 49) und bzgl. der Kombination von Gewicht und Abstand in Kapitel 6.2.3, (S. 52) vorgestellt.

Vorstellungen zum Gewicht – Beurteilungsaufgaben

Im Folgenden werden die Vorstellungen zum Gewicht bei zweiseitigen Hebeln, die mithilfe von Beurteilungsaufgaben erhoben wurden, strukturiert nach den verwendeten Auswertungsmethoden dargestellt.

Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

Siegler (1976; 1978; 1981) zeigte unter Verwendung der Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35), dass Kinder in Eins-zu-eins-Situationen bis 3 Jahren raten, wenn sie vorhersagen, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt. Mit 3 Jahren sagten Kinder überzufällig häufig korrekt vorher, dass sich eine Balkenwaage zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt. Mit 4 Jahren berücksichtigten 50 % der Kinder das Gewicht in mindestens 80 % der Aufgaben (Regel I). Mit 5 Jahren wandten alle Kinder Regel I an. Weitere Studien (z. B. Ferretti & Butterfield, 1986; Wilkening & Anderson, 1991) bestätigen unter Verwendung der gleichen Erhebungs- und Auswertungsmethode diese Ergebnisse. McFadden, Dufresne und Kobasigawa (1987) konkretisierten, ebenfalls unter Verwendung der Entscheidungsbaummethode, dass gleichermaßen 75 % der 5- und 75 % der 7-Jährigen über mehrere Aufgaben hinweg konstant die Seite der Balkenwaage wählten, die mit der größeren Anzahl an Gewichten beladen war.

Zuordnung zu Regeln per Latenter Klassenanalyse

Auch wurden die Vorstellungen zur Dimension Gewicht bei zweiseitigen Hebeln mit Bildern der Balkenwaage in Gruppen von Kindern erfasst (Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002). Dabei hingen die Gewichte entweder unter den Hebelarmen (Boom et al., 2001) oder lagen auf ihnen (Jansen & van der Maas, 2001). Die Antworten wurden mithilfe einer Latenten Klassenanalyse (vgl. Kapitel 5.3.3, S. 37) deduktiv auf Regelmäßigkeiten untersucht. Unabhängig davon, ob die Gewichte über oder unterhalb des Hebelarms platziert waren, wurde unter Verwendung der Latenten Klassenanalyse von den meisten 5- und 7-Jährigen Regel I angewendet. Das bedeutet, falls die Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage identisch war, wurde Gleichgewicht

vorhergesagt (Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002). War die Anzahl der Gewichte nicht gleich, wurde angenommen, dass sich die Balkenwaage zu der Seite mit der größeren Anzahl an Gewichten neigt. Mit zunehmendem Alter nahm die Anwendung von Regel I jedoch ab und der Abstand der Gewichte vom Drehpunkt wurde berücksichtigt (Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002).

Betrachtung des prozentualen Anteils

Auch wurden Studienergebnisse deskriptiv ausgewertet (vgl. Kapitel 5.3.6, S. 41). Unter dieser Auswertungsmethode gelang schon 3½-Jährigen die korrekte Beurteilung des Gewichts im Kontext Balkenwaage. Jedoch nur, wenn ein großer perzeptueller Unterschied vorlag oder die Kinder wussten, welches Gewicht schwerer ist (Case, 1985). 75 % der 4-Jährigen sagten korrekt vorher, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt, wenn die Seite mit der größeren Anzahl auf einen Blick wahrnehmbar war. Hingegen antworteten nur 25 % der 4-Jährigen korrekt, wenn die Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten gezählt werden musste (Case, 1985). Kindern ab 5 Jahren gelang es hingegen, auch über das Zählen der Gewichte zur korrekten Lösung zu gelangen (Marini, 1984 zitiert nach Case, 1984).

Neben einer Balkenwaage wurde auch eine Abbildung dieser oder Abbildungen einer Wippe, einer Figur mit ausgestreckten Armen und eines Bretts verwendet, um den Einfluss des Gewichts zu untersuchen (Amsel et al., 1996). Nachdem den 5- bis 11-Jährigen demonstriert worden war, dass sich eine Balkenwaage neigen kann, lösten sie in Eins-zu-eins-Situationen Aufgaben im Paper-Pencil-Format zu allen genannten Kontexten. Bei der Auswertung der Ergebnisse wurde der prozentuale Anteil korrekter Antworten betrachtet. Über alle Kontexte hinweg sagten 66 % der 5-Jährigen, 91 % der 6-Jährigen und alle 7- bis 11-Jährigen in mindestens sieben von acht Aufgaben (87.5 % Kriterium) korrekt vorher, zu welcher Seite sich der Hebel neigt (Amsel et al., 1996). Gemittelt über alle Kontexte berücksichtigten die 5- bis 11-Jährigen physikalische Eigenschaften (z. B. Gewicht, Farbe) eher als räumliche Dimensionen (z. B. Abstand, Orientierung, Position). Ergebnisse selbiger Studie in Bezug auf die Dimension Abstand werden in Kapitel 6.2.2 (S. 49) berichtet.

Vorstellungen zum Gewicht – Produktionsaufgaben

Im Folgenden werden Ergebnisse von Studien zum Gewicht berichtet, die als Erhebungsmethode Produktionsaufgaben verwenden. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt strukturiert nach den verwendeten Auswertungsmethoden.

Analyse von Protokollen/Videos

Studien, bei denen Kinder in Eins-zu-eins-Situationen verschiedene Erscheinungsformen zweiseitiger Hebel handelnd ins Gleichgewicht oder Ungleichgewicht bringen, ähneln in ihren Ergebnissen Studien, in denen Kinder beurteilen, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt. Mithilfe der Analyse von Protokollen (vgl. Kapitel 5.3.1, S. 34) klinischer Interviews zeigten bereits Inhelder und Piaget (1958) in ihren frühen entwicklungspsychologischen Studien, dass es Kindern ab 5 Jahren gelingt, die Anzahl der Gewichte zu berücksichtigen. Aufgabe war es, eine Balkenwaage mit Gewichten oder Puppen in Körben ins Gleichgewicht zu bringen. Diese Altersangabe wurde in späteren Studien bestätigt. Metz (1993) analysierte Videos und zeigte, dass 5-Jährige bereits ein Verständnis für das absolute Gewicht haben und nicht ausschließlich die Anzahl der Gewichte in Betracht ziehen: 5-Jährige konnten eine Schalenwaage mit gleich großen, aber unterschiedlich schweren Puppen ins Gleichgewicht bringen, wenn die Schalen in konstantem Abstand angebracht waren. 3- bis 4-Jährigen gelang dies hingegen noch nicht. Sie fokussierten allein auf die Anzahl der Puppen und zogen das absolute Gewicht nicht in Betracht (Metz, 1993).

Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

Wurden Produktionsaufgaben im Kontext Balkenwaage mithilfe der Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) ausgewertet, löste die Mehrheit der 5-Jährigen in Eins-zu-eins-Situationen mindestens 80 % der Aufgaben zum Gewicht korrekt (McFadden et al., 1987). Somit folgte die Mehrheit der Kinder Regel I und beachtete ausschließlich das Gewicht. McFadden et al. (1987) verglichen zudem die Klassifikation nach Regeln bei Beurteilungs- und Produktionsaufgaben und fanden bei der Berücksichtigung des Gewichts (Regel I) gute Übereinstimmungen.

Zuordnung zu Regeln per Information Integration Theory

Werden Produktionsaufgaben unter Bezug auf die Information Integration Theory (vgl. Kapitel 5.3.4, S. 38) analysiert und die Kinder mithilfe von Varianzanalysen der Anwendung von Regeln zugeordnet, berücksichtigten im Kontext Balkenwaage 50 % der

6-Jährigen ausschließlich das Gewicht. Die anderen 50 % berücksichtigten ausschließlich den Abstand (Wilkening & Anderson, 1991). In einem geänderten Kontext, dem der Wippe, zeigte sich unter Verwendung selbiger Methode ein anderes Bild. Kinder sollten eine Wippe auf der einen Seite mit einer Erwachsenen-Puppe (drei Gewichte) und auf der anderen Seite mit Kinder-Puppen (jeweils ein Gewicht) ins Gleichgewicht bringen. 5-Jährige beachteten den Abstand der Puppen, nicht jedoch das Gewicht. Erst 7-Jährige bezogen das Gewicht der Kinder-Puppen auf der Wippe in ihre Handlung mit ein (Surber & Gzesh, 1984). Der Kontext Wippe und der Umstand, dass drei Kinder-Puppen einer Erwachsenen-Puppe gewichtsmäßig entsprachen, scheint die Berücksichtigung des Gewichts beim Ausbalancieren zu erschweren.

Betrachtung des prozentualen Anteils

Auch wurden die Begründungen 6- bis 8-Jähriger zum handelnden Ausgleichen einer Balkenwaage untersucht. In Eins-zu-eins-Situationen nannte diese Altersgruppe hauptsächlich das Gewicht als Ursache für das Verhalten der Balkenwaage (Philips & Tolmie, 2007). Roth (1970; 1974) befragte im Gegensatz zu anderen Studien ausschließlich Jungen und betrachtete den prozentualen Anteil (vgl. Kapitel 5.3.6, S. 41) an Kindern, die alle Aufgaben korrekt lösten. 16 % der 4-jährigen Jungen, 68 % der 5- bis 6-jährigen Jungen und 80 % der 7- bis 10-jährigen Jungen lösten alle Aufgaben zum Ausgleichen der Balkenwaage mit nur einem Gegengewicht korrekt. Alle Aufgaben durch die Kombination mehrerer Gewichte korrekt zu lösen, gelang keinem der 4-jährigen Jungen, aber 32 % der 5- bis 6-jährigen und 74 % der 7- bis 10-jährigen Jungen. Gleichgewicht an einer Balkenwaage mithilfe mehrerer Gewichte herzustellen scheint anspruchsvoller als Gleichgewicht mithilfe nur eines Gewichts herzustellen (Roth, 1970; 1974).

Sollten Jungen und Mädchen eine Balkenwaage nicht ins Gleichgewicht bringen, sondern ein Gewicht auswählen, damit sich eine Seite nach unten neigt, zeigten sich bei einer vereinfachten Balkenwaage mit nur einem Abstand und Belohnung für eine korrekte Antwort andere Ergebnisse. Unter diesen vereinfachten Bedingungen gelang es allen 4-Jährigen in mindestens zehn von zwölf Durchgängen, das schwerere von zwei gleich großen Gewichten zu wählen, damit sich eine Seite der Balkenwaage nach unten neigt (Schrauf, Call & Pauen, 2011).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Kinder mit 5 und 6 Jahren unabhängig von der verwendeten Erhebungs- und Auswertungsmethode bei zweiseitigen Hebeln den Einfluss des Gewichts auf das Verhalten einer Balkenwaage korrekt einschätzen können.

6.2.2 Vorstellungen zum Wissensselement Abstand

Der Abstand der angreifenden Kraft vom Drehpunkt ist neben der Gewichtskraft selbst die zweite Dimension zur Bestimmung des Drehmoments (vgl. Kapitel 2, S. 16). Studien, die Wissensselemente und Vorstellungen verschiedener Altersgruppen zum Hebelgesetz bspw. im Kontext Balkenwaage untersuchten, operationalisierten den Abstand der angreifenden Gewichtskraft über die Distanz der Gewichte zum Drehpunkt. Die in der entwicklungspsychologischen Forschung häufig verwendete Balkenwaage ermöglicht nicht, den Abstand getrennt nach Lastarm und Kraftarm zu betrachten. Diese Unterscheidung ist aus fachdidaktischer Sicht insbesondere bei einseitigen Hebeln, die zur Kraftverstärkung eingesetzt werden (z. B. in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel) relevant. Ein größerer Abstand der Kraft vom Drehpunkt (längerer Kraftarm) hat andere Auswirkungen auf einen Hebel als ein größerer Abstand der Last (längerer Lastarm). Wie in Kapitel 6.1 (S. 43) gezeigt, liegen bei einseitigen Hebeln jedoch kaum Studien zur Abstandsdimension vor. Daher wird im Folgenden vorgestellt, ab welchem Alter es Kindern bei verschiedenen Erscheinungsformen des zweiseitigen Hebels gelingt, den Abstand zu berücksichtigen. Dabei wird sich auf selbige Studien wie in Kapitel 6.2.1 (S. 44) bezogen, Ergebnisse aber in Bezug auf die Abstandsdimension berichtet. Die Darstellung erfolgt, wie schon beim Gewicht, unter Berücksichtigung verschiedener Auswertungs- und Erhebungsmethoden. Dabei werden zuerst Ergebnisse dargestellt, in denen die Kinder beurteilen, zu welcher Seite sich der Hebel neigt (Beurteilungsaufgaben). Anschließend erfolgt die Darstellung von Ergebnissen der Studien, in denen der Hebel handelnd ins Gleich- oder Ungleichgewicht gebracht werden soll (Produktionsaufgaben).

Vorstellungen zum Abstand – Beurteilungsaufgaben

Ergebnisse zum Abstand, die mithilfe von Beurteilungsaufgaben erhoben wurden, werden im Folgenden strukturiert nach den verwendeten Auswertungsmethoden vorgestellt.

Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

Die Auswertung des Antwortverhaltens bei Beurteilungsaufgaben nach der Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) zeigt, dass die Hälfte aller 8-Jährigen bei Nonkonflikt Distanz-Aufgaben den Abstand in mindestens 80 % der Fällen (Regel II) berücksichtigen (Siegler, 1976). Die Kinder erkannten somit, dass die Anzahl der Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage gleich sind und sagten korrekt vorher, dass sich die Balkenwaage zu der Seite mit dem größeren Abstand der Gewichte neigt. Andere Studien ergänzen, ebenfalls unter Verwendung der Entscheidungsbaummethode und Zuordnung zu Regeln, dass die Berücksichtigung des Abstands im Kontext Balkenwaage bereits ab 5 Jahren möglich, aber selten ist (Ferretti & Butterfield, 1986; McFadden et al., 1987; Wilkening & Anderson, 1991). McFadden, Dufresne und Kobasigawa (1987) konkretisierten, dass nur 10 % der 5- und 7-Jährigen den Abstand bei gleichem Gewicht in mindestens 75 % der Aufgaben berücksichtigten und somit Regel II anwandten. Ein großer Unterschied in den Abständen auf beiden Seiten der Balkenwaage führte jedoch dazu, dass viele 5- bis 7-Jährige konstant über mehrere Aufgaben hinweg den Abstand berücksichtigten (Ferretti & Butterfield, 1986).

Zuordnung zu Regeln per Latenter Klassenanalyse

Ein konstantes Antwortverhalten nach Regeln, das die Berücksichtigung des Abstands bei konstantem Gewicht (Regel II) beschreibt, konnte auch durch bildbasierte Erfassung und Auswertung mithilfe einer Latenten Klassenanalyse (vgl. Kapitel 5.3.3, S. 37) gezeigt werden (Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002). Kinder ab 8 Jahren antworteten nach Regel II. Am häufigsten trat dieses Antwortmuster bei 9- bis 13-Jährigen auf (Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002).

Betrachtung des prozentualen Anteils

Amsel et al. (1996) untersuchten die Berücksichtigung des Abstands zusätzlich zum Kontext Balkenwaage auch im Kontext Wippe, Figur mit ausgestreckten Armen und Brett. Nachdem den 5- bis 11-Jährigen demonstriert wurde, dass sich eine Balkenwaage neigen kann, lösten sie Aufgaben im Paper-Pencil-Format zu allen genannten Kontexten. Über alle vier Kontexte hinweg scheint die Berücksichtigung des Abstands für 8-Jährige schwieriger. Betrachtet wurde der prozentuale Anteil korrekter Lösungen (vgl. Kapitel 5.3.6, S. 41). Nur 11 % der 8-Jährigen lösten mindestens sieben von acht Aufgaben korrekt. Erst 50 % der 9-Jährigen und 75 % der 10-Jährigen gelang es, über alle Kontexte hinweg den Abstand konstant zu berücksichtigen. Die Berücksichtigung des Abstands im

Kontext Balkenwaage schien den Kindern dabei leichter zu fallen als in den anderen Kontexten. Dies könnte evtl. auch damit zusammenhängen, dass die Kinder im Kontext Balkenwaage nicht nur das Bild, sondern auch das Modell sahen.

Vorstellungen zum Abstand – Produktionsaufgaben

Die Berücksichtigung des Abstands im Kontext Balkenwaage scheint Kindern früher zu gelingen, wenn sie ein vorgegebenes Ereignis, z. B. Gleichgewicht, herstellen sollen im Gegensatz zu der Beurteilung, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt. Ergebnisse zum Abstand, die mithilfe von Produktionsaufgaben erhoben wurden, werden im Folgenden strukturiert nach den verwendeten Auswertungsmethoden vorgestellt.

Analyse von Protokollen

Besteht die Aufgabe darin, eine Balkenwaage handelnd ins Gleichgewicht zu bringen, und werden Protokolle der Interviews (vgl. Kapitel 5.3.1, S. 34) analysiert, zeigt sich, dass Kinder ab 7 Jahren den Abstand der Gewichte vom Drehpunkt berücksichtigen (Inhelder & Piaget, 1958).

Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

Bei der Auswertung des Antwortverhaltens bei Produktionsaufgaben per Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) zeigt sich Folgendes: Mehr 7- als 5-Jährige berücksichtigen den Abstand. Die Zuordnung der Kinder zu Regel II, d. h. der korrekten Berücksichtigung des Abstands bei gleichem Gewicht, stimmte zwischen Produktions- und Beurteilungsaufgaben weitgehend überein (McFadden et al., 1987).

Zuordnung zur Regeln mithilfe der Information Integration Theory

Untersuchungen, die sich auf die Information Integration Theory (vgl. Kapitel 5.3.4, S. 38) beziehen, zeigen, dass im Kontext Balkenwaage schon 50 % der 6-Jährigen beim handelnden Ausgleichen einer Balkenwaage den Abstand berücksichtigten (Wilkening & Anderson, 1991). Ab 9 Jahren wurde nur noch in Ausnahmen eine Zentrierung auf die Dimension Abstand festgestellt (Wilkening & Anderson, 1991). Sollte eine Wippe, auf der eine Erwachsenen-Puppe sitzt, mithilfe von Kinder-Puppen ausgeglichen werden, berücksichtigten schon 5-Jährige den Abstand, aber nicht das Gewicht der Kinder-Puppen

(Surber & Gzesh, 1984). In diesem Kontext wurde der Abstand vor dem Gewicht berücksichtigt. Zwei mögliche Interpretationen werden dafür angeführt: Erstens bestand eine Schwierigkeit der Aufgabenstellung darin, dass die Kinder behalten mussten, dass dem Gewicht einer Erwachsenen-Puppe drei Kinder-Puppen entsprachen. Als zweite Besonderheit besaß die verwendete Wippe mehr mögliche Positionen (zehn auf jeder Seite) als die klassische von Siegler (1976) verwendete Balkenwaage (vier auf jeder Seite). Die Abstände variierten daher über eine größere Spannbreite. Dass bei einer großen Differenz zwischen den Abständen auf beiden Seiten der Balkenwaage der Einfluss des Abstands eher berücksichtigt wird, bestätigten auch Feretti und Butterfield (1986), allerdings unter Verwendung von Beurteilungs- und nicht Produktionsaufgaben.

Betrachtung des prozentualen Anteils

Wird der prozentuale Anteil (vgl. Kapitel 5.3.6, S. 41) an Jungen betrachtet, die alle Aufgaben korrekt lösen, berücksichtigt kein 4-Jähriger, aber 24 % der 5- bis 6-Jährigen und 54 % der 7- bis 10-Jährigen bei allen Aufgaben den Abstand (Roth, 1970; 1974).

Viele Studien, unabhängig von Erhebungs- oder Auswertungsmethode, weisen darauf hin, dass der Abstand schwieriger zu berücksichtigen ist als das Gewicht. Einige 6- bis 7-Jährige scheinen den Abstand bei zweiseitigen Hebeln bereits zu berücksichtigen. Dabei scheint die Berücksichtigung des Abstands im Kontext Wippe leichter zu fallen als im Kontext Balkenwaage.

6.2.3 Vorstellungen zur Kombination von Gewicht und Abstand

Um das Verhalten eines Hebels korrekt anzugeben, ist es nicht ausreichend, das Gewicht oder den Abstand alleine zu berücksichtigen. Vielmehr muss die Bedeutung beider Dimensionen erkannt sowie Gewicht und Abstand multiplikativ miteinander verknüpft werden (vgl. Kapitel 2, S. 16). Im Folgenden werden Ergebnisse zur Fähigkeit von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen, beide Dimensionen miteinander zu verknüpfen, vorgestellt. Dabei wird sich auf selbige Studien bezogen, deren Ergebnisse bereits in Kapitel 6.2.1 (S. 44) in Bezug auf Gewicht und in Kapitel 6.2.2 (S. 49) in Bezug auf Abstand dargestellt wurden. Zunächst wird auf Ergebnisse von Beurteilungs- und im Anschluss auf Produktionsaufgaben eingegangen.

Vorstellungen zu Gewicht und Abstand – Beurteilungsaufgaben

Ergebnisse zur Kombination von Gewicht und Abstand, die mithilfe von Beurteilungsaufgaben erhoben wurden, werden im Folgenden strukturiert nach Auswertungsmethode dargestellt.

Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

Bei der Beurteilung von Aufgaben in Eins-zu-eins-Situationen, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt, fand Siegler (1976; 1978) mithilfe der Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) heraus, dass 13-Jährige in mindestens 80 % der Aufgaben seriell Gewicht und Abstand berücksichtigen (Regel III). Waren beide Dimensionen gleich, sagten die 13-Jährigen vorher, dass die Balkenwaage im Gleichgewicht bleibt. War eine Dimension gleich, bestimmte die andere Dimension das Urteil. Unterschieden sich beide Dimensionen und befanden sich auf derselben Seite der Balkenwaage sowohl die größere Anzahl an Gewichten als auch der größere Abstand, wurde vorhergesagt, dass sich die Balkenwaage zu dieser Seite neigt. Bei Konfliktaufgaben, in denen sich auf einer Seite der Balkenwaage das größere Gewicht und auf der anderen Seite der größere Abstand befand, rieten die 13-Jährigen jedoch (Siegler, 1976). Unter Verwendung eines Paper-Pencil-Gruppentests zeigte sich, dass einige 13-Jährige Gewicht und Abstand nach einer additiven Regel verknüpften (Normandeau et al., 1989). Die multiplikative Verknüpfung (Regel IV) gelang dagegen nur wenigen 16- bis 17-Jährigen und wenigen Erwachsenen (Siegler, 1976). Wilkening und Anderson (1991) bestätigen ebenfalls unter Verwendung der Entscheidungsbaummethode, dass die Mehrheit der 20-Jährigen Regel III anwendet und nur wenige Erwachsene multiplikativ verknüpfen (Regel IV). Da nur wenige Jugendliche und Erwachsene die korrekte Multiplikationsregel anwandten, geht Siegler (Siegler, persönliche Information, zitiert nach Dandurand & Schulz, 2009) davon aus, dass das Hebelgesetz nur mithilfe von expliziter verbaler Instruktion, z. B. im naturwissenschaftlichen Unterricht, gelernt werden kann. Empirische Studien, ebenfalls unter Verwendung der Entscheidungsbaummethode, zeigten jedoch, dass diese Annahme nicht haltbar ist: Wenn sich das Drehmoment auf beiden Seiten der Balkenwaage stark unterschied (Drehmoments-Unterschieds-Effekt), gelang es schon der Mehrheit 9- bis 11-Jähriger, Gewicht und Abstand multiplikativ zu verknüpfen (Ferretti & Butterfield, 1986).

Zuordnung zu Regeln per Latenter Klassenanalyse

Bei der Auswertung von Paper-Pencil-Aufgaben mithilfe Latenter Klassenanalysen (vgl. Kapitel 5.3.3, S. 37) zeigt sich, dass ebenfalls schon einige 14-Jährige die multiplikative Verknüpfung anwenden (Jansen & van der Maas, 2002). Das von 9- bis 16-Jährigen am häufigsten gezeigte Antwortmuster deutet auf eine additive Verknüpfung hin, die bereits von Normandeau et al. (1989) gezeigt wurde, oder auf die Anwendung von Regel III, die einer seriellen Berücksichtigung von Gewicht und Abstand entspricht (Jansen & van der Maas, 2002).

Betrachtung der Häufigkeit korrekter Antworten und varianzanalytische Auswertung

Ob die Berücksichtigung von Gewicht und Abstand bei der Beurteilung von Gleichgewicht zweiseitiger Hebel auch vom Kontext abhängt, untersuchten Amsel et al. (1996). 5- bis 11-Jährige beurteilten anhand von Bildern, zu welcher Seite sich zweiseitige Hebel neigten. Über die verschiedenen Aufgabentypen (vgl. Kapitel 5.1, S. 30) und Kontexte (Balkenwaage, Wippe, Figur mit ausgestreckten Armen und Hebelmodell aus zwei Brettern) hinweg antworteten alle Altersgruppen bei dem Kontext Wippe seltener korrekt als bei den anderen Kontexten. Zwischen den Kontexten Balkenwaage, Figur mit ausgestreckten Armen oder Hebelmodell aus Brettern zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit an korrekten Antworten (vgl. Kapitel 5.3.6, S. 41). Dass den Kindern die Beurteilung im Kontext Wippe schwieriger fällt, wird u. a. auf die unrealistische vertikale Anordnung der Figuren auf der Wippe zurückgeführt. Insgesamt zeigte sich über alle Kontexte hinweg eine mittlere Korrelation in der Anzahl korrekter Beurteilungen (Amsel et al., 1996). 5- bis 11-Jährige scheinen demnach den Einfluss von Gewicht und Abstand über die verschiedenen Kontexte ähnlich einzuschätzen.

Schwelle et al. (2013) entwickelten unter Verwendung der Aufgabentypen Siegler (1976) einen bildbasierten Paper-Pencil-Test zur Erfassung der Vorstellungen zu Hebeln in verschiedenen Alltagskontexten. 8- bis 9-Jährige lösten Aufgaben im geschlossenen Antwortformat häufiger korrekt als im offenen Antwortformat. Bspw. lösten 68 % der 8- bis 9-Jährigen eine Konfliktaufgabe im Kontext Wippe im geschlossenen Antwortformat richtig. Im offenen Antwortformat nannten nur 17 % der Kinder Begründungen, welche auf ein altersgemäßes Verständnis des Hebelgesetzes schließen ließen. Bei ihren Begründungen fokussierten die 8- bis 9-Jährigen eher auf oberflächliche Merkmale wie das Material und nicht auf das Hebelgesetz (Schwelle et al., 2013).

Vorstellungen zu Gewicht und Abstand – Produktionsaufgabe

Die Fähigkeit Gewicht und Abstand zu kombinieren, wurde ebenfalls mithilfe von Produktionsaufgaben erfasst. Im Folgenden werden diese Ergebnisse, strukturiert nach Auswertungsmethoden präsentiert.

Analyse von Protokollen

13-Jährige balancierten eine Balkenwaage handelnd aus und wurden dazu interviewt. Bei der Analyse der Interviewprotokolle (vgl. Kapitel 5.3.1, S. 34) zeigte sich, dass den 13-Jährigen eine multiplikative Kombination von Gewicht und Abstand gelang und die Balkenwaage korrekt ausbalanciert wurde (Inhelder & Piaget, 1958).

Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode

McFadden et al. (1987) ließ 5- und 7-Jährige Balkenwaagen-Aufgaben einerseits durch die Vorhersage, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt (Beurteilungsaufgabe) und andererseits durch handelndes Ausbalancieren (Produktionsaufgabe) lösen. Die Auswertung fand über die Zuordnung zu Regeln per Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) statt. Bei Beurteilungsaufgaben gelang es weder den 5- noch 7-Jährigen Gewicht und Abstand zu berücksichtigen. Bei Produktionsaufgaben berücksichtigten jedoch einige 7-Jährige Gewicht und Abstand (McFadden et al., 1987).

Zuordnung zu Regeln per Information Integration Theory

Vertreter der Information Integration Theory (z. B. Surber & Gzesh, 1984; Wilkening & Anderson, 1991; vgl. Kapitel 5.3.4, S. 38) ließen entweder das Gewicht oder den Abstand auf einer Seite der Balkenwaage bestimmen, um die Balkenwaage ins Gleichgewicht zu bringen. Eine varianzanalytische Auswertung der Daten im Rahmen der Information Integration Theory zeigte, dass es der Mehrheit der Kinder ab 12 Jahren und allen Erwachsenen gelang, die Dimensionen Gewicht und Abstand multiplikativ miteinander zu verknüpfen (Wilkening & Anderson, 1991). Auch im Kontext Wippe kombinierten schon 50 % der 7-Jährigen Gewicht und Abstand additiv oder multiplikativ (Surber & Gzesh, 1984).

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Zuordnung zu Regeln bei Beurteilungsaufgaben per Entscheidungsbaummethode (z. B. Siegler, 1976; 1978), im Gegensatz zur Zuordnung zu Regeln bei Produktionsaufgaben per

Entscheidungsbaummethode oder Information Integration Theory, unterschätzt, ab wann eine multiplikative Verknüpfung beider Dimensionen möglich ist. Die Art der Erfassung und Auswertung scheint die gezeigten Vorstellungen zum Gleichgewicht beim zweiseitigen Hebel zu beeinflussen. Alle Studien, unabhängig von Erhebungs- und Auswertungsmethode, stimmen darüber ein, dass sich Vorstellungen zur Kombination von Gewicht und Abstand erst entwickelt, nachdem die beiden Dimensionen einzeln berücksichtigt wurden.

6.3 Fazit: Wissensselemente und Vorstellungen zu Hebeln

Breit erforscht in der Lern- und Entwicklungspsychologie sind die Vorstellungen über Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln. Weniger bekannt sind hingegen Wissensselemente und Vorstellungen über das Prinzip der Kraftverstärkung bei einseitigen Hebeln.

Die wenigen bekannten Studien zu einseitigen Hebeln (z. B. Duismann & Meschenmoser, 2009; Schwelle et al., 2012; Schwelle et al., 2013) zeigen Folgendes: 8-Jährige wissen, ‚wie‘ und ‚dass‘ mit einem Nussknacker oder einer Sackkarre Kraft gespart werden kann, aber nicht ‚warum‘ (Schwelle et al., 2012; Schwelle et al., 2013). Die Hälfte der 12- bis 16-Jährigen weiß, ‚dass‘ mit einem langen Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel Kraft gespart werden kann (Duisman & Meschenmoser, 2009).

Hinsichtlich der Vorstellungen zu den Dimensionen Gewicht und Abstand beim Gleichgewicht eines zweiseitigen Hebels (z. B. Balkenwaage) kommen verschiedene Studien zu ähnlichen Ergebnissen: Kinder berücksichtigen unabhängig von verwendeter Erhebungs- und Auswertungsmethode das Gewicht vor dem Abstand (z. B. Inhelder & Piaget, 1958; Jansen & van der Maas, 2002; Roth, 1974; Siegler, 1976). Die Berücksichtigung des Gewichts gelingt der Mehrheit der 5-Jährigen (z. B. Inhelder & Piaget, 1958; Jansen & van der Maas, 2002; Roth, 1974; Siegler, 1976). Der Abstand wird bei Beurteilungsaufgaben von den meisten 8-Jährigen berücksichtigt (z. B. Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002; Siegler, 1976). Produktionsaufgaben scheinen leichter zu fallen als Beurteilungsaufgaben. Bei Produktionsaufgaben wird der Abstand schon von der Mehrheit der 6- bzw. 7-Jährigen berücksichtigt (Inhelder & Piaget, 1958; Roth, 1970; 1974; Wilkening & Anderson, 1991). Der Kontext, in dem die Wissensselemente und Vorstellungen über Gleichgewicht erfasst werden, scheint bei der Lösung von Aufgaben eine Rolle zu spielen, z. B. berücksichtigten 5-Jährige den Abstand im Kontext Wippe eher

als im Kontext Balkenwaage (Surber & Gzesh, 1984). Eine kombinierte Berücksichtigung von Gewicht und Abstand findet erst statt, nachdem Gewicht und Abstand einzeln voneinander beherrscht werden (z. B. Siegler, 1976; 1978; Wilkening & Anderson, 1982).

In keiner bekannten Studie, weder zum Gleichgewicht beim zweiseitigen noch zur Kraftverstärkung beim einseitigen Hebel, werden die Dimensionen Gewicht und Abstand in die Aspekte Last, Kraft, Lastarm und Kraftarm zerlegt und Vorstellungen dazu systematisch in einem Kontext untersucht. Auf dem Weg zur Entwicklung eines Unterrichts für 6- bis 7-Jährige zum Prinzip der Kraftverstärkung bei einseitigen Hebeln ist die Kenntnis der Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm jedoch wichtig. Daher wird in der vorliegenden Dissertation in einem ersten Schritt ein Instrument entwickelt, mit dem diese Vorstellungen systematisch erfasst werden können. Hinweise darauf, welche Wissensselemente zu Gewicht (Last) und Abstand (Lastarm, Kraftarm) bei einseitigen Hebeln zu erwarten sind, können den oben berichteten Studien zum zweiseitigen Hebel entnommen werden. Um nach der Erfassung der Vorstellungen zum einseitigen Hebel an den bereits vorhandenen Vorstellungen anknüpfend Unterricht gestalten zu können, ist zudem die Kenntnis wichtig, mit welchen Unterstützungsformen Vorstellungen verändert werden können. Darauf wird im folgenden Kapitel eingegangen.

7 Die Veränderung von Vorstellungen anregen: Scaffolding und seine Wirkmechanismen

6- bis 7-Jährige zeigen Vorstellungen zu Hebeln, die häufig nicht mit der wissenschaftlich korrekten Sichtweise, dem Hebelgesetz, übereinstimmen (vgl. Kapitel 6, S. 42). Ein erfolgreicher Aufbau wissenschaftlich korrekter Vorstellung kann gelingen, wenn Kinder Unterstützung in der *Zone der nächsten Entwicklung* (engl. *zone of proximal development*, ZPD; Vygotsky, 1978) erhalten. Diese Art der Unterstützung, auch *Scaffolding* genannt (Wood et al., 1976), ermöglicht vorhandene Vorstellungen über Vernetzung und Reorganisation zu verändern (diSessa, 1983). Zwei Wirkmechanismen von Scaffolding tragen dazu bei: der strukturierende Wirkmechanismus und der kognitiv aktivierende Wirkmechanismus (Pea, 2004; Reiser, 2004). Im vorliegenden Kapitel werden beide Komponenten vorgestellt, voneinander abgegrenzt und ihre Relevanz für die Reorganisation von Wissen dargelegt. Im Sinne eines Advance Organizers ist in Abbildung 5 ein Überblick über die Inhalte dieses Kapitels dargestellt. Eine genauere Erläuterung, wie diese Konstrukte in der vorliegenden Arbeit verstanden werden, findet beginnend mit der ZPD im Folgenden statt.

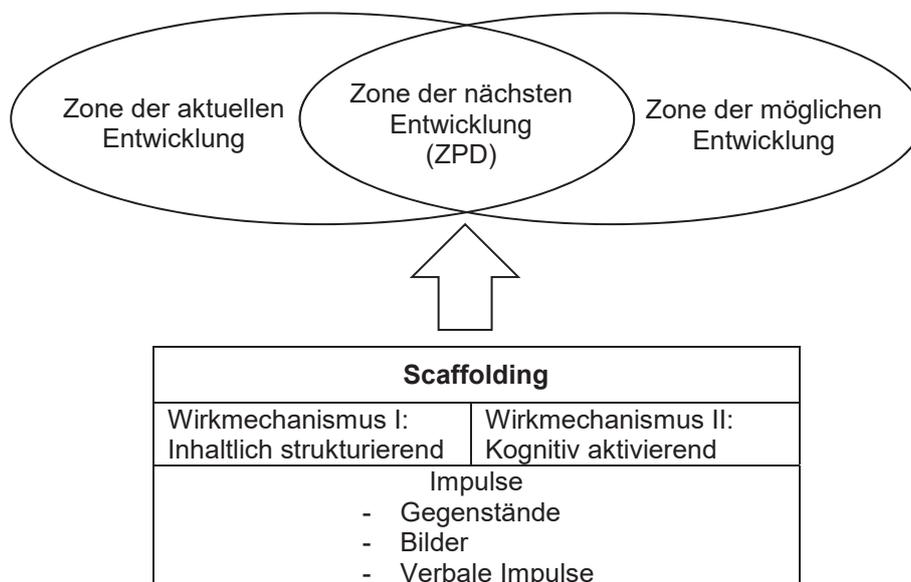


Abbildung 5. Scaffolding als Unterstützung in der ZPD

7.1 Berücksichtigung der Zone der nächsten Entwicklung (ZPD) bei der Veränderung von Vorstellungen

Vorstellungen können mithilfe von Unterstützung in der ZPD (Vygotsky, 1978) verändert werden. Die ZPD beschreibt den Abstand zwischen der aktuellen Entwicklung (*Zone der aktuellen Entwicklung*) und der mithilfe von Unterstützung potenziell erreichbaren Entwicklung (*Zone der potenziellen Entwicklung*, Vygotsky, 1978). Lernende, die eine Aufgabe mithilfe einer kompetenteren Person (Vygotsky, 1978) oder materieller Unterstützung, z. B. Gegenständen oder Bildern (Brown & Campione, 1994), lösen, befinden sich in der ZPD.

Ursprünglich bezieht sich die ZPD auf die Veränderung von Vorstellungen einzelner Individuen (Vygotsky, 1978). Sie bietet jedoch auch einen Rahmen, um das Lernen in Gruppen, z. B. Schulklassen, zu verstehen. Obwohl jedes Kind individuelle Fähigkeiten, Fertigkeiten und Vorstellungen besitzt und somit die ZPD individuell verschieden ist (Hogan & Pressley, 1997), konnte gezeigt werden, dass die ZPDs Gleichaltriger relativ ähnlich sein können. Im Kontext Balkenwaage bspw. genügt 70 % der 7-Jährigen die Präsentation einer Balkenwaage und das zweimalige Beobachten, zu welcher Seite sie sich bei Nonkonflikt Distanz-Aufgaben neigt, um den Abstand der Gewichte vom Drehpunkt berücksichtigen zu können. Zuvor berücksichtigen alle Kinder nur das Gewicht (Krist et al., 2004). Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich ableiten, dass die Präsentation der Balkenwaage und das zweimalige Beobachten von Nonkonflikt Distanz-Aufgaben für mehr als zwei Drittel der 7-Jährigen eine Unterstützung in der ZPD zu sein scheint. Ein wichtiger Aspekt in Bezug auf die ZPD ist folglich die Fokussierung auf das, was in der Reichweite der Lernenden liegt, wenn entsprechende Unterstützung gegeben wird (Bliss, 1996).

Veränderungen von naturwissenschaftlichen Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger können im Sachunterricht angeregt werden. Dies ist eine Herausforderung für die Lehrperson, da am Unterricht in der Regel mehrere Kinder mit individuellen Voraussetzungen und verschiedenen ZPDs teilnehmen (Brown & Campione, 1994; Puntambekar & Hübscher, 2005; Vygotsky, 1978). Die Unterstützung, die gegeben wird, um die Veränderung von Vorstellungen anzuregen, sollte daher so gewählt werden, dass möglichst viele Kinder davon profitieren können. Für die vorliegende Arbeit bedeutet dies Folgendes: Nachdem ein Verfahren zur Diagnose der Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln entwickelt und die Wissens Elemente und Vorstellungen erhoben

wurden (Studie I), soll in einem zweiten Schritt begonnen werden, eine Intervention zur Veränderung der Vorstellungen zu erproben (Studie II). Zur Erprobung einer Intervention sollten zunächst – angepasst an die lern- und entwicklungspsychologischen Besonderheiten 6- bis 7-Jähriger (vgl. Kapitel 3, S. 19) – eine Form der Unterstützung (im folgenden *Impulse* genannt) gewählt werden, die die Mehrheit der Kinder unterstützt, korrekte Vorstellungen aufzubauen.

Bevor in Kapitel 8 (S. 72) auf *Impulse*, die die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger verändern können, eingegangen wird, erfolgt zunächst eine Beschreibung des Konzepts Scaffolding und dessen Bedeutung in der vorliegenden Arbeit.

7.2 Scaffolding

Scaffolding beschreibt eine Begleitung in oder Unterstützung zum Durchqueren der ZPD (vgl. Bruner, 1986; Cazden, 1979; Puntambekar & Hübscher, 2005; Stone, 1998; Vygotsky, 1962; Wood, 1988). Lernenden wird ein kognitives ‚Gerüst‘ bereitgestellt, das ihnen das Lösen einer Aufgabe ermöglicht (Van de Pol, Volman & Beishuizen, 2010; Wood et al., 1976). Dies kann durch eine kompetentere Person, z. B. Lehrpersonen oder Peers, erfolgen (z. B. Vygotsky, 1978; Wood et al., 1976) oder mithilfe von Material (z. B. Brown & Campione, 1994; Gibbons, 2002). Dabei kann Scaffolding in verschiedenen Settings stattfinden.

7.2.1 Scaffolding als Unterstützung von Gruppen

Das ursprünglich enge Verständnis von Scaffolding als individuelle Lernunterstützung in Eins-zu-eins-Situationen (Wood et al., 1976) weitete sich über die Jahre (Puntambekar & Hübscher, 2005). In diesem weiteren Verständnis wird Scaffolding auch als eine Unterstützung einer Gruppe von Kindern, z. B. im Unterricht, verstanden (z. B. Cazden, 1979; Gibbons, 2002; Hogan & Pressley, 1997).

Im ‚whole class scaffolding‘-Ansatz von Hogan und Pressley (1997) wird, wie bei Wood et al. (1976), verbale Unterstützung betont und zudem dem Unterrichtsgespräch „scientific discourse“ (S. 88) eine wichtige Bedeutung beigemessen. Die Lehrperson etabliert in den Unterrichtsgesprächen eine Kultur des gemeinsamen Denkens. Dazu nimmt sie einzelne Gesprächsfäden auf, verhindert, dass wichtige Gesprächsfäden fallengelassen werden, oder

stellt ggf. Ideen zurück. Sie webt förmlich das Unterrichtsgespräch (Hogan & Pressley, 1997). Der Scaffolding-Ansatz von Gibbons (2002) bezieht sich ebenfalls auf die Unterstützung einer Gruppe von Kindern im Unterricht. In diesem wird die Bedeutung verbaler Unterstützung hervorgehoben. Verbale Unterstützung kann jedoch auch z. B. durch Gegenstände und Bilder ergänzt werden. Insbesondere Nicht-Muttersprachlern soll auf diese Weise das Erlernen der Unterrichtssprache erleichtert werden (Gibbons, 2002). Neben der Frage, wer die Adressaten von Scaffolding sind, hat sich die Forschung auch damit beschäftigt, was die Kernmerkmale von Scaffolding ausmachen.

7.2.2 Kernmerkmale von Scaffolding

Aufgrund verschiedener Ansätze und Operationalisierungen von Scaffolding (Übersichten vgl. Clark & Graves, 2005; Hardy, 2012; Puntambekar & Hübscher, 2005; Reiser, 2004; Stone, 1998) erfährt der Begriff eine breite und heterogene Verwendung (Pea, 2004). Einige Autoren sprechen sogar von einer „Übergeneralisierung“ (Puntambekar & Hübscher, 2005, S. 2) bzw. „Verwässerung“ (Hardy, 2012, S. 52), durch die der Begriff an Bedeutung verliert (Pea, 2004). Zunehmend wird daher eine Präzisierung gefordert und sich darum bemüht (z. B. Einsiedler, 2011; Hardy, 2012; Krammer, 2009; Pea, 2004; Reiser, 2004; Van de Pol et al., 2010).

Van de Pol et al. (2010) präzisieren Scaffolding über drei Kernmerkmale. *Contingency* beschreibt die an den Lernstand angepasste adaptive Unterstützung. *Fading* bezeichnet die allmähliche Zurücknahme der Unterstützung durch die unterstützende Person. Damit eng verbunden ist die Verantwortungsübertragung an den Lernenden (*transfer of responsibility*). Diese drei Kernmerkmale beziehen sich auf den Scaffolding-Prozess, laufen parallel über verschiedene Zeitpunkte und können als hintereinander geschaltet betrachtet werden (Van de Pol et al., 2010).

7.2.3 Statisches und adaptives Scaffolding

Die drei Kernmerkmale des Scaffolding-Prozesses nach Van de Pol et al. (2010) betonen die *Adaptivität* von Unterstützung. Unter Adaptivität wird die Anpassung an den Lernenden und den Zeitpunkt der Unterstützung verstanden. Jedoch handelt es sich auch um Scaffolding, wenn zu einem Zeitpunkt die Unterstützung nicht adaptiv eingesetzt wird (Brush & Saye, 2002; Danise, 2001; Hammond & Gibbons, 2001; Melero, Hernández-Leo & Blat, 2012; Melero, Hernández-Leo & Blat, 2011; Saye & Brush, 2002; Sharpe, 2001).

Dass auch nicht-adaptive Unterstützung wichtige Elemente von Scaffolding beinhaltet, wird an folgenden Begriffspaaren, die nachfolgend erklärt werden, deutlich: *Makro-* vs. *Mikroscaffolds* (Hammond & Gibbons, 2001; Melero et al., 2012; Melero et al., 2011), *Designed-In Scaffolding* vs. *Point of Need Scaffolding* (Sharpe, 2001) und *Hard* vs. *Soft Scaffolds* (Brush & Saye, 2002; Saye & Brush, 2002; Simons & Klein, 2007).

Der erste Begriff jedes Paares bezieht sich auf Scaffolding, das in der Situation statisch angewendet wird, also im Vorhinein geplant und nicht adaptiv stattfindet. Makro-Scaffolding wird meist vor dem Unterricht geplant und beschreibt den Einsatz einer pädagogischen Methode (z. B. *Inquiry based learning*), einer Strategie (z. B. steigender Schwierigkeitsgrad) oder Sequenzierung der Inhalte (Melero et al., 2012; Sharpe, 2001). Ein Beispiel für Makro-Scaffolding ist, wenn vor dem Unterricht zum Thema Hebel, aufgrund entwicklungs- und lernpsychologischer Befunde zu Hebeln (vgl. Kapitel 6, S. 42) entschieden wird, dass 6- bis 7-Jährige zuerst zum Gewicht und im Anschluss zum Abstand arbeiten, da durch diese Sequenzierung der Schwierigkeitsgrad innerhalb der Unterrichtsreihe steigt. Sharp (2001) verwendet den Begriff *Designed-in Scaffolding*. Dieser stimmt größtenteils mit dem des Makro-Scaffolding überein. *Designed-in Scaffolding* findet in der Planungsphase von Unterricht statt und beinhaltet u. a. die Entwicklung von Lernsequenzen. *Hard Scaffolds* (Brush & Saye, 2002; Saye & Brush, 2002; Simons & Klein, 2007) sind ebenfalls statische Unterstützungsmaßnahmen, die vor dem Unterricht auf Basis bekannter Schwierigkeiten, denen Altersgruppen begegnen könnte, geplant werden. Sie werden präventiv eingesetzt und helfen bei der Strukturierung des Lerngegenstands (vgl. Kapitel 7.3.2, S. 65). Solche geplanten Unterstützungsmaßnahmen können u. a. Material, Bilder oder verbale Impulse sein.

Makro-, Designed-In-, und Hard-Scaffolding bilden ein Gerüst, auf Basis dessen weitere adaptive Maßnahmen (*Mikro-, Point of Need-, Soft-Scaffolds*) eingesetzt werden können (vgl. Brush & Saye, 2002; Danise, 2001; Hammond & Gibbons, 2001; Saye & Brush, 2002). Ziel dieser im Vorhinein geplanten Scaffolds ist, dass später weniger adaptive und spontane Scaffolds eingesetzt werden müssen (vgl. Saye & Brush, 2002). Adaptives und spontanes Scaffolding findet vor allem während der Interaktion zwischen Lehrendem und Lernendem statt (Hammond & Gibbons, 2001) und unterstützt die Lernenden in einer konkreten Situation individuell beim Lösen einer bestimmten Aufgabe (Brush & Saye, 2002; Danise, 2001; Hammond & Gibbons, 2001; Melero et al., 2012; Saye & Brush, 2002; Sharpe, 2001). Der Einsatz zusätzlicher adaptiver Scaffolds ist hilfreich, da sich die ZPD (vgl. Kapitel 7.1, S. 59) verschiedener Kinder gleichen Alters unterscheiden.

Eine kontinuierliche Diagnose des Verständnisses der Lernenden durch die Lehrperson ist Voraussetzung dafür, dass adaptive Unterstützung in dem Moment, in dem sie benötigt wird, gegeben werden kann (Brush & Saye, 2002; Saye & Brush, 2002).

In der vorliegenden Dissertation wird statische Unterstützung fokussiert. Diese stellt eine wichtige Grundlage bei der Planung und Durchführung von Lehr-Lernprozessen dar und bildet die Grundlage für darauf aufbauende adaptive Unterstützung (vgl. Saye & Brush, 2002). Die Kenntnis von wirksamer statischer Unterstützung ist gerade bei der Entwicklung von Unterricht in wenig erforschten Themen, wie dem einseitigen Hebel, wichtig. Nach der Erprobung verschiedener statischer Maßnahmen zu diesem Themenbereich können Empfehlungen für die Unterrichtsplanung gegeben werden. Unabhängig davon, ob statisches Scaffolding, adaptives Scaffolding oder beides eingesetzt wird, kann die Frage gestellt werden, über welche Wirkmechanismen diese Unterstützung in der ZPD zu einer Veränderung von Vorstellungen beiträgt. Pea (2004) und Reiser (2004) beschreiben einen strukturierenden und einen kognitiv aktivierenden Wirkmechanismus von Scaffolding (Hardy, 2012).

7.3 Wirkmechanismus I: inhaltlich strukturierend

Strukturierende Mittel im Scaffolding-Prozess helfen, die Anforderungen einer Aufgabe an die Fähigkeiten der Lernenden anzupassen, und wirken komplexitätsreduzierend (Pea, 2004; Reiser, 2004). Pea (2004) unterscheidet zwischen *Channeling* und *Focussing*. Unter *Channeling* wird die Reduktion von Lösungsmöglichkeiten einer Aufgabe verstanden, sodass der Lernende die Aufgabe erfolgreich bewältigen kann. *Focussing* beschreibt das Wecken, Fokussieren und Aufrechterhalten der Aufmerksamkeit auf wichtige Aspekte der Aufgabe (Pea, 2004). Reiser (2004) verwendet den Begriff *Structuring*. Dieser umfasst drei Aspekte: A) Die Vereinfachung komplexer Themen, indem die Lehrperson die Aktivität der Lernenden lenkt, die Reihenfolge bestimmt und auf wichtige Aspekte hinweist. B) Das Fokussieren, indem Handlungsoptionen eingeschränkt, Informationen vorausgewählt und das Ziel im Blick gehalten wird. C) Das Monitoring, also das Überwachen und die Kontrolle der Lernfortschritte. Übergeordnetes Ziel der Strukturierung ist, die Aufgabe zu vereinfachen, sodass sie für die Lernenden lösbar wird (Reiser, 2004).

Der inhaltlich strukturierende Wirkmechanismus, den Pea (2004) und Reiser (2004) beschrieben, wird auch in der Lehr-Lernforschung betrachtet und im Konzept der *Strukturierung* gefasst.

7.3.1 Strukturierung in der Lehr-Lernforschung

Strukturierung ist eines der am besten empirisch abgesicherten Konzepte der Lehr-Lern- und Unterrichtsforschung (Einsiedler, 2007). Der Einfluss von Strukturierung auf die Leistung von Lernenden wird untersucht, indem a) Videos von realen Unterrichtssituationen im Hinblick auf das Ausmaß der Strukturierung im Unterricht ausgewertet werden (z. B. Rakoczy, Klieme, Lipowsky & Drollinger-Vetter, 2010) oder b) quasi-experimentell unterschiedlich stark strukturierter Unterricht in verschiedenen Schulklassen implementiert wird (z. B. Hardy, Jonen, Möller & Stern, 2006). Beide Herangehensweisen verdeutlichen, dass sich Strukturierung auf die Veränderung von Vorstellungen in Gruppen von Lernenden bezieht.

Im Rahmen der Lehr-Lern- und Unterrichtsforschung wird Strukturierung häufig differenziert in *organisatorische* und *inhaltliche Strukturierung* (Drollinger-Vetter, & Lipowsky, 2006; Hartinger & Hawelka, 2005; Klieme, 2006; Lipowsky, 2009; Rakoczy et al., 2007; Rakoczy et al., 2010). Gelegentlich wird auch eine weitere Facette von Strukturierung eingeführt, die *didaktische Strukturierung* (Ewerhardy, 2010; Helmke, 2009; Helmke, 2011; Lipowsky, 2009; Meyer, 2004). Organisatorische Strukturierung betrifft die formale Steuerung des Unterrichts (Hartinger & Hawelka, 2005) und wird häufig auch *Classroom Management* (Helmke, 2011; Meyer, 2004; Rakoczy et al., 2010) genannt. Inhaltliche Strukturierung betrifft Maßnahmen, die den fachspezifischen Inhalt strukturieren (Rakoczy et al., 2007; Rakoczy et al., 2010). Diese Strukturierung erfolgt vor und während des Unterrichts. Damit weist inhaltliche Strukturierung eine Überschneidung mit didaktischer Strukturierung auf, wobei sich die didaktische Strukturierung stärker auf die Gliederung von Unterricht in einzelne Komponenten bezieht (Lipowsky, 2009). Diese Gliederung erfolgt bei der Planung von Unterricht (Ewerhardy, 2010; Helmke, 2009).

Da in der vorliegenden Arbeit ein erster Schritt für die Entwicklung eines Unterrichts zu einseitigen Hebeln gemacht werden soll, sind inhaltliche Aspekte der Strukturierung von besonderer Bedeutung. Auf diese wird aus der Perspektive der Lehr-Lernforschung im Folgenden eingegangen.

7.3.2 Inhaltliche Aspekte der Strukturierung

Inhaltliche Aspekte der Strukturierung werden von einer Vielzahl Autoren beschrieben (z. B. Einsiedler, 1997; Einsiedler, 2007; Ewerhardy, 2010; Hartinger & Hawelka, 2005; Helmke, 2009; Helmke, 2011; Kleickmann, 2012; Lipowsky, 2009; Meyer, 2004; Rakoczy et al., 2007; Rakoczy et al., 2010). Dabei finden verschiedene Termini Gebrauch, z. B. *inhaltliche Strukturierung*: Einsiedler (1997), Hartinger und Hawelka (2005), Rakoczy et al. (2007), Rakoczy et al. (2010), Kleickmann (2012); *kognitive Strukturierung*: Einsiedler und Hardy (2010), Hardy (2012); *Mikrostrukturierung*: Einsiedler (2007); *gedächtnispsychologische Strukturierung*: Helmke (2009; 2011); *kognitionspsychologisch orientierte Strukturierung*: Lipowsky (2009).

Im Kern betrifft diese Art der Strukturierung immer Maßnahmen, die den fachspezifischen Inhalt strukturieren (Rakoczy et al., 2007; Rakoczy et al., 2010), mit dem Ziel, den Lerngegenstand verstehbar zu machen (Kleickmann, 2012). Inhaltliche Aspekte der Strukturierung gelten als wichtiges Qualitätsmerkmal von Unterricht (Kleickmann, 2012). Inhaltliche Strukturierung findet *vor* und *während* des Unterrichts statt. Vor dem Unterricht bezieht sie sich auf die Strukturierung des Lerngegenstands, während des Unterrichts betrifft sie die Strukturierung der Interaktion im Unterricht (Kleickmann, 2012).

Obwohl die oben genannten Begriffe alle eine Strukturierung inhaltlicher Aspekte des Lerngegenstands betreffen, sind sie nicht als synonym zu verstehen (vgl. Einsiedler & Hardy, 2010; Hardy, 2012). *Kognitive Strukturierung* bspw. bezieht sich stärker als *inhaltliche Strukturierung* auf die Abstimmung der Strukturierungsmaßnahmen mit den kognitiven Voraussetzungen der Lernenden und betont in größerem Ausmaß die Anregung kognitiver Aktivität (Einsiedler & Hardy, 2010; Hardy, 2012). Trotz der Betonung der Adaptivität beim Konzept der kognitiven Strukturierung beinhaltet sie, wie das Konzept inhaltlicher Strukturierung, auch statische Hilfen (hard Scaffolds) bspw. in Form verschiedener Repräsentationsformen (Einsiedler & Hardy, 2010; Simons & Klein, 2007). Die fachspezifische Konkretisierung von inhaltlichen Aspekten der Strukturierung wird vermehrt betont (z. B. Klieme & Rakoczy, 2008; Meschede, 2013; Puntambekar & Hübscher, 2005). Das bedeutet, dass bei einem naturwissenschaftlichen Thema, wie dem Hebel, inhaltliche Aspekte der Strukturierung anders umgesetzt werden müssen als bspw. beim Erlernen des Alphabets. Unabhängig von der fachspezifischen Konkretisierung sollte die inhaltliche Strukturierung an der ZPD ausgerichtet sein.

7.3.3 Inhaltliche Strukturierung, ausgerichtet an der ZPD

Im Hinblick auf eine Unterstützung in der ZPD sind auch inhaltlich strukturierende Aspekte von Notwendigkeit. Dabei wird abgeschätzt, welche kognitiven Aktivitäten zur Lösung einer Aufgabe in der Reichweite des Kindes liegen und welche Unterstützungsmaßnahmen dazu erforderlich sind (Einsiedler & Hardy, 2010). Inhaltliche Strukturierung sollte angepasst sein an die individuellen lern- und entwicklungspsychologischen Voraussetzungen der Lernenden (Meschede, 2013; vgl. Kapitel 3, S. 19). Dazu zählen u. a. das Alter (Klieme & Rakoczy, 2008) und die bereits vorhandenen Wissens Elemente und Vorstellungen. Da sich die ZPDs von Kindern gleichen Alters unterscheiden, profitieren die Kinder in unterschiedlichem Ausmaß von der inhaltlichen Strukturierung im Unterricht, je nachdem wie gut diese an die ZPD des einzelnen Kindes angepasst ist. Für alle Kinder gilt jedoch, dass inhaltliche Strukturierungshilfen im Unterricht notwendig sind (Einsiedler, 2007; Lipowsky, 2002), um diese komplexe Situation mit vielen Reizen (Pea, 2004) zu reduzieren. Die Art der inhaltlichen Strukturierungshilfen wird dabei neben den ZPDs der Kinder auch immer vom Lerngegenstand selbst vorgegeben. Bei dem Lerngegenstand Hebel im Kontext Schubkarre scheint es z. B. inhaltlich sinnvoll, nach den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm zu strukturieren (vgl. Kapitel 2, S. 16). Bei einer strukturierten Darbietung von Informationen ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass die Informationen aufmerksam verarbeitet werden, das Arbeitsgedächtnis nicht überfordert wird und somit eine Veränderung von Vorstellungen angeregt werden kann.

Strukturierung hat sich in einer Vielzahl an Studien als lernförderlich erwiesen (für einen Überblick s. Lipowsky, 2009) und gilt daher auch als zentrales Merkmal von effektivem Unterricht (Übersicht s. Einsiedler, 1997; Helmke, 2011; Lipowsky, 2009). Inhaltliche Strukturierung wirkt sich zum einen bei Jugendlichen direkt auf die Leistung im Mathematikunterricht aus und zum anderen indirekt vermittelt über die selbsteingeschätzte kognitive Aktivität (Rakoczy et al., 2007; Rakoczy et al., 2010). Insbesondere profitieren leistungsschwächere Kinder von inhaltlich strukturierenden Maßnahmen (Hardy et al., 2006; Helmke et al., 2007; Jonen, Möller & Hardy, 2003; Kirchner, Girwidz & Häußler, 2007; Lipowsky, 2002; Möller, Jonen, Hardy & Stern, 2002).

Wie oben dargestellt, sollte inhaltliche Strukturierung an der ZPD ausgerichtet sein, um Kinder bei der Veränderung ihrer Vorstellungen unterstützen zu können. Neben dieser positiven Eigenschaft auf die Veränderung von Vorstellungen ergeben sich beim Einsatz

inhaltlicher Strukturierung jedoch auch Herausforderungen. Diese sollen bei der Planung der Untersuchung zum einseitigen Hebel berücksichtigt werden.

7.3.4 Herausforderung von inhaltlichen Aspekten der Strukturierung

Die Strukturierung inhaltlicher Aspekte einer Lernumgebung bringt Möglichkeiten, aber auch Herausforderungen mit sich. Auf der einen Seite erleichtern Strukturierungselemente das Lernen, indem sie die Wahrnehmung und Interpretation der Umwelt auf relevante Dimensionen fokussieren (Möller et al., 2002), die Komplexität der Situation reduzieren (Bliss, 1996; Mayer, 2004; Möller et al., 2002) und damit Überforderung entgegenwirken (Hardy et al., 2006; Klieme, Pauli & Reusser, 2009; Rakoczy et al., 2010). Aufgrund der Komplexität von naturwissenschaftlichem Unterricht scheinen die oben genannten Aspekte hier von besonderer Bedeutung (Jonen et al., 2003; Klahr & Nigam, 2004; Lipowsky, 2002; Möller et al., 2002). Auf der anderen Seite kann eine zu stark strukturierte Lernumgebung jedoch auch den kognitiv anregenden Aspekt einer Aufgabe untergraben (Einsiedler & Hardy, 2010; Kleickmann, 2012; Pea, 2004; Reiser, 2004). Daher sollte inhaltliche Strukturierung an die Voraussetzungen der Kinder angepasst werden sowie auf ein Gleichgewicht zwischen inhaltlich strukturierenden und kognitiv aktivierenden Maßnahmen geachtet werden. Dies ist wichtig, da beide in einem Spannungsverhältnis zueinander stehen (Helmke & Schrader, 1987; Kleickmann, 2012; Meschede, 2013).

7.4 Wirkmechanismus II: kognitiv aktivierend

Als zweiter Wirkmechanismus von Scaffolding werden kognitiv aktivierende Maßnahmen beschrieben (Pea, 2004; Reiser, 2004). Inhaltlich strukturierende Maßnahmen bilden die Grundlage für solche problematisierenden und damit kognitiv aktivierenden Maßnahmen. Letztere sollen den Lernenden kognitiv herausfordern und ihn zum Weiterdenken anregen (Einsiedler & Hardy, 2010; Pea, 2004; Reiser, 2004). Pea (2004) fasst diese Art der Maßnahmen unter dem Begriff *Modeling* zusammen, das auch das Demonstrieren besserer Lösungsmöglichkeiten beinhaltet. Reiser (2004) verwendet den Begriff *Problematising*. Dieser umfasst die Lenkung der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Aspekt, die Ermutigung einer selbstständigen Beschäftigung durch Eigeninteresse mit der Aufgabe und das Finden einer Lösung. *Modeling* wie auch *Problematising* zielen demnach auf Aspekte, die zum Weiterdenken und zur kognitiven Aktivität anregen (Hardy, 2012).

Die Wichtigkeit eines kognitiv aktivierenden Wirkmechanismus bei der Veränderung von Vorstellungen betont die Lehr-Lernforschung im Konzept der *kognitiven Aktivierung*. Kognitive Aktivierung befasst sich mit dem Resultat, was Unterstützung in den Köpfen der Lernenden bewirken kann, dabei wird ausschließlich dieser eng umgrenzte Bereich betrachtet. Kognitive Aktivierung wird operationalisiert als das vertiefte Nachdenken und elaborierte Auseinandersetzen mit dem Lerngegenstand (Lipowsky, 2009). Kunter et al. (2011) präzisieren kognitive Aktivierung im Sachunterricht als eine gezielt herbeigeführte, kognitiv herausfordernde Situation, die Lernende zum aktiven Aufbau oder zur Veränderung von Vorstellungen anregt. Nach Einsiedler und Hardy (2010) beschreibt die kognitive Aktivierung eine Facette der kognitiven Strukturierung.

Maßnahmen und Impulse mit dem Ziel der kognitiven Aktivierung können, ebenso wie Maßnahmen und Impulse zur inhaltlichen Strukturierung, vor dem Unterricht geplant oder bzw. und während des Unterrichtes spontan eingesetzt werden (Kleickmann, 2012). Gelegentlich wird gefordert, dass kognitive Aktivierung besser als ‚Potenzial‘ zur kognitiven Aktivierung beschrieben werden sollte (Kleickmann, 2012), da Maßnahmen, die zu kognitiven Aktivitäten anregen, nur potenziell das Lernen fördern. Inwiefern ein solches Angebot von Lernenden genutzt wird, sich tatsächlich kognitiv aktiv mit dem Thema auseinanderzusetzen, ist individuell verschieden (vgl. Angebots-Nutzungs-Modell, Helmke, 2003; 2010; Helmke et al., 2007).

7.5 Bedeutung von Scaffolding und dessen Wirkmechanismen für die vorliegende Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist, einen Schritt zur Entwicklung eines Unterrichts zum Thema einseitige Hebel zu machen. Sollen Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Inhalten verändert werden, kann der Scaffolding-Ansatz wichtige Hinweise geben. Im Folgenden wird herausgearbeitet welche Aspekte für die vorliegende Arbeit von besonderer Relevanz sind.

Scaffolding hat das Ziel, eine Veränderung von Vorstellungen anzuregen. Es beschreibt ein übergeordnetes Konzept, welches die Wirkmechanismen inhaltliche Strukturierung und kognitiver Aktivierung beinhaltet. Beide Wirkmechanismen können gleichermaßen genutzt werden (Pea, 2004; Reiser, 2004). Beim Wirkmechanismus der Strukturierung liegt ein Fokus auf inhaltlich strukturierenden Maßnahmen. Sie regen direkt oder vermittelt über

kognitive Aktivität eine Veränderung von Vorstellungen an (Rakoczy et al., 2007). Der kognitiv aktivierende Wirkmechanismus bezieht sich hingegen auf das, was in den Köpfen der Lernenden stattfindet (Kunter et al., 2011).

Scaffolding kann auch als Unterstützung von Gruppen verstanden werden. Dabei orientiert sich die Unterstützung an dem, was die Kinder mithilfe dieser Unterstützung in ihrer jeweiligen ZPD erreichen können (vgl. Kapitel 7.1, S. 59). Unterstützung kann sowohl durch eine Person, aber auch durch Material (z. B. Puntambekar & Kolodner, 2005) wie bspw. Gegenstände oder Bilder erfolgen. In Themenbereichen, zu denen wenig über die Wissensselemente und Veränderung von Vorstellungen bekannt ist, z. B. dem Themenbereich dieser Arbeit, dem einseitigen Hebel, sollten zunächst *Makro-Scaffolds*, *hard Scaffolds* oder *Designed-In-Scaffolds* untersucht werden. Nachdem geprüft wurde, inwieweit diese eine Veränderung von Vorstellungen anregen können, kann in einem späteren Schritt dieses Gerüst evtl. durch zusätzlich benötigte adaptive Scaffolds ergänzt werden.

Inhaltlich orientierte Strukturierung im Unterricht ist ausgerichtet auf eine Veränderung von Vorstellungen bei Gruppen von Kindern. Neben der Berücksichtigung der ZPD sollte eine fachspezifische Konkretisierung inhaltlich orientierter Strukturierung stattfinden (z. B. Klieme & Rakoczy, 2008; Meschede, 2013; Puntambekar & Hübscher, 2005). In der vorliegenden Arbeit zum Themenbereich Hebel findet diese fachspezifische Konkretisierung der inhaltlichen Strukturierung sowohl vor als auch während des Unterrichts (Kleickmann, 2012) durch die Orientierung an den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm statt. Eine Herausforderung ist, dass inhaltlich orientierte Strukturierung stark genug ist, um die Veränderung von Vorstellungen zu erleichtern, aber nicht zu stark, sodass sie keine kognitive Aktivität anregt (Einsiedler & Hardy, 2010; Kleickmann, 2012; Pea, 2004; Reiser, 2004).

Kognitive Aktivierung bezieht sich auf das, was in den Köpfen der Lernenden stattfindet. Impulse zur kognitiven Aktivierung können ebenfalls vor dem Unterricht geplant oder bzw. und spontan während des Unterrichts eingesetzt werden (Kleickmann, 2012). Dabei wird darauf hingewiesen, dass es sich bei der kognitiven Aktivierung um ein Angebot handelt, inwiefern Lernende dies nutzen, bleibt offen (vgl. Helmke, 2003; Helmke, 2010; Helmke et al., 2007; Kleickmann, 2012).

Inhaltliche Strukturierung und kognitive Aktivierung können über Maßnahmen erfolgen, die vor dem Unterricht geplant oder spontan während des Unterrichts eingesetzt werden (vgl. Kleickmann, 2012). Ist der Unterrichtsgegenstand sequenziert und sind Unterstützungsformen ausgewählt, sollte entschieden werden, welche Maßnahmen während des Unterrichts statisch verwendet werden (hard scaffolds, Brush & Saye, 2002; Saye & Brush, 2002; Simons & Klein, 2007) und welche Maßnahmen zusätzlich adaptiv erfolgen können (soft scaffolds, Brush & Saye, 2002; Saye & Brush, 2002; Simons & Klein, 2007). Der Lehrende plant also, welche Unterstützungsmaßnahmen das Grundgerüst bilden und daher von den Lernenden auf jeden Fall benötigt werden und welche zusätzlich adaptiv eingesetzt werden könnten. Die vorliegende Arbeit fokussiert dabei auf das statische Grundgerüst an Unterstützung, die 6- bis 7-Jährige bei der Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln benötigen.

In der vorliegenden Arbeit soll aufgrund der wenigen bereits vorhandenen Studien zur Veränderung von Vorstellungen bei 6- bis 7-Jährigen im Kontext einseitiger Hebel zunächst der Einsatz statischer Maßnahmen erprobt werden. Das bedeutet, dass Unterstützungsmaßnahmen eingesetzt werden, wie sie im Vorhinein geplant wurden und dass während des Unterrichts keine Adaptivität der Maßnahmen, angepasst an die ZPDs jedes einzelnen Kindes, stattfindet. Auf diese Weise soll herausgefunden werden, ob bestimmte statische Maßnahmen ein Grundgerüst bilden können, um eine Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln bei 6- bis 7-Jährigen anzuregen.

In Kapitel 7 wurde Scaffolding und seine Wirkmechanismen vorgestellt, diskutiert und Konzepten in der Lehr-Lernforschung gegenübergestellt. Es wurde davon ausgegangen, dass für eine Veränderung von Vorstellungen eine Unterstützung notwendig ist. Bisher blieb offen, wie eine Unterstützung konkret aussehen könnte. Daher wird im Folgenden auf verschiedene Unterstützungsformen, mit denen naturwissenschaftliche Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger verändert werden können, eingegangen. Da es sich bei diesen Unterstützungsformen um z. T. sehr kleine und kurze Anstöße handelt, werden sie im Folgenden *Impulse* (englisch *Prompts*) genannt. Zu diesen Impulsen zählen Gegenstände (vgl. Kapitel 8, S. 72), Bilder (vgl. Kapitel 9, S. 82), verbale Impulse (vgl. Kapitel 10, S. 90) und deren Kombinationen (vgl. Kapitel 11, S. 98). Die genannten Impulse können inhaltlich strukturierend, kognitiv aktivierend oder sowohl inhaltlich strukturierend als auch kognitiv aktivierend wirken. Häufig ist eine klare Trennung, ob eine Maßnahme inhaltlich strukturierend oder kognitiv aktivierend ist, nicht möglich (Kleickmann, 2012).

Da für eine Veränderung von Vorstellungen immer strukturierende Maßnahmen gemeinsam mit kognitiv aktivierenden Maßnahmen einhergehen sollten (Einsiedler, 2011; Helmke, 2009; Jonen et al., 2003; Lipowsky, 2009; Pea, 2004; Reiser, 2004), wird auf eine Unterscheidung an dieser Stelle verzichtet. Vielmehr wird darauf geachtet, dass die Impulse die Lernenden in der ZPD unterstützen. Ein solcher Impuls, der gerade für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht geeignet scheint, sind Gegenstände, auf die im nächsten Kapitel eingegangen wird.

8 Vorstellungen verändern mithilfe von Gegenständen

Gegenstände können als Impulse dienen, um die Veränderung von Vorstellungen anzuregen. Werden Gegenstände ausgewählt, sodass mit ihrer Hilfe eine Aufgabe gelöst werden kann, die ansonsten (noch) nicht gelöst werden könnte, handelt es sich um Scaffolding (Wood et al., 1976). Die Wissensrepräsentationsart, die mit Gegenständen angesprochen wird, sofern an bzw. mit ihnen Handlung stattfindet, ist die enaktive Repräsentation (vgl. Kapitel 4.2, S. 26). Ziel der Arbeit ist, einen ersten Schritt zur Entwicklung naturwissenschaftlichen Unterrichts zu einseitigen Hebeln zu machen. Handlung an Gegenständen wird in der Mathematikdidaktik der Primarstufe im Rahmen der von Bruner (1972) entwickelten Unterrichtstheorie, und im Folgenden als *EIS-Prinzip* bekannt, vielfach gefordert. Die Anfangsbuchstaben stehen dabei für die Art der Wissensrepräsentation enaktiv, ikonisch und symbolisch, die im Mathematikunterricht durch Material, Bilder und Sprache bzw. Symbole angesprochen werden sollen (Hasemann & Gasteiger 2014). Neben dem Mathematikunterricht hat sich die Verwendung von Gegenständen, auch im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht, als hilfreiches Mittel zur Veränderung von Vorstellungen erwiesen (Möller, 2004; Tenberge, Lange & Möller, 2012). Im Folgenden werden zunächst die Funktionen von Gegenständen in diesem Prozess beleuchtet. Eine kritische Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Gegenständen folgt. Anschließend werden Forschungsergebnisse zur Wirksamkeit von Gegenständen bei den Veränderungen von Vorstellungen dargelegt. Das Kapitel schließt mit einem Fazit.

8.1 Funktionen von Gegenständen

Gegenstände können verschiedene Funktionen bei der Veränderung von Vorstellungen erfüllen. Da in der vorliegenden Dissertation ein erster Schritt zur Entwicklung eines Unterrichts zu einseitigen Hebeln gemacht werden soll und sich im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht die Verwendung von Gegenständen anbietet, erfolgt die Erläuterung von Funktionen an verschiedenen Kontexten einseitiger Hebel.

Inhaltliche Strukturierung und kognitive Aktivierung: Gegenstände können zum einen dazu dienen, den Lerngegenstand zu strukturieren, und zum anderen vertieftes Nachdenken über den Lerngegenstand anregen (z. B. Hardy, 2012; Hartinger & Hawelka, 2005; Kleickmann,

Hardy, Jonen, Blumberg & Möller, 2007; Lipowsky, 2009; Marzano, Gaddy & Dean, 2000). Strukturierung mithilfe von Gegenständen kann bspw. in einer Interventionssequenz zum Kraftarm eines Hebels durch die Darbietung dreier Schubkarren mit unterschiedlich langen Griffen nebeneinander erfolgen. Würde den Lernenden die Gegenstände ungeordnet präsentiert, läge keine Strukturierung vor und das Verändern von Vorstellungen könnte erschwert werden. Potenzial zur kognitiven Aktivierung bringen die Schubkarren mit, wenn sie durch das Betrachten oder die Handlung an ihnen zur kognitiven Aktivität anregen. Neben diesen Funktionen besitzen Gegenstände, unabhängig davon, ob sie beobachtet oder an ihnen gehandelt wird, weitere Funktionen bei der Veränderung von Vorstellungen.

Verbindung zur Realität: Die Darbietung eines Gegenstandes schlägt die Brücke zur Realität (Qualter, 2014) und damit zur Lebenswelt der Kinder. Sie ist gerade für Kinder im Grundschulalter wichtig, da Kinder dieses Alters weniger gut als ältere Kinder ihre Vorstellungen mithilfe von sekundären Quellen wie bspw. Büchern verändern können (Qualter, 2014). Wird das Hebelgesetz besprochen und den Kindern wird Balkenwaage, Wippe, Schraubenschlüssel oder Schubkarre präsentiert, können sie einen Bezug zu der Welt, in der sie leben, herstellen.

Gemeinsame Erfahrungsgrundlage und Erinnerung an Vorerfahrungen: Nicht alle Kinder besitzen die gleichen Erfahrungen zu einseitigen Hebeln. Die Darbietung von Gegenständen, z. B. einer Schubkarre, bietet sich daher insbesondere bei fehlenden Vorerfahrungen an (Möller, 2004). Dadurch wird zum einen eine gemeinsame Erfahrungsgrundlage aufgebaut und zum anderen erinnern sich Kinder an mögliche Erfahrungen aus dem Alltag. Daran kann im folgenden Unterricht angeknüpft werden.

Überprüfung von Vorstellungen: An dem zweiseitigen Hebel Balkenwaage oder dem einseitigen Hebel Schubkarre können Vorstellungen überprüft werden (vgl. Möller, 2004). An der Balkenwaage kann dies über das handelnde Ausbalancieren (z. B. Philips & Tolmie, 2007) oder dem Beobachten, zu welcher Seite sie sich neigt, erfolgen (z. B. Krist et al., 2004; Siegler, 1976). Bei der Schubkarre eignet sich ebenfalls Handlung.

Erfahrbarkeit eines abstrakten naturwissenschaftlichen Prinzips: Mit der Überprüfung der Vorstellungen geht einher, dass ein Gegenstand ein abstraktes naturwissenschaftliches Prinzip, z. B. das Hebelgesetz, erfahrbar werden lässt (Gregory, 2001). Beim Anheben

mehrerer Schubkarre mit unterschiedlich langen Griffen spüren Kinder, dass lange Griffe das Anheben erleichtern. Der Kraftarm wird erfahrbar.

Entlastung Arbeitsgedächtnis: Das Arbeitsgedächtnis kann durch den visuellen, haptischen (Leuchter & Möller, 2014) und strukturierenden Aspekt (Hartinger & Hawelka, 2005; Rosenshine & Stevens, 1986) von Gegenständen entlastet werden. Diese Funktion ist bei 6- bis 7-Jährigen besonders relevant, da deren Arbeitsgedächtnis eine geringe Kapazität hat (Hasselhorn & Grube, 2008). Wird zum Lastarm an der Schubkarre gearbeitet, kann das Arbeitsgedächtnis entlastet werden, indem 6- bis 7-Jährige strukturiert nacheinander an drei Schubkarren mit dem Gewicht an unterschiedlichen Positionen in der Wanne handeln.

Schwierigkeitsgrad bestimmend: Gegenstände können den Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe bestimmen. Zur Thematisierung des Lastarms eines Hebels eignet sich für 6- bis 7-Jährige die Schubkarre. In diesem Kontext kann der Lastarm durch die Position der Last in der Wanne dargestellt werden. Ein Schraubenschlüssel ist weniger als eine Schubkarre geeignet, da das Drehmoment nicht, wie im Kontext Schubkarre, über Last und Lastarm berechnet wird, sondern über die komplizierte Formel der Vorspannkraft. Diese ist für Kinder schwierig zu verstehen.

Die oben genannten Funktionen treffen auf die Beobachtung von und Handlung an Gegenständen zu. Wird an Gegenständen gehandelt, können zwei weitere Funktionen angeführt werden:

Aktivität: Handlung an einem Gegenstand ermöglicht es, eine körperlich aktive Rolle einzunehmen. Sie erhöht die Wahrscheinlichkeit, sich mit einem Lerngegenstand tiefer zu befassen (Chi, 2009). Bspw. könnte das Handeln an Schubkarren im Gegensatz zum reinen Beobachten Kinder stärker zum Hinterfragen der Funktionsweise anregen.

Enaktive Wissensrepräsentation: Handlung an einem Hebel ermöglicht zudem eine enaktive Wissensrepräsentation (Bruner, 1964; vgl. Kapitel 4.2, S. 26). Sie kann bspw. beim zweiseitigen Hebel Wippe vorliegen, wenn Kinder mit unterschiedlichem Körpergewicht diese ins Gleichgewicht bringen (Straka & Macke, 2002). Diese enaktive Wissenskomponente bedeutet jedoch noch nicht, dass die Kinder das Hebelgesetz verstanden haben.

Alle diese Funktionen tragen dazu bei, dass mithilfe von Gegenständen eine Veränderung von Vorstellungen angeregt werden kann, jedoch nicht zwangsläufig erfolgen muss.

8.2 Herausforderungen bei der Verwendung von Gegenständen

Der Einsatz von Gegenständen ist, trotz vieler Funktionen (vgl. Kapitel 8.1, S. 72), die sie mitbringen, keinesfalls eine Garantie für eine Veränderung von Vorstellungen. Kritik bezieht sich hauptsächlich darauf, dass körperliche Aktivität durch Handlung häufig mit kognitiver Aktivität gleichgesetzt wird (Einsiedler, 2007; Kleickmann, 2012; Mayer, 2004). Handlung ist jedoch keine Garantie für kognitive Aktivität (Chi, 2009; Renkl, 2005), sie kann kognitive Aktivität sogar unterbinden (Renkl, 2005). Sollen Kinder bspw. an Schubkarren mit unterschiedlich langen Griffen herausfinden, bei welcher Länge des Kraftarms sie am wenigsten Kraft benötigen, um die Schubkarre anzuheben, könnten die Kinder durch andere mögliche Handlungen, wie das Schieben der Schubkarre, abgelenkt sein. Wichtig ist daher eine Modellierung, wie mit dem Gegenstand korrekt umgegangen werden soll (Collins, Brown & Newman, 1989; Leuchter & Saalbach, 2014). Den Kindern sollte gezeigt werden, wie die Schubkarre ein kleines Stück vom Boden angehoben und geschoben wird. Diese Demonstration erleichtert eine Fokussierung auf die benötigte Kraft. Jedoch kann auch der gezielte Umgang mit Gegenständen nicht ausreichen, um Vorstellungen zu verändern. Zum einen besteht die Gefahr, dass Lernende Informationen passend zu ihren Erwartungen suchen, auswählen und interpretieren (confirmation bias: Duit, 1996; Möller, 2007a; Oswald & Grosjean, 2004; vgl. Kapitel 3, S. 19). Zum anderen ist für die Vorstellungsveränderung kognitive Aktivität, nicht äußere Aktivität, entscheidend (Mayer, 2004; Minner, Levy & Century, 2010; Möller, 2004; Möller, Kleickmann & Tröbst, 2009).

Nachdem Funktionen und Herausforderungen des Einsatzes von Gegenständen dargelegt wurden, werden nun Forschungsergebnisse zur Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Gegenständen präsentiert. Diese liefern Hinweise darauf, ob auch bei einem zu entwickelnden Unterricht zum einseitigen Hebel mithilfe von Beobachtung oder Handlung an Gegenständen eine Veränderung von Vorstellungen zu erwarten ist.

8.3 Vorstellungen verändern mithilfe der Beobachtung von Gegenständen

Im Folgenden werden Befunde zur Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln mithilfe der Beobachtung von Gegenständen dargestellt. Da bisher wenig über die Veränderungen von

Vorstellungen mithilfe der Beobachtung von einseitigen Hebeln bekannt ist, wird sich im Folgenden primär auf den Kontext Balkenwaage bezogen. Dieser ist in Entwicklungs- und Lernpsychologie umfassend erforscht. Viele der im Folgenden berichteten Studien erfassen neben der Veränderung von Vorstellungen auch, welche Vorstellungen vor einer Intervention gezeigt werden. Aufgrund der Struktur dieser Arbeit wurden diese Vorstellungen vor einer Intervention bereits in Kapitel 6 (S. 42) dargestellt. Forschungsergebnisse selbiger Studien in Bezug auf die Veränderung von Vorstellungen werden in diesem und dem folgenden Kapitel berichtet.

Der Einsatz von Gegenständen zur Veränderung von Vorstellungen wird häufig durch minimale verbale Instruktion unterstützt. Sie ist meist notwendig, um die Lernenden in die Aufgabe einzuführen. In den im Folgenden berichteten Studien wird diese verbale Instruktion ausschließlich dazu verwendet, die Aufgabenstellung zu klären. Studien, in denen neben der Präsentation von Gegenständen gezielte verbale Unterstützung durch Impulse erfolgte, werden in Kapitel 11.1 (S. 98) und Kapitel 11.3 (S. 101) vorgestellt.

Schon die Beobachtung einer Balkenwaage scheint unter bestimmten Bedingungen auszureichen, um eine Veränderung der Vorstellungen bzgl. des Einflusses des Abstands auf das Neigungsverhalten anzuregen (z. B. Andrews et al., 2009; Halford et al., 2002; Krist et al., 2004; Siegler, 1976; Siegler & Chen, 1998).

Bspw. sollten 5- und 8-Jährige, die nur das Gewicht berücksichtigten (Regel I; vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35), in Eins-zu-eins-Situationen vorhersagen, zu welcher Seite sich die Balkenwaage nach Entfernen der Stützen neigt. Im Anschluss beobachteten sie, ob ihre Vermutung zutraf (z. B. Krist et al., 2004; Siegler, 1976). Die Veränderung der Vorstellungen zum Abstand hing dabei mit dem Aufgabentyp zusammen. Bei der Beobachtung von Nonkonflikt Gewicht-Aufgaben gelang es 5- und 8-Jährigen bis auf wenige Ausnahmen im Post-Test nicht, den Abstand zu berücksichtigen. Unter Auswertung der Ergebnisse mithilfe des Entscheidungsbaummodells konnten die Kinder weiterhin nur Regel I zugeordnet werden (Siegler, 1976). Eine Unterstützung in der Zone der aktuellen Entwicklung (vgl. Kapitel 7.1, S. 59), also bei der bereits beherrschten Dimension Gewicht, führte nicht zu einer Veränderung von Vorstellungen bei der noch nicht beherrschten Dimension Abstand. Wurde hingegen eine Balkenwaage beobachtet, bei der sich die Abstände, aber nicht die Gewichte auf beiden Seiten unterschieden (Distanz-Aufgaben, vgl. Kapitel 5.1, S. 30), berücksichtigten 40 % der 5-Jährigen (Siegler, 1976), 70 % der 7-Jährigen (Krist et al., 2004) und 80 % der 8-Jährigen im Post-Test den Abstand

und folgten damit Regel II (Siegler, 1976). Diese Ergebnisse liefern Hinweise darauf, dass die Berücksichtigung des Abstands im Kontext Balkenwaage in der ZPD 5- bis 8-Jähriger zu liegen scheint. Das Vorhersagen und Beobachten einer Balkenwaage, bei der sich Gewicht und Abstand unterschieden (Konfliktaufgabe, vgl. Kapitel 5.1, S. 30), lag für Kinder, die ausschließlich das Gewicht berücksichtigten, jenseits dessen, was sie alleine beherrschten. Die Lösung dieses Aufgabentyps stellte die übernächste Entwicklungszone dar (Siegler, 1976). Daher führte die Beobachtung dieses Aufgabentyps bei keinem 5-Jährigen zu der Berücksichtigung von Abstand oder der Kombination von Gewicht und Abstand. 50 % der 8-Jährigen gelang es jedoch, in einer Serie binärer Entscheidungen nacheinander die beiden Dimensionen Gewicht und Abstand zu berücksichtigen. Sie wendeten demnach Regel III an (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35; Siegler, 1976). Weil die beiden Altersgruppen von den verschiedenen Aufgabentypen in unterschiedlichem Ausmaß profitieren, scheinen sich die typischen ZPDs von Kindern beider Altersgruppen zu unterscheiden.

Auch Vertreter der Relational Complexity Theory (z. B. Andrews et al., 2009; Halford et al., 2002; vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39) untersuchten die Veränderung von Vorstellungen zum Abstand mithilfe der Beobachtung von Balkenwaagen. Dazu wurden vereinfachte Balkenwaagen verwendet und die Antworten varianzanalytisch ausgewertet. Halford et al. (2002) ließen 2- bis 6-Jährige in Eins-zu-eins-Situationen an einer altersangepassten Balkenwaage mit wenigen Abständen und Tieren an den Enden beurteilen und beobachten, zu welcher Seite sie sich neigt. Vor der Übungsphase berücksichtigten 2-Jährige bei Nonkonflikt-Aufgaben ausschließlich das Gewicht. Nach der Übungsphase berücksichtigten die 2-Jährigen auch den Abstand, wenn sich die beiden Seiten der Balkenwaage nur im Abstand unterschieden (Nonkonflikt Distanz-Aufgabe). Konfliktaufgaben, bei denen Gewicht und Abstand berücksichtigt werden müssen, wurden von den 2-Jährigen nicht korrekt gelöst. 5- und 6-Jährige hingegen lösten nach den Übungsdurchgängen alle Aufgabentypen korrekt und berücksichtigten mithilfe dreifacher Relationen (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39) sowohl Abstand als auch Gewicht.

Andrews et al. (2009) griffen Wilkenings (1988) Vorschlag auf und betrachteten nur einen Hebelarm der Balkenwaage. Dazu wurde der andere Hebelarm der Balkenwaage durch eine Feder ersetzt. Sie hielt den verbleibenden Hebelarm ohne Gewichte waagrecht und befand sich für die 3- bis 7-Jährigen nicht sichtbar hinter einer Abdeckung. Die 3- bis 7-Jährigen erhielten in sechs Übungsdurchgängen ein Training. In diesem sollte die

vorgegebene Anzahl an Gewichten (max. 3) mit dem Abstand vom Drehpunkt (max. 3) kombiniert und der Ausschlag des Hebelarms auf einer von neun möglichen Positionen vorhergesagt werden. Im Anschluss beobachteten die 3- bis 7-Jährigen den Ausschlag. In den anschließenden Testdurchgängen sagten die Kinder den Ausschlag des Hebels vorher, ohne anschließend eine visuelle oder verbale Rückmeldung zu erhalten. Kinder ab 5 Jahren berücksichtigten in den Testdurchgängen Gewicht und Abstand und verknüpften beides sogar multiplikativ (Andrews et al., 2009).

Zusammenfassung: Die Beobachtung des Verhaltens der Balkenwaage in Eins-zu-eins-Situationen scheint, abhängig vom Alter, Art der Balkenwaage und Auswertungsmethode (vgl. Kapitel 5.3, S. 34), eine Veränderung der Vorstellungen zum Abstand zu ermöglichen. Ob auch das Handeln an einem zweiseitigen Hebel eine Veränderung von Vorstellungen unterstützt, wird im Folgenden untersucht.

8.4 Vorstellungen verändern mithilfe von Handlungen an Gegenständen

Eine weitere Möglichkeit, Vorstellungen zu verändern, ist neben der Beobachtung die Handlung an Gegenständen. Im Folgenden werden Forschungsergebnisse bzgl. einer Veränderung von Vorstellungen mithilfe eines handelnden Umgangs mit Hebeln vorgestellt. Da dieser handelnde Umgang mit Hebeln in Eins-zu-eins-Situationen stattfand, werden ergänzend weitere Studienergebnisse zu Themenbereichen berichtet, in denen Kinder in Gruppen an Gegenständen handelten. Bei der Darstellung der Forschungsergebnisse zu Hebeln wird unterschieden, ob die Vorstellungen über Handlung, Begründungen oder Wahl einer vorgegebenen Antwortoption erfasst werden.

Vorstellungen zu Hebeln wurden vielfach in Eins-zu-eins-Situationen über das handelnde Ausbalancieren von Holzbalken (z. B. Peters, Davey, Messer & Smith, 1999) oder einer Balkenwaage (z. B. Philips & Tolmie, 2007) verändert und erfasst. Das Ausbalancieren von Holzbalken unterscheidet sich im Vorgehen vom Ausbalancieren von Balkenwaagen. Holzbalken werden über die Verschiebung des Drehpunkts ausbalanciert. Bei Balkenwaagen ist Gewicht und Abstand einer Seite vorgegeben und auf der anderen Seite müssen entweder Abstand oder Gewicht ergänzt werden. Im Kontext Holzbalken gelang ca. 40 % der 5- bis 7-Jährigen im Post-Test eine Verbesserung ihrer Leistung beim Ausbalancieren. Die Leistungssteigerung war unabhängig davon, auf welche Art (freies

Spiel vs. ausbalancieren) sie zuvor mit den Holzbalken handelten (Peters et al., 1999). Im Kontext Balkenwaage führte das handelnde Ausbalancieren beim letzten von drei Befragungszeitpunkten zu weniger benötigten Versuchen als beim ersten und zweiten Befragungszeitpunkt. Eine Veränderung der Vorstellungen 6- bis 8-Jähriger zeigte sich demnach erst verzögert (Philips & Tolmie, 2007).

Bei der Betrachtung der Begründungen 6- bis 8-Jähriger, die für das Ausbalancieren einer Balkenwaage genannt wurden, zeigte sich jedoch, dass die Qualität der Begründung durch Ausbalancieren nicht verbessert werden konnte. Kinder, die ohne weitere Impulse an der Balkenwaage handelten, nannten auch beim dritten Befragungszeitpunkt als Grund für das Verhalten der Balkenwaage ausschließlich das Gewicht (Philips & Tolmie, 2007).

In einer anderen Studie wurde untersucht, ob das Nachbauen einer Balkenwaage – nicht das Ausbalancieren – eine Veränderung von Vorstellungen zur Abstandsdimension anregt (Siegler, 1976). 5- bis 8-Jährige erhielten eine Balkenwaage, auf der sie Gewicht und Abstand nachbauten. Das Neigungsverhalten der Balkenwaage wurde nicht beobachtet. Einige Tage später sagten die Kinder das Verhalten der Balkenwaage unter den zuvor nachgebauten Aufgabenstellungen vorher. 30 % der 5-Jährigen und 30 % der 8-Jährigen berücksichtigten konstant den Abstand (Regel II). 40 % der 5-Jährigen und 70 % der 8-Jährigen berücksichtigten sowohl Gewicht als auch Abstand (Regel III). Ohne das Nachbauen der Balkenwaage gelang es hingegen 5-Jährigen nicht, Abstand bzw. Gewicht und Abstand zu berücksichtigen (Siegler, 1976).

In einer Studie von Amsel et al. (1996) erhielten 6- bis 10-Jährige zunächst in Eins-zu-eins-Situationen Rückmeldung zu zwei Aufgaben an der Balkenwaage und bauten anschließend ebenfalls die Anordnung von Gewicht und Abstand auf einer zweiten Balkenwaage nach. Im Anschluss an das Training sagten bei Nonkonflikt Gewichtsaufgaben (vgl. Kapitel 5.1, S. 30) 73 % der 6-Jährigen, alle 8-Jährigen und 93 % der 10-Jährigen in mindestens drei von vier Aufgaben korrekt vorher, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt. Bei Nonkonflikt Distanz-Aufgaben sagten 13 % der 6-Jährigen, 56 % der 8-Jährigen und 40 % der 10-Jährigen in mindestens drei von vier Aufgaben korrekt vorher, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt.

Handeln Kinder in laborähnlichen Eins-zu-eins-Situationen an einer Balkenwaage, scheint eine Veränderung der Vorstellungen, z. B. zum Abstand, möglich. Ob auch, wenn mehrere Kinder gemeinsam an Hebeln handeln, eine Veränderung der Vorstellungen angeregt

werden kann, ist bisher offen. Zum Themenbereich Hebel sind derzeit keine Studien mit Gruppensituationen bekannt. Studien aus anderen naturwissenschaftlichen Themenbereichen deuten darauf hin, dass mithilfe von Handlungen an Gegenständen in Gruppen von Kindern eine Veränderung von Vorstellungen schwierig ist. 4- bis 6-Jährige bauten in Kleingruppen (3 bis 4 Kinder) mehrere Tage jeweils einige Minuten mit strukturiert bzw. unstrukturiert dargebotenen Dosen einen Turm auf einer schiefen Ebene (Hadzigeorgiou, 2002). Nur eine von drei Gruppen, die im Training mit strukturiert dargebotenen Dosen gearbeitet hatte, baute in einem Post-Test einen stabileren Turm als im Prä-Test und nannte Begründungen, die auf ein Verständnis für Stabilität hindeuteten. Keine Gruppe, die das Training mit unstrukturiert dargebotenen Dosen erhielt, baute einen stabileren Turm oder nannte korrekte Begründungen. Handeln Kinder in Gruppen mit Dosen, scheint dies für eine Veränderung der Vorstellungen zur Stabilität von Türmen nicht unbedingt ausreichend (Hadzigeorgiou, 2002).

Zusammenfassung: Handlungen an Hebeln in Eins-zu-eins-Situationen ermöglicht 5- bis 10-Jährigen eine Veränderung von Vorstellungen zum Abstand, wenn diese Vorstellungen ebenfalls über Handlung oder Vorhersage, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt, erfasst werden (Amsel et al., 1996; Peters et al., 1999; Philips & Tolmie, 2007; Siegler, 1976). Diese Veränderungen der Vorstellungen konnten jedoch nicht in den Begründungen der Kinder gezeigt werden (Philips & Tolmie, 2007). In Ermangelung bekannter Studien zum Themenbereich Hebel wurde bei der Darstellung von Forschungsergebnissen zur Veränderung von Vorstellungen in Gruppen auf den Themenbereich Statik zurückgegriffen. Wird in Gruppen von Kindern an Gegenständen zum Themenbereich Statik gehandelt, scheint eine Veränderung von Vorstellungen schwieriger (Hadzigeorgiou, 2002). Beim Handeln an Gegenständen zum Themenbereich Statik in Gruppen von Kindern scheint es schwieriger, eine Veränderung von Vorstellungen anzuregen als bei Hebeln in Eins-zu-eins-Situationen. Dies könnte an der geänderten Erhebungssituation (Eins-zu-eins-Kontakt vs. Gruppe) oder am geänderten Themenbereich liegen.

8.5 Fazit: Gegenstände können die Veränderung von Vorstellungen unterstützen

Gegenstände können helfen, Vorstellungen zu verändern. Sie strukturieren und entlasten das Arbeitsgedächtnis (Hartinger & Hawelka, 2005; Rosenshine & Stevens, 1986). Sie stützen die Erinnerung an Vorerfahrungen und bieten eine Möglichkeit, Vorerfahrungen zu

überprüfen (Möller, 2004). Dabei machen Gegenstände wie eine Balkenwaage abstrakte Prinzipien wie das Hebelgesetz erfahrbar (Gregory, 2001). Gegenstände sind aber keine Garantie für die Veränderung von Vorstellungen. Vielmehr müssen sie derart eingesetzt werden, dass sie bei der Veränderung von Vorstellungen helfen und nicht davon ablenken. Darüber hinaus ist wichtig, dass die aufzubauende Vorstellung, z. B. zum Abstand eines Hebels, in der ZPD der Altersgruppe liegt. Vorstellungen zum Abstand können bei 6- bis 8-Jährigen z. B. durch genaues Beobachten oder gezielte Handlungen am Hebel in laborähnlichen Eins-zu-eins-Situationen verändert werden. Eine Studie zur Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln in Gruppen ist nicht bekannt.

Die alleinige Darbietung von Gegenständen reicht häufig nicht aus, um das volle Potenzial der Veränderung von Vorstellungen zu entfalten. Daher werden Gegenstände häufig gemeinsam mit visuellen Impulsen, z. B. Bildern (vgl. Kapitel 9.5, S. 88), oder häufiger mit verbalen Impulsen eingesetzt (vgl. Kapitel 11.3, S. 101; Kapitel 11.5, S. 105). Trotzdem werden Gegenstände und, wenn möglich, der handelnde Umgang mit diesen als wichtige Grundlage bei der Veränderung von Vorstellungen angesehen (Flick, 1993). Dies gilt insbesondere für den naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht (Möller, 2004; Tenberge et al., 2012).

9 Vorstellungen verändern mithilfe von Bildern

Neben Gegenständen (vgl. Kapitel 8, S. 72) können auch Bilder zu einer Veränderung von Vorstellungen beitragen. Sowohl Gegenstände als auch Bilder erfüllen eine visualisierende Funktion. Dabei wird die ikonische Wissensrepräsentation (vgl. Kapitel 4.2, S. 26) angesprochen, die in der Mathematikdidaktik vielfach rezipiert wird (vgl. Hasemann & Gasteiger, 2014). Handlung an Bildern ist gegenüber Gegenständen jedoch schwieriger umsetzbar. Auch ist eine Überprüfung von Vorstellungen (wie sie mit Gegenständen möglich ist, vgl. Kapitel 8.1, S. 72) mithilfe von Bildern nicht möglich. Bspw. kann auf einem Bild einer Balkenwaage, im Gegensatz zum Gegenstand, nicht beobachtet werden, zu welcher Seite sie sich neigt, wenn die Stützen entfernt werden. Bilder können jedoch andere Funktionen erfüllen, die mithilfe von Gegenständen weniger gut gelingen. Die Funktionen, die ein Bild erfüllt, hängen auch mit seiner Art, d. h. wie es gestaltet ist, zusammen. Daher wird im Folgenden zunächst auf verschiedene Arten von Bildern eingegangen, um im Anschluss deren Funktionen zu erläutern. Voraussetzungen auf Seiten der Lernenden und auf Seiten der Bilder, die erfüllt sein sollten, damit Bilder eine Veränderung von Vorstellungen ermöglichen, werden beschrieben. Abschließend werden Forschungsergebnisse zur Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Bildern vorgestellt.

9.1 Arten von Bildern

Sollen Vorstellungen mithilfe von Bildern verändert werden, ist die Kenntnis verschiedener Arten von Bildern wichtig, um solche Bilder auswählen zu können, die eine Veränderung von Vorstellungen am wahrscheinlichsten unterstützen. Schnotz (2010) unterscheidet drei Arten von Bildern: realistische Bilder, Analogiebilder und logische Bilder.

Realistische Bilder: Sie sind dem abgebildeten Gegenstand ähnlich. Eine Zeichnung oder ein Foto einer Schubkarre gehören zu den realistischen Bildern (Schnotz, 2010). Realistische Bilder werden auch als *darstellende Bilder* (z. B. Peeck, 1994) bezeichnet. Beide Bezeichnungen werden im Folgenden synonym verwendet. Jüngere Kinder bevorzugen realistische und einfach gestaltete Bilder. Daher werden derartige Bilder in Jahrgangsstufe Eins und Zwei am häufigsten verwendet (Martschinke, 2001; Peeck, 1994).

Analogiebilder: Sie stellen einen Sachverhalt dar, der in Analogie zum Gegenstand steht. Analogiebilder sollen dabei unterstützen, Vorstellungen auf einen Sachverhalt zu übertragen, der nicht direkt beobachtbar ist, aber vergleichbare Eigenschaften besitzt (Schnotz, 2010; Ullrich, 2007). Ein Beispiel ist die Darstellung eines Stromkreislaufs über einen Wasserkreislauf (Issing, 1994).

Logische Bilder: Sie haben keine Ähnlichkeit zum dargestellten Sachverhalt. Logische Bilder verdeutlichen Zusammenhänge oder strukturelle Eigenschaften, die sich der unmittelbaren Wahrnehmung entziehen (Schnotz, 2010). Ein Beispiel für ein logisches Bild ist das Diagramm der Entscheidungsbaummethode in Abbildung 4 (S. 36).

Da in der vorliegenden Arbeit die Veränderung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger betrachtet wird, bieten sich von den drei oben beschriebenen Arten von Bildern die darstellenden Bilder an. Vermutet wird, dass darstellende Bilder für diese Altersgruppe verstehbar sind, da zum Verständnis auf kognitive Schemata der alltäglichen Wahrnehmung zurückgegriffen werden kann (Schnotz, 2001). Für die Interpretation von logischen Bildern und Analogiebildern reichen die kognitiven Schemata alltäglicher Wahrnehmung hingegen nicht aus (Schnotz, 2001). Daher können junge Lernende Schwierigkeiten haben, logische Bilder und Analogiebilder zu verstehen (Martschinke & Einsiedler, 1994).

Darstellende bzw. realistische Bilder erfüllen, wie andere Arten von Bildern auch, gleichzeitig verschiedene Funktionen bei der Veränderung von Vorstellungen. Diese Funktionen lassen sich in affektiv-motivationale und kognitive gruppieren (Peeck, 1994).

9.2 Affektive und motivationale Funktionen von Bildern

Obwohl bei einer Veränderung von Vorstellungen mithilfe von darstellenden Bildern den kognitiven Funktionen die wichtigere Rolle zukommt, sollten affektive und emotionale Funktionen nicht unterschätzt werden (Peeck, 1994). Darstellende Bilder können bspw. das Interesse anregen und die Zeit verlängern, sich mit dem Thema des Bildes tiefergehend zu beschäftigen (Peeck, 1994). Eine affektive und emotionale Funktion von darstellenden Bildern, die auch kognitive Anteile beinhaltet, ist die *Lenkung und Fokussierung der Aufmerksamkeit* (Kirchner et al., 2007; Newton, 1995; Peeck, 1994). Wenn darstellende Bilder die Aufmerksamkeit ausschließlich auf sich selbst lenken, kann dies für eine

Veränderung von Vorstellungen hinderlich sein (Levin et al., 1987; Peeck, 1994). Levin, Anglin und Carney (1987) sprechen auch von der *Dekorationsfunktion*. Ein Bild hat dekorative Funktion, wenn es für das Verstehen des Textes von keiner wesentlichen Bedeutung ist (Martschinke & Einsiedler, 1994). Hören Kinder bspw. eine Erklärung zum Lastarm im Kontext Schubkarre und sehen dabei ein Foto eines Bauernhofs mit Tieren und einer mit Mist beladenen Schubkarre, kann dieses Bild wenig zum Verständnis des Lastarms beitragen. Zeigt das Bild hingegen drei Schubkarren, deren Lasten (z. B. Steine) an unterschiedlichen Positionen in der Wanne stehen, wird ein Verständnis des Lastarms unterstützt (vgl. Abbildungsfunktion; Kapitel 9.3, S. 84). Im Folgenden wird auf diese und weitere kognitive Funktionen von Bildern eingegangen.

9.3 Kognitive Funktionen von Bildern

Bei der Veränderung von Vorstellungen im Unterricht stehen die kognitiven Funktionen von darstellenden Bildern im Vordergrund (Peeck, 1994). Levin und Kollegen (Levin, 1981; Levin et al., 1987) unterscheiden vier kognitive Funktionen von Bildern (ursprünglich in Prosatexten).

Organisationsfunktion: Eine *Organisationsfunktion* (Levin, 1981; Levin et al., 1987) bzw. (inhaltlich-)strukturierende Funktion (Mautone & Mayer, 2007; Meschede, Steffensky, Wolters & Möller, 2015; Peeck, 1994) besitzen Bilder, wenn sie einen Überblick über Informationen geben und einen Bezugsrahmen für weitere Informationen darstellen. Daher werden solche Bilder auch als Advance Organizer bezeichnet (Kirchner et al., 2007). Werden bspw. zuerst drei Bilder mit Schubkarren gezeigt, die unterschiedlich lange Griffe haben, und anschließend weitere Informationen zum Kraftarm gegeben, besitzen die Bilder Organisationsfunktion und können im Sinne eines Advance Organizers wirken.

Abbildungsfunktion: Eine *Abbildungsfunktion* (Levin, 1981; Levin et al., 1987) bzw. konkretisierende Funktion (Mautone & Mayer, 2007) erfüllen Bilder, die einen verbal beschriebenen Sachverhalt darstellen und ihn näher bestimmen. Durch die Redundanz zwischen visuellen und verbalen Informationen kann die Behaltensleistung gesteigert werden (Levin et al., 1987), da die gleichen Informationen auf verschiedenen sensorischen Kanälen wahrgenommen werden. Hören Kinder die Beschreibung von drei Schubkarren, bei denen die Lasten an unterschiedlicher Position in der Wanne stehen (Lastarm), und sehen gleichzeitig ein Bild, auf dem die drei beschriebenen Schubkarren mit den Lasten an

unterschiedlicher Position dargestellt werden, besitzt das Bild eine abbildende Funktion und kann die Behaltensleistung erhöhen. Nicht nur vorgegebene Bilder, sondern auch Bilder, die von den Lernenden selbst, z. B. durch Zeichnen, produziert werden, können die Behaltensleistung erhöhen (Mandl & Friedrich, 2006).

Interpretationsfunktion: Bilder mit Interpretationsfunktion erhöhen bei schwierig zu verstehendem Inhalt die Verständlichkeit einer Beschreibung (Levin, 1981; Levin et al., 1987). Solche Bilder präsentieren z. B. in einem Diagramm Informationen, die über den Text hinausgehen. Sie sollen helfen, den komplexen Inhalt des Textes zu verstehen (Martschinke & Einsiedler, 1994). Die multiplikative Verknüpfung von Gewicht und Abstand bei einem Hebel kann, bspw. mithilfe eines Graphen, veranschaulicht werden (vgl. Hardy & Stern, 2011; Koerber, 2003). Dieser Graph kann dabei eine Interpretationsfunktion erfüllen.

Transformationsfunktion: Sie wird Bildern zugeschrieben, die mithilfe von Mnemotechniken „Eselsbrücken“ (Martschinke & Einsiedler, 1994, S. 409) aufbauen und damit die Erinnerung an einen an sich leicht zu verstehenden Inhalt erhöhen (Levin, 1981; Levin et al., 1987). Soll bspw. der Begriff Scaffolding behalten werden, so könnte ein Bild mit einem Gerüst abgebildet sein. Der Rezipient des Bildes, der weiß, dass der englische Begriff ‚scaffold‘ übersetzt ‚Gerüst‘ bedeutet, kann sich evtl. den Begriff Scaffolding einfacher merken. Der Einsatz von Bildern mit transformierender Funktion ist für eine Veränderung von Vorstellungen bei Kindern bis 11 Jahren nur wenig relevant: Zum einen erkennt diese Altersgruppe die Verschlüsselung kaum selbstständig und zum anderen wird Faktenwissen erlernt und nicht das Erschließen von Sinnzusammenhängen (Martschinke & Einsiedler, 1994).

Die Funktionen eines Bildes sind nicht als distinkt zu verstehen. Darstellende Bilder können mehrere Funktionen gleichzeitig erfüllen (Martschinke, 2001; Peeck, 1994). Daher geht es bei der Entwicklung von Bildern, die eine Veränderung von Vorstellungen unterstützen sollen, darum, verschiedene (kognitive) Funktionen zu kombinieren (Martschinke, 2001). Ziel sollte sein, dass 6- bis 7-Jährige optimal von den Bildern profitieren.

Darstellende Bilder, die bei 6- bis 7-Jährigen zum Themenbereich Hebel eine Veränderung von Vorstellungen bspw. zum Kraftarm unterstützen, könnten wie folgt gestaltet sein: Drei Bilder zeigen eine Schubkarre mit jeweils unterschiedlich langen Griffen. Diese Bilder

sollen verschiedene Funktionen erfüllen: Die Aufmerksamkeit wird durch den einzig erkennbaren Unterschied zwischen den Bildern auf die Beschreibung der drei unterschiedlich langen Griffe gelenkt (Lenkung und Fokussierung der Aufmerksamkeit). Die Bilder erfüllen zudem eine Abbildungsfunktion, da der durch die Lehrperson beschriebene Sachverhalt verdeutlicht wird. Eine organisierende Funktion besitzen die Bilder, da sie einen Überblick über drei mögliche Längen der Griffe geben.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die intendierte und theoretisch angenommene Funktion eines Bildes nicht unbedingt die erwünschte Wirkung beim Rezipienten haben muss (Martschinke, 2001). Bilder, die von Erwachsenen gestaltet werden, können von Kindern, z. B. der in der vorliegenden Arbeit interessierenden Altersgruppe von 6- bis 7-Jährigen, anders wahrgenommen und interpretiert werden. Darüber hinaus müssen auf Seiten der Rezipienten bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, um die Bilder zu verstehen. Auf diese Voraussetzungen wird im Folgenden eingegangen.

9.4 Voraussetzungen auf Seiten der Rezipienten und der Bilder

Damit darstellende Bilder die Veränderung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger unterstützen, müssen sowohl die Rezipienten als auch die Bilder bestimmte Voraussetzungen erfüllen. Bspw. sollten die Bilder passend zu den Fähig- und Fertigkeiten der Rezipienten ausgewählt werden. Kinder im Alter von 6 bis 7 Jahren unterliegen bestimmten lern- und entwicklungspsychologischen Grundlagen (vgl. Kapitel 3, S. 19). Einige Besonderheiten betreffen insbesondere die Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Bildern. Auf der einen Seite ist das Denken dieser Altersgruppe noch stärker an Anschauung gebunden als bei Erwachsenen (Aebli, 1983). Auf der anderen Seite muss die Fähigkeit zur repräsentationalen Einsicht (DeLoache & Burns, 1994; DeLoache, 2000; Uttal & O'Doherty, 2008) vorhanden sein. Die Kinder müssen verstehen, dass ein Bild für ein konkretes Objekt stehen kann und vice versa (z. B. das Bild einer Schubkarre für eine reale Schubkarre; die reale Schubkarre für das Bild). Ab 3 Jahren ist diese Fähigkeit, auch duale Repräsentation genannt, vorhanden (DeLoache, 2000; 1987; 1991). Aber auch älteren Kindern kann die Erkenntnis, dass ein Bild für einen Gegenstand steht und vice versa, unter bestimmten Bedingungen noch schwierig fallen (Ganea, Ma & DeLoache, 2011).

Die Fähigkeit zur repräsentationalen Einsicht ist keine hinreichende Bedingung dafür, dass mithilfe von Bildern Vorstellungen verändert werden können. Zusätzlich muss das Bild wahrgenommen und kognitiv verarbeitet werden (Martschinke & Einsiedler, 1994). Dies kann z. B. mithilfe von verbalen Impulsen (vgl. Kapitel 10, S. 90), wie Aufforderungen zum Beschreiben, Vergleichen oder aufmerksamkeitslenkenden Hinweisen, unterstützt werden (Peeck, 1994). Das Abzeichnen, Ergänzen oder Beschriften von Bildern hat sich ebenfalls als hilfreich erwiesen. Auf diese Weise kann eine aufmerksame Verarbeitung gefördert werden (Kirchner et al., 2007). Neben der aufmerksamen Verarbeitung müssen die Rezipienten eines Bildes auch die Fähigkeit besitzen, die im Bild enthaltenen Informationen zu entschlüsseln (Martschinke, 2001). Handelt es sich um darstellende Bilder, gelingt dies Kindern im Grundschulalter gut. Logische Bilder und Analogiebilder zu entschlüsseln, ist für diese Altersgruppe anspruchsvoller, aber möglich (Martschinke & Einsiedler, 1994). Daher werden im (Grundschul-)Unterricht häufig darstellende Bilder verwendet (Martschinke, 2001; Peeck, 1994).

Auf Basis der Kenntnis der Voraussetzungen der Rezipienten können Bilder ausgewählt werden, die von der betreffenden Altersgruppe verstanden werden können. Bei 6- bis 7-Jährigen eignen sich darstellende Bilder, da sie mithilfe der kognitiven Schemata der alltäglichen Wahrnehmung verständlich sind (Schnotz, 2001). Neben der Art des Bildes ist auch die Stelle, an der das Bild eingesetzt wird, relevant. Dabei sollte beachtet werden, welche Veränderungen in den Vorstellungen, z. B. zum Themenbereich einseitiger Hebel, bei 6- bis 7-Jährigen zu erwarten sind. Im Anschluss sollte der richtige Zeitpunkt gefunden werden, an welchem der Einsatz eines Bildes hilfreich ist (Hardy & Stern, 2011). Ebenfalls sollten die Bilder an das Vorwissen der Rezipienten anknüpfen (Martschinke, 2001; Möller et al., 2002; Quintana et al., 2004), relevante Aspekte hervorheben und irrelevante zurückstellen (Cox, 1999; Hartinger & Hawelka, 2005; Möller et al., 2002). Letztere Gestaltungsmaßnahme wird auch ‚Cueing‘ genannt (Martschinke, 2001) und kann bspw. über farbliche Hervorhebungen erfolgen (Dwyer, 1978).

Zusammenfassend scheint für eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Bildern eine an die Voraussetzungen der Rezipienten und eine dem Lerngegenstand angemessene Visualisierung entscheidend (Peeck, 1994; Schnotz & Bannert, 2003).

9.5 Vorstellungen verändern mithilfe von Handlung an Gegenständen und Bildern

Darstellende Bilder erfüllen gegenüber Gegenständen andere Funktionen bei der Veränderung von Vorstellungen (vgl. Kapitel 8.1, S. 72; Kapitel 9.2, S. 83; Kapitel 9.3, S. 84). Da sich diese Funktionen ergänzen können, kann es sich anbieten, Gegenstände und darstellende Bilder zur Veränderung von Vorstellungen bei naturwissenschaftlichen Themen, wie z. B. dem Hebel, kombiniert einzusetzen. Zum Themenbereich Hebel ist jedoch keine Studie bekannt, die eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Gegenständen, z. B. der Balkenwaage, in Kombination mit darstellenden Bildern untersucht. Bei anderen naturwissenschaftlichen Themen wie Statik wurde hingegen der Einsatz von Handlungen an Gegenständen und Bildern bei der Veränderung von Vorstellungen erforscht: Das Nachbauen von Bauklotzanordnungen, die auf Bildern präsentiert wurden, führte bei 6- bis 7-Jährigen zu korrekteren Einschätzungen der Stabilität von Bauklotzanordnungen als das freie Bauen mit Bauklötzen ohne Bilder (Plöger & Leuchter, 2013). Die Intervention wurde in Gruppen von 16 bis 20 Kindern durchgeführt, wobei jedes Kind alleine mit Bauklötzen handelte. Beide Gruppen erhielten bis auf die Erklärung der Aufgabenstellung, etwas zu bauen, das hält, keine weiteren verbalen Hilfestellungen.

Da der Erfolg des Einsatzes von Bildern meist von der verbalen Begleitung abhängt, werden Bilder häufiger in Kombination mit verbalen Impulsen eingesetzt. Auf diese Kombination an Unterstützung wird in Kapitel 11.2 (S. 100) eingegangen. Zunächst wird jedoch im folgenden Fazit ein Vergleich zwischen der Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Gegenständen und Bildern vorgenommen.

9.6 Fazit und Vergleich: Vorstellungen verändern mithilfe von Gegenständen und Bildern

Der Einsatz von Gegenständen und darstellenden Bildern kann eine Veränderung von Vorstellungen unterstützen (vgl. Kapitel 8.3, S. 75; Kapitel 8.4, S. 78; Kapitel 9.5, S. 88). Gegenstände und darstellende Bilder besitzen gemeinsame Funktionen bei der Veränderung von Vorstellungen: Beides sind Visualisierungen, d. h. sie veranschaulichen den Lerngegenstand (vgl. Uttal & O'Doherty, 2008). Bei Gegenständen erfolgt die Visualisierung dreidimensional, bei darstellenden Bildern zweidimensional. Gegenstände

und Bilder können auch als externe Modelle bezeichnet werden. Externe Modelle können den Aufbau interner Modelle erleichtern (Martschinke, 1996; Schnotz, 2010). Daher werden bspw. im naturwissenschaftlichen Unterricht bei 6- bis 10-Jährigen Visualisierungen als wichtigstes Gestaltungsprinzip (Einsiedler, 2007) und Werkzeug zur Unterstützung von konzeptuellen Veränderungen verstanden (Hardy & Stern, 2011; Hardy et al., 2006; Möller, 2006; Vosniadou, Ioannides, Dimitrakopoulou & Papademetriou, 2001). Hardy und Stern (2011) sehen Visualisierungen sogar als „unerlässlich“ (S. 36) an, um anspruchsvolle naturwissenschaftliche Konzepte aufzubauen. Beide Arten der Visualisierungen können bspw. strukturierende Funktionen übernehmen (Hartinger & Hawelka, 2005; Mautone & Mayer, 2007; Peeck, 1994), indem z. B. der Lerngegenstand mit ihrer Hilfe sequenziert wird.

Gegenstände grenzen sich von Bildern u. a. folgendermaßen ab: Gegenstände ermöglichen Handlung oder Manipulation. Durch diese wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, sich mit dem Lerngegenstand tiefer zu befassen (Chi, 2009). Die Kinder werden zum praktisch vorgestellten Handeln angeregt und die enaktive Wissensrepräsentation (Bruner, 1964) unterstützt. Gegenstände ermöglichen die Überprüfung von Vorstellungen (Möller, 2004). Die Vorstellung, dass ein einseitiger Hebel im Kontext Schubkarre mit der Last in der Nähe des Rades (kurzer Lastarm) leichter anzuheben ist, kann z. B. an einer Schubkarre überprüft werden. Bilder können dies nicht leisten. Sie können hingegen derart gestaltet werden, dass relevante Aspekte des Lerngegenstands hervortreten und irrelevante vernachlässigt werden (Cox, 1999; Hartinger & Hawelka, 2005; Möller et al., 2002). Dies ist mithilfe von Gegenständen schwieriger umzusetzen.

Gegenstände oder Bilder alleine reichen nicht immer aus, um Vorstellungen zu verändern und ein wissenschaftlich korrektes Verständnis aufzubauen (vgl. Kapitel 8.3, S. 75; Kapitel 8.4, S. 78; Kapitel 9.5, S. 88). Daher werden Gegenstände und Bilder häufig kombiniert und durch verbale Impulse ergänzt. Mögliche verbale Impulse werden in Kapitel 10 (S. 90) vorgestellt.

10 Vorstellungen verändern mithilfe verbaler Impulse

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen ersten Schritt in Richtung Entwicklung eines Unterrichts für 6- bis 7-Jährige zum einseitigen Hebel zu machen. Da bei der Veränderung von Vorstellungen verbaler Unterstützung eine zentrale Rolle zukommt (z. B. Einsiedler & Hardy, 2010; Ewerhardy, 2010; Hartinger & Hawelka, 2005; Hogan & Pressley, 1997; Kleickmann, 2012; Meschede, 2013; Wood et al., 1976), werden im Unterricht neben Gegenständen und Bildern verbale Impulse zur Unterstützung gewählt. Verbale Impulse sprechen die symbolische Wissensrepräsentation an (Bruner, 1964; vgl. Kapitel 4.2, S. 26). Nach dem EIS-Prinzip, das auf Bruner (1972) zurückgeht und in der Mathematikdidaktik häufig Anwendung findet (Hasemann & Gasteiger, 2014), sollen Lernende zu jedem Themenbereich zunächst mit Gegenständen handeln (enaktive Repräsentation), im Anschluss Bilder präsentiert bekommen (ikonische Repräsentation) und abschließend mit Zeichen, z. B. Sprache oder Symbolen (symbolische Repräsentation), unterstützt werden. Die Verflechtung von sprachlicher Unterstützung mit Handlung an Gegenständen und Bildern wird beim EIS-Prinzip demnach hervorgehoben. Bevor in Kapitel 11 (S. 98) auf die Veränderung von Vorstellungen mithilfe verschiedener Kombinationen von Gegenständen, Bildern und verbalen Impulsen eingegangen wird, thematisiert das vorliegende Kapitel einzelne symbolische Unterstützungsmaßnahmen in Form verbaler Impulse. Dazu werden zunächst verbale Maßnahmen von verbalen Impulsen abgegrenzt (vgl. Kapitel 10.1, S. 90). Da im Unterricht eine Vielzahl verbaler Impulse zur Auswahl steht, werden im Anschluss solche, die für die Veränderung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger besonders relevant scheinen, vorgestellt (vgl. Kapitel 10.2, S. 91). Abschließend wird deren Relevanz für die vorliegende Arbeit dargestellt (vgl. Kapitel 10.3, S. 96).

10.1 Begriffsbestimmung ‚verbaler Impuls‘

Verbale Unterstützung wird bei der Veränderung von Vorstellungen im Scaffolding-Ansatz (vgl. Kapitel 7.2, S. 60) eine zentrale Rolle zugeschrieben (z. B. Einsiedler & Hardy, 2010; Ewerhardy, 2010; Hartinger & Hawelka, 2005; Hogan & Pressley, 1997; Kleickmann, 2012; Meschede, 2013; Wood et al., 1976). Sie wird sogar als notwendig angesehen, um das volle Potenzial einer Lernumgebung bei der Veränderung von Vorstellungen zu entfalten (vgl. Leuchter & Saalbach, 2014). In der Literatur wird verbale

Unterstützung mit verschiedenen Begriffen beschrieben: ‚verbal scaffolds‘ (Hogan & Pressley, 1997), ‚scaffolding means‘ (Van de Pol, Volman & Beishuizen, 2011), ‚verbale Maßnahmen‘ (Kleickmann, 2012; Meschede, 2013) oder ‚Prompts‘ (Schworm & Renkl, 2007; Thillmann, Künsting, Wirth & Leutner, 2009; Wagner, Klein, Klopp & Stark, 2014).

Gemeinsame Bedeutung dieser Bezeichnungen ist, dass sie die Lernenden in der ZPD bei der Veränderung von Vorstellungen unterstützen, indem sie inhaltlich strukturierend, kognitiv aktivierend oder sowohl inhaltlich strukturierend als auch kognitiv aktivierend wirken können (vgl. Kleickmann, 2012; Pauli, Drollinger-Vetter, Hugener & Lipowsky, 2008; Schworm & Renkl, 2007). Die oben aufgeführten Begriffe weisen jedoch auch unterschiedliche Akzente auf. ‚Maßnahme‘ oder ‚Scaffold‘ werden im Rahmen dieser Arbeit als ein Bündel verbaler Hilfestellungen, die über einen längeren Zeitraum gegeben werden, verstanden. Die Begriffe ‚Prompt‘ oder auf Deutsch ‚verbaler Impuls‘ werden hingegen verstanden als kleine impulsartige Anregungen (Stimuli), die plötzlich, einmalig oder über einen kurzen Zeitraum stattfinden. Impulse können sowohl vor dem Unterricht geplant als auch spontan gegeben werden (vgl. Kapitel 7.2.3, S. 61). Erstere stehen im Zentrum dieser Arbeit, da beim wenig erforschten Thema einseitige Hebel zunächst eine Grundlage an statischen Impulsen, die möglichst viele Lernende bei der Veränderung von Vorstellungen unterstützt, bekannt sein sollte. Im Folgenden werden verschiedene Arten ‚verbaler Impulse‘ vorgestellt, von denen angenommen wird, dass diese eine Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln anregen können.

10.2 Arten verbaler Impulse

Verschiedene Arten verbaler Impulse, die eine Veränderung von Vorstellungen anregen können, werden im Folgenden unterschieden. Dazu zählen u. a.: aufmerksamkeitslenkende Hinweise geben (z. B. Einsiedler, 2011; Ewerhardy, 2010; Helmke & Weinert, 1997; Pea, 2004), Fragen stellen (z. B. Lipowsky, 2009), Begründungen einfordern (z. B. Chi, 1996; Hogan & Pressley, 1997; Leuchter, Saalbach & Hardy, 2014; Schworm & Renkl, 2007), Ideenaustausch anregen (z. B. Alexopoulou & Driver, 1996; Hogan & Pressley, 1997; Howe, Tolmie & Rodgers, 1990; Kleickmann, 2012; Qualter, 2014) und Zusammenfassungen geben (z. B. Helmke, 2009; Hogan & Pressley, 1997; Kleickmann, 2012; Marzano et al., 2000).

10.2.1 Aufmerksamkeitslenkende Hinweise geben

Unterricht ist für junge Lernende häufig eine komplexe Reizsituation (Pea, 2004). Lernende neigen daher dazu, auf oberflächliche und irrelevante Aspekte zu achten (Reiser, 2004) und vom Ziel abzuschweifen (Meschede, 2013). Daher sind aufmerksamkeitsregulierende Hinweise und Hervorhebungen, die die Aufmerksamkeit auf einen Aspekt fokussieren (Einsiedler, 2011; Ewerhardy, 2010; Helmke & Weinert, 1997; Pea, 2004) wichtig. Sie wirken primär inhaltlich strukturierend (Marzano et al., 2000; Roth et al., 2011). Eine kognitive Aktivierung wird nur sekundär erzielt (Meschede, 2013; Pea, 2004). Eine Reihe von Autoren nennt aufmerksamkeitslenkende Hinweise als Hilfsmittel zur Veränderung von Vorstellungen (z. B. Hogan & Pressley, 1997; Hsin & Wu, 2011; Kleickmann, 2012; Marzano et al., 2000; Möller, 2007b; Van de Pol et al., 2010). Aufmerksamkeitslenkende Hinweise werden in der Reihe möglicher Impulse zu Beginn vorgestellt, da viele andere verbale Impulse ebenfalls eine aufmerksamkeitslenkende Funktion besitzen, wie z. B. das Fragen stellen (vgl. Kapitel 10.2.2, S. 92).

Ein Beispiel für einen aufmerksamkeitslenkenden Hinweis in einer Interventionssequenz zum Lastarm im Kontext Schubkarre könnte wie folgt aussehen: „Schau genau hin, wo die Steine in den drei Schubkarren stehen.“ Mithilfe dieses Impulses wird die Aufmerksamkeit der Lernenden auf die Position der Steine in der Schubkarre gelenkt und irrelevante Aspekte, wie die Farbe der Schubkarre, werden nicht hervorgehoben. Dadurch kann eine Entlastung des Arbeitsgedächtnisses stattfinden (Mayer & Moreno, 2003).

10.2.2 Fragen stellen

Neben aufmerksamkeitslenkenden Hinweisen können auch Fragen die Aufmerksamkeit fokussieren. Fragen können von dem Lehrenden oder von den Lernenden gestellt werden. Im Folgenden werden Fragen als Impulse der Lehrperson betrachtet. Sie können inhaltlich strukturieren (Lipowsky, 2009), indem sie z. B. die Aufmerksamkeit auf wichtige Aspekte lenken (Lipowsky, 2009; Saalbach & Schalk, 2011) oder kognitiv aktivieren (Cromley & Azevedo, 2005; Gayle, Preiss & Allen, 2006; Van Zee & Minstrell, 1997), indem bspw. auf Vorwissen verwiesen wird (Lipowsky, 2009; Saalbach & Schalk, 2011). Neben diesen Funktionen, die Fragen für Lehrpersonen erfüllen, geben Fragen für den Lehrenden u. a. Informationen über Vorstellungen und Denkprozesse der Lernenden (Cromley & Azevedo, 2005; Gayle et al., 2006; Lipowsky, 2009). Das Stellen von Fragen hat somit für Lernende und Lehrpersonen einen Nutzen.

Verschiedene Arten von Fragen werden unterschieden (Cotton, 2001; Lipowsky, 2009): ‚Low-level-questions‘ zielen auf die reine Wiedergabe von Faktenwissen ab. Fragt eine Lehrperson ‚Welche Schubkarre hat längere Griffe?‘, wird das Faktenwissen zum Kraftarm erfragt. ‚High-level-questions‘ erfordern dagegen die Verknüpfung von Konzepten und Wissenselementen. Fragt die Lehrperson: ‚Warum fällt es dir leichter, diese Schubkarre anzuheben?‘, zielt die Frage auf die Vorstellung des Kindes zum Hebelgesetz ab. Letztere Art der Fragen ist kognitiv anregender, da der Lernende aktiv nach einer Begründung suchen muss, was wiederum zu einer tieferen Verarbeitung beiträgt (Gayle et al., 2006). Beide Arten von Fragen sollten bei der Veränderung von Vorstellungen eingesetzt werden (Martin, 2011), da eine tiefe Verarbeitung des Lerngegenstands durch die Kenntnis von Fakten erleichtert wird (vgl. Yoon & Onchwari, 2006).

Häufig werden Fragen als wichtiges Hilfsmittel zur Veränderung von Vorstellungen genannt (z. B. Helmke, 2009; Hogan & Pressley, 1997; Kleickmann, 2012; Marzano et al., 2000; Qualter, 2014; Van de Pol et al., 2010; Zimmerman, 2007). Fragen haben sich beim Lernen in allen Altersgruppen, in Eins-zu-eins-Situationen und in Gruppenkontexten bei vielen Themenbereichen als positiv für eine Veränderung von Vorstellungen erwiesen. Bspw. können Fragen 3-Jährigen helfen, Beziehungen in Wortlernaufgaben herzustellen (Saalbach & Schalk, 2011), oder Zehntklässler dabei unterstützen, eine Vorstellung zum chemischen Gleichgewicht aufzubauen (Chiu, Chou & Liu, 2002). Studien, die u. a. die Wirksamkeit von Fragen bei der Veränderung der Vorstellungen zu Hebeln belegen, werden in Kapitel 11 (S. 98) vorgestellt. Häufig werden Fragen auch dazu verwendet, Begründungen einzufordern.

10.2.3 Begründungen einfordern

Ein weiterer Impuls, der zur Veränderung von Vorstellungen anregen kann, ist das Einfordern von Begründungen (z. B. Chi, Slotta & de Leeuw, 1994; Chi, 1996; Hogan & Pressley, 1997; Hsin & Wu, 2011; Kleickmann, 2012; Leuchter et al., 2014; Marzano et al., 2000; Möller, 2007b; Schworm & Renkl, 2007). Dazu werden vielfach Fragen (vgl. Kapitel 10.2.2, S. 92), insbesondere Warum-Fragen (high-level questions, Lipowsky, 2009), eingesetzt (Wodzinski, 2006). Beim Einfordern von Begründungen werden Lernende dazu angeregt, sich zu überlegen und zu erklären, ‚wie‘ und ‚warum‘ ein Sachverhalt funktioniert. Das Einfordern von Begründungen kann auch als Anregung zu

Selbsterklärungen verstanden werden. Selbsterklärungen sind Erklärungen, die von einer Person an sich selbst und/oder andere gegeben werden (Rittle-Johnson, Saylor & Swygert, 2008) und ebenfalls das Wie und Warum betreffen (Siegler, 2002). Erklärt wird häufig, wie ein struktureller Aspekt (z. B. der Kraftarm durch die Länge der Griffe einer Schubkarre dargestellt) die Funktionsweise eines Systems (z. B. den Hebel im Kontext Schubkarre) beeinflusst (vgl. Siegler, 2002). Selbst generierte Erklärungen regen bspw. im Gegenteil zur bloßen Wiedergabe der Erklärung einer kompetenteren Person bei 5- bis 9-Jährigen mit größerer Wahrscheinlichkeit ein Verständnis für das ‚wie‘ und ‚warum‘ der Funktionsweise eines Hebels an (Pine & Messer, 2000).

Selbsterklärungen erfolgen häufig erst im Anschluss an Impulse, die eine Erklärung anregen (Atkinson, Renkl & Merrill, 2003; Pressley et al., 1992; Schworm & Renkl, 2007). Jedoch können naturwissenschaftliche und technische Phänomene Kinder auch spontan zur Bildung von Erklärungen anregen (Möller, 2004). Bei 3- bis 5-Jährigen konnte gezeigt werden, dass dies insbesondere der Fall ist, wenn Ereignisse nicht zum Vorwissen konsistent sind und Kinder somit einen kognitiven Konflikt erleben (Legare, Gelman & Wellman, 2010).

Impulse zur Selbsterklärung (‚Selbsterklärungsprompts‘, Schworm & Renkl, 2007) wirken inhaltlich strukturierend, indem sie z. B. die Aufmerksamkeit fokussieren (Roy & Chi, 2005) und kognitiv aktivieren, indem sie dazu anregen, sich intensiver mit dem Gegenstand zu beschäftigen (Hasselhorn & Gold, 2006; Roy & Chi, 2005). Zudem ermöglichen Selbsterklärungen den Lernenden, sich ihrer eigenen Vorstellungen bewusst zu werden (Leuchter & Saalbach, 2014) und das eigene Verständnis zu überwachen (Roy & Chi, 2005).

Erklärt sich eine Person einen Sachverhalt selber und lernt dadurch, wird auch von ‚Selbsterklärungseffekt‘ gesprochen (Chi, Bassok, Lewis, Reimann & Glaser, 1989). Er konnte bei verschiedenen Altersgruppen, von Kindergartenkindern bis hin zu Erwachsenen, gezeigt werden (z. B. Chi, de Leeuw, Chiu & LaVancher, 1994; Hausmann & VanLehn, 2007; Peters et al., 1999; Pine, Messer & St. John, 2002; Rittle-Johnson, 2006; Rittle-Johnson et al., 2008; Siegler, 1995). Zudem haben sich Selbsterklärungen als eine Art verbaler Impuls beim Inhaltsbereich Hebel (z. B. Peters et al., 1999; Pine & Messer, 2000) und bei vielen weiteren Themen (z. B. Calin-Jageman & Horn Ratner, 2005; Chi et al., 1994; Rittle-Johnson, 2006; Siegler, 2002) als lernförderlich erwiesen. Bspw.

sollten Kinder erklären, wie sie erfolgreich einen Hebel ausbalancieren (Peters et al., 1999).

Arbeiten Kinder in Gruppen und werden Begründungen von mehreren Kindern eingefordert, geht mit einer Selbsterklärung einher, dass die Kinder ihre Ideen austauschen. Auf den Austausch von Ideen wird im Folgenden eingegangen.

10.2.4 Ideenaustausch anregen

Mercer (2008) betont, dass im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht nur das Gespräch zwischen Lehrperson und Lernenden wichtig ist, sondern auch zwischen den Lernenden untereinander. Die Wichtigkeit des Austausches von Ideen zwischen Lernenden zur Veränderung von Vorstellungen ist insbesondere beim naturwissenschaftlichen Lernen breit anerkannt (z. B. Alexopoulou & Driver, 1996; Hogan & Pressley, 1997; Howe et al., 1990; Kleickmann, 2012; Qualter, 2014). Eine produktive Interaktion zwischen Lernenden zeichnet sich durch den Austausch von Ideen und die Klärung eigener Gedankengänge gegenüber anderen aus (Howe et al., 2007). Durch diesen Austausch von Ideen erhalten Lernende die Möglichkeit, mit kontroversen Sichtweisen vertraut zu werden (Howe & Tolmie, 2003). In einer Interventionssequenz zum Lastarm könnte ein Kind der Meinung sein, dass die Schubkarre mit dem Stein in der Mitte der Wanne am leichtesten anzuheben ist. Ein anderes Kind könnte die Meinung äußern, dass es ihm am leichtesten fällt, diejenige Schubkarre anzuheben, in der der Stein vorne beim Rad steht. Der Austausch solcher Vorstellungen kann dazu führen, dass die Kinder eigene Sichtweisen reflektieren und hinterfragen. Forschungsergebnisse zeigen, dass der Austausch von Ideen insbesondere dann eine Veränderung von Vorstellungen fördert, wenn die ursprünglichen Vorstellungen kontrovers sind (Howe et al., 1990; Mercer, 2008). Bspw. zeigen 8- bis 11-Jährige beim Thema *Schwimmen und Sinken* eine größere Leistungssteigerung, wenn Kinder mit unterschiedlichen Präkonzepten zusammenarbeiteten (Howe et al., 1990). Haben Lernende ihre Ideen ausgetauscht, kann die Lehrperson im Unterricht durch Zusammenfassungen einen weiteren verbalen Impuls einleiten.

10.2.5 Zusammenfassungen geben

Zusammenfassungen sind ebenfalls verbale Impulse, die zu einer Veränderung von Vorstellungen beitragen können (z. B. Helmke, 2009; Hogan & Pressley, 1997; Kleickmann, 2012; Marzano et al., 2000). Sie beinhalten wichtige und bereits genannte

Informationen in komprimierter Form. Im Folgenden werden Zusammenfassungen als Impulse seitens der Lehrperson betrachtet. Zusammenfassungen haben im Unterrichtsgespräch eine inhaltlich strukturierende Funktion (Marzano et al., 2000; Meschede et al., 2015; Roth et al., 2011), da sie Aufmerksamkeit fokussieren (Helmke & Weinert, 1997) und Informationen auf das Wichtigste reduzieren (Steiner, 2006). Dies führt zu einer Entlastung des Arbeitsgedächtnisses seitens der Lernenden (Mayer & Moreno, 2003). Indem ein Rückbezug zum Unterrichtsziel dargestellt wird (Klauer, 1984; Steiner, 2006), wirken Zusammenfassungen als Post-Organizer (Einsiedler, 2007). Solche Post-Organizer sind im Sachunterricht wichtig, um Zusammenhänge aufzuzeigen und bei der Organisation neu erworbener Vorstellungen zu helfen (Einsiedler, 2007). Ein Beispiel für einen solchen Post-Organizer ist, wenn die Lehrperson am Ende einer Interventionssequenz zum Kraftarm eines Hebels zusammenfasst: „Dein Ziel war, herauszufinden, bei welcher Position des Steins in der Schubkarre es dir am leichtesten fällt, die Schubkarre anzuheben. Du hast herausgefunden, dass die Schubkarre mit den langen Griffen am leichtesten anzuheben ist.“ Die positive Wirkung von Zusammenfassungen wurde bspw. für den Themenbereich Mathematik gezeigt (z. B. Reynolds & Muijs, 1999).

10.3 Fazit und Bedeutung verbaler Impulse für die vorliegende Arbeit

Die im vorstehenden Abschnitt vorgestellten verbalen Impulse lassen sich nicht immer klar trennen. Eine Aufforderung zur Selbsterklärung, die an eine Gruppe von Kindern gegeben wird, regt bspw. auch den Austausch von Ideen an und kann in Form einer Frage formuliert sein. Demzufolge überschneiden sich die Funktionen verschiedener verbaler Impulse. Insgesamt wirken alle vorgestellten Unterstützungsformen inhaltlich strukturierend, kognitiv aktivierend oder sowohl inhaltlich strukturierend als auch kognitiv aktivierend. Im (naturwissenschaftlichen) Unterricht werden meist verschiedene verbale Impulse eingesetzt, da deren Kombination mehr als die Summe ihrer Teile ist (Hogan & Pressley, 1997).

Die verbalen Impulse ‚Fragen stellen‘, ‚Begründungen einfordern‘ und ‚Ideenaustausch anregen‘ fordern die Rezipienten zum Sprechen auf. Verbale Impulse, die Kinder zum Sprechen auffordern, sind nach Vygotsky (1962) für die betrachtete Altersgruppe 6- bis 7-Jähriger von besonderer Bedeutung, da lautes Sprechen mit sich selbst für Handlungen

sowie Denk- und Problemlöseprozesse als notwendig angesehen wird (vgl. Kapitel 3, S. 19).

Verbale Impulse, die den Umgang mit Lernmaterial begleiten, sollten so gewählt werden, dass sie an die Vorstellungen der Lernenden anschließen (Leuchter et al., 2014; Leuchter & Saalbach, 2014), also eine Unterstützung in der ZPD darstellen. Beim Unterrichten von Gruppen bezieht sich diese Unterstützung zunächst auf die durchschnittlich zu erwartende ZPD der Kinder. Dazu können bereits vor dem Unterricht Impulse ausgewählt werden, die sich auf bekannte Probleme der Altersgruppe beziehen und im Unterricht statisch, d. h. wie geplant, eingesetzt werden. Statische Unterstützung bildet eine Grundlage, von der möglichst viele Kinder profitieren sollten und auf deren Basis weitere adaptive Unterstützung eingesetzt werden kann (vgl. Kapitel 7.2.3, S. 6161).

Bisher wurden verbale Impulse, Gegenstände und Bilder als Impulse zur Veränderung von Vorstellungen betrachtet. Inwieweit der kombinierte Einsatz dieser Impulse, die verschiedene Arten der Wissensrepräsentation (vgl. Bruner, 1964) ansprechen, zu einer Veränderung von Vorstellungen beitragen kann, wird im Folgenden diskutiert.

11 Vorstellungen verändern mithilfe verschiedener Kombinationen von Gegenständen, Bildern und verbalen Impulsen

Im Folgenden werden Forschungsergebnisse zur Veränderung von Vorstellungen mithilfe verschiedener Kombinationen, bestehend aus Gegenständen, Bildern und verbalen Impulsen, vorgestellt. Der Einsatz dieser Kombination an Unterstützung zeichnet sich dadurch aus, dass die drei Wissensrepräsentationsarten nach Bruner (1964) enaktiv, ikonisch und symbolisch angesprochen werden können. Da sich Studien zum Thema Hebel, die eine Kombination verschiedener Impulse untersuchen, mehrheitlich auf Eins-zu-eins-Situationen beziehen, werden zusätzlich Studien zu anderen naturwissenschaftlichen Themenbereichen, die im Gruppenkontext stattfanden, herangezogen. Begonnen wird mit der Ergebnisdarstellung zur Veränderung von Vorstellungen mithilfe verbaler Impulse in Kombination mit der Beobachtung von Gegenständen.

11.1 Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Beobachtung von Gegenständen

Im Themenbereich Hebel wurde bereits untersucht, inwieweit das Beobachten einer Balkenwaage und die gleichzeitige Gabe verbaler Impulse eine Veränderung von Vorstellungen anregt.

4- und 5-Jährige, die nur das Gewicht berücksichtigten (Regel I), sagten in Eins-zu-eins-Situationen vorher, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt. Im Anschluss beobachteten sie das Neigungsverhalten und erhielten zusätzlich zum visuellen Feedback auch ein kurzes verbales Feedback, wie z. B. „Du hast richtig vermutet, diese Seite neigt sich nach unten!“ oder „Nein, du hast falsch vermutet. Die andere Seite der Balkenwaage neigt sich nach unten!“ Im Post-Test gelang es 6 % der 4-Jährigen und 45 % der 5-Jährigen, bei Auswertung mithilfe der Entscheidungsbaummethode den Abstand (Regel II) zu berücksichtigen (Siegler & Chen, 1998). In Kapitel 8.3 (S. 75) wurde bereits dargestellt, dass allein die Vorhersage und das Beobachten, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt, bei 40 % der 5-Jährigen, die zunächst nur das Gewicht berücksichtigten (Regel I), dazu führte, dass sie in der Post-Befragung auch den Abstand (Regel II) in ihr Urteil

einbezogen (Siegler, 1976). Das kurze verbale Feedback, zusätzlich zur Beobachtung der Balkenwaage, scheint daher auf den ersten Blick wenig gewinnbringend. Siegler und Chen (1998) erfragten auch die Begründungen für das Antwortverhalten. 5-Jährige nannten dabei in der Post-Befragung signifikant häufiger als in der Prä-Befragung den Abstand. Ob allein mithilfe von Vorhersagen und Beobachten der Balkenwaage ohne verbales Feedback wie bei Siegler (1976) sich die Veränderung der Vorstellungen auch in Begründungen zeigt, bleibt offen.

Auch wurde untersucht, ob eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe der Beobachtung einer Balkenwaage in Kombination mit verbalen Impulsen auf komplexere Formen der Balkenwaage übertragen werden kann (Day & Córdón, 1993). 8-Jährige erhielten ein Training in Eins-zu-eins-Situationen an der Balkenwaage mit Konflikt-Aufgaben. Einige Kinder (Gruppe 1) wurden bei korrekter Vorhersage mit einer minimalen Frage (z. B. „Welche zwei Dinge sorgen dafür, dass sich diese Seite der Balkenwaage nach unten neigt?“) und bei falscher Vorhersage mit sehr ausführlichen Erklärungen unterstützt. Andere Kinder (Gruppe 2) erhielten je nachdem, wie sie die Aufgaben bearbeiteten, verschiedene Abstufungen an Fragen und Hinweisen, die zwischen beiden Extremen von Gruppe 1 lagen. Unabhängig von der Art der verbalen Impulse (Gruppe 1 und Gruppe 2) zeigten die 8-Jährigen eine Woche nach der Intervention an derselben Balkenwaage wie im Training und an einer komplexeren mit mehr Abständen (nahe Transferaufgabe) bessere Leistungen als vor dem Training. Kinder der Gruppe 2, die im Training verschiedene Abstufungen an verbalen Impulsen bekommen hatten, gelang es zudem, ihr Wissen auf eine Balkenwaage, in der die Gewichte in Pfannen unter den Hebelarmen lagen (entfernte Transferaufgabe), zu übertragen. Zudem übertrugen die 8-Jährigen ihre Vorstellungen auf Paper-Pencil-Aufgaben einer Balkenwaage mit verschiebbarem Drehpunkt (sehr entfernter Transfer-Test). Kinder der Gruppe 1, die entweder minimale oder ausführliche Erklärungen erhielten, gelang es hingegen nicht, ihr Wissen auf die entfernte und sehr entfernte Transferaufgabe zu übertragen (Day & Córdón, 1993). Nicht der Einsatz verbaler Impulse an sich in Kombination mit einem Gegenstand, sondern die Art verbaler Impulse scheint einen Einfluss auf die Übertragung der Vorstellungen auf komplexere Formen der Balkenwaage zu haben. Inwieweit Vorstellungen mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Bildern verändert werden können, wird im nachfolgenden Absatz geklärt.

11.2 Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Bildern

Eine Studie, bei der eine Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln mithilfe der Kombination darstellender Bilder und verbaler Impulse angeregt wurde, ist nicht bekannt. Möglicherweise bietet sich diese Kombination beim Thema Hebel weniger an, da an einem Bild einer Balkenwaage im Gegenteil zu dem Gegenstand Balkenwaage Vorstellungen nicht überprüft werden können (vgl. Kapitel 8.1, S. 72).

In Bezug auf andere Themenbereiche wurde sowohl in Eins-zu-eins-Situationen als auch in Gruppen gezeigt, dass eine kombinierte Darbietung von verbalen Inhalten (geschriebener Text) mit darstellenden Bildern lernförderlicher ist als die alleinige Darbietung von Text (z. B. Metaanalyse von Levin et al., 1987). Eine aktuellere Metaanalyse (Marzano et al., 2000) bestätigte diesen Befund und weitete ihn auf Visualisierungen verschiedener Art (z. B. Gegenstände) aus. Wurden in Eins-zu-eins-Situationen Kurzgeschichten mit darstellenden Bildern kombiniert, konnten 6-Jährige (Lesgold, Levin, Shimron & Guttmann, 1975) und 9-Jährige (Rubman & Waters, 2000) mehr Inhalte einer Geschichte wiedergeben, als wenn keine Bilder präsentiert wurden. Darstellende Bilder scheinen somit die Behaltensleistung zu erhöhen. Darüber hinaus hat sich bei der Veränderung von naturwissenschaftlichen Vorstellungen 8-Jähriger eine Kombination von Bildern und verbalen Advance Organizern als hilfreich erwiesen. Dies galt insbesondere für 8-Jährige mit geringem Vorwissen (Townsend & Clarihew, 1989). In Studien mit Erwachsenen konnte bestätigt werden, dass Bilder, wenn sie in Kombination mit verbalen Impulsen dargeboten werden, insbesondere bei Lernenden mit wenig Vorwissen hilfreich sind (z. B. Fletcher & Tobias, 2005; Schnotz & Bannert, 2003). Vosniadou et al. (2001) setzten u. a. verbale Impulse in Form von Fragen und Anregungen zur Gruppendiskussion sowie Bilder im naturwissenschaftlichen Unterricht ein. 11- bis 12-Jährige, die diese Arten der Unterstützung in einer Gruppenarbeit erhielten, bauten ein Verständnis vom Kraftkonzept auf, das eher dem wissenschaftlich korrekten Verständnis entsprach, als Kinder, die an konventionellem Unterricht teilnahmen. Eine Kombination von (darstellenden) Bildern und verbalen Inhalten scheint bei der Veränderung von Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Themen hilfreich.

11.3 Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Handlungen an Gegenständen

Im Gegensatz zu Forschungsergebnissen bzgl. der Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln mithilfe von verbalen Impulsen und Bildern (vgl. Kapitel 11.2, S. 100) sind mehr Forschungsergebnisse bekannt, die die Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln mithilfe von verbalen Impulsen und Handlungen am Gegenstand thematisieren. Sie werden im Folgenden danach geordnet vorgestellt, ob die Vorstellungen über Ausbalancieren (z. B. Peters et al., 1999; Philips & Tolmie, 2007; Pine, Messer & Godfrey, 1999), Beurteilung (z. B. Schwelle, Lohrmann & Hartinger, 2014b) oder Begründungen (z. B. Philips & Tolmie, 2007) erfasst wurden.

Werden die Vorstellungen zu Hebeln nach der Intervention über handelndes Ausbalancieren erfasst, zeigt sich Folgendes: Die Fähigkeit, einen Hebel, z. B. im Kontext Balkenwaage (Philips & Tolmie, 2007) oder Holzbalken (Peters et al., 1999; Pine et al., 1999), handelnd auszubalancieren, kann mithilfe einer Kombination von Handlung und verbalen Impulsen gefördert werden. Zu drei Zeitpunkten brachten 6- bis 8-Jährige eine Balkenwaage handelnd ins Gleichgewicht (Philips & Tolmie, 2007). Beim ersten Befragungszeitpunkt erhielten die Kinder in Eins-zu-eins-Situationen entweder verbale Unterstützung eines Elternteils oder nicht. Art und Ausmaß der verbalen Impulse wurden nicht vorgegeben. Eine Analyse der von den Eltern spontan gegebenen verbalen Impulse zeigte, dass u. a. aufmerksamkeitsfokussierende Hinweise, Fragen und Erklärungen gegeben wurden. Zu den zwei weiteren Befragungszeitpunkten brachten die 6- bis 8-Jährigen die Balkenwaage ohne verbale Impulse ins Gleichgewicht. Kinder, die zum ersten Befragungszeitpunkt verbal begleitet wurden, benötigten beim ersten und den zwei folgenden Zeitpunkten weniger Versuche (bei varianzanalytischer Auswertung), die Balkenwaage ins Gleichgewicht zu bringen, als Kinder, die keine verbale Begleitung erhielten. Die verbalen Impulse eines Erwachsenen wirkten sich demnach direkt positiv auf die Leistung der 6- bis 8-Jährigen beim Ausbalancieren aus. Beim dritten Befragungszeitpunkt zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen. Kinder, die ohne verbale Begleitung an der Balkenwaage handelten, benötigten beim dritten Befragungszeitpunkt ebenfalls weniger Versuche, sie ins Gleichgewicht zu bringen. Das handelnde Ausbalancieren ohne verbale Impulse führte demnach ebenfalls, wenn auch verzögert, zu besserer Leistung beim Ausbalancieren (Philips & Tolmie, 2007).

Ähnliche Befunde zeigten sich, wenn 4- bis 7-Jährige symmetrische und asymmetrische Holzbalken auf einer Leiste ausbalancieren. Sowohl Ausbalancieren ohne verbale Impulse als auch die Kombination von Handlung mit verschiedenen verbalen Impulsen führte zu einer Steigerung der Leistung beim Ausbalancieren (Murphy & Messer, 2000; Peters et al., 1999; Pine et al., 1999). Zudem gelang es 5- bis 7-Jährigen, ihre Vorstellungen beim Ausbalancieren von Alltagsgegenständen auf einen anderen Kontext – Holzbalken – zu übertragen (Murphy & Messer, 2000). Kinder, die zusätzlich zur Handlung verbale Hilfestellungen bekamen, zeigten in zwei der drei Studien bessere Leistung als Kinder, die ausschließlich die Holzbalken ausbalancierten (Peters et al., 1999; Pine et al., 1999). Murphy und Messer (2000) fanden jedoch zwischen Kindern beider Unterstützungsformen keinen signifikanten Unterschied in der Leistung beim Ausbalancieren. Dieses Ergebnis könnte auf leichte Variationen im verwendeten Holzbalken und in den eingesetzten verbalen Impulsen zurückgeführt werden. Zudem handelten Kinder in der Studie von Murphy und Messer (2000) während der Intervention mit Alltagsgegenständen und nicht mit Holzbalken.

Alle genannten Studien zum Thema Hebel beziehen sich auf die Veränderung von Vorstellungen in Eins-zu-eins-Situationen. Jedoch kann auch in Gruppen von Kindern eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe von verbalen Impulsen und Handlungen am Gegenstand erfolgen. Dies demonstrierte bspw. eine Studie aus dem Bereich Statik. Kleingruppen 4- bis 6-Jähriger bauten mit strukturiert dargebotenen Dosen einen Turm auf einem schiefen Untergrund. Entweder erhielten die Gruppen zusätzlich adaptive verbale Impulse, wie Fragen, aufmerksamkeitslenkende Hinweise und Anregung zu Selbsterklärungen, oder nicht. Mehr Gruppen, die verbale Impulse erhielten, gelang es während der Intervention, einen stabilen Turm zu bauen, im Gegensatz zu Gruppen, die keine verbalen Impulse erhielten. Gruppen mit verbalen Impulsen nannten zusätzlich auch wissenschaftlich korrektere Erklärungen für die Stabilität eines Turms, bspw. dass schwerere Gegenstände unten verbaut werden sollten (Hadzigeorgiou, 2002).

Studien, die die Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln mithilfe von verbalen Impulsen und Handlung am Gegenstand über handelndes Ausbalancieren erfassen, zeigen, dass eine Veränderung der Vorstellungen möglich ist. Eine Studie, die die Vorstellungen über handelndes Ausbalancieren und Einfordern von Begründungen, zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt, erfasst, zeigt Ähnliches: Philips und Tolmie (2007) befragten 6- bis 8-Jährige zusätzlich zum handelnden Ausbalancieren der Balkenwaage, wie sie zu ihrem

Ergebnis gekommen waren. Beim ersten Befragungszeitpunkt, bei dem eine von zwei Gruppen verbale Impulse eines Elternteils erhielt, nannten Kinder beider Gruppen Begründungen auf niedrigem Niveau. Als ursächlich für das Ausbalancieren der Balkenwaage sahen die 6- bis 8-Jährigen ausschließlich das Gewicht an. Kinder, die zum ersten Befragungszeitpunkt beim Ausbalancieren verbal unterstützt wurden, zogen beim zweiten und dritten Befragungszeitpunkt auch den Abstand in ihre Begründung mit ein. Gaben Vater oder Mutter häufiger verbale Impulse, die sich auf die multiplikative Verknüpfung von Gewicht und Abstand bezogen, nannten Kinder mehr Begründungen, die Ansätze einer multiplikativen Verknüpfung beinhalteten, als wenn das Elternteil keine Hinweise auf die multiplikative Verknüpfung gab. Die Erwähnung der multiplikativen Verknüpfung schien eine notwendige, jedoch keine hinreichende Bedingung zu sein. Nicht alle 6- bis 8-Jährigen, bei denen die Eltern Impulse bzgl. der multiplikativen Verknüpfung gaben, nannten die multiplikative Verknüpfung auch in ihren Begründungen. Kinder, die keine verbalen Impulse erhielten, verblieben mit ihren Begründungen beim zweiten und dritten Befragungszeitpunkt auf gleichem Niveau wie beim ersten (Philips & Tolmie, 2007).

Eine weitere Studie im Kontext Balkenwaage untersuchte, ob auch schon 5- bis 6-Jährige in Eins-zu-eins-Situationen die Dimensionen *Gewicht und Abstand* bei ihrer Vorhersage, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt, berücksichtigen (Halford et al., 2002). Diese Forschung stützt sich auf die Relational Complexity Theory (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39). Als Balkenwaage wurde eine vereinfachte Form mit weniger Abständen und Gewichten als in anderen Studien eingesetzt. Tiere markierten beide Seiten der Balkenwaage. Die Kinder nahmen an einer sehr umfangreichen verbalen Einführung in die Balkenwaage teil. In einem 25-minütigen Training, das in der Studie als das Vertraut-Machen mit der Balkenwaage („familiarization“, S. 425) verstanden wird, arbeiteten die 5- bis 6-Jährigen entweder zum Abstand oder zum Gewicht. Ein Erwachsener demonstrierte und erklärte kindgerecht, warum sich die Balkenwaage zu einer Seite neigt. Zusätzlich platzierten die Kinder die Gewichte auf der Balkenwaage. Die 5- bis 6-Jährigen handelten demnach an der Balkenwaage und erhielten verbale Impulse. Nach der Einführung gelang es den 5- bis 6-Jährigen, bei Nonkonflikt- und Konflikt-Aufgaben korrekt vorherzusagen, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt. Gewicht und Abstand wurden demnach berücksichtigt und beides multiplikativ miteinander verknüpft. Die korrekte Vorhersage gelangt unabhängig davon, ob zuvor zum Abstand oder zum Gewicht gearbeitet wurde. Die Auswertung fand varianzanalytisch statt (Halford et al., 2002).

Die einzige bekannte Studie, die das Lernen von Gruppen zu ein- und zweiseitigen Hebeln in verschiedenen Kontexten untersucht, wurde von Schwelle, Lohrmann und Hartinger (2014b) durchgeführt. Gruppen von 8- bis 9-Jährigen handelten an ähnlichen oder unähnlichen Hebeln in Alltagskontexten. Zusätzlich gab der Interventionsleiter den Kindern verbale Impulse. Der Vergleich unähnlicher Hebel in der Intervention führte, im Gegensatz zum Vergleich ähnlichen Hebeln, zu mehr korrekten Antworten in einem Paper-Pencil-Hebel-Test, der u. a. die Kontexte Nussknacker und Sackkarre beinhaltete.

Handlung an Gegenständen in Kombination mit verbalen Impulsen scheint beim Themenbereich Hebel in verschiedenen Kontexten zu einer Veränderung von Vorstellungen zu führen. Zum Thema Hebel untersuchten Schwelle, Lohrmann und Hartinger (2014b) die Veränderung von Vorstellungen mithilfe einer Kombination von verbalen Impulsen und Gegenständen in Gruppen von Kindern. Da auch in der vorliegenden Arbeit eine Veränderung von Vorstellungen zu Hebeln in Gruppen von Kindern untersucht wird, werden im Folgenden ergänzende Studien aus anderen Themenbereichen herangezogen.

11.4 Gegenüberstellung: Vorstellungen verändern mithilfe von verbalen Impulsen in Kombination mit Handlung am Gegenstand vs. in Kombination mit Bildern

Bisher wurde auf eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Gegenständen in Kombination mit verbalen Impulsen bzw. Gegenständen in Kombination mit Bildern eingegangen. Im Folgenden wird über eine Studie berichtet, die beide Arten der Visualisierung, Gegenstände und Bilder, jeweils in Kombination mit verbalen Impulsen gegenüberstellt.

Vorstellungen 8- bis 9-Jähriger zum Schwimm- und Sinkverhalten wurden über mehrere Unterrichtsstunden mithilfe verschiedener Unterstützungsmaßnahmen versucht zu verändern (Hardy & Stern, 2011). Den Kindern wurden verbale Impulse entweder in Kombination mit Handlungen am Gegenstand Balkenwaage, Betrachtung logischer Bilder, die das Verhältnis von Volumen und Masse in einem Diagramm darstellten, oder numerischer Repräsentation von Zahlen präsentiert. Als verbale Impulse erhielten die Kinder u. a. Anregungen zum Aufstellen von Vermutungen und Begründungen. Der Aufbau wissenschaftlich korrekter Vorstellungen zum Schwimm- und Sinkverhalten

gelang lediglich den Gruppen, die neben dem Erhalt von verbalen Impulsen an der Balkenwaage handelten oder logische Bilder sahen. Der Abbau falscher Vorstellungen gelang jedoch nur Kindern, die an der Balkenwaage handelten. 8- bis 9-Jährige, die mit Zahlen arbeiteten, zeigten im Nachtest schlechtere Leistungen als die anderen Gruppen. Die Überlegenheit der Handlung an der Balkenwaage gegenüber dem logischen Bild führen die Autoren darauf zurück, dass die Balkenwaage quantitative Vergleiche ermöglicht und das Gleichgewichtsprinzip für 8- bis 9-Jährige leicht zu interpretieren ist. 8- bis 9-Jährigen wurde mithilfe dieser Darstellungsweise der Zusammenhang zwischen Volumen und Masse, der für das Schwimm- und Sinkverhalten von Gegenständen bestimmend ist, eher verständlich. Die Interpretation der logischen Bilder schien den Kindern hingegen schwieriger zu fallen und die Rolle von Volumen und Masse für das Schwimm- und Sinkverhalten weniger gut zu verdeutlichen (Hardy & Stern, 2011; vgl. Kapitel 9.4, S. 86).

Bisher wurde die Veränderung von Vorstellungen mithilfe der Kombination von verbalen Impulsen und Beobachtung von Gegenständen (vgl. Kapitel 11.1, S. 98), verbalen Impulsen und Bildern (vgl. Kapitel 11.2, S. 100) sowie verbalen Impulsen und Handlung an Gegenständen (vgl. Kapitel 11.3, S. 101) betrachtet. Abschließend bleibt zu klären, inwiefern die Kombination aller genannten Unterstützungsformen (verbalen Impulsen, Gegenständen und Bildern) zu einer Veränderung von naturwissenschaftlichen Vorstellungen beitragen kann. Dies geschieht im folgenden Kapitel.

11.5 Vorstellungen verändern mithilfe einer Kombination von verbalen Impulsen, Gegenständen und Bildern

Bisher wurden Forschungsergebnisse zur Kombination von verbalen Impulsen und Bildern oder verbalen Impulsen und Gegenständen dargestellt. Im Folgenden wird das BiQua-Projekt (Hardy et al., 2006; Jonen et al., 2003; Möller et al., 2002) vorgestellt. In ihm wurden zur Veränderung von Vorstellungen zum Thema Schwimmen und Sinken verbale Impulse, Bilder und Gegenstände in Kombination eingesetzt. 9- bis 10-Jährige nahmen an acht Doppelstunden eines stärker oder weniger strukturierten, handlungsorientierten Unterrichts in Kleingruppen teil. Der stärker strukturierte Unterricht war dabei u. a. gekennzeichnet durch die Gliederung des Themas in Teilfragen und die Darbietung des Materials (u. a. Gegenstände und Bilder) zu den Teilfragen. In den Klassengesprächen setzte die Lehrperson vermehrt kognitiv strukturierende Impulse ein. Dazu zählten u. a. die

Fokussierung der Aufmerksamkeit (z. B. mithilfe von Fragen), das Hervorheben wichtiger Aussagen, das Einfordern von Begründungen, das Aufmerksam-Machen auf Widersprüche, das Einfordern von Vergleichen und das Zusammenfassen wichtiger Zusammenhänge. Zudem wurden Bilder, z. B. in Form von Tafelskizzen, verwendet. Der weniger strukturierte Unterricht kennzeichnete sich durch generelle Fragen mit offenem Materialangebot. Den Kindern standen zu jeder Zeit alle Materialien zur Verfügung und sie konnten die Reihenfolge frei wählen. Die Lehrperson initiierte weniger Klassengespräche und setzte weniger verbale Impulse. Tafelskizzen wurden nicht eingesetzt.

Kinder, die an strukturiertem Material mit Begleitung von verbalen Impulsen handelten, zeigten direkt im Anschluss an die Unterrichtsreihe den größten Lernzuwachs und unterschieden sich sowohl signifikant von der Gruppe ohne strukturierende und kognitiv aktivierende verbale Impulse als auch von der Kontrollgruppe. In einem Transfer-Test zeigte erstere Gruppe ebenfalls ein besseres Verständnis zum Thema Schwimmen und Sinken (Hardy et al., 2006; Jonen et al., 2003; Möller et al., 2002). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Kombination von mehr als zwei Unterstützungsformen, hier verbale Impulse, Bilder und Handlung an Gegenständen, zu einer Veränderung von Vorstellungen beitragen kann.

Im vorliegenden Kapitel wurden verschiedene Arten von Impulsen – Gegenstände, Bilder und verbale Impulse – vorgestellt und deren Potenzial zur Veränderung von Vorstellungen herausgearbeitet. Der Vorteil der Kombination verschiedener Arten von Impulsen, wie sie schon von Bruner (1964) empfohlen wurde, liegt unter anderem darin, dass jede Impulsart andere Funktionen erfüllt und andere Repräsentationsebenen (enaktiv, ikonisch, symbolisch) angesprochen werden. Ob diese Impulse, die sich bei verschiedenen Themenbereichen als hilfreich für eine Veränderung der Vorstellungen erwiesen haben, auch bei einseitigen Hebeln eine Veränderung von Vorstellungen unterstützen können, ist bisher nicht bekannt und wird in der vorliegenden Arbeit untersucht.

Ein Ansatz, der sich ebenfalls mit dem Lernen und der Veränderung von Vorstellungen basierend auf verschiedenen Formaten der Unterstützung beschäftigt, ist die Theorie des multimedialen Lernens. Da sie weitere Blickwinkel auf das Lernen mithilfe verschiedener Formate der Unterstützung aufzeigt und Empfehlungen gibt, wie verschiedene Formate miteinander kombiniert werden sollen, wird die Theorie des multimedialen Lernens im Folgenden vorgestellt.

12 Multimediales Lernen

Im vorstehenden Kapitel wurde beschrieben, wie Vorstellungen mithilfe von verbalen Impulsen, Bildern, Gegenständen und deren Kombination verändert werden können. Da eine Veränderung von Vorstellungen vermittelt über verschiedene Zeichensysteme bzw. Sinnesmodalitäten stattfindet, kann diese Art der Veränderung von Vorstellungen auch als multimediales Lernen bezeichnet werden (Roy & Chi, 2005). Multimediales Lernen liegt aus semiotischer Perspektive (Wissenschaft über die Zeichensysteme) vor, wenn Informationen in unterschiedlichen Formen bzw. Zeichensystemen repräsentiert werden. Dazu zählen u. a. geschriebene oder gesprochene Texte und realistische Bilder (Schnotz, 2001). Multimediales Lernen kann ebenfalls über den sensorischen Aspekt definiert werden. Dabei werden die verschiedenen Sinnesmodalitäten betrachtet, mit denen Informationen aufgenommen werden: die visuelle, auditorische und haptische Modalität. Ein Fokus liegt jedoch meist auf der Informationsaufnahme über Auge und Ohr (Schnotz, 2001). Unabhängig davon, ob die semiotische oder sensorische Perspektive eingenommen wird, müssen Lernende beim multimedialen Lernen aktiv Informationen aus verschiedenen Zeichensystemen bzw. Sinnesmodalitäten zusammenführen (Roy & Chi, 2005) und in eine kohärente Struktur bringen (Schnotz & Bannert, 2003).

Forschung im Rahmen des multimedialen Lernens untersucht - wie auch der Scaffolding-Ansatz - verbale und visuelle Unterstützungsmaßnahmen. Im Fokus steht beim multimedialen Lernen zu untersuchen, wie verschiedene Arten der verbalen und visuellen Unterstützung in standardisierten Lernumgebungen kombiniert werden sollten, damit das Lernen effektiv angeregt werden kann. Im Folgenden werden einige Prinzipien der Multimedia-Forschung vorgestellt. Im Anschluss wird die Bedeutung dieser Prinzipien für die vorliegende Arbeit diskutiert.

12.1 Prinzipien des multimedialen Lernens

Verschiedene Theorien, z. B. Cognitive Load Theory (Chandler & Sweller, 1991); Cognitive Theory of Multimedia Learning (Mayer, 2005; Mayer, 2009); Integrated Modell of Text and Picture Comprehension (Schnotz & Bannert, 2003; Schnotz, 2005), befassen sich mit der Verarbeitung von Informationen aus multimedialen Lernsituationen. Aus Annahmen dieser Theorien, die durch empirische Befunde gestützt werden, wurden

Prinzipien für die Gestaltung von Lernumgebungen abgeleitet. Eine Auswahl wird im Folgenden vorgestellt:

Multimedia-Prinzip: Die gemeinsame Präsentation von Text und Bild ist lernförderlicher als die Präsentation von Text allein (Fletcher & Tobias, 2005; Mayer, 2009). Dabei sollte das Bild in einer angemessenen Relation zum Lerngegenstand stehen (Schnotz & Bannert, 2003). Hat ein Bild bspw. dekorative Funktion (vgl. Kapitel 9.2, S. 83), ist es eher hinderlich für das Lernen (Levin et al., 1987).

Split-Attention Effekt (Cook, 2006; Mayer & Moreno, 1998; Sweller, 2002): Verbale und visuelle Informationen sollten derart gestaltet sein, dass beide Informationen leicht integriert werden können. Ist dies nicht der Fall, muss die Aufmerksamkeit auf beide Quellen aufgeteilt werden. Ressourcen, die für die Integration beider Informationen aufgebracht werden, reduzieren die Ressourcen für das Lernen (Ayres & Sweller, 2005).

Modalitäts Effekt (Cook, 2006; Leahy & Sweller, 2011; Low & Sweller, 2005): Die Präsentation von Bildern mit gesprochenem Text anstelle eines geschriebenen Texts erhöht den Lernerfolg (Low & Sweller, 2005). Die Präsentation gesprochenen Texts verhindert, dass die visuelle Aufmerksamkeit zwischen geschriebenem Text und Bild geteilt werden muss (Herlinger, 2011). Bspw. behalten 10-Jährige, die in der Gruppe einen Text hören und gleichzeitig ein darstellendes Bild sehen, mehr Fakten zum Thema Konstruktion und Energie als 10-Jährige, die den gleichen Text lesen und das Bild betrachten (Segers, Verhoeven & Hulstijn-Hendrikse, 2008).

Redundanz Effekt (Cook, 2006; Sweller, 2002): Redundante Informationen reduzieren das Lernergebnis. Der Lernende muss seine Aufmerksamkeit auf beide Quellen richten, was die kognitiven Ressourcen für das Lernen verringert. Ist ein Bild bereits für sich erklärend und werden die gleichen Informationen nochmals im Text präsentiert, sind sie redundant. (Cook, 2006; Sweller, 2002).

Kohärenz-Prinzip (Mayer, 2009): Irrelevante Inhalte, bestehend z. B. aus Text oder Bildern, sollten möglichst wenig eingesetzt werden. Dies ist insbesondere bei Lernenden mit wenig Vorwissen oder geringer Arbeitsgedächtniskapazität wichtig (Mayer, 2009). Bereits Levin et al. (1987) zeigten, dass die Ergänzung von Texten mit dekorativen Bildern nicht lernförderlich ist (vgl. Kapitel 9.2, S. 83).

Picture-Text Sequencing Effekt (Schnotz, 2005): Die Darbietungsreihenfolge von Bildern und Text kann einen Einfluss auf die Behaltensleistung haben. Werden zuerst Bilder und anschließend Text präsentiert, kann die Behaltensleistung erhöht werden (Schnotz, 2005).

Für eine ausführlichere Erläuterung und Diskussion der oben genannten Prinzipien wird auf Herlinger (2011) verwiesen.

12.2 Bedeutung der Multimedia-Prinzipien für das naturwissenschaftliche Lernen von Gruppen 6- bis 7-Jähriger

Auch wenn die oben genannten Prinzipien hilfreich für die Gestaltung multimedialer Lernumgebungen sind, können sie nicht uneingeschränkt auf eine Veränderung von Vorstellungen von Gruppen von Kindern, wie bspw. im Schulkontext, übertragen werden (Segers et al., 2008). Manche Prinzipien scheinen für den Unterricht mit 6- bis 7-Jährigen besonders relevant, andere weniger. Dies liegt zum einen an den Besonderheiten der Altersgruppe (vgl. Kapitel 3, S. 19) und zum anderen an den Gegebenheiten der Lernumgebung.

Die Lernprinzipien der Multimedia-Forschung wurden primär auf Basis von Untersuchungen an Erwachsenen aufgestellt (Segers et al., 2008). Kinder unterscheiden sich in ihren entwicklungspsychologischen Grundlagen jedoch in vielfacher Hinsicht von Erwachsenen (vgl. Kapitel 3, S. 19). Bspw. haben 6- bis 7-Jährige eine sehr viel geringere Aufmerksamkeitskapazität als Erwachsene und auch ihr Arbeitsgedächtnis entwickelt sich noch (Hasselhorn & Gold, 2006). Daher erscheint es für diese Altersgruppe in noch viel stärkerem Maße wichtig, dass die Informationen aus verschiedenen Quellen leicht zu integrieren sind (vgl. Split-Attention Effekt; Kapitel 12.1, S. 107). Kinder im Alter von 6 bis 7 Jahren können i. d. R. noch nicht flüssig lesen, weshalb der Einsatz geschriebener Texte in Kombination mit Bildern für sie weniger geeignet ist. Das Multimediaprinzip (Fletcher & Tobias, 2005; Mayer, 2009) bezieht sich daher bei dieser Altersgruppe auf eine lernförderliche Wirkung einer Kombination von gesprochenen Texten und Bildern. Da 6- bis 7-Jährige schneller als Erwachsene ablenkbar sind, ist es wichtig, möglichst wenig irrelevante Informationen zu präsentieren (vgl. Kohärenz-Prinzip; Kapitel 12.1, S. 107). Wird ein gesprochener Text von Bildern begleitet, sollte auf die Art des Bildes geachtet werden. Bei der Altersgruppe 6- bis 7-Jähriger werden darstellende Bilder empfohlen

(Martschinke, 2001; Peeck, 1994). Während bei Erwachsenen redundante Informationen (vgl. Redundanz Effekt; Kapitel 12.1, S. 107) negative Auswirkungen auf das Lernen haben können (Cook, 2006; Sweller, 2002), finden Levin et al. (1987), dass bei Kindern die Behaltensleistung durch Redundanz zwischen visuellen und verbalen Informationen gesteigert werden kann (Levin et al., 1987). Auch Rogoff (1990) betont, dass Redundanz wichtig ist. Redundanz bietet den Lernenden verschiedene Angebote (verbaler und visueller Art), von denen sie profitieren können (Puntambekar & Kolodner, 2005).

Forschungsergebnisse zum multimedialen Lernen lassen sich wegen der betrachteten Altersgruppe und wegen der geänderten Lernumgebung nur bedingt auf das Lernen in Gruppen, wie bspw. im Unterricht, übertragen. Werden im Rahmen von Multimedia-Forschung verbale Inhalte untersucht, handelt es sich hauptsächlich um geschriebene oder gesprochene informierende oder narrativ-fiktive Texte (z. B. Levin et al., 1987; Segers et al., 2008). Das primäre Ziel dieser Texte ist die Vermittlung von Informationen. Im konstruktivistisch orientierten naturwissenschaftlichen Unterricht werden verbale Inhalte weniger in Form von gesprochenen Lehr-Texten verwendet, sondern als verbale Impulse z. B. in Form von Fragen (vgl. Kapitel 10.2.2, S. 92). Verbale Impulse sollen zum Entdecken eines Lerngegenstands anregen. Dabei erfüllen sie weniger die Funktion der Informationsvermittlung, sondern wirken strukturierend und regen die kognitive Aktivität an (vgl. Kapitel 10, S. 90). Daher können bspw. das Stellen von Fragen und Einfordern von Begründungen als verbale Unterstützungsmaßnahmen nicht mit verbalen Lehr-Texten gleichgesetzt werden, wie sie im Rahmen der Multimedia-Forschung Verwendung finden. In Studien zum multimedialen Lernen werden häufig auch Computer eingesetzt, um bspw. Interventionen im Laborkontext in einer vorgegebenen Zeit durchzuführen (Segers et al., 2008). Im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht scheint der Einsatz von Computern hingegen weniger verbreitet. Zudem findet das Lernen zumeist nicht in Eins-zu-eins-Situationen, sondern in Gruppen statt.

Die genannten Aspekte verdeutlichen, dass die Befunde der klassischen Multimedia-Forschung nicht direkt auf das naturwissenschaftliche Lernen 6- bis 7-Jähriger in Gruppen übertragen werden können. Multimedia-Forschung gibt jedoch Hinweise zur Art und Weise der Kombination von verbalen Impulsen und Bildern, die bei der Veränderung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger im Gruppenkontext beachtet werden sollten.

13 Der Einfluss kognitiver und verbaler Fähigkeiten auf Vorstellungen zu Hebeln und deren Veränderung

Inwiefern 6- bis 7-Jährige bereits Vorstellungen zu Hebeln besitzen und ob eine Veränderung von Vorstellungen durch verschiedene Impulse möglich ist, hängt u. a. mit den lern- und entwicklungspsychologischen Besonderheiten der Altersgruppe (vgl. Kapitel 3, S. 19) zusammen. Obwohl bei einer Altersgruppe von den gleichen entwicklungs- und lernpsychologischen Besonderheiten ausgegangen wird, zeigen sich interindividuelle Unterschiede z. B. in den kognitiven und verbalen Fähigkeiten einzelner Kinder. Ob diese interindividuellen Unterschiede einen Einfluss auf die Vorstellungen und Veränderungen von Vorstellungen zu Hebeln haben können, wird im Folgenden zunächst für die kognitiven und im Anschluss für die verbalen Fähigkeiten diskutiert.

Möglicher Einfluss kognitiver Fähigkeiten

6- bis 7-Jährige mit einer höheren Kapazität des *Arbeitsgedächtnisses*, können mehr Informationen auf einmal berücksichtigen (Hasselhorn & Grube, 2008). Eine gute *Verarbeitungsgeschwindigkeit* hilft, neue Informationen schnell aufzunehmen und in bereits vorhanden zu integrieren (Hasselhorn & Grube, 2008). Sind diese beiden kognitiven Fähigkeiten bei einem 6- bis 7-jährigen Kind gut ausgeprägt, könnte dies im Alltag oder in einer Intervention, beides Situationen in denen viele Informationen schnell auf einmal präsentiert werden, erleichtern, korrekte Vorstellungen zum Hebel aufzubauen. Auch eine gute Fähigkeit sich *visuell zu orientieren* (Cattell, Weiss & Osterland, 1997) könnte bei bildbasierter Erfassung und Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Material und Bildern die gezeigten Vorstellungen zu Hebeln positiv beeinflussen. Zum einen könnte eine gute visuelle Orientierung den 6- bis 7-Jährigen helfen, sich in bildbasierten Items zurechtzufinden. Zum anderen könnte eine gute visuelle Orientierung den 6- bis 7-Jährigen erleichtern, beim Material zu erkennen an welcher Position eine Schubkarre mit einer Last beladen ist. Eine gute *Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen* (Cattell, Weiss & Osterland, 1997) könnte bei der Erfassung und Veränderung der Vorstellungen zu Hebeln den 6- bis 7-Jährigen erleichtern, die Regel zu erkennen, dass in verschiedenen Kontexten einseitiger Hebel, z. B. Schubkarre und Schraubenschlüssel, bei Verwendung eines langen Kraftarms weniger Kraft benötigt wird.

Möglicher Einfluss verbaler Fähigkeiten

In Bezug auf die verbalen Fähigkeiten wird bei Kindern bis in die ersten Grundschuljahre angenommen, dass sie für Denk- und Problemlöseprozesse notwendig sind (Vygotsky, 1962). Kinder, die bessere verbale Fähigkeiten haben, könnten daher eher korrekte Vorstellungen zu einem Themenbereich haben bzw. es fällt ihnen leichter Vorstellungen zu verändern. Zum einen erleichtern ihnen gute verbale Fähigkeiten Denk- und Problemlöseprozesse, zum anderen können sie Informationen, die verbal gegeben werden, leicht verarbeiten. Letzteres ist insbesondere im Unterricht hilfreich, da Informationen häufig verbal vermittelt werden.

Obige Ausführungen legen nahe, dass die kognitiven und verbalen Fähigkeiten 6- bis 7-Jähriger in einem Zusammenhang zu Vorstellungen und der Veränderung von Vorstellungen zum Hebel stehen können. Ein Zusammenhang zwischen den kognitiven und verbalen Fähigkeiten von Kindern und den Vorstellungen sowie der Veränderung von Vorstellungen zu naturwissenschaftlichen Inhaltsbereichen wurde vielfach gezeigt (z. B. Day & Cordón, 1993; Hasselhorn & Grube, 2008; Neubauer & Stern, 2008; Schöps & Hahn, 2014). Auch für zweiseitige Hebel wurde dieser Zusammenhang gezeigt (z. B. Day & Cordón, 1993; Schöps & Hahn, 2014), jedoch noch nicht für einseitige Hebel. Daher werden im Folgenden die Zusammenhänge von kognitiven und verbalen Fähigkeiten und Vorstellungen sowie Veränderung von Vorstellungen bei zweiseitigen Hebeln berichtet.

Forschungsergebnisse zum Einfluss kognitiver Fähigkeiten zum Thema Hebel

Im Kontext Balkenwaage wurde eine mittlere Korrelation ($r = .30 - .41$) zwischen der kognitiven Variable *Verarbeitungstempo* und der Anzahl korrekt gelöster Items *nach* einer Intervention (Post- und Transfer-Test) gezeigt. Dieser Zusammenhang bestand unabhängig davon, welche Art der verbalen Unterstützung (minimale oder ausführliche) den 8-Jährigen in der Intervention gegeben wurde (Day & Cordón, 1993). Je schneller 8-Jährige Informationen kognitiv verarbeiten können, desto besser scheinen sie nach einer Intervention Hebelaufgaben lösen zu können.

Forschungsergebnisse zum Einfluss verbaler Fähigkeiten zum Thema Hebel

Verbale Fähigkeiten können sowohl mit den Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln, als auch mit der Veränderung von Vorstellungen *nach* einer Intervention, zusammenhängen. 4- bis 5-Jährige mit schlechteren verbalen Voraussetzungen zeigten in einem

naturwissenschaftlichen Kompetenztest, der aus Alltagskontexten bestand, geringere Kompetenzen als Kinder mit besseren sprachlichen Voraussetzungen (Schöps & Hahn, 2014). Ein Item dieses Tests bezog sich auf einen zweiseitigen Hebel im Kontext Wippe. Die Kinder bestimmten bei diesem bildbasierten Item die Position von vier unterschiedlich schweren Kindern auf einer Wippe. Ziel war es, die Wippe ins Gleichgewicht zu bringen. Die verbalen Fähigkeiten der Kinder wurden mithilfe eines Erzieherfragebogens erfasst.

Verbale Fähigkeiten hängen auch mit der Fähigkeit, Vorstellungen verändern zu können, zusammen. Für den Themenbereich Hebel im Kontext Balkenwaage zeigten sich nach einer Intervention mittlere Korrelationen ($r = .42 - .43$) zwischen den verbalen Fähigkeiten (WISC-R Vokabeln) 8-Jähriger und der Einschätzung, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt (Day & Córdón, 1993). Dieser Zusammenhang zeigte sich nur, wenn die Kinder in dem vorausgehenden Training bei korrekter Vorhersage mit minimalen und bei falscher Vorhersage mit ausführlichen Erklärungen unterstützt wurden. Kein Zusammenhang wurde gefunden, wenn die 8-Jährigen stärker an ihre Fehler adaptierte Rückmeldung erhielten.

Werden die Vorstellungen und die Veränderung von Vorstellungen zu einem naturwissenschaftlichen Inhaltsbereich, wie z. B. einseitige Hebel, erfasst, sollten, auf Grundlage der obigen Befunde, kognitive und verbale Fähigkeiten der Kinder ebenfalls erhoben werden. Auf diese Weise kann untersucht werden, ob die Vorstellungen und die Veränderungen der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln, wie bei zweiseitigen Hebeln, mit kognitiven oder verbalen Fähigkeiten zusammenhängen.

14 Forschungslücke, -vorhaben und Hypothesen

Im vorliegenden Kapitel erfolgt eine kurze Zusammenfassung der Inhalte vorstehender Kapitel. Offene Fragen bisheriger Forschung werden genannt und das Forschungsvorhaben erläutert. Das Kapitel schließt mit der Vorstellung der zu prüfenden Hypothesen.

14.1 Forschungslücke

Im Alltag begegnen Kinder Hebeln in verschiedenen Kontexten (z. B. Schubkarre, Schraubenschlüssel, Wippe und Schere). Trotz den lern- und entwicklungspsychologischen Besonderheiten, denen 6- bis 7-Jährige (vgl. Kapitel 3, S. 19) unterliegen, besitzen sie Vorstellungen über Gleichgewicht und den kraftsparenden Einsatz von Hebeln (vgl. Kapitel 5, S. 29). Bisherige entwicklungs- und lernpsychologische Forschung thematisiert primär das Gleichgewicht zweiseitiger Hebel im Kontext Balkenwaage (z. B. Siegler, 1976; 1978). Selten werden andere Erscheinungsformen des zweiseitigen Hebels (z. B. Wippe: Schwelle et al., 2013; Surber & Gzesh, 1984) oder sogar der kraftsparende Einsatz einseitiger Hebel (z. B. Schraubenschlüssel: Duisman, 2009) betrachtet. Im Kontext Balkenwaage zeigen 6- bis 7-Jährige eine korrekte Vorstellung zur Rolle des Gewichts, nicht jedoch zum Abstand beim Neigungsverhalten einer Balkenwaage (z. B. Siegler, 1976). Ab ca. 8 Jahren zeigen Kinder im Kontext Balkenwaage auch eine korrekte Vorstellung zum Abstand (z. B. Siegler, 1976). Bei Kindern unter 8 Jahren konnte eine Veränderung der Vorstellung zum Abstand im Kontext Balkenwaage mithilfe verschiedener Impulse, wie Beobachtung oder Handlungen am Gegenstand, verbalen Impulsen oder deren Kombinationen, gefördert werden (vgl. Kapitel 8, S. 72; Kapitel 10, S. 90). Das deutet darauf hin, dass bei 6- bis 7-Jährigen diese Art der Unterstützung in der ZPD (vgl. Kapitel 7.1, S. 59) liegen könnte. In anderen Themenbereichen haben sich auch darstellende Bilder als unterstützend für eine Veränderung von Vorstellungen und Steigerung der Behaltensleistung bei 6- bis 7-Jährigen erwiesen (vgl. Kapitel 9, S. 82). Nur wenig ist bekannt zu den Wissenselementen und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zum kraftsparenden Einsatz von einseitigen Hebeln. Ebenfalls ist wenig darüber bekannt, ob diese Vorstellungen verändert werden können. Aus fachdidaktischer Perspektive ist die Betrachtung von einseitigen Hebeln, z. B. der Schubkarre, besonders interessant, da dieser Kontext eine Differenzierung der Abstandsdimension in Lastarm und Kraftarm ermöglicht

(vgl. Kapitel 2, S. 16). Zudem werden in der entwicklungs- und lernpsychologischen Forschung im Kontext Balkenwaage Vorstellungen zu Hebeln hauptsächlich in laborähnlichen Eins-zu-eins-Situationen und nicht in Gruppen von Kindern erfasst.

Ziel der Dissertation ist es, einen ersten Schritt zur Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel zu machen. Da an naturwissenschaftlichem Unterricht jedoch fast immer Gruppen von Kindern teilnehmen, ist eine Übertragung der Befunde aus Eins-zu-eins-Situationen auf die Erfassung und Veränderung von Vorstellungen in Gruppen schwierig. Mangels anderer Studien muss jedoch auf solche Befunde zurückgegriffen werden, um einen Anhaltspunkt dessen zu haben, welche Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jährige zu Hebeln besitzen könnten.

Basierend auf bisheriger Forschung können folgende Fragen noch nicht beantwortet werden: Welche Wissens Elemente und Vorstellungen zeigen 6- bis 7-Jährige zu einseitigen Hebeln? Können diese Vorstellungen verändert werden und mithilfe welcher Impulse ist dies möglich?

14.2 Forschungsvorhaben

Das Forschungsvorhaben der vorliegenden Dissertation ist angesiedelt zwischen entwicklungspsychologischer Laborforschung auf der einen Seite und naturwissenschaftlichem Unterricht auf der anderen Seite. In Bezug auf die entwicklungspsychologische Laborforschung, die die Wissens Elemente und Vorstellungen sowie die Veränderung von Vorstellungen zum zweiseitigen Hebel Balkenwaage untersucht, ist einiges bekannt. Die Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln sind jedoch weniger erforscht. Zum einen ist nicht bekannt, welche Wissens Elemente und Vorstellungen vorliegen und zum anderen, ob und mithilfe welcher Impulse sie verändert werden können. Die Erkenntnisse der vorliegenden Dissertation sollen einen ersten Schritt in die Richtung der Entwicklung eines Unterrichts für 6- bis 7-Jährige zum Thema einseitiger Hebel machen. Daher werden Bedingungen, die für eine Entwicklung von Unterricht wichtig sind, in der vorliegenden Studie berücksichtigt. Neben der Relevanz der vorliegenden Studie für die Entwicklung von Unterricht kann aber auch zukünftige (entwicklungs- und lernpsychologische) Laborforschung von dieser angewandten Forschung profitieren (Klahr & Li, 2005).

Als Untersuchungsgegenstand werden verschiedene Kontexte einseitiger Hebel gewählt, da sie bisher wenig erforscht sind, eine Differenzierung der Abstandsdimension in Lastarm und Kraftarm ermöglichen und Kindern deren kraftsparender Einsatz aus dem Alltag vertraut ist. Zudem lassen sich aus der entwicklungs- und lernpsychologischer Forschung zu zweiseitigen Hebeln erste Hinweise auf vorhandene Wissens Elemente und Vorstellungen sowie Veränderungen der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln ableiten. Drei Leitfragestellungen ergeben sich für die vorliegende Untersuchung:

- Welche Wissens Elemente und Vorstellungen zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel zeigen 6- bis 7-Jährige?
- Ist eine Veränderung der Vorstellungen mithilfe verschiedener Impulse (Gegenstände, Bilder, verbale Impulse) sowie deren Kombinationen bei 6- bis 7-Jährigen möglich?
- Gelingt 6- bis 7-Jährigen die Übertragung der Vorstellungen auf einen anderen Kontext?

Um die Ergebnisse der vorliegenden Studie stärker als bisherige entwicklungs- und lernpsychologische Befunde im Kontext Balkenwaage für die Entwicklung von Unterricht nutzbar zu machen, werden die folgenden Aspekte berücksichtigt.

Befragung von Gruppen

An naturwissenschaftlichem Unterricht nehmen vorwiegend ganze Schulklassen, d. h. viele Kinder gleichzeitig, teil. Um die Ergebnisse der vorliegenden Studie für die Entwicklung von Unterricht zu einseitigen Hebeln in der Schuleingangsphase nutzbar zu machen, werden zunächst die Vorstellungen, wie im Unterricht auch, in der ökologisch validen Gruppensituation erfasst. In einem zweiten Schritt sollen diese Vorstellungen ebenfalls in Gruppen und nicht in Eins-zu-ein-Situationen verändert werden.

Erfassung der Vorstellungen in einem Alltagskontext

Anfängliche naturwissenschaftliche Wissens Elemente und Vorstellungen sind fragmentiert und stehen nicht oder nur kaum miteinander in Beziehung (vgl. Kapitel 4.1, S. 22). Das bedeutet, sie sind an den spezifischen Kontext, in dem sie erworben wurden, gebunden (diSessa, 1983). Damit ein Einblick in die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln gewonnen wird, bietet es sich daher an, die Vorstellungen zu den Wissens Elementen Last, Lastarm und Kraftarm in verschiedenen Kontexten zu erfassen. Diese Kontexte sollten Kindern aus dem Alltag bekannt sein und ihnen damit die

Möglichkeit geben, an Vorerfahrungen anknüpfen zu können. Zudem sollte eine Veränderung der Vorstellungen in diesen Alltagskontexten angeregt werden, damit die Kinder nach der Intervention die Möglichkeit haben, das Gelernte in ihrem Alltag umsetzen zu können.

Vorstellungen mithilfe verschiedener Impulse verändern

Forschungsergebnisse bzgl. der Wirkung verschiedener Impulse bei der Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln sind kaum bekannt. Daher werden in der vorliegenden Studie Impulse bei einseitigen Hebeln erprobt, die sich bei der Veränderung von Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln und anderen Themenbereichen als hilfreich erwiesen haben. Dazu zählen Gegenstände (vgl. Kapitel 8, S. 72), darstellende Bilder (vgl. Kapitel 9, S. 82), verbale Impulse (vgl. Kapitel 10, S. 90) sowie deren Kombinationen (vgl. Kapitel 11, S. 98).

Ziel ist es, grundlegende Impulse zu finden, die eine Veränderung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln ermöglichen. Um das Lernen möglichst aller Kinder anzuregen, sollten verschiedene Formate genutzt werden (Puntambekar & Kolodner, 2005; Rogoff, 1990). Bspw. könnten die Kinder an Gegenständen handeln, zusätzlich verbale Impulse erhalten und den Gegenstand in einem darstellenden Bild abgebildet sehen. Die Darbietung verschiedener Formate bietet jedem einzelnen Kind die Möglichkeit, eine für sich geeignete Informationsquelle zu wählen (Puntambekar & Kolodner, 2005). Bei dem Einsatz verschiedener Formate kann eine Redundanz durchaus gewollt sein (Rogoff, 1990). Wird eine Form der Unterstützung von einem Kind nicht verstanden, kann es die gleichen Inhalte über eine andere Form erhalten. Somit steigt die Wahrscheinlichkeit, dass für alle Kinder eine oder mehrere passende Unterstützungsformen vorhanden sind. Befunde aus der Multimedia-Forschung deuten jedoch auch darauf hin, dass sich Redundanz auch negativ auswirken kann (vgl. Kapitel 12.1, S. 107). Da 6- bis 7-Jährige jedoch lern- und entwicklungspsychologischen Besonderheiten unterliegen, wie z. B. einer begrenzten Aufmerksamkeitskapazität (vgl. Kapitel 3, S. 19), kann angenommen werden, dass Kinder dieser Altersgruppe trotzdem von Redundanz profitieren. Neben der Redundanz bieten verschiedene Impulse auch den Vorteil, dass sie inhaltlich strukturierende Funktionen, kognitiv aktivierende Funktionen oder beides übernehmen können und dadurch eine Veränderung von Vorstellungen anregen (vgl. Kapitel 7, S. 58). Zudem sprechen Handlung, Bilder und verbale Impulse verschiedene Arten der Wissensrepräsentation nach Bruner (1964) an (vgl. Kapitel 4.2, S. 26). Der Einsatz von

Handlung (enaktive Repräsentation) in Kombination mit Bildern (ikonische Repräsentation) und Sprache (symbolische Repräsentation) wird für den Anfangsunterricht im Fach Mathematik empfohlen (Bruner, 1972; Hasemann & Gasteiger, 2014). In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welche Kombinationen an Impulsen die Veränderung von Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen zum naturwissenschaftlichen Thema einseitiger Hebel ermöglichen.

Art des Einsatzes der Impulse

Der Einsatz der oben beschriebenen Impulse findet statisch statt. Das bedeutet, die Unterstützung in der Intervention wird im Vorhinein festgelegt und nicht während der Intervention adaptiv angepasst. Dieses Vorgehen wird gewählt, da zum Thema einseitiger Hebel noch keine Forschungsergebnisse vorliegen, ob und inwieweit die oben genannten Impulse eine Veränderung der Vorstellungen bei Gruppen 6- bis 7-Jähriger ermöglichen. Die Kenntnis darüber, welche Impulse bei statischem Einsatz eine Veränderung von Vorstellungen ermöglichen, kann in einer späteren Studie genutzt werden, um zusätzlich adaptive Impulse angepasst an die ZPD einzelner Kinder zu untersuchen.

Übertragung der Vorstellungen auf einen anderen Kontext

Beim naturwissenschaftlichen Lernen ist eine Übertragung von Vorstellungen auf andere Kontexte wichtig (Möller, 2001), denn im Unterricht werden nur exemplarisch einige Kontexte eines Themas, z. B. des Hebels, behandelt. Lernende müssen eigenständig das Gelernte auf andere Kontexte in ihrem Alltag anwenden. Ob 6- bis 7-Jährige die Vorstellungen, die sie zu Hebeln in einem Kontext erworben haben, auch auf Hebel in anderen Kontexten übertragen können, wurde bisher selten untersucht (z. B. Day & Cordón, 1993). Daher nimmt sich die vorliegende Studie dieser Fragestellung an und prüft, ob 6- bis 7-Jährige Vorstellungen, die sie in einem Kontext eines einseitigen Hebels erworben haben, auf einen anderen Kontext übertragen können.

Nachdem im vorliegenden Kapitel die Forschungslücke und das Forschungsvorhaben dargestellt wurden, werden im folgenden Kapitel die Hypothesen hergeleitet.

14.3 Hypothesen

Die vorliegende Arbeit untersucht neun Hypothesen und zwei Nebenfragestellungen. Vier Hypothesen beziehen sich auf die Wissensselemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln *vor* der Intervention. Fünf Hypothesen beziehen sich auf die Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln *nach* der Intervention. Zwei Nebenfragestellungen untersuchen den Einfluss kognitiver und verbaler Fähigkeiten auf die Vorstellungen *vor* und *nach* der Intervention.

Vorstellungen zu einseitigen Hebeln

Vier Hypothesen, die die Wissensselemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln *vor* der Intervention betreffen, werden geprüft.

Hypothese 1

Um den kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel beurteilen zu können, sind Vorstellungen über die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm relevant (vgl. Kapitel 2, S. 16). Bisherige Forschung zu Hebeln (vgl. Kapitel 6, S. 42) zeigt, dass sich die Vorstellungen zu den Wissensselementen Gewicht und Abstand im Kontext zweiseitiger Hebel unterscheiden (z. B. Siegler, 1976). Schwelle et al. (2014a) wiesen bei ein- und zweiseitigen Hebeln nach, dass sich faktorenanalytisch kein eindimensionales Modell für die Prinzipien Gleichgewicht, Kraftverstärkung und das Begriffswissen abbilden ließ (vgl. Kapitel 6, S. 42). Ob sich auch beim einseitigen Hebel die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm empirisch trennen lassen und damit als Wissensselemente abbildbar sind, wird mit Hypothese 1 geprüft.

H1: Die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm lassen sich bei einseitigen Hebeln (in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel) empirisch trennen und damit als Wissensselemente unterscheiden.

Hypothese 2

Hypothese 2 bezieht sich auf die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu den Wissensselementen Last, Lastarm und Kraftarm (u. a. im Kontext Schubkarre) vor der Intervention. Geprüft wird, ob 6- bis 7-Jährige auch bei einem einseitigen Hebel, wie schon vielfach bei zweiseitigen Hebeln gezeigt (z. B. McFadden et al., 1987; Siegler, 1976; 1978), zur Dimension des Gewichts (Last) häufiger als zur Dimension des Abstands (Lastarm,

Kraftarm) korrekt antworten. Bei zweiseitigen Hebeln wird angenommen, dass mehr korrekte Vorstellungen zum Gewicht als zum Abstand vorliegen, da im Alltag häufiger Erfahrungen zum Gewicht gesammelt werden (Halford et al., 2002). Da die Dimension des Abstands beim einseitigen Hebel in Lastarm und Kraftarm (vgl. Kapitel 2, S. 16) differenziert werden kann, lautet Hypothese 2:

H2: 6- bis 7-Jährige antworten bei Aufgaben zu einseitigen Hebeln (im Kontext Schubkarre) häufiger korrekt, dass durch die Verwendung einer kleinen Last (im Vergleich zu einer mittleren oder großen Last) weniger Kraft benötigt wird als durch

- a) einen kurzen Lastarm (im Vergleich zu einem mittleren oder langen Lastarm)
- b) einen langen Kraftarm (im Vergleich zu einem mittleren oder kurzen Kraftarm).

Hypothese 3

Mit Hypothese 3 wird angenommen, dass sich die Vorstellungen innerhalb der Dimension Abstand zu den Wissens-elementen Lastarm und Kraftarm unterscheiden. Bisherige Forschung konnte zeigen, dass Vorstellungen von Kindern durch ihre alltäglichen Erfahrungen geprägt sind und vom Kontext abhängen (diSessa, 1983; 1988). Der Kontext Schubkarre bietet im Alltag evtl. eher Erfahrungsmöglichkeiten zum Lastarm über die Variation der Position der Ladung in der Wanne als zum Kraftarm über die Verlängerung der Griffe bzw. das Anfassen der Griffe an unterschiedlichen Positionen.

H3: 6- bis 7-Jährige lösen beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre mehr Items zum Lastarm als zum Kraftarm korrekt.

Hypothese 4

Schubkarren mit längeren oder kürzeren Griffen werden selten eingesetzt. Schraubenschlüssel mit unterschiedlich langen Griffen sollten Kindern jedoch aus dem Alltag bekannt sein. Halford et al. (2002) nehmen an, dass Alltagserfahrungen die Vorstellungen zu Hebeln beeinflussen. Aufgrund häufiger Erfahrungsmöglichkeiten im Alltag zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel im Gegensatz zum Kontext Schubkarre wird in der folgenden Hypothese angenommen, dass im Kontext Schraubenschlüssel mehr Items zum Kraftarm korrekt gelöst werden als im Kontext Schubkarre.

H4: 6- bis 7-Jährige lösen bei einem einseitigen Hebel im Kontext Schraubenschlüssel mehr Items zum Kraftarm korrekt als im Kontext Schubkarre.

Eine Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln anregen

Hypothesen 5 bis 7 beziehen sich auf Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre, der in der Intervention thematisiert wurde. Hypothese 8 und 9 betreffen die Übertragung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm auf den unbekanntem Kontext Hebelmodell, der nicht in der Intervention behandelt wird.

Hypothese 5

Zur Veränderung von Vorstellungen bzgl. Lastarm und Kraftarm eines einseitigen Hebels ist bisher wenig bekannt. Die Berücksichtigung des Abstands und sogar multiplikative Verknüpfung von Gewicht und Abstand im Kontext eines einseitigen Hebels mit nur einem Hebelarm scheint Kindern ab 5 Jahren durch mehrmalige Beobachtung des Hebels möglich (Andrews, 2009). Bei zweiseitigen Hebeln im Kontext Balkenwaage konnte ebenfalls gezeigt werden, dass durch Beobachtung Vorstellungen zur Abstandsdimension verändert werden können. Kinder, die den Abstand zunächst als nicht relevant für das Neigungsverhalten der Balkenwaage einschätzten, berücksichtigten ihn nach der Beobachtung. Auch wurde z. T. erkannt, dass ein größerer Abstand der Gewichte vom Drehpunkt auf der einen Seite der Balkenwaage durch eine größere Anzahl an Gewichten auf der anderen Seite kompensiert werden kann (Halford et al., 2002; Krist et al., 2004; Siegler, 1976; 1978). Auch Handlung an zweiseitigen Hebeln kann eine Veränderung von Vorstellungen zur Abstandsdimension anregen (Amsel et al., 1996; Philips & Tolmie, 2007; Peters et al., 1999). Daher wird angenommen, dass auch bei einseitigen Hebeln im Kontext Schubkarre eine Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm in Richtung wissenschaftlich korrekte Vorstellung mithilfe einer handlungsorientierten Intervention (ohne weitere Impulse) möglich ist. Kinder sollten deshalb im Anschluss an die Intervention mehr Aufgaben korrekt lösen als Kinder, die an keiner Intervention teilnehmen.

H5: 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention (ohne weitere Impulse) an einem einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre zum Lastarm und zum Kraftarm teilnehmen, lösen im Anschluss an die Intervention (Post-Befragung) mehr Items

- a)** zum Lastarm und
- b)** zum Kraftarm

im Kontext Schubkarre korrekt als Kinder, die an keiner Intervention zu einseitigen Hebeln teilnehmen.

Hypothese 6

In Kapitel 11.3 (S. 101) wurde aufgezeigt, dass bei zweiseitigen Hebeln Handlungen an Gegenständen in Kombination mit weiteren Impulsen, z. B. verbalen Impulsen, alleiniger Handlung an Gegenständen überlegen sind. Bspw. führt Handlung an einer Balkenwaage in Kombination mit verbalen Impulsen bei 6- bis 8-Jährigen zu besserer Leistung beim handelnden Ausbalancieren und zum Einbezug der Abstandsdimension in ihre Begründungen im Gegensatz zu Kindern, die ausschließlich an der Balkenwaage handelten (Philips & Tolmie, 2007). Das Ausbalancieren von Holzbalken gelingt Kindern, die während der Intervention neben der Handlung an Gegenständen mit verbalen Impulsen unterstützt wurden, ebenfalls besser als Kindern, die keine zusätzlichen verbalen Impulse erhielten (Peters et al., 1999; Pine et al., 1999). In anderen Themenbereichen hat sich die zusätzliche Darbietung von darstellenden Bildern ebenfalls als hilfreich für die Steigerung der Behaltensleistung erwiesen (z. B. Lesgold et al., 1975; Levin et al., 1987; Rubman & Waters, 2000). Werden neben Handlung am Material, die die enaktive Wissensrepräsentation anspricht, noch weitere Impulse wie Bilder oder verbale Impulse gegeben, werden zusätzlich die ikonische bzw. die symbolische Wissensrepräsentation angesprochen (Bruner 1964; 1972).

H6: 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention zum Lastarm bzw. Kraftarm im Kontext Schubkarre teilnehmen, in der sie zusätzlich mithilfe von darstellenden Bildern, verbalen Impulsen oder beidem begleitet werden, lösen mehr Items korrekt

a) zum Lastarm im Kontext Schubkarre

a1) direkt im Anschluss an die Intervention (Post-Befragung)

a2) 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) sowie

b) zum Kraftarm im Kontext Schubkarre

b1) direkt im Anschluss an die Intervention (Post-Befragung)

b2) 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung)

als 6- bis 7-Jährige, die in der Intervention ausschließlich an den Schubkarren handeln.

Hypothese 7

Hypothese 7 bezieht sich auf verschiedene Impulse (Bilder und verbaler Impulse), die zusätzlich zur Handlung an Gegenständen gegeben werden können. Forschung u. a. zum Thema Hebel zeigt, dass eine Unterstützung bei der Veränderung von Vorstellungen

mithilfe verschiedener Impulse förderlicher sein kann als die Gabe von nur einem Impuls (vgl. Kapitel 11, S. 98). Das Multimedia-Prinzip deutet zudem darauf hin, dass die gemeinsame Präsentation von verbalen und visuellen Informationen lernförderlicher sein kann als ausschließlich verbale Informationen (Fletcher & Tobias, 2005; Mayer, 2009). Auch zeigt Bruner (1972) für den mathematischen Anfangsunterricht, dass eine Unterstützung, die alle drei Arten der Wissensrepräsentation (enaktiv, ikonisch, symbolisch) anspricht, eher zu einer Veränderung von Vorstellungen beiträgt als eine Unterstützung, die nur eine oder zwei Arten der Wissensrepräsentation betrifft. Daher kann davon ausgegangen werden, dass 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention mit Bildern und verbalen Impulsen teilnehmen, im Anschluss an die Intervention mehr Items korrekt lösen als 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention nur mit Bildern teilnehmen. Bzgl. der Veränderung von naturwissenschaftlichen Vorstellungen ist keine Studie bekannt, die die Wirksamkeit von einer handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen im Vergleich zu einer handlungsorientierten Intervention mit Bildern untersucht. Verbale Impulse und Bilder können die Veränderung von Vorstellungen unterstützen, erfüllen dabei aber unterschiedliche Funktionen (vgl. Kapitel 9.2, S. 83; Kapitel 9.3, S. 84; Kapitel 10.2, S. 91). Darstellende Bilder, die einen Gegenstand abbilden, erhöhen die Behaltensleistung (z. B. Lesgold et al., 1975; Levin et al., 1987; Rubman & Waters, 2000). Sie fokussieren die Aufmerksamkeit (Newton, 1995) und bilden durch Redundanz Information erneut ab (Levin et al., 1987). Sie können auch zur Strukturierung der Intervention dienen (Mautone & Mayer, 2007; Peeck, 1994). Zudem können sie bei der Übertragung vom Gegenstand der Intervention auf eine Befragung helfen, falls die Vorstellungen in der Befragung auch bildbasiert erfasst werden (vgl. Kapitel 9.2, S. 83). Verbale Impulse erfüllen neben einer strukturierenden Funktion weitere Aufgaben (vgl. Kapitel 10, S. 90). Sie geben z. B. zusätzliche Anregung und können daher kognitiv aktivierend wirken (Pauli et al., 2008; Schworm & Renkl, 2007). Daher wird angenommen, dass verbale Impulse für eine Veränderung von Vorstellungen von größerer Bedeutung sind als darstellende Bilder. Daher sollten 6- bis 7-Jährige, die zusätzlich zur handlungsorientierten Intervention verbale Impulse präsentiert bekommen, mehr Items korrekt lösen als Kinder, die zusätzlich nur darstellende Bilder betrachten. Da Bilder die Behaltensleistung steigern können, kann angenommen werden, dass 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention begleitet von darstellenden Bildern teilnehmen, im Anschluss an die Intervention mehr

Items korrekt lösen als Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention ohne Bilder teilnehmen. Aus diesen Überlegungen lässt sich folgende Hypothese ableiten:

H7: 6- bis 7-Jährige, die im Kontext Schubkarre an der handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern teilnehmen, lösen

a) zum Lastarm im Kontext Schubkarre

a1) direkt im Anschluss an die Intervention (Post-Befragung)

a2) 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) sowie

b) zum Kraftarm im Kontext Schubkarre

b1) direkt im Anschluss an die Intervention (Post-Befragung)

b2) 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung)

mehr Items korrekt als 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen teilnehmen. Letztere lösen wiederum mehr Items korrekt als Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention mit Bildern teilnehmen. Kinder, die an der Intervention mit Bildern teilnehmen, lösen mehr Items korrekt als 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention ohne zusätzliche Impulse teilnehmen.

Hypothese 8

Naturwissenschaftliche Wissens Elemente sind meist lose miteinander verknüpft und Vorstellungen an den Kontext gebunden, in dem sie erworben wurden (diSessa, 1983; 1988). Vorstellungen, die in einem Kontext (z. B. Schubkarre) erworben wurden, auf einen neuen Kontext zu übertragen, ist daher anspruchsvoll. Bei der Veränderung von Vorstellungen zum zweiseitigen Hebel Balkenwaage wurde bereits gezeigt, dass eine Übertragung von Vorstellungen auf komplexere Situationen oder andere Kontexte möglich ist (vgl. Kapitel 11, S. 98). 8-Jährige, die das Neigungsverhalten einer Balkenwaage vorhersagten und angepasst an ihre Vorstellungen verbale Impulse erhielten, gelang es, korrekte Vorstellungen auf eine komplexere Balkenwaage zu übertragen (Day & Cordon, 1993). Zudem balancierten 5- bis 7-Jährige, die in einem Training an Alltagsgegenständen handelten und währenddessen verbale Impulse präsentiert bekamen, in einem Post-Test Holzbalken korrekt aus (Murphy & Messer, 2000). Für einseitige Hebel wird angenommen, dass eine Übertragung von Vorstellungen auf einen anderen Kontext möglich ist und bei Handlung am Gegenstand in Begleitung von weiteren Impulsen, die andere Repräsentationsarten des Wissens, z. B. die ikonische und symbolische (Bruner,

1964) ansprechen, eher gelingt als bei alleiniger Handlung (enaktive Wissensrepräsentation).

H8: 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention zum Lastarm bzw. Kraftarm im Kontext Schubkarre teilnehmen, in der sie zusätzlich mithilfe von verbalen Impulsen, Bildern oder beidem unterstützt werden, lösen 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) in dem neuen Kontext (Hebelmodell) mehr Items

- a) zum Lastarm und
- b) zum Kraftarm

korrekt als Kinder, die in der Intervention ausschließlich an Gegenständen handeln.

Hypothese 9

In Bezug auf die Veränderungen von Vorstellungen in einem nicht in der Intervention thematisierten Kontext Hebelmodell wird, analog zu Hypothese 7, Folgendes angenommen:

H9: 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention zum Lastarm bzw. Kraftarm im Kontext Schubkarre mit verbalen Impulsen und Bildern teilnehmen, lösen 4 Wochen später

- a) zum Lastarm und
- b) zum Kraftarm

im neuen unbekanntem Kontext (Hebelmodell) mehr Items korrekt als Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen teilnehmen. Letztere lösen wiederum mehr Items im unbekanntem Kontext korrekt als Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention mit Bildern teilnehmen. Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention mit Bildern teilnehmen, lösen mehr Items im neuen Kontext korrekt als 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention ohne weitere Impulse teilnehmen.

Nebenfragestellungen

Um die Hypothesen 1 bis 9 gegen mögliche Einflussfaktoren auf das Antwortverhalten der 6- bis 7-Jährigen abzusichern, werden zwei Nebenfragestellungen geprüft. Diese betreffen die kognitiven und verbalen Fähigkeiten. Bisherige Forschung (vgl. Kapitel 13, S. 111) konnte zeigen, dass beide Fähigkeiten in einem Zusammenhang zu Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln stehen können (z. B. Day & Cordón, 1993; Schöps & Hahn, 2014).

N1: Besteht ein Zusammenhang zwischen verbalen und kognitiven Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen und der Häufigkeit korrekter Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre *vor* der Intervention?

N2: Besteht ein Zusammenhang zwischen verbalen und kognitiven Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen und der Häufigkeit korrekter Vorstellungen zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre *nach* der Intervention?

Die neun Hypothesen und zwei Nebenfragestellungen werden in zwei Studien geprüft. Studie I prüft Hypothesen 1 bis 4 und Nebenfragestellung 1. Studie II prüft Hypothesen 5 bis 9 und Nebenfragestellung 2.

15 Methode Studie I: Erfassung der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln

Im Folgenden wird die Methode zur Erfassung der Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln vorgestellt. Nachdem auf einige methodische Vorüberlegungen eingegangen worden ist, wird die Befragungsentwicklung in einer Prä-Pilotierung und einer Pilotierung dargestellt. Anschließend werden die Items der Hauptuntersuchung und die Erhebungsinstrumente zur kognitiven und verbalen Fähigkeit beschrieben. Der optimale Stichprobenumfang zur Prüfung der Hypothesen in der Hauptuntersuchung wird bestimmt und die Stichprobe beschrieben. Das Kapitel schließt mit der Beschreibung des Ablaufs der Hauptuntersuchung und der Beschreibung der Gütekriterien der Befragung.

15.1 Methodische Vorüberlegungen

Bevor eine Befragung zur Erfassung der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln entwickelt werden kann, sollten einige Vorüberlegungen getroffen werden. Diese beziehen sich auf die entwicklungspsychologischen Besonderheiten (vgl. Kapitel 3, S. 19) und Fähigkeiten von 6- bis 7-Jährigen.

Die Befragung sollte Items beinhalten, die für die Altersgruppe 6- bis 7-Jähriger verständlich und potenziell lösbar sind. Zunächst wurde recherchiert, welche Instrumente zur Erfassung der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln für verschiedene Altersgruppen vorliegen. Zwei Instrumente wurden bisher eingesetzt. Die Vorstellungen 12- bis 16-Jähriger zum Kontext Schraubenschlüssel wurden mithilfe eines Paper-Pencil-Items im Single-Choice-Format erfasst (Duismann & Meschenmoser, 2009). Die Vorstellungen 8- bis 9-Jähriger zu dem Kontext Nussknacker wurde ebenfalls in Paper-Pencil-Items im geschlossenen und offenen Antwortformat erfasst (Schwelle et al., 2013; Schwelle et al., 2014a). Bei Items im offenen Antwortformat begründeten 8- bis 9-Jährige u. a. schriftlich, warum es ihnen leichter fällt, eine Nuss mit einem Nussknacker zu knacken als mit einer Hand (Schwelle et al., 2013). Im geschlossenen Antwortformat wählten die Kinder eine oder mehrere Antwortmöglichkeiten aus. Alle Items wurden von den Kindern in Gruppen nach kurzer Einführung selbstständig bearbeitet.

Die genannten Kontexte und Erhebungsmethoden eignen sich nur bedingt zur Erfassung der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm. Der Kontext Schraubenschlüssel eignet sich zwar dafür, Vorstellungen zum Kraftarm z. B. über die Variation der Länge des Griffs zu erfassen, Last und Lastarm lassen sich jedoch nicht eindeutig zuordnen (vgl. Kapitel 2, S. 16). Der Kontext Nussknacker eignet sich ebenfalls weniger gut, die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm für 6- bis 7-Jährige zu verdeutlichen. In diesem Kontext existieren jeweils zwei Paare von Lastarm und Kraftarm, da beide Griffe aufeinander gepresst werden, um die Nuss zu knacken. Dieser Umstand macht die Situation komplexer.

Bei der Auswahl der Kontexte für die Befragung wurde darauf geachtet, dass diese den 6- bis 7-Jährigen aus ihrer Lebenswelt bekannt sind und an alltägliche Erfahrungen anknüpfen (Schmiemann, Linsner, Wenning, Beuhaus & Sandmann, 2011). Die Kontexte Schubkarre und das Anheben einer Kiste mit einer Stange bieten sich an. Beide Kontexte ermöglichen eine klare Differenzierung von Last, Lastarm und Kraftarm. Zudem wurde in der vorliegenden Untersuchung der Kontext Schraubenschlüssel zur Erfassung der Vorstellung zum Kraftarm aufgegriffen. Der Kontext Schraubenschlüssel ermöglicht eine Anknüpfung der Ergebnisse der vorliegenden Studie an vorherige Forschungsarbeiten.

Eine selbstständige Bearbeitung von Items kann für 6- bis 7-Jährige schwierig sein, da das Arbeitsgedächtnis noch nicht seine volle Kapazität erreicht hat, diese Altersgruppe schnell ablenkbar ist und größtenteils noch nicht flüssig lesen kann (Hasselhorn & Grube, 2008). Daher sollen in der zu entwickelnden Befragung die 6- bis 7-Jährigen von einem Befragungsleiter durch die Befragung geführt werden.

Die Vorstellungen über den kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel könnten, wie bei zweiseitigen Hebeln, über Produktions- oder Beurteilungsaufgaben erfasst werden (vgl. Kapitel 5.2, S. 31). Produktionsaufgaben, in denen gehandelt wird, eignen sich für die vorliegenden Fragestellungen jedoch weniger, da Vorstellungen mit Produktionsaufgaben schwierig in Gruppen von Kindern erfasst werden können. Da es das Ziel der vorliegenden Studie ist, die Forschungsergebnisse zu einseitigen Hebeln für die Entwicklung von Unterricht mit Gruppen von Kindern nutzbar zu machen (vgl. Kapitel 1, S. 10), werden Beurteilungsaufgaben gewählt. Eine Befragung im Paper-Pencil-Format zur Erfassung der Vorstellungen zu den Wissens Elementen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln wird daher entwickelt.

In Bezug auf den Ablauf der Befragung wird berücksichtigt, dass aufgrund der noch relativ geringen Aufmerksamkeitskapazität 6- bis 7-Jähriger (Hasselhorn & Grube, 2008) die Befragung nicht zu lange andauern sollte. Da ab dem 6. und 7. Lebensjahr soziale Vergleiche zunehmen (Hasselhorn & Grube, 2008), kann davon ausgegangen werden, dass die Kinder ein Interesse an den Antworten anderer Kinder haben. Daher sollte die Befragung zunächst in Eins-zu-eins-Sitzungen erprobt und erst später auf Gruppensituationen übertragen werden. In Gruppensituationen ist darauf zu achten, dass die Kinder durch einen Sichtschutz voneinander getrennt die Aufgabenhefte bearbeiten, um ein Abschauen voneinander zu vermeiden.

Auch bei der Entwicklung der Items werden einige entwicklungs- und lernpsychologische Besonderheiten berücksichtigt. Da 6- bis 7-Jährige i. d. R. nicht flüssig lesen und schreiben können, empfiehlt es sich, die Vorstellungen zu einseitigen Hebeln bildbasiert zu erfassen. Ein Befragungsleiter soll daher die Kinder durch die Untersuchung führen und die 6- bis 7-Jährigen sollen ihre Antworten durch Einkreisen markieren. Bzgl. der Instruktion zum Lösen der Items wird beachtet, dass 6- bis 7-Jährigen die Fachbegriffe Last, Kraft, Lastarm und Kraftarm nicht unbedingt geläufig sind (vgl. Schwelle et al., 2013). Darüber hinaus sind Alltagsvorstellungen zur Kraft vieldeutig und stimmen mit dem physikalischen Kraftbegriff nicht immer überein (Wodzinski, 1996). Studien belegen, dass auch ältere Schüler und Studenten häufig noch Schwierigkeiten haben, den newtonschen Kraftbegriff wissenschaftlich korrekt zu verstehen (Duit, 2002; Ionides & Vosniadou, 2002). Daher wird in der Befragung auf eine Verwendung der Fachbegriffe verzichtet.

Kinder bis 7 Jahre betrachten Größe und Gewicht als positiv korreliert: Ein größeres Objekt wird für schwerer gehalten. Erst ab 8 Jahren wird die Dichte berücksichtigt (Smith et al., 1985). Daher kann in der Befragung zu einseitigen Hebeln die Gewichtskraft der Last über den visuellen Eindruck der Größe dargestellt werden.

Da das Arbeitsgedächtnis 6- bis 7-Jähriger noch begrenzt ist (Hasselhorn & Grube, 2008), sollten pro Item nicht zu viele Antwortoptionen dargeboten werden. Bei einer zu großen Anzahl an Antwortalternativen könnte die befragte Altersgruppe die Unterschiede zwischen den Antwortoptionen nicht erkennen. Viele Antwortoptionen eines Items erhöhen zudem die Bearbeitungszeit (Rodriguez, 2005). Bei wenigen Antwortalternativen ist jedoch die Wahrscheinlichkeit höher, ein Item durch Raten korrekt lösen zu können (Bortz & Döring, 2006). Unter Berücksichtigung der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses, der Bearbeitungszeit und der Ratewahrscheinlichkeit wurden bei der

Entwicklung der Befragung zu einseitigen Hebeln zunächst fünf Antwortalternativen gewählt. Bei dieser Anzahl kann die Wahrscheinlichkeit, ein Item durch Raten korrekt zu lösen, als gering eingeschätzt werden (Rodriguez, 2005). Zudem sollten die Unterschiede zwischen den Antwortalternativen gut erkennbar und die Bearbeitungszeit kurz sein. Für eine ausführliche Diskussion über Vor- und Nachteile bestimmter Anzahlen an Antwortalternativen wird auf Überblicksstudien verwiesen (z. B. Bruno & Dirkzwager, 1995; Rodriguez, 2005; Rogers & Harley, 1999).

Unter Berücksichtigung dieser Vorüberlegungen wurden Items entwickelt und in einer Prä-Pilotierung und Pilotierung erprobt.

15.2 Prä-Pilotierung der Befragung zu einseitigen Hebeln

Ziel der Prä-Pilotierung ist die Erprobung von Items zu einseitigen Hebeln. Dazu wurden zunächst Items zur Last sowie zum Lastarm und Kraftarm in verschiedenen Kontexten im Paper-Pencil-Format entwickelt und an einer Stichprobe präpilotiert.

15.2.1 Stichprobe, Items und Ablauf der Prä-Pilotierung

Neun Kinder im Alter zwischen 5 und 7 Jahren nahmen an der Prä-Pilotierung teil ($M = 6.46$, $SD = .97$, $Min = 5.00$, $Max = 7.67$, 3 Jungen, 6 Mädchen). Jeweils drei Kinder waren 5, 6 und 7 Jahre alt. Neben 6- bis 7-Jährigen wurden auch 5-Jährige befragt, um mögliche Deckeneffekte (z. B. das korrekte Lösen aller Items zur Last) zu vermeiden. Zudem konnte geprüft werden, ob die Befragung auch für jüngere Kinder geeignet ist.

Die Paper-Pencil-Befragung bestand aus insgesamt 10 Items zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm. Als Kontexte wurden gewählt: Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel. Im Kontext Schubkarre bearbeiteten die 5- bis 7-Jährigen jeweils ein Item zu den Aspekten Last und Kraftarm sowie zwei Items zum Lastarm. Im Kontext Kiste wurde jeweils ein Item zur Last und zum Lastarm präsentiert sowie zwei Items zum Kraftarm. Im Kontext Schraubenschlüssel wurden zwei Items zum Kraftarm gestaltet. Pro Aspekt wurden in den drei Kontexten nur ein bis zwei Items gestaltet, da keine statistische Auswertung der Items geplant war, sondern die Itemformulierungen und Kontexte auf Verständlichkeit überprüft werden sollten. In Abbildung 6a,b,c (S. 131) ist beispielhaft je

ein Item zum Lastarm im Kontext Schubkarre (oben links), Kraftarm im Kontext Kiste (oben rechts) und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (unten) dargestellt.

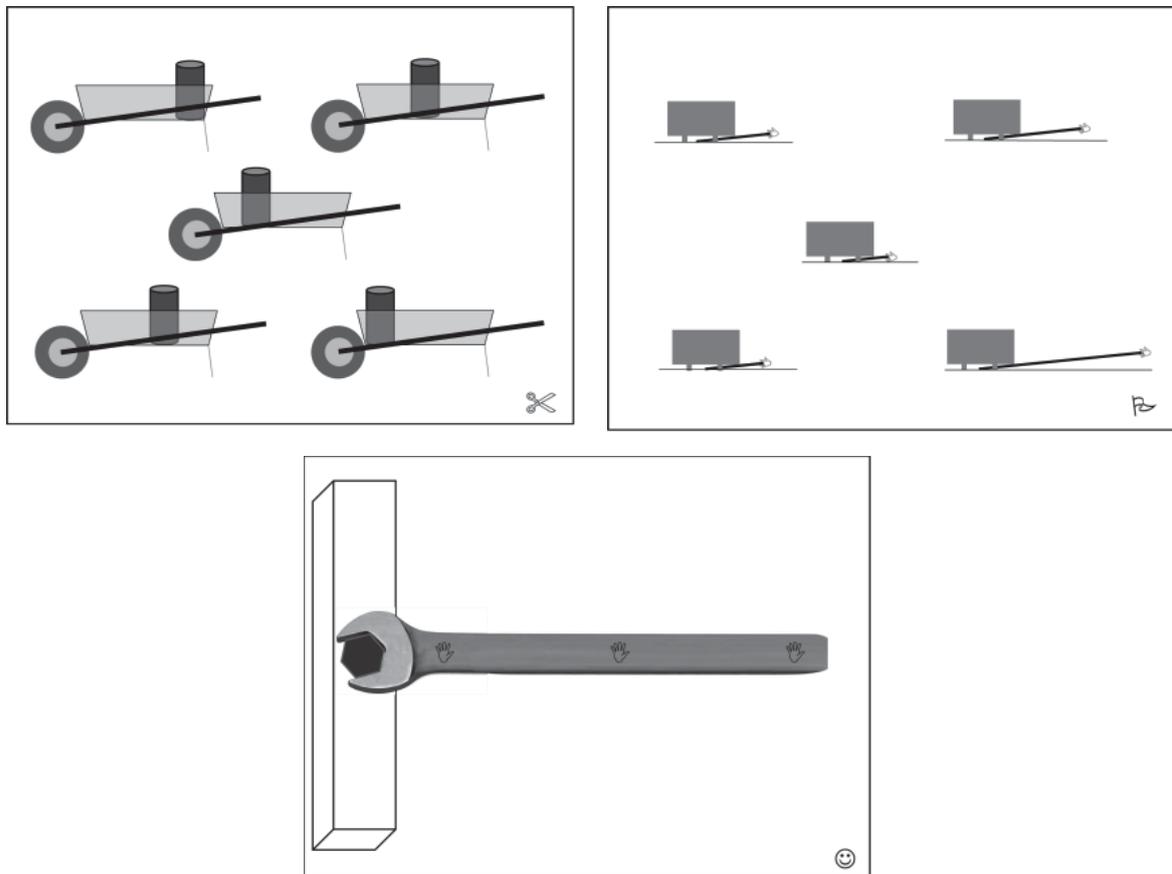


Abbildung 6a,b,c. Beispielitems der Prä-Pilotierung zum Lastarm im Kontext Schubkarre (oben links) Kraftarm im Kontext Kiste (oben rechts) und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (unten)

In den Kontexten Schubkarre und Kiste unterschieden sich die fünf Abbildungen eines Items ausschließlich in einem Aspekt. Items zur Last im Kontext Schubkarre zeigten fünf Schubkarren, die mit unterschiedlich großen Lasten beladen sind. Items zum Lastarm im Kontext Schubkarre unterschieden sich in der Position der Last in den Wannen der Schubkarren. Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre zeigten drei Schubkarren mit verschiedenen Griff­längen. Im Kontext Kiste bestand ein Item aus fünf Abbildungen. Items zur Last unterschieden sich, analog zum Kontext Schubkarre, in der Größe der Kiste. Items zum Lastarm unterschieden sich darin, wie weit die Stange unter die Kisten geschoben ist. Items zum Kraftarm unterschieden sich in den Längen der Stangen. Die Aufgabenstellung im Kontext Schubkarre lautete: „Kreise die Schubkarre mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren!“ Die Aufgabenstellung im Kontext Kiste lautete analog: „Kreise die Kiste ein, bei der es dir am leichtesten fällt, die Kiste anzuheben!“ Im Kontext Schraubenschlüssel zeigten die beiden

Items zum Kraftarm jeweils einen Schraubenschlüssel, dessen Griff an drei Positionen mit einer Hand markiert ist. Die Instruktion lautete: „Wo würdest du den Schraubenschlüssel anfassen, damit es dir am leichtesten fällt die Schraube ganz fest anzuziehen? Kreise die Hand ein, wo du anfassen würdest!“

In allen drei Kontexten war nur eine Antwortoption korrekt (Single-Choice-Aufgaben, Bühner, 2011). Bevor die Kinder zu den Items befragt wurden, fand eine Expertenvalidierung durch eine erfahrene Naturwissenschaftsdidaktikerin und einen Physiker statt. Die Validierung ergab, dass es sich um physikalisch korrekte Abbildungen handelte. Geschulte Personen führten die Befragung in ca. 15-minütigen Eins-zu-eins-Sitzungen mit den Kindern durch. Unter Verwendung von kleinen Modellschubkarren, einer kleinen Holzkiste und einem Schraubenschlüssel führten die Befragungsleiter in die Items ein. In Abbildung 7a,b,c ist das Material der Einführung abgebildet.

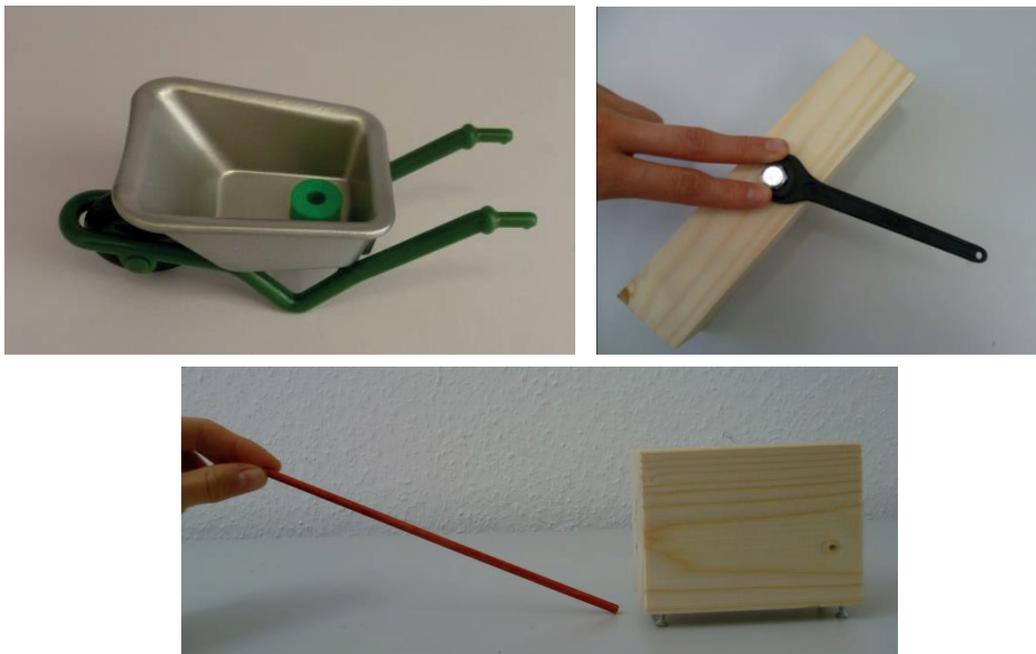


Abbildung 7a,b,c. Material zur Einführung in die Befragung im Kontext Schubkarre (oben links), Schraubenschlüssel (oben rechts) und Kiste (unten)

Im Kontext Schubkarre wurde den Kindern bspw. gezeigt, dass eine Schubkarre mit verschieden großen Lasten beladen sein kann, dass die Last an unterschiedlichen Positionen in der Wanne der Schubkarre stehen kann und, dass die Schubkarre verschieden lange Griffpaare haben kann. Analoges Vorgehen fand im Kontext *Kiste* statt. Ebenfalls wurde der Kontext Schraubenschlüssel mit einem Schraubenschlüssel eingeführt. Dabei wurde darauf geachtet, den Schraubenschlüssel nur am Kopf anzufassen, sodass kein Hinweis auf eine Antwortoption gegeben wurde. Ein Befragungsleiter las die Instruktionen

zur Beantwortung der Items vor. Verbal wurde der Unterschied zwischen den verschiedenen Abbildungen eines Items beschrieben. Jedes Kind markierte in seinem DIN-A5-Antwortheft eine Antwortoption durch Einkreisen. Die Kinder sollten jeweils diejenige Schubkarre oder Kiste einkreisen, bei der es ihnen am leichtesten fällt, die Last zu transportieren bzw. die Kiste anzuheben. Im Kontext Schraubenschlüssel sollten die Kinder die Position einkreisen, an der sie den Schraubenschlüssel anfassen würden, damit es ihnen am leichtesten fällt, die Schraube ganz fest anzuziehen.

15.2.2 Ergebnisse, Reflexion der Prä-Pilotierung und Konsequenzen für die Pilotierung

Alle 5- bis 7-Jährigen konnten den Aufgabenstellungen in den verschiedenen Kontexten problemlos folgen. Wegen der begrenzten Kapazität des Arbeitsgedächtnisses schienen die 5- bis 7-Jährigen trotz der verbalen Beschreibung der Unterschiede in den fünf Abbildungen eines Items Schwierigkeiten zu haben, die Unterschiede zwischen den Abbildungen zu erkennen. Dies zeigte sich insbesondere bei den Items zu Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Kiste und Schubkarre. Einige Kinder kreisten bei einem Item zum Kraftarm zwei Kisten ein und begründeten ihre Antwort unaufgefordert damit, dass die Ständen in beiden Abbildungen gleich lang seien. Daraus ergaben sich für die Pilotierung folgende Konsequenzen:

Erstens wurde die Anzahl der Auswahlmöglichkeiten pro Item in den Kontexten Schubkarre und Kiste von fünf auf drei reduziert. Bei drei Antwortalternativen reicht die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses dieser Altersgruppe evtl. eher aus, um alle Antwortalternativen zu verarbeiten. Zudem sind die Unterschiede in den Antwortalternativen, z. B. die Länge der Griffe der Schubkarren, deutlicher zu erkennen. Obwohl bei drei Antwortalternativen die Wahrscheinlichkeit, ein Item durch Raten zu lösen, höher ist als bei fünf Antwortalternativen, werden drei Antwortalternativen als optimal für Multiple-Choice-Items angesehen (Bruno & Dirkwager, 1995; Rodriguez, 2005). Durch die Reduzierung der Antwortoptionen pro Item in den Kontexten Schubkarre und Kiste ergab sich eine Verkürzung der Bearbeitungszeit (vgl. Rodriguez, 2005). Daher wurde als dritte Modifikation die Anzahl der Items für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm erhöht. Denn eine größere Anzahl an Items kann die Reliabilität einer Messung erhöhen (Bühner, 2011).

Viertens wurden die drei Abbildungen jedes Items in beiden Kontexten mit Symbolen versehen. Dies ermöglichte eine gezielte Zuordnung der verbalen Beschreibung zu den einzelnen Abbildungen eines Items. Fünftens wurden Items im Kontext Schubkarre dahingehend modifiziert, dass ein Boden, auf dem die Schubkarren stehen, eingezeichnet wurde. Letzteres sollte zu einer alltagsnäheren Darstellung beitragen.

Die Pilotierung unter Einsatz der modifizierten Befragung sollte in Gruppen von Kindern erprobt werden. Die Befragung von Gruppen hat in Bezug auf den möglichen späteren Einsatz der Befragung im Unterricht eine höhere Bedeutung für das Alltagsgeschehen (Fahrenberg, 2014; Fahrenberg et al., 2007) und damit eine höhere ökologische Validität.

15.3 Pilotierung der Befragung zu einseitigen Hebeln

Nach der Überarbeitung der Befragung zu einseitigen Hebeln fand die Pilotierung statt. Diese diente der Überprüfung, ob die modifizierten Items für 6- bis 7-Jährige verständlich sind. Zudem wurden die Reliabilität und Schwierigkeit der Items betrachtet und geprüft, ob die Befragung auch in Kleingruppen durchführbar ist. Erste statistische Auswertungen sollten Einblicke in die Verteilung der Antworten auf die Antwortalternativen geben. Außerdem sollten Kontexte für die Hauptuntersuchung ausgewählt werden.

15.3.1 Stichprobe, Items und Ablauf der Pilotierung

Vierzehn Kinder im Alter von 6 bis 7 Jahren nahmen an der Pilotierung teil ($M = 6.17$, $SD = .29$, $Min = 6.17$, $Max = 7.00$, 9 Jungen, 5 Mädchen). Im Folgenden werden diese Kinder als 6- bis 7-Jährige bezeichnet. Ein geschulter Befragungsleiter führte die 30-minütige Befragung in zwei Kleingruppen von jeweils sieben 6- bis 7-Jährigen durch. Diese bearbeiteten die Items in einem DIN-A5-Antwortheft durch einen Sichtschutz getrennt. Dieser sollte verhindern, dass die 6- bis 7-Jährigen die Antworten anderer Kinder übernehmen.

Die Kinder bearbeiteten in den Kontexten Schubkarre und Kiste jeweils vier Items zur Last, vier Items zum Lastarm und zwei Items zum Kraftarm. Im Kontext Schraubenschlüssel wurden zwei Items zum Kraftarm bearbeitet. In Abbildung 8a,b,c (S. 135) ist je ein Beispielitem der Pilotierung zum Lastarm im Kontext Schubkarre (oben

links), Kraftarm im Kontext Kiste (oben rechts) und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (unten) dargestellt.

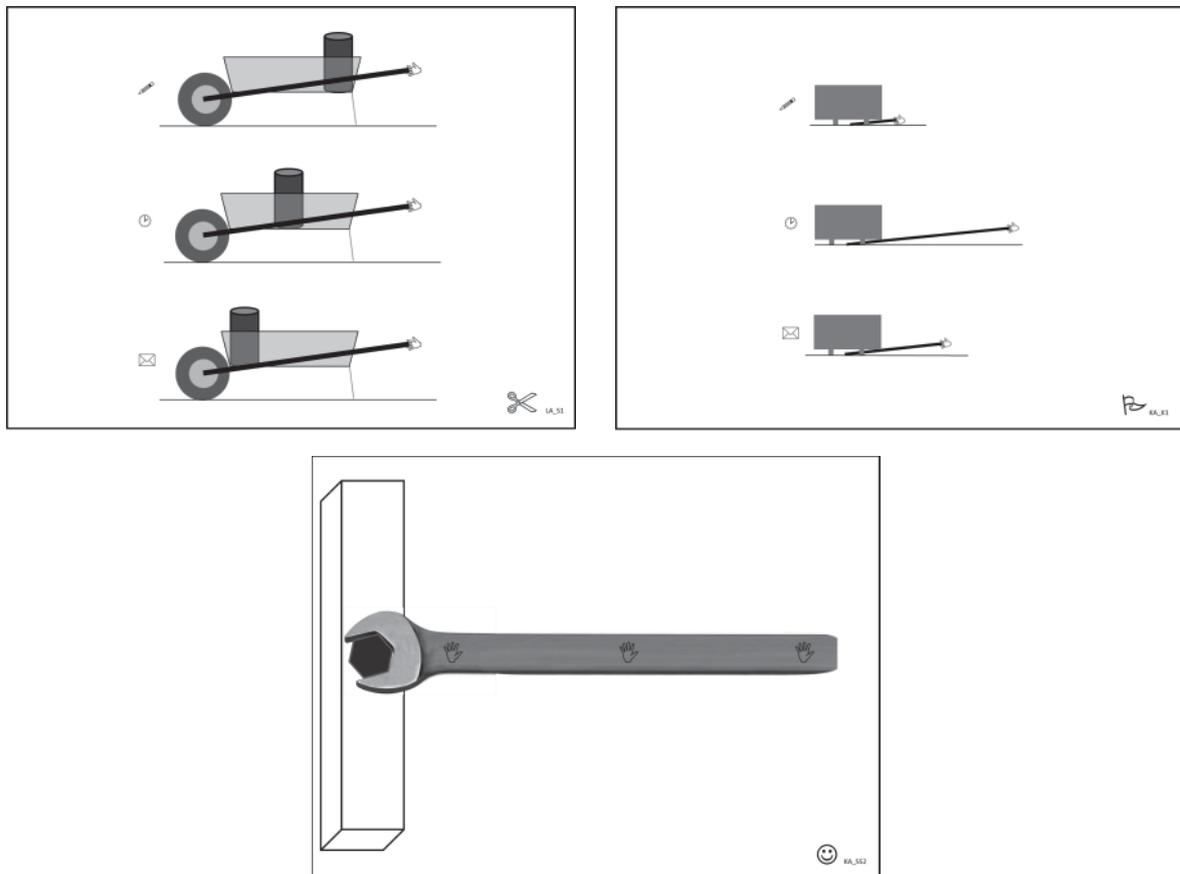


Abbildung 8a,b,c. Beispieltens der Pilotierung Lastarm im Kontext Schubkarre (oben links), Kraftarm im Kontext Kiste (oben rechts), Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (unten)

Die 6- bis 7-Jährigen sollten jeweils die Schubkarre bzw. Kiste einkreisen, bei der es ihnen am leichtesten fallen würde, sie zu transportieren bzw. anzuheben. Im Kontext Schraubenschlüssel sollten die Kinder die Position auswählen, an der sie den Schraubenschlüssel anfassen würden, damit es ihnen am leichtesten fällt, die Schraube ganz fest anzuziehen. Im Kontext Schubkarre sahen die 6- bis 7-Jährigen drei vertikal angeordnete Schubkarren, die sich entweder in der Last (Größe), dem Lastarm (Position der Last) oder dem Kraftarm (Länge der Griffe) unterschieden. Die vier Items zu einem Aspekt variierten: Wurde z. B. zur Last gefragt, unterschied sich zwischen den vier Items die Position der Last, sie wurde aber innerhalb eines Items zur Last (über die drei Schubkarren) konstant gehalten. Innerhalb eines Items zur Last unterschied sich ausschließlich die Größe der Last. Items im Kontext Kiste variierten analog. In beiden Kontexten wurde jede der drei Antwortoptionen mit einem Symbol (z. B. Stift, Uhr, Brief; vgl. Abbildung 8a) markiert. Neben der Reduzierung der Antwortoptionen und dem

Einführen von Symbolen gegenüber der Prä-Pilotierung wurde im Kontext Schubkarre auch ein Boden eingezeichnet (vgl. Kapitel 15.2.2, S. 133). Items im Kontext Schraubenschlüssel entsprachen der Prä-Pilotierung.

Mit dem gleichen Material wie in der Prä-Pilotierung (vgl. Abbildung 7, S. 132) führte der Befragungsleiter die Kinder in die Items ein. Zudem beschrieb er in allen Kontexten die Unterschiede zwischen den einzelnen Antwortoptionen. Die Symbole sollten die Orientierung während der Beschreibung erleichtern. Bspw. lautete die Instruktion bei einem Item zum Lastarm im Kontext Schubkarre (vgl. Abbildung 8a, S. 135; vgl. Anhang A.1.1, S. 301; Item LA_S1): „Die Schubkarre beim Stift ist ganz hinten beladen. Die Schubkarre bei der Uhr ist in der Mitte beladen. Und die Schubkarre beim Brief ist ganz vorne beladen. Wie würdest du die Schubkarre beladen, damit es dir am leichtesten fällt, den Betonklotz zur Baustelle zu bringen? Kreise die Stelle mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.“ Die Instruktion eines Items im Kontext Kiste (vgl. Abbildung 8b, S. 135) lautete bspw.: „Die Stangen sind unterschiedlich lang. Bei der Kiste neben dem Stift ist die Stange kurz, bei der Kiste neben der Uhr ist die Stange sehr lang. Bei der Kiste neben dem Brief ist die Stange mittel. Kreise die Kiste ein, bei der es dir am leichtesten fällt sie mit der Stange anzuheben.“ Die Aufgabenstellung zu den Items im Kontext Schraubenschlüssel lautete analog zur Prä-Pilotierung (vgl. Kapitel 15.2.1, S. 13044). Die Items wurden im Anschluss an die Befragung auf ihre Gütekriterien hin untersucht.

15.3.2 Reliabilität und Itemschwierigkeit der Pilotierung

Die Reliabilität gibt die Messgenauigkeit an (Bortz & Döring, 2006; Bühner, 2011). Im Folgenden wird Guttmans Λ_2 (λ_2) als Maß für die Reliabilität berichtet. Guttmans Λ_2 stellt, im Gegensatz zu dem häufig berichteten Cronbachs Alpha (auch Guttmans Λ_3), eine präzisere Schätzung der Reliabilität dar, denn Guttmans Λ_2 unterschätzt die Reliabilität seltener systematisch (Bühner, 2011; Tang & Cui, 2012). Daher wird empfohlen, Guttmans Λ_2 anstelle von Cronbachs Alpha zu verwenden (Tang & Cui, 2012). Für einen ausführlicheren Vergleich verschiedener Reliabilitätsmaße wird auf Tang & Chui (2012) verwiesen. In Tabelle 2 (S. 137) ist für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel die Reliabilität dargestellt.

Tabelle 2. Reliabilität (Guttman's λ_2) für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den drei Kontexten der Pilotierung

Aspekt und Kontext	Guttman's λ_2		
	Schubkarre	Kiste	Schraubenschlüssel
Last (je 4 Items pro Kontext)	.59	.90	-
Lastarm (je 4 Items pro Kontext)	.76	.75	-
Kraftarm (je 2 Items pro Kontext)	.58	.59	.68

Die Reliabilität der Items zu Last, Lastarm und Kraftarm ist unter Berücksichtigung der niedrigen Anzahl an Items pro Aspekt und Kontext sowie des kleinen Stichprobenumfangs als akzeptabel anzusehen. Neben der Reliabilität wurde als weiteres Maß für die Güte der Befragung die Itemschwierigkeit betrachtet. Sie gibt den Anteil an Kindern an, die ein Item korrekt lösen (Bortz & Döring, 2006). Items mit mittlerem Schwierigkeitsindex zwischen .2 bis .8 sind erwünscht. Items, die von allen Kindern oder von keinem Kind gelöst werden, sind nicht erwünscht (Bortz & Döring, 2006). In Tabelle 3 (S. 137) sind die Schwierigkeiten der Items zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm für die Kontexte Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel der Pilotierung dargestellt.

Tabelle 3. Die Itemschwierigkeiten der Pilotierung für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel

Item und Kontext	Schubkarre	Kiste	Schraubenschlüssel
Last 1	.93	.57	-
Last 2	.79	.79	-
Last 3	.79	.71	-
Last 4	.69	.71	-
Lastarm 1	.57	.36	-
Lastarm 2	.50	.14	-
Lastarm 3	.50	.08	-
Lastarm 4	.64	.07	-
Kraftarm 1	.15	.23	.17
Kraftarm 2	.29	.50	0

Die Itemschwierigkeit gibt den prozentualen Anteil der Kinder an, die dieses Item korrekt lösen. Ein großer Index steht daher für ein leichtes Item (Bortz & Döring, 2006). Items zum Aspekt Last im Kontext Schubkarre (.69 - .93) und Kiste (.57 - .79) zeigen die niedrigsten Itemschwierigkeiten. Das bedeutet, ein großer Anteil der 6- bis 7-Jährigen löst diese Items korrekt. Items zum Lastarm zeigen im Kontext Schubkarre (.5 - .64) und im Kontext Kiste (.07 - .36) höhere Schwierigkeiten als Items zur Last in beiden Kontexten. Somit fällt es 6- bis 7-Jährigen schwieriger, die Items zum Lastarm als die zur Last korrekt zu lösen. Items zum Kraftarm weisen im Kontext Schubkarre hohe bis mittlere (.15 - .29), im Kontext Kiste mittlere (.5 - .23) und im Kontext Schraubenschlüssel hohe (.0 - .17) Itemschwierigkeiten auf. Bei den Aspekten Last und Lastarm liegen die

Itemschwierigkeiten im Kontext Schubkarre unter denen im Kontext Kiste. Beim Aspekt Kraftarm zeigen Items im Kontext Schraubenschlüssel die höchsten Itemschwierigkeiten, gefolgt vom Kontext Schubkarre und Kiste.

Die Items zu den drei Aspekten zeigen in den drei Kontexten demzufolge unterschiedliche Schwierigkeiten. Im Kontext Schubkarre liegen fast alle Items und im Kontext Kiste die Mehrheit der Items im erwünschten mittleren Schwierigkeitsbereich. Da die Gütekriterien der Items gut sind, können in einem nächsten Schritt die Vorstellungen zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel ausgewertet werden.

15.3.3 Vorstellungen zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel

Um einen ersten Eindruck der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Last, Lastarm und Kraftarm in den drei Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel zu erhalten, wurden die Verteilungen der Antworten auf die 3 Antwortmöglichkeiten betrachtet. Berichtet werden a) die durchschnittliche prozentuale Häufigkeit, eine Antwortalternative zu wählen, b) die Mittelwerte c) die Standardabweichungen und d) die maximale Anzahl korrekt gelöster Items (Maxima). Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 (S. 139) dargestellt.

Tabelle 4. Durchschnittliche Anzahl der gewählten Antwortalternative in Prozent, Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel

Aspekt	Ø Anzahl Antworten n in %	M	SD	Max	Ø Anzahl Antworten n in %	M	SD	Max	Ø Anzahl Antworten n in %	M	SD	Max
Kontext	Schubkarre			Kiste			Schraubenschlüssel					
Last (je 4 Items pro Kontext)												
Klein ¹	79.82	3.14	1.17	4	69.63	2.79	1.63	4	-	-	-	-
Mittel	12.78	.50	1.09	3	24.98	1.00	1.57	4	-	-	-	-
Groß	7.40	.29	.61	2	5.33	.21	.80	3	-	-	-	-
Lastarm (je 4 Items pro Kontext)												
Kurz ¹	55.35	2.21	1.63	4	16.20	.64	.74	2	-	-	-	-
Mittel	21.4	.86	1.23	4	49.18	1.93	1.59	4	-	-	-	-
Lang	23.23	.93	1.21	3	34.65	1.36	1.60	4	-	-	-	-
Kraftarm (je 2 Items pro Kontext)												
Lang ¹	22.00	.43	.65	2	36.55	.71	.73	2	8.35	.14	.36	1
Mittel	55.75	1.07	.92	2	48.90	.93	.73	2	75.95	1.36	.84	2
Kurz	22.25	.43	.76	2	14.55	.14	.36	1	15.70	.29	.61	2

6- bis 7-Jährige wählen im Kontext Schubkarre in 79.82 % und im Kontext Kiste in 69.63 % der Antworten die kleine Last. Beim Aspekt Lastarm im Kontext Schubkarre wird am häufigsten (55.35 %) die Schubkarre mit der Last in der Nähe des Rades (kurzer Lastarm) gewählt. Beim gleichen Aspekt im Kontext Kiste wird am häufigsten (49.18 %) die Stange gewählt, die ein mittleres Stück unter die Kiste geschoben wurde (mittlerer Lastarm). Nur 16.20 % der Antworten entfallen in diesem Kontext auf die korrekte Antwort (kurzer Lastarm). Der Kraftarm wurde in allen drei Kontexten untersucht. Bei diesem wird in allen drei Kontexten am häufigsten der mittlere Kraftarm gewählt. Die korrekte Antwort (langer Kraftarm) wird im Kontext Schubkarre in 22.00 % der Antworten, im Kontext Kiste bei 36.55 % der Antworten und im Kontext Schraubenschlüssel nur bei 8.35 % der Antworten gewählt.

15.3.4 Reflexion der Pilotierung und Konsequenzen für die Hauptuntersuchung

Im Folgenden werden Konsequenzen aus den Ergebnissen der Pilotierung für die Hauptuntersuchung berichtet.

Zunächst erwies sich die Reduzierung der Antwortalternativen von fünf auf drei als geeignet. Die 6- bis 7-Jährigen schienen die Unterschiede zwischen den drei Antwortalternativen zu erkennen. Die Markierung jeder Antwortalternative mit einem Symbol schien die Zuordnung der Beschreibung der Unterschiede zwischen den Antwortalternativen zusätzlich zu erleichtern. Daher sollten auch in der Hauptuntersuchung die einzelnen Items mit Symbolen versehen werden. Die Befragung erwies sich für eine Gruppensituation geeignet. Mithilfe der kleinen Stellwände konnte gewährleistet werden, dass die Kinder die Aufgaben alleine bearbeiteten. Aufgrund der im Vergleich zur Prä-Pilotierung erhöhten Itemanzahl und der Gruppensituation dauerte die Befragung, trotz Kürzung der Antwortalternativen von fünf auf drei, deutlich länger als in der Prä-Pilotierung (30 Minuten statt 15 Minuten). Die Aufmerksamkeit ließ dabei, aufgrund der noch begrenzten Aufmerksamkeitsspanne 6- bis 7-Jähriger (Hasselhorn & Grube, 2008), gegen Ende der Befragung nach. Dies zeigte sich u. a. durch Störungen. Der Befragungsleiter musste mehrfach eingreifen, um eine weiterhin konzentrierte Bearbeitung der Items zu gewährleisten. Für die Hauptuntersuchung sollte daher eine Auswahl an Kontexten und Items getroffen werden, um ein konzentriertes Bearbeiten der gesamten Befragung in kurzer Zeit zu ermöglichen. Basis für die Auswahl der Items bildeten die in der Pilotierung erhobenen Kriterien Reliabilität, Itemschwierigkeit und Vorstellungen zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm in den drei Kontexten.

Die Reliabilität der Items in den Kontexten Schubkarre und Kiste erweist sich unter Berücksichtigung der geringen Itemanzahl in beiden Kontexten als akzeptabel. Bzgl. der Itemschwierigkeiten zeigen sich im Kontext Schubkarre mehr Items im gewünschten Schwierigkeitsbereich zwischen .2 und .8 (Bortz & Döring, 2006) als im Kontext Kiste. Daher scheint unter Berücksichtigung der Itemgütekriterien der Kontext Schubkarre für die Hauptuntersuchung geeigneter. Zudem wurden inhaltliche Kriterien in Bezug auf die erfassten Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen für die Auswahl des Kontextes der Hauptuntersuchung berücksichtigt. In beiden Kontexten zeigen die 6- bis 7-Jährigen mehr korrekte Vorstellungen zur Last als zum Abstand (Lastarm, Kraftarm). Im Kontext Schubkarre beantworten sie die Items zum Lastarm häufiger korrekt als zum Kraftarm. Im Kontext Kiste hingegen werden die Items zum Kraftarm häufiger korrekt beantwortet als zum Lastarm. Dabei entfallen im Kontext Kiste beim Lastarm und beim Kraftarm knapp die Hälfte aller Antworten auf die mittlere Antwortkategorie. Dies könnte darauf hindeuten, dass Kinder in diesem Kontext noch wenig Erfahrung gesammelt haben und daher die mittlere Antwortkategorie präferieren (Bortz & Döring, 2006). Vorstellbar ist

auch, dass die Kinder schon im Alltag Erfahrungen in diesem Kontext gesammelt und einen mittleren Lastarm bzw. Kraftarm als am praktikabelsten erlebt haben.

Die prozentualen Anteile korrekter Antworten unterscheiden sich zwischen den Aspekten Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre stärker als im Kontext Kiste. Vorausblickend auf Studie II (vgl. Kapitel 18, S. 187), die eine Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln thematisiert, erscheint ein größerer Unterschied in den korrekten Vorstellungen zwischen den beiden Aspekten des Abstands interessant. Daher sprechen auch inhaltliche Kriterien für die Verwendung des Kontextes Schubkarre in der Hauptuntersuchung.

Als Ergänzung und mit dem Ziel, die Befragung für die 6- bis 7-Jährigen abwechslungsreicher zu gestalten, wurden die beiden Items im Kontext Schraubenschlüssel ebenfalls in die Befragung der Hauptuntersuchung aufgenommen. Damit im Kontext Schubkarre zu jedem Aspekt vier Items vorhanden sind, wurde die Itemanzahl für den Kraftarm im Kontext Schubkarre um zwei weitere Items ergänzt. Diese neuen Items wurden analog zu den zwei bereits verwendeten Items gestaltet. Die Erhöhung der Itemanzahl sollte gleichzeitig zu einer Erhöhung der Reliabilität beitragen (Bühner, 2011). Für die Hauptuntersuchung wurden aus allen Items zwei Befragungsversionen (A und B) zusammengestellt. Beide Versionen unterschieden sich ausschließlich in der Präsentationsreihenfolge der Items und sollten dazu dienen, Reihenfolgeeffekte bei der Beantwortung der Items zu verhindern.

Im Folgenden werden die auf Basis der Erkenntnisse aus Prä-Pilotierung und Pilotierung entwickelten Items der Hauptuntersuchung vorgestellt.

15.4 Items der Hauptuntersuchung

Die für die Hauptuntersuchung gewählten Kontexte waren Schubkarre und Schraubenschlüssel. Dabei handelte es sich um eine Auswahl der Items der Pilotierung, die um zwei weitere Items ergänzt wurden. Die Befragung bestand insgesamt aus 14 Single-Choice-Items im Paper-Pencil-Format: Jeweils vier Items zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie zwei Items zum Lastarm im Kontext Schraubenschlüssel. Die Abbildungen jedes Items variierten ausschließlich in einem Aspekt. Alle eingesetzten Items sind Anhang A.1.2 (S. 306) zu entnehmen. Die Kinder

sollten die gewählte Antwortoption durch Einkreisen markieren. Die Instruktion zur Bearbeitung der Items im Kontext Schubkarre und Schraubenschlüssel entsprach der Instruktion in der Pilotierung. In Anhang A.1.1 (S. 301) ist der Leitfaden zur Befragung dargestellt. Die Instruktion eines Items zum Aspekt Kraftarm im Kontext Schubkarre (Item KA_S2) lautete bspw.: „Die Schubkarren hier haben unterschiedlich lange Griffe. Die Schubkarre neben dem Stift hat kurze Griffe, die Schubkarre neben der Uhr hat mittlere Griffe und die Schubkarre neben dem Brief hat lange Griffe. Kreise die Schubkarre ein, bei dem es dir am leichtesten fällt, den Betonklotz zu transportieren.“ Die Instruktion der beiden Items zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (Item KA_SS2 und Item KA_SS3) lautete: „Wo würdest du den Schraubenschlüssel anfassen, damit es dir am leichtesten fällt die Schraube ganz fest anzuziehen? Kreise die Hand ein, wo du anfassen würdest!“

Die Befragung wurde in zwei verschiedenen Versionen (A und B) dargeboten. Diese unterschieden sich ausschließlich in der randomisierten Reihenfolge der Items. Die Darbietungsreihenfolge der Items in den Versionen A und B ist Anhang A.1.3 (S. 308) zu entnehmen.

15.5 Erhebungsinstrumente zur Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten

Kognitive und verbale Fähigkeiten können in einem Zusammenhang mit Vorstellungen zum Themenbereich Hebel stehen (vgl. Kapitel 13, S. 111; Day & Cordon, 1993; Schöps & Hahn, 2014). Daher wurden bei der Befragung zu einseitigen Hebeln die kognitiven und verbalen Fähigkeiten der Kinder als Kontrollvariablen erhoben.

Kognitive Fähigkeiten: Zur Beantwortung der bildbasierten Items (vgl. Kapitel 15.4, S. 141) der Hauptuntersuchung scheinen die kognitiven Fähigkeiten *visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit* sowie die *Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemstellungen zu erkennen*, besonders relevant (vgl. Kapitel 13, S. 111). Daher wurden diese mithilfe zweier Subtests des Grundintelligenztests Skala 1 (CFT 1, Cattell, Weiss & Osterland, 1997) erfasst. Die visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit wurde mit dem Subtest *Labyrinth* gemessen. In diesem Test durchfahren die Kinder in eineinhalb Minuten möglichst viele der 4 Labyrinth-Reihen mit insgesamt 12 Einzellabyrinthen. Für jedes korrekt durchgefahrene Labyrinth erhalten die Kinder einen

Punkt (Maximale Punktzahl 12). Die Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemstellungen zu erkennen, wurde mit dem Subtest *Matrizen* erfasst. In diesem Test vervollständigen die Kinder innerhalb von 3 Minuten möglichst viele der 12 Muster durch eine von 5 vorgegebenen Antwortalternativen (Cattell et al., 1997). Für jedes korrekt ergänzte Muster wird ebenfalls ein Punkt vergeben (Maximale Punktzahl 12).

Verbale Fähigkeiten: Trotz bildbasierter Erfassung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln sind grundlegende verbale Fähigkeiten 6- bis 7-Jähriger notwendig, um den Instruktionen zur Bearbeitung der Aufgabe folgen zu können. Daher schätzte die Klassenlehrperson mithilfe eines Fragebogens (vgl. Anhang A.1.4, S. 309) die verbalen Fähigkeiten (Sprachverständnis/-fähigkeit) jedes Kindes ein. Ein solches Vorgehen wurde gewählt, um die Befragungszeit der 6- bis 7-Jährigen möglichst kurz zu halten, denn die Kinder bearbeiteten neben den Items zu einseitigen Hebeln bereits zwei Subtests des CFT. Bei weiteren Aufgaben wäre die begrenzte Konzentrationsfähigkeit (vgl. Kapitel 3, S. 19) dieser Altersgruppe möglicherweise ausgereizt. Darüber hinaus wurden bereits in anderen Studien die verbalen Fähigkeiten der Kinder durch eine Lehrperson eingeschätzt (z. B. Schöps & Hahn, 2014). Ein solches Vorgehen kann als valide angesehen werden, da die Lehrperson im täglichen Umgang mit den Kindern ihre eigene Sprache an das Niveau der Kinder anpasst. Daher ist davon auszugehen, dass sie ein gutes Gefühl für die verbalen Fähigkeiten der Kinder besitzt. Die jeweilige Klassenlehrperson beantwortete in dem Fragebogen pro Kind sieben Items auf vierstufigen Likert-Skalen (1 = *stimme zu*, 2 = *stimme eher zu*, 3 = *stimme eher nicht zu*, 4 = *stimme nicht zu*). Die Reliabilität (Guttman's $\lambda_2 = .92$) der Befragung erwies sich als sehr gut. Bei der Auswertung wurden die vergebenen Punkte umcodiert, sodass eine höhere Punktzahl bessere verbale Fähigkeiten abbildete. Jedes Kind konnte somit maximal 28 Punkte für die verbalen Fähigkeiten erreichen.

15.6 Bestimmung des optimalen Stichprobenumfangs und Wahl des Signifikanzniveaus

Bevor Daten erhoben werden, sollte der optimale Stichprobenumfang berechnet und das Signifikanzniveau festgelegt werden.

Die Größe des optimalen Stichprobenumfangs hängt u. a. von den zu beantwortenden Hypothesen ab (vgl. Bortz & Döring, 2006). Mit Hypothese 1 wird geprüft, ob sich die

Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm mithilfe einer explorativen Hauptkomponenten-Faktorenanalyse empirisch als Wissens Elemente abbilden lassen. Hypothesen 2 bis 4 beziehen sich auf Mittelwertunterschiede der Anzahl korrekter Antworten zwischen den verschiedenen Aspekten und Kontexten und werden mit t-Tests geprüft.

Der notwendige Stichprobenumfang zum Erhalt distinkter und reliabler Faktoren bei der Durchführung einer explorativen Faktorenanalyse wird kontrovers diskutiert (für eine Übersicht s. Field, 2009). Zusammengefasst sind ab einem Stichprobenumfang von 300 Kindern stabile Faktoren zu erwarten (Field, 2009). Das Kaiser-Meyer-Olkin-Maß gibt einen weiteren Hinweis auf die Angemessenheit einer Stichprobengröße. Ab einem Wert von .5 wird eine Stichprobengröße bei einer Faktorenanalyse als akzeptabel angesehen (Field, 2009).

Der optimale Stichprobenumfang für die Beantwortung der Hypothesen 2 bis 4 wurde mithilfe des Programms G*Power (Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007) bestimmt. Für den Vergleich zweier Mittelwerte (t-Test) bei abhängigen Stichproben und erwartetem mittlerem Effekt empfiehlt G*Power für die gerichteten Hypothesen 2 bis 4 einen Stichprobenumfang von mindestens 27 Kindern ($d = .5$, $\alpha = .05$, $\beta = .8$). Aufgrund von Hypothese 1 muss jedoch eine deutlich größere Stichprobe erhoben werden. Bei der Interpretation der Signifikanztests (t-Tests) für Hypothesen 2 bis 4 ist daher zu beachten, dass eine große Stichprobe auch bei einem kleinen Unterschied, z. B. in der Anzahl korrekter Vorstellungen zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm, eher signifikant wird als bei kleinen Stichproben (Bortz & Schuster, 2010; Field, 2013). Daher wird im Folgenden neben der Teststatistik und dem Signifikanzwert immer auch die Effektgröße berichtet. Diese ist ein objektives Maß für die Größe eines beobachteten Effekts und beschreibt dessen *praktische Bedeutsamkeit* (Bortz & Döring, 2006; Bortz & Schuster, 2010; Field, 2013).

Das Signifikanzniveau wird bei 5 % festgelegt. Dabei handelt es sich um einen üblichen Wert in der Grundlagenforschung (Bortz & Döring, 2006).

15.7 Stichprobe der Hauptuntersuchung

384 Kinder aus 25 ersten Klassen des Stadtgebiets Münster nahmen an der Hauptuntersuchung von Studie I teil. Die Klassen beteiligten sich entweder im Zeitraum

von 11/2012 bis 02/2013 oder 11/2013 bis 02/2014 an dem Projekt *Kinder lernen Naturwissenschaft und Technik*. Im Rahmen dieses Projekts wurden die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu den Themenbereichen *einseitige Hebel*, *Statik* und *potenzielle Energie* untersucht und versucht, diese mithilfe verschiedener Impulse zu verändern (vgl. Studie II; Kapitel 18, S. 187). Ein Teil der Kinder aus jeder Klasse arbeitete zum Themenbereich *einseitiger Hebel*. Durch Befragung der Lehrpersonen vor der Projektteilnahme wurde sichergestellt, dass keines der Kinder zuvor an Unterricht zu den genannten Themen teilgenommen hatte.

14 Kinder wurden aus folgenden Gründen von der Datenanalyse ausgeschlossen: zweimalige Teilnahme an der Studie aufgrund Wiederholen der Jahrgangsstufe Eins ($N = 4$), Alter jünger 5.9 Jahre bzw. älter 7.9 Jahre ($N = 5$) und kein altersangemessener Wortschatz und daher Verständnisschwierigkeiten ($N = 5$).

Somit besteht die Stichprobe der Hauptuntersuchung zur Erfassung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln aus 370 Kindern (186 Jungen, 184 Mädchen). Sie waren zum Zeitpunkt der Befragung im Durchschnitt 6.62 Jahre alt ($SD = .31$, $Min = 5.92$, $Max = 7.67$). In der Hauptuntersuchung werden diese Kinder als 6- bis 7-Jährige bezeichnet.

15.8 Ablauf der Befragung

Der Ablauf der Befragung gestaltete sich folgendermaßen: Zunächst wurden im Klassenverband die kognitiven Fähigkeiten (CFT 1 Labyrinth und Matrizen, vgl. Kapitel 15.5, S. 142) der 6- bis 7-Jährigen erhoben. Angeleitet durch zwei Befragungsleiter bearbeiteten die Kinder in ca. 30 Minuten die jeweiligen sog. *Rätselaufgaben*. Im Anschluss wurden die Kinder per Zufall in Kleingruppen aufgeteilt. Geschulte Befragungsleiter führten in Gruppen von ca. 8 Kindern die 15-minütige Befragung zu einseitigen Hebeln durch. Der Ablauf der Befragung in der Hauptuntersuchung verlief analog zum Ablauf der Pilotierung (vgl. Kapitel 15.2.1, S. 130). In Anhang A.1.1 (S. 301) ist der Befragungsleitfaden (Version A) der Hauptuntersuchung dargestellt. Um zu gewährleisten, dass die Befragung in allen Gruppen gleich ablief, wurden diese auf Video aufgezeichnet. Die Durchsicht der Videos ergab, dass alle Befragungen, soweit es im Rahmen des altersangemessenen Umgangs mit Gruppen 6- bis 7-Jähriger möglich ist, standardisiert in Anlehnung an den Befragungsleitfaden durchgeführt wurden. Bevor die

Ergebnisse der Befragung ausgewertet wurden, wurde die Güte der Befragung zu einseitigen Hebeln geprüft.

15.9 Überprüfung der Güte der Befragung zu einseitigen Hebeln

Im Folgenden wird zunächst der Umgang mit fehlenden Werten beschrieben und auf die beiden Befragungsversionen A und B eingegangen. Anschließend wird mithilfe einer Hauptkomponenten-Faktorenanalyse geprüft, aus wie vielen Hauptkomponenten sich die Befragung zu einseitigen Hebeln zusammensetzt (Hypothese 1). Die Gütekriterien der klassischen Testtheorie *Objektivität*, *Reliabilität* und *Validität* (Bühner, 2011) der Befragung werden berichtet. Abschließend erfolgt die Darstellung der Itemschwierigkeiten und Trennschärfen.

15.9.1 Umgang mit fehlenden Werten und Befragungsversionen A und B

Da der jeweilige Befragungsleiter jedes Kind nach dem Bearbeiten des Aufgabenhefts aufforderte zu kontrollieren, ob alle Items beantwortet wurden, traten nur in Einzelfällen fehlende Werte bei den Items auf. Diese wurden als *Missing Value* (vgl. Field, 2009) codiert. Eine Ersetzung der fehlenden Werte durch den Mittelwert der Skala fand nicht statt, da dieses Vorgehen die Anzahl richtig gelöster Items für ein Kind überschätzen kann. Vielmehr wurde das nicht Beantworten eines Items als Nicht-Kennen der korrekten Antwort interpretiert.

Die Items wurden den 6- bis 7-Jährigen in zwei Befragungsversionen A und B präsentiert. Geprüft wurde, ob sich die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger in Abhängigkeit von der Befragungsversion unterscheiden. 181 Kinder bearbeiteten Version A und 189 Kinder Version B. In Tabelle 5 (S. 147) sind die Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und Mittelwertvergleiche der Anzahl korrekter Vorstellungen für beide Befragungsversionen A und B zu Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel dargestellt.

Tabelle 5. Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und Mittelwertvergleiche der Anzahl korrekter Antworten für die Versionen A und B

Befragungsversion Aspekt und Kontext	Version A			Version B			Mittelwertvergleiche ¹
	M	SD	Max	M	SD	Max	t-Test _{zweiseitig}
Last Schubkarre	2.96	1.45	4	2.46	1.71	4	$t(362.43) = 3.05, p = .002, d = .32$
Lastarm Schubkarre	1.82	1.56	4	1.87	1.41	4	$t(360.70) = -.32, p = .749, d = .03$
Kraftarm Schubkarre	1.01	1.40	4	.79	1.10	4	$t(341.01) = 1.66, p = .099, d = .17$
Kraftarm Schraubenschlüssel	.55	.78	2	.48	.74	2	$t(364.96) = .90, p = .369, d = .09$

¹Aufgrund nicht gegebener Varianzhomogenitäten bei allen Aspekten im Kontext Schubkarre wurden die Freiheitsgrade adjustiert.

Die Vorstellungen zu den Aspekten Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel unterscheiden sich nicht in Abhängigkeit von der verwendeten Befragungsversion, alle $p_{zweiseitig} > .05$. Beim Aspekt Last im Kontext Schubkarre werden hingegen bei Beantwortung von Befragungsversion A signifikant mehr Items korrekt gelöst als bei Version B ($t(362.43) = 3.05, p_{zweiseitig} = .002, d = .32$). Die ermittelte Effektgröße ist jedoch als klein² zu beurteilen (Cohen, 1988). Der Unterschied in der Anzahl korrekter Vorstellungen zur Last könnte über die Position der Items in der Befragung erklärt werden. In Befragungsversion B folgen trotz Randomisierung zufällig jeweils zwei Items zur Last aufeinander (vgl. Anhang A.1.3, S. 308). Dies könnte dazu geführt haben, dass die Kinder nicht auf die Größe der Last in den Schubkarren geachtet, sondern die Position gewählt haben (obere, mittlere oder untere Schubkarre), die beim vorherigen Item ihrer Meinung nach die korrekte Antwort darstellte. Beim jeweiligen zweiten Item könnte dies zu einer falschen Antwort geführt haben.

Um dem Unterschied zwischen Fragebogenversion A und B für den Aspekt Last bei der Überprüfung der Hypothesen 2a und 2b (vgl. Kapitel 14.3, S. 119) Rechnung zu tragen, wird im Folgenden geprüft, ob die Fragebogenversionen mit den in den Hypothesen 2a und 2b untersuchten Variablen (Anzahl korrekter Vorstellungen zu den Wissens Elementen Last, Lastarm und Kraftarm) interagieren. Dazu werden Varianzanalysen mit Messwiederholung mit abhängigen Variablen Last und Lastarm bzw. Last und Kraftarm und der Fragebogenversion als Kovariate berechnet. Durch dieses Vorgehen wird der Einfluss der Testversion mitberücksichtigt, sodass eventuelle Unterschiede in den o. g. Aspekten nicht von der Testversion abhängig sind (bei fehlender Signifikanz des

² Cohen (1988) empfiehlt beim Vergleich zweier Mittelwerte die Angabe der Effektgröße d . Ab einem Wert von .2 liegt ein kleiner Effekt vor, .5 beschreibt einen mittleren Effekt und .8 einen großen Effekt.

Interaktionseffektes) oder sich in Abhängigkeit von der Testversion unterscheiden (bei vorliegender signifikanter Interaktion).

Für Hypothese 2a bzgl. des Unterschieds in der Anzahl korrekter Vorstellungen zu den Aspekten Last und Lastarm im Kontext Schubkarre zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Aspekt ($F(1,368) = 60.25, p < .001, \eta_p^2 = .14$)³ und kein signifikanter Haupteffekt ($F(1,368) = 3.83, p = .051, \eta_p^2 = .01$) bzgl. der verwendeten Version A oder B. Die signifikante Interaktion zwischen Aspekt und Fragebogenversion ($F(1,368) = 6.14, p = .014, \eta_p^2 = .02$) ist in Anhang A.2.1 (S. 313) dargestellt und zeigt, dass sich die Fragebogenversion nur auf das Ausmaß des Unterschiedes zwischen der Anzahl korrekt gelöster Items zur Last und zum Lastarm auswirkt. Unter Berücksichtigung der Testversion bleibt der Unterschied zwischen den Aspekten Last und Lastarm im Kontext Schubkarre, worauf sich die Hypothese 2a bezieht, signifikant (vgl. Haupteffekt für Aspekt). Aus diesem Grund wird bei der folgenden Hypothesenauswertung auf die getrennte Betrachtung von Version A und B verzichtet.

Bzgl. Hypothese 2b, dem Unterschied zwischen den korrekten Vorstellungen zu den Aspekten Last und Kraftarm, zeigt sich ein signifikanter Haupteffekt für den Aspekt ($F(1,368) = 286.70, p < .001, \eta_p^2 = .44$) und für die Befragungsversion ($F(1,368) = 11.99, p = .001, \eta_p^2 = .03$). Es zeigt sich aber keine signifikante Interaktion zwischen Aspekt und Befragungsversion ($F(1,368) = 1.76, p = .185, \eta_p^2 = .005$). Daher ist anzunehmen, dass die Befragungsversion keinen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse bzgl. Hypothese 2b hat. Folglich wird auch in diesem Fall auf eine getrennte Betrachtung der beiden Befragungsversionen verzichtet. Die folgende Ergebnisdarstellung findet aus diesen Gründen nicht differenziert nach Befragungsversion A und B statt.

³ Bei varianzanalytischer Auswertung wird die Angabe der Effektgröße Eta Quadrat (η^2) empfohlen (Cohen, 1988). Eta Quadrat beschreibt, wie viel Gesamtvarianz in der abhängigen Variable durch die unabhängige Variable erklärt wird. Die Varianzaufklärung ist ein Maß für die Bedeutsamkeit des Effekts (Cohen, 1988; Rasch, Friese, Hoffmann & Naumann, 2014). Die Effektgröße wird bei SPSS als partielles Eta-Quadrat (η_p^2) ausgegeben. Eta-Quadrat und partielles Eta-Quadrat sind bei einfaktoriellen Varianzanalysen ohne Messwiederholung identisch, unterscheiden sich jedoch bei Varianzanalysen mit Messwiederholung (Rasch et al., 2014). Im Folgenden wird bei Varianzanalysen ohne Messwiederholung das partielle Eta-Quadrat angegeben, das den Anteil der aufgeklärten Varianz in der Population jedoch häufig überschätzt (Rasch et al., 2014). Bei Varianzanalysen ohne Messwiederholung Eta-Quadrat berichtet. Folgende Klassifikationen werden vorgenommen: $\eta^2 \geq .01$ kleiner Effekt, $\eta^2 \geq .06$ mittlerer Effekt, $\eta^2 \geq .14$ großer Effekt (Cohen, 1988).

15.9.2 Die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm lassen sich empirisch trennen und als Wissens Elemente abbilden (Hypothese 1)

Zunächst wurde die Struktur der Befragung zu einseitigen Hebeln geprüft. Ziel war zu untersuchen, ob sich die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm empirisch als Wissens Elemente unterscheiden lassen (vgl. Hypothese I; Kapitel 14.3, S. 119). Dazu wurde eine explorative Hauptkomponenten-Faktorenanalyse mit Varimax-Rotation über die 14 Items gerechnet. Das Kaiser-Meyer-Olkin-Maß (.74) zeigt, dass die Stichprobengröße von 370 Kindern für die Analyse als genügend groß anzusehen ist. Bei dieser Stichprobengröße sind reliable und distinkte Faktoren zu erwarten (Field, 2009). Alle Anti-Image Korrelationen liegen über dem empfohlenen Minimum von .5 (Field, 2009). Der Bartlett's Test auf Sphärizität ($\chi^2(91) = 1416.80, p < .001$) zeigt, dass die Korrelationen zwischen den Items groß genug für die Durchführung einer Hauptkomponentenanalyse sind. Vier Komponenten besitzen Eigenwerte über dem Kaiser-Kriterium von 1 (vgl. Anhang A.2.1, S. 313) und erklären insgesamt 62.29 % der Varianz. In Tabelle 6 sind die Faktor-Ladungen nach der Rotation abgebildet.

Tabelle 6. Zusammenfassung der exploratorischen Hauptkomponentenanalyse für die Befragung zu einseitigen Hebeln ($N = 370$)

Item	Schubkarre			Schraubenschlüssel
	Last	Lastarm	Kraftarm	Kraftarm
Schubkarre Last 1	.91			
Schubkarre Last 2	.88			
Schubkarre Last 3	.87			
Schubkarre Last 4	.82			
Schubkarre Lastarm 1		.76		
Schubkarre Lastarm 2		.74		
Schubkarre Lastarm 3		.73		
Schubkarre Lastarm 4		.70		
Schubkarre Kraftarm 1			.78	
Schubkarre Kraftarm 2			.73	
Schubkarre Kraftarm 3			.65	
Schubkarre Kraftarm 4			.64	
Schraubenschlüssel Kraftarm 1				.82
Schraubenschlüssel Kraftarm 2				.81
Eigenwerte	3.08	2.22	1.99	1.42
% der Varianz	22.03	15.89	14.21	10.16

Die vier Komponenten können inhaltlich bezeichnet werden als: 1) *Last im Kontext Schubkarre*, 2) *Lastarm im Kontext Schubkarre*, 3) *Kraftarm im Kontext Schubkarre* und 4) *Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel*. Die identifizierten Faktoren bei der Hauptkomponenten-Faktorenanalyse entsprechen den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm des Hebelgesetzes. Für den Aspekt Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel zeigen sich getrennte Hauptkomponenten. Für den weiteren Verlauf der Auswertung bedeuten diese Ergebnisse, dass die Befragung die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm für die Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel abbildet und sich diese empirisch als Wissens Elemente unterscheiden lassen. Hypothese I wird damit bestätigt.

Nachdem die Struktur der Befragung abgebildet wurde, wurden die Gütekriterien Objektivität, Reliabilität, Validität sowie Itemschwierigkeiten und Trennschärfen der Befragung berechnet.

15.9.3 Objektivität

Die Objektivität gibt an, inwieweit das Ergebnis einer Befragung vom Untersucher unabhängig ist (Bühner, 2011). Die vorliegende Befragung kann aus verschiedenen Gründen als objektiv bewertet werden. Die Durchführungsobjektivität ist gegeben, da die Befragungsleiter in einer Schulung ausführlich mit der Befragung vertraut gemacht wurden und diese anhand fest vorgegebener Instruktionen standardisiert durchführten. Auswertungsobjektivität und Interpretationsobjektivität sind dadurch gegeben, dass es sich um eine Befragung mit vorgegebenen Antwortoptionen im Single-Choice-Format handelt (Bortz & Döring, 2006). In einem Codier-Leitfaden wurde festgelegt, welche Abbildung eines Items die korrekte Antwort darstellt.

15.9.4 Reliabilität

Die Reliabilität gibt die Messgenauigkeit an (Bortz & Döring, 2006; Bühner, 2011). Als Maß wird, wie schon in der Pilotierung (vgl. Kapitel 15.3.2, S. 136), Guttman's Lambda₂ berichtet. Die Reliabilität der vier Items zu Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie die Reliabilität der zwei Items zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel sind in Tabelle 7 (S. 151) dargestellt.

Tabelle 7. Reliabilität (Guttman's λ_2) der Hauptuntersuchung

Aspekt und Kontext	Guttman's λ_2	
	Schubkarre (je 4 Items)	Schraubenschlüssel (je 2 Items)
Last	.90	-
Lastarm	.66	-
Kraftarm	.73	.55

Im Vergleich zur Pilotierung (vgl. Kapitel 15.3.2, Tabelle 2, S. 137) zeigt sich für den Aspekt Last im Kontext Schubkarre eine hohe Reliabilität (.90). Die Reliabilität zum Lastarm im Kontext Schubkarre kann als akzeptabel angesehen werden. Durch die Erhöhung der Itemanzahl von zwei auf vier Items beim Kraftarm konnte die Reliabilität deutlich gesteigert werden und erreicht in der Hauptuntersuchung ebenfalls ein zufriedenstellendes Maß. Die Reliabilität zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel erweist sich als am niedrigsten. Diese kann aber unter Berücksichtigung der geringen Itemanzahl ebenfalls als akzeptabel angesehen werden. Insgesamt scheint die Befragung die Wissens Elemente Last, Lastarm und Kraftarm reliabel abzubilden.

15.9.5 Validität

Die Validität beschreibt, in welchem Ausmaß ein Test oder eine Befragung das misst, was er bzw. sie messen soll (Bortz & Döring, 2006; Bühner, 2011). Verschiedene Arten der Validität werden unterschieden. *Inhaltsvalide* ist ein Test, wenn alle Items zusammen und jedes einzelne Item das zu messende Merkmal auch tatsächlich misst (Bühner, 2011). In der vorliegenden Befragung bezieht sich jedes Item auf einen Aspekt des Hebelgesetzes, weshalb von einem inhaltsvaliden Test gesprochen werden kann. *Kriteriumsvalidität* liegt vor, wenn ein Zusammenhang zwischen der Leistung im Test und einem Kriterium besteht, mit welchem der Test aufgrund seines Messanspruchs korreliert (Bühner, 2011). Da keine andere Befragung zu einseitigen Hebeln für 6- bis 7-Jährige bekannt ist bzw. an dieser Stichprobe durchgeführt wurde, kann keine Aussage über die Kriteriumsvalidität getroffen werden. *Konstruktvalidität* ist gegeben, wenn aus dem gemessenen Konstrukt (hier: Vorstellungen zu einseitigen Hebeln) Hypothesen ableitbar sind, die anhand von Testwerten bestätigt werden können (Bortz & Döring, 2006). In Kapitel 16 (S. 154) wird noch gezeigt, dass mit der vorliegenden Befragung die aufgestellten Hypothesen bestätigt werden. Dies ist ein Hinweis auf Konstruktvalidität. In der Hauptkomponentenanalyse (vgl. Kapitel 15.9.2, S. 149) wurde zudem gezeigt, dass die gefundenen Hauptkomponenten die Aspekte des Hebelgesetzes Last, Lastarm und Kraftarm in den

Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel darstellen. Dies ist ebenfalls ein Hinweis auf Konstruktvalidität.

15.9.6 Itemschwierigkeit

Die Itemschwierigkeit gibt den Anteil 6- bis 7-Jähriger an, der ein Item korrekt löst (Bortz & Döring, 2006). Die Schwierigkeiten der einzelnen Items zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie für den Aspekt Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8. Schwierigkeiten der Items der Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel

Item	Kontext Schubkarre				Kontext Schraubenschlüssel		
	Schwierigkeit	Item	Schwierigkeit	Item	Schwierigkeit	Item	Schwierigkeit
Last 1	.72	Lastarm 1	.50	Kraftarm 1	.25	Kraftarm 1	.28
Last 2	.68	Lastarm 2	.45	Kraftarm 2	.21	Kraftarm 2	.24
Last 3	.67	Lastarm 3	.45	Kraftarm 3	.21	-	-
Last 4	.64	Lastarm 4	.48	Kraftarm 4	.24	-	-

Im Kontext Schubkarre zeigen sich über alle Aspekte hinweg Itemschwierigkeiten zwischen .72 und .21. Damit liegen die Itemschwierigkeiten im bevorzugten mittleren Bereich von .2 bis .8. und weisen gleichzeitig eine breite Streuung auf (Bortz & Döring, 2006). Letzteres ist sinnvoll, damit Kinder mit unterschiedlichen Fähigkeiten annähernd gleich gut differenziert werden können (Bortz & Döring, 2006). Items zur Last im Kontext Schubkarre weisen die niedrigsten Itemschwierigkeiten (.64 - .72) auf. Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre (.21 - .25) und Schraubenschlüssel (.24 - .28) besitzen die höchsten Itemschwierigkeiten.

15.9.7 Trennschärfe

Die Trennschärfe eines Items gibt an, wie gut dieses Item Personen mit unterschiedlichen Vorstellungen voneinander differenziert (Bühner, 2011; Rost, 2004). Items mit hoher Trennschärfe differenzieren gut, Items mit niedriger Trennschärfe weniger gut. In Tabelle 9 (S. 153) werden die Trennschärfen für die einzelnen Items zu den Aspekten Last Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel dargestellt.

Tabelle 9. Trennschärfen für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel

Kontext Schubkarre				Kontext Schraubenschlüssel			
Item	Trennschärfe	Item	Trennschärfe	Item	Trennschärfe	Item	Trennschärfe
Last 1	.70	Lastarm 1	.38	Kraftarm 1	.52	Kraftarm 1	.38
Last 2	.78	Lastarm 2	.48	Kraftarm 2	.51	Kraftarm 2	.38
Last 3	.83	Lastarm 3	.47	Kraftarm 3	.55		
Last 4	.79	Lastarm 4	.43	Kraftarm 4	.46		

Insgesamt zeigen die Items der einzelnen Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel mittlere bis hohe Trennschärfen⁴. Das bedeutet, die Items differenzieren 6- bis 7-Jährige mit unterschiedlichen Vorstellungen zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm ausreichend gut.

⁴ Trennschärfe < .3 niedrig, .3 - .5 mittel, > .5 hoch nach Fisseni (1997).

16 Ergebnisse Studie I: Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln

In Kapitel 15.9 (S. 146) wurde gezeigt, dass sich die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel empirisch unterscheiden lassen und somit als Wissens Elemente abbildbar sind. Eine objektive, reliable und valide Befragung zu einseitigen Hebeln liegt vor. Auf Basis dieser Erkenntnisse wird im Folgenden untersucht, welche Vorstellungen 6- bis 7-Jährige zu den Wissens Elementen Last, Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln zeigen. Die Auswertung der Vorstellungen zu diesen Wissens Elementen wird über verschiedene Ansätze vorgenommen. Zunächst wird dargestellt, wie sich die Antworten der 6- bis 7-Jährigen auf die drei Antwortalternativen verteilen. Anschließend werden ausschließlich die korrekten Antworten betrachtet und untersucht, wie häufig die Kinder diese Antwortoption wählen und somit ein konstantes Muster in ihren Antworten zeigen. Abschließend werden Zusammenhänge zu kognitiven und verbalen Fähigkeiten berichtet.

16.1 Verteilung der Antworten auf die drei Antwortoptionen

Im Folgenden werden Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und die prozentuale Verteilung der Antworten für die drei Antwortoptionen der Items zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel berichtet (vgl. Tabelle 10, S. 155).

Tabelle 10. Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und durchschnittliche Anzahl der Antworten in Prozent für Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel

Kontext und Aspekt	M	SD	Max	Ø Anzahl Antworten in %
Schubkarre Last (4 Items)				
Klein ¹	2.71	1.61	4	68.05
Mittel	.76	1.25	4	19.03
Groß	.51	1.13	4	12.93
Schubkarre Lastarm (4 Items)				
Kurz ¹	1.85	1.49	4	46.82
Mittel	1.33	1.36	4	33.68
Lang	.76	1.01	4	19.35
Schubkarre Kraftarm (4 Items)				
Lang ¹	.9	1.26	4	22.7
Mittel	2.59	1.49	4	65.18
Kurz	.48	.98	4	12.13
Schraubenschlüssel Kraftarm (2 Items)				
Lang ¹	.52	.76	2	26.20
Mittel	1.3	.83	2	66.50
Kurz	.14	.41	2	7.15

¹ korrekte Antwortoption

Im Kontext Schubkarre lösen 6- bis 7-Jährige von den jeweils vier Items pro Aspekt durchschnittlich 2.71 Items zur Last, 1.85 Items zum Lastarm und .9 Items zum Kraftarm korrekt. Beim Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel wählen die 6- bis 7-Jährigen bei durchschnittlich .52 von zwei Items die korrekte Antwort, den langen Kraftarm. Die korrekte Antwortoption wird bei den Aspekten Last (68.05 %) und Lastarm (46.82 %) im Kontext Schubkarre am häufigsten gewählt. Beim Kraftarm wird hingegen sowohl im Kontext Schubkarre als auch im Kontext Schraubenschlüssel am häufigsten eine falsche Antwortoption, der mittlere Kraftarm, gewählt.

Ob die Verteilung auf die drei Antwortalternativen durch Raten zustande kam, wird im Folgenden geprüft. Dazu wurden die Mittelwerte der Anzahl korrekt beantworteter Items mit dem Wert verglichen, der durch Raten zu erwarten wäre. Dieser Erwartungswert beschreibt die Zahl, die eine Zufallsvariable im Mittel annimmt (Bortz & Schuster, 2010). Bei vier Items zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm im Kontext Schubkarre mit jeweils drei Antwortalternativen beträgt der Erwartungswert für jeden Aspekt ($4 \times 1/3 =$) 1.33. Beim Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel beträgt der Erwartungswert .67. Dieser ergibt sich aus der Anzahl der Items (zwei) multipliziert mit

der Wahrscheinlichkeit von einem Drittel, die korrekte der drei Antwortalternativen durch Raten zu wählen ($2 \times 1/3$). Tabelle 11 zeigt die Vergleiche der durchschnittlichen Anzahl korrekter Antworten mit dem jeweiligen Erwartungswert für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und für den Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel.

Tabelle 11. Vergleich des Mittelwerts der durchschnittlichen Anzahl korrekter Antworten mit dem Erwartungswert für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel

Aspekt und Kontext	Erwartungswert μ	M_{korrekt}	SD_{korrekt}	t	df	$p_{\text{zweiseitig}}$	d
Schubkarre							
Last	1.33	2.71	1.61	16.45	369	< .001	.86
Lastarm	1.33	1.85	1.49	6.65	369	< .001	.35
Kraftarm	1.33	.90	1.26	-6.61	369	< .001	.34
Schraubenschlüssel							
Kraftarm	.67	.52	.76	-3.80	369	< .001	.20

Die durchschnittliche Anzahl der korrekten Antworten unterscheidet sich in allen Aspekten und Kontexten signifikant vom jeweiligen Erwartungswert, alle $p_{\text{zweiseitig}} < .001$. Im Durchschnitt lösen 6- bis 7-Jährige bei den Aspekten Last und Lastarm im Kontext Schubkarre signifikant mehr Items korrekt, als durch Raten zu erwarten wäre. Die Effekte sind beim Aspekt Last als groß ($d = .86$) und beim Lastarm als klein ($d = .35$) zu bewerten (Cohen, 1988). Beim Kraftarm lösen die Kinder in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel signifikant weniger Items korrekt, als durch Raten zu erwarten ist, alle $p_{\text{zweiseitig}} < .001$. Die Effekte sind jedoch als klein (Kraftarm Schubkarre $d = .34$, Kraftarm Schraubenschlüssel $d = .20$) zu bewerten.

16.2 Lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zum Gewicht als zum Abstand beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre korrekt? (Hypothese 2)

Im Folgenden wird mit einem t-Test geprüft, ob sich die Anzahl der korrekten Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Gewicht (Last) und Abstand (Lastarm, Kraftarm) bei dem einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre unterscheiden. Mit Hypothese 2 (vgl. Kapitel 14.3, S. 119) wird angenommen, dass 6- bis 7-Jährige beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre mehr Items zur Dimension Gewicht als zur Dimension Abstand (Lastarm bzw. Kraftarm) korrekt lösen. Die Ergebnisse bestätigen diese Hypothese: Im

Kontext Schubkarre lösen die 6- bis 7-Jährigen signifikant mehr Items zur Last als zum Lastarm ($t(369) = 7.66$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $d = .40$) bzw. zum Kraftarm ($t(369) = 16.89$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $d = .88$) korrekt. Die Effektgröße des Unterschieds zwischen der Anzahl korrekter Antworten zur Last und zum Lastarm ist als klein zu bewerten (Cohen, 1988). Der Unterschied zwischen der Anzahl korrekt gelöster Items zur Last und zum Kraftarm ist hingegen groß (Cohen, 1988).

16.3 Lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zum Lastarm als zum Kraftarm beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre korrekt? (Hypothese 3)

Mit Hypothese 3 (vgl. Kapitel 14.3, S. 119) wird angenommen, dass 6- bis 7-Jährige im Kontext Schubkarre mehr korrekte Vorstellungen zum Lastarm als zum Kraftarm zeigen. Die Daten bestätigen diese Hypothese. Im Kontext Schubkarre lösen 6- bis 7-Jährige zum Lastarm ($M = 1.85$; $SD = 1.49$) im Durchschnitt mehr Items korrekt als zum Kraftarm ($M = .9$; $SD = 1.26$), $t(369) = 9.67$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $d = .50$. Die Effektgröße deutet auf einen mittleren Effekt hin (Cohen, 1988).

16.4 Lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel als im Kontext Schubkarre korrekt? (Hypothese 4)

Hypothese 4 (vgl. Kapitel 14.3, S. 119) bezieht sich auf den Unterschied zwischen der Anzahl korrekter Vorstellungen zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel. Angenommen wird, dass 6- bis 7-Jährige zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel mehr Items korrekt lösen als zum Kraftarm im Kontext Schubkarre. Da im Kontext Schubkarre vier Items und im Kontext Schraubenschlüssel zwei bearbeitet wurden, kann nicht die absolute Anzahl korrekt gelöster Items miteinander verglichen werden, sondern nur der prozentuale Anteil. Dieser unterscheidet sich in beiden Kontexten jedoch nicht ($t(369) = -1.40$, $p_{\text{einseitig}} = .081$, $d = -.07$). Hypothese 4 kann demnach nicht bestätigt werden.

Zusätzlich wurde der Zusammenhang zwischen der Anzahl korrekt gelöster Items zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel betrachtet. Die Produkt-

Moment-Korrelation⁵ nach Pearson zeigt einen kleinen Effekt dahingehend, dass 6- bis 7-Jährige, die mehr Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre korrekt lösen, auch mehr Items zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel korrekt beantworten ($r = .16$, $p = .001$).

16.5 Häufigkeit der Wahl der korrekten Antwortalternative

Im Folgenden werden ausschließlich die korrekten Antworten für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm betrachtet. Dabei wird ausgewertet, wie häufig die 6- bis 7-Jährigen die korrekte Antwortoption pro Aspekt wählen und inwiefern die Kinder bei einem Aspekt über die verschiedenen Items konstant antworten. Ein konstantes Antwortmuster wird bei mindestens drei von vier korrekt gelösten Items, also mindestens 75 % korrekter Antworten angenommen. Nach der Binominalverteilung (Anzahl Items $N = 4$, Auftretenswahrscheinlichkeit $p = 1/3$, Anzahl korrekt gelöster Items $k = 3$ bzw. 4) beträgt die Wahrscheinlichkeit, in der vorliegenden Befragung mindestens drei von vier Items durch Raten korrekt zu lösen, 11.11 % (Bortz & Döring, 2006; Bühner & Ziegler, 2009). Daher kann davon ausgegangen werden, dass Kinder, die drei oder vier Items korrekt lösen, nicht raten. Bei diesem 75 %-Kriterium handelt es sich um einen ähnlichen Grenzwert, wie er bei der Auswertung von Balkenwaagen in Studien unter Verwendung Sieglers Entscheidungsbaummethode und Zuordnung zu Regeln vorgenommen wurde (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35). Siegler (1976; 1978) wählt ein Kriterium von 80 %, ab dem er annimmt, dass ein Kind konstant antwortet und damit einer Regel zugeordnet werden kann (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35).

In Tabelle 12 (S. 159) sind die absoluten und prozentualen Häufigkeiten für die Wahl von null, eins, zwei, drei, vier und mindestens drei korrekten Antworten pro Aspekt und Kontext dargestellt. Ebenfalls wird berichtet, wie häufig die Kinder konstant antworten, d. h. bei mindestens drei von vier Items im Kontext Schubkarre (75 % der Items) korrekt antworten. Kinder, die in mindestens 75 % der Items zu einem Aspekt korrekt antworten, werden als ‚Köner‘ bezeichnet. Da im Kontext Schraubenschlüssel nur zwei Items zum Kraftarm beantwortet wurden, wird auf eine Klassifikation in ‚Köner‘ verzichtet.

⁵ Der Korrelationskoeffizient gibt die Größe eines Zusammenhangs an. Werte von $\pm .1$ beschreiben einen kleinen Effekt, Werte von $\pm .3$ einen mittleren Effekt und Werte von $\pm .5$ einen großen Effekt (Field, 2009).

Tabelle 12. Absolute und prozentuale Häufigkeit von null, eins, zwei, drei, vier oder mindestens drei korrekter Antworten für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie Schraubenschlüssel

Kontext	Schubkarre				Schraubenschlüssel			
	Last (4 Items)		Lastarm (4 Items)		Kraftarm (4 Items)		Kraftarm (2 Items)	
Aspekt	N	%	N	%	N	%	N	%
Anzahl korrekter Antworten								
Null	69	18.65	98	26.49	209	56.49	239	64.59
Eins	36	9.73	71	19.19	69	18.65	71	19.19
Zwei	24	6.49	66	17,84	36	9.73	60	16.22
Drei	47	12.70	59	15.95	32	8.65	-	-
Vier	194	52.43	76	20.54	24	6.49	-	-
≥ Drei (,Könner‘)	241	64.13	135	36.52	56	15.14	-	-
Gesamt	370	100	370	100	370	100	370	100

Drei oder mehr Aufgaben lösen im Kontext Schubkarre 64.13 % der 6- bis 7-Jährigen zur Last, 36.52 % der 6- bis 7-Jährigen zum Lastarm und nur 15.14 % der 6- bis 7-Jährigen zum Kraftarm. Die Gruppe der ‚Könner‘ ist demnach im Kontext Schubkarre bei der Gewichtsdimension (Last) größer als bei der Abstandsdimension (Lastarm, Kraftarm). Etwas mehr als die Hälfte aller Kinder (52.43 %) lösen beim Lastarm im Kontext Schubkarre sogar alle vier Aufgaben korrekt. Beim Kraftarm hingegen wird im Kontext Schubkarre (56.49 %) sowie im Kontext Schraubenschlüssel (64.59 %) von mehr als der Hälfte aller 6- bis 7-Jährigen kein Item korrekt gelöst.

Vergleich der ‚Könner‘ zwischen den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre

Um die Anzahl der ‚Könner‘ (Kinder, die drei oder mehr Items pro Aspekt korrekt lösen) zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre miteinander zu vergleichen, wurde der McNemar-Test für verbundene Stichproben bei kategorialen Daten eingesetzt. Als Effektgröße wird empfohlen, Phi⁶ (Φ) zu berichten (Bühner & Ziegler, 2009; Field, 2009).

Die Anzahl der ‚Könner‘ ist beim Aspekt Last signifikant größer als beim Lastarm ($\chi^2(1, N = 370) = 61.25, p < .001, \Phi = .41$) oder beim Kraftarm ($\chi^2(1, N = 370) = 151.82, p < .001, \Phi = .64$). Innerhalb der Dimension Abstand können beim Aspekt Lastarm

⁶ Bei Phi (Φ) $\geq .1$ liegt ein kleiner Effekt, $\geq .3$ ein mittlerer Effekt und $\geq .5$ ein großer Effekt vor (Bühner & Ziegler, 2009). Φ wird mit folgender Formel berechnet (Field, 2009): $\Phi = \sqrt{\frac{\chi^2}{N}}$.

signifikant mehr Kinder als ‚Köner‘ klassifiziert werden als beim Kraftarm ($\chi^2(1, N = 370) = 42.55, p < .001, \Phi = .34$). Die Effektgrößen sind mittel bis groß.

16.6 Zusammenhang der Vorstellungen mit kognitiven und verbalen Fähigkeiten (Nebenfragestellung 1)

Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen kognitiven bzw. verbalen Fähigkeiten und Anzahl korrekter Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm berichtet (Nebenfragestellung 1). Die kognitiven Fähigkeiten wurden mithilfe zweier Subtests des CFT 1 (Matrizen: *Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemstellungen erkennen*, Labyrinth: *visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit*) und die verbalen Fähigkeiten mit einem Lehrpersonenfragebogen⁷ erhoben (vgl. Kapitel 15.5, S. 142). Der CFT 1 (Cattell, Weiss & Osterland, 1997) sieht keine Normwerte für die Untertests Matrizen und Labyrinth vor. Daher kann nicht überprüft werden, ob die durchschnittliche Anzahl korrekt gelöster Matrizen- und Labyrinth-Aufgaben bei der vorliegenden Stichprobe 6- bis 7-Jähriger der Normierung entspricht. In den folgenden Berechnungen wird aus diesem Grund auf die Rohwerte zurückgegriffen. Der Lehrpersonenfragebogen zur Beurteilung der verbalen Fähigkeiten wurde für die vorliegende Studie entwickelt. Daher liegen ebenfalls keine Normwerte zugrunde, mit denen die vorliegende Stichprobe 6- bis 7-Jähriger verglichen werden könnte.

Bevor der Zusammenhang zwischen der Anzahl korrekter Vorstellungen mit kognitiven und verbalen Fähigkeiten mithilfe von Korrelationen berechnet wird, muss geprüft werden, a) ob es sich um einen linearen und nicht kurvenlinearen Zusammenhang handelt und b), ob durch Varianzeinschränkung ein möglicher Zusammenhang verdeckt wird.

Art des Zusammenhangs

Zur Untersuchung der Art eines möglichen Zusammenhangs wurden Streudiagramme zwischen den kognitiven und verbalen Fähigkeiten und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items erstellt (vgl., Abbildung 9, S. 161; Abbildung 10, S. 161; Abbildung 11, S. 162).

⁷ Bei der Auswertung wurden die von der Lehrperson gegebenen verbalen Einschätzungen umcodiert, sodass höhere Werte mit besseren verbalen Fähigkeiten einhergehen.

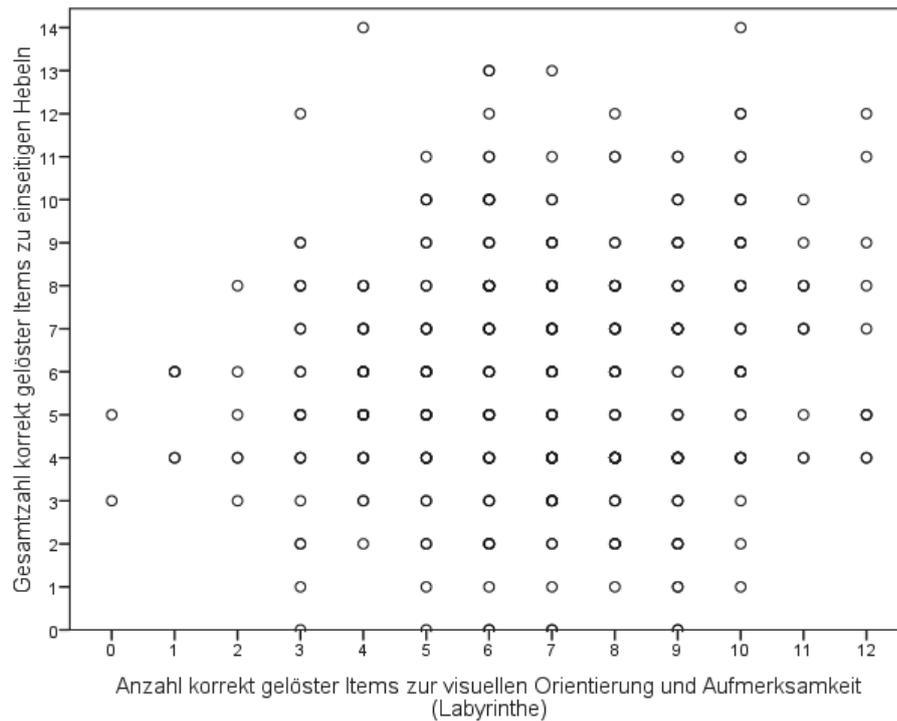


Abbildung 9. Streudiagramm für die Anzahl korrekt gelöster Items zur visuellen Orientierung und Aufmerksamkeit (Labyrinth; Min = 0; Max = 12) und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zum einseitigen Hebel (Min = 0; Max = 14)

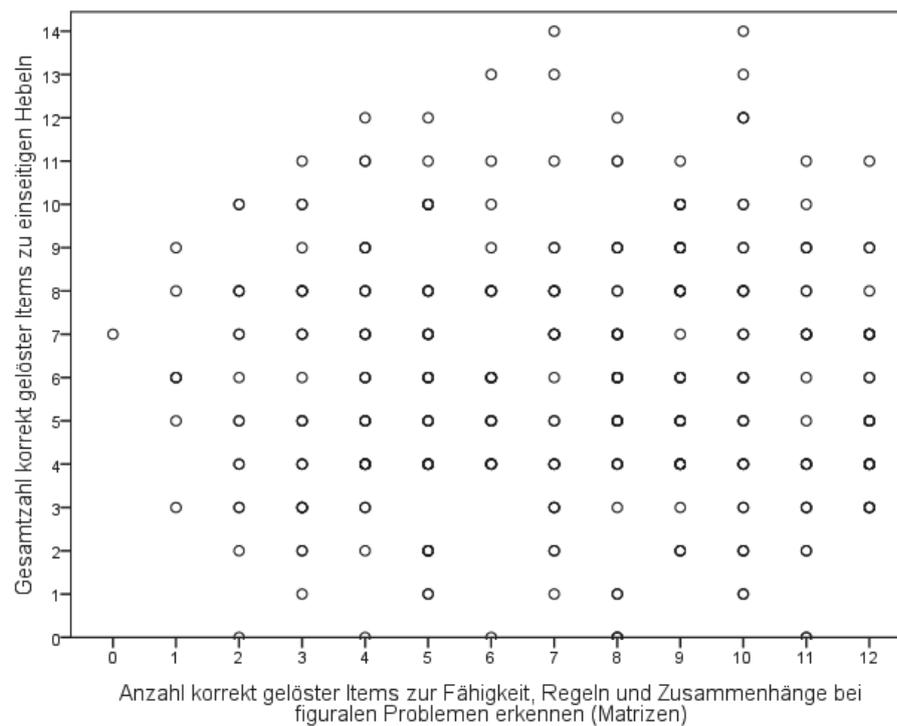


Abbildung 10. Streudiagramm für die Anzahl korrekt gelöster Items zur Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemen zu erkennen (Matrizen; Min = 0; Max = 12) und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zum einseitigen Hebel (Min = 0; Max = 14)

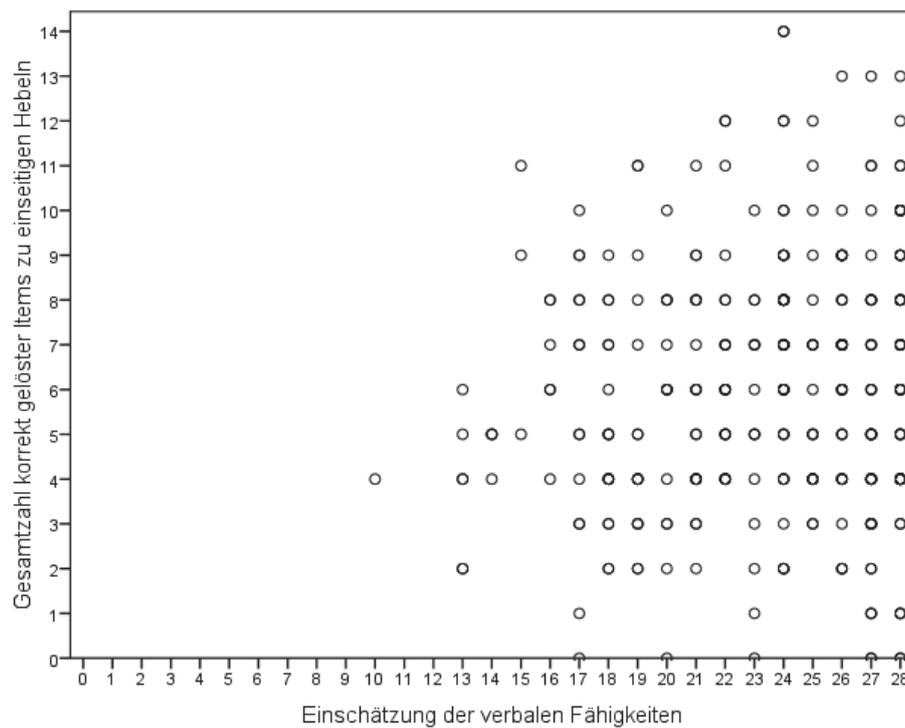


Abbildung 11. Streudiagramm für Einschätzung der verbalen Fähigkeiten (Min = 10; Max = 28) und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zum einseitigen Hebel (Min = 0; Max = 14)

Die Punktwolken deuten auf keinen kurvenlinearen Zusammenhang hin. Auch für die Zusammenhänge zwischen kognitiven bzw. verbalen Fähigkeiten und den einzelnen Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und dem Aspekt Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel zeigen die Streudiagramme keine kurvenlinearen Zusammenhänge. Um einen kurvenlinearen Zusammenhang auch statistisch auszuschließen, wurden zusätzlich mithilfe einer Regression die Varianzaufklärungen für einen quadratischen und linearen Zusammenhang berechnet ($R^2_{\text{quadratisch}}$; R^2_{linear}). Diese sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 13. Varianzaufklärungen bei der Regression für einen quadratischen und linearen Zusammenhang.

Skala	Gesamt		Last Schubkarre		Lastarm Schubkarre		Kraftarm Schubkarre		Kraftarm Schraubenschlüssel	
	R^2_{linear}	$R^2_{\text{quadratisch}}$	R^2_{linear}	$R^2_{\text{quadratisch}}$	R^2_{linear}	$R^2_{\text{quadratisch}}$	R^2_{linear}	$R^2_{\text{quadratisch}}$	R^2_{linear}	$R^2_{\text{quadratisch}}$
Labyrinth	.014	.015	.015	.016	.03	.030	.004	.018	.003	.003
Matrizen	.000	.003	.008	.012	.03	.030	.011	.012	.005	.010
Verbale Fähigkeiten	.011	.017	.005	.007	.049	.052	.004	.004	.004	.004

Die Varianzaufklärung, bedingt durch die kognitiven bzw. verbalen Fähigkeiten in der Anzahl korrekter Lösungen bei Annahme eines quadratischen Trends, beträgt bei allen Aspekten weniger als 5 %. Aufgrund der Punkteanordnung in den Streudiagrammen und der geringen Varianzaufklärung wird im Folgenden davon ausgegangen, dass kein quadratischer Zusammenhang vorliegt.

Verdeckt eine Varianzeinschränkung einen möglichen Zusammenhang?

Ob durch Varianzeinschränkung ein möglicher Zusammenhang verdeckt wird, kann untersucht werden, indem die Verteilung der Punkte über die vier Quadranten der Streudiagramme betrachtet wird. Für die Zusammenhänge zwischen den kognitiven Fähigkeiten und der Gesamtanzahl korrekt gelöster Items zeigt sich keine Varianzeinschränkung. Die Punkte in den Streudiagrammen verteilen sich über alle Quadranten (vgl. Abbildung 9, S. 161; vgl. Abbildung 10, S. 161). Für die Zusammenhänge zwischen den verbalen Fähigkeiten und der Anzahl korrekt gelöster Items zeigt sich im Streudiagramm (vgl. Abbildung 11, S. 162) eine deutliche Verteilung der Punkte auf den I. und IV. Quadranten. Dies deutet auf eine Varianzeinschränkung und ein homogenes hohes Niveau an verbalen Fähigkeiten hin.

Korrelationen

Die (Produkt-Moment-) Korrelationen⁸ (r) zwischen den kognitiven oder verbalen Fähigkeiten und der Anzahl korrekter Vorstellungen zu einseitigen Hebeln sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14. Produkt-Moment-Korrelationen

Produkt-Moment-Korrelation (r) N = 370	Kognitive Fähigkeiten		Verbale Fähigkeiten (28 Punkte)
	Vis. Orientierung und Aufmerksamkeit (12 Labyrinth)	Regeln und Zusammenhänge erkennen (12 Matrizen)	
Gesamtzahl korrekter Antworten (14 Items)	.12	.01	.10
Schubkarre Last (4 Items)	.12	.09	.07
Schubkarre Lastarm (4 Items)	.17	.06	.22
Schubkarre Kraftarm (4 Items)	-.06	-.11	-.08
Schraubenschlüssel Kraftarm (2 Items)	-.06	-.07	-.07

⁸Der Korrelationskoeffizient der Produkt-Moment-Korrelation gibt die Größe eines Zusammenhangs an. Werte von $\pm .1$ beschreiben einen kleinen Effekt, Werte von $\pm .3$ einen mittleren Effekt und Werte von $\pm .5$ einen großen Effekt (Field, 2009). Die Signifikanzprüfung erfolgte für eine einseitige Testung.

Die *visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit* ($M = 6.87$, $SD = 2.47$, maximal zu erreichende Punktzahl 12) korreliert schwach positiv mit der Gesamtzahl korrekter Antworten ($r = .12$, $p = .011$), der Anzahl korrekter Antworten zur Last ($r = .12$, $p = .009$) und zum Lastarm im Kontext Schubkarre ($r = .17$, $p < .001$). Die *Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemstellungen zu erkennen* ($M = 7.18$, $SD = 3.05$, maximal zu erreichende Punktzahl 12), korreliert schwach negativ mit der Anzahl korrekter Antworten beim Kraftarm im Kontext Schubkarre ($r = -.11$, $p = .02$) und schwach positiv mit der Anzahl korrekter Antworten zur Last im Kontext Schubkarre ($r = .09$, $p = .045$). Die *verbalen Fähigkeiten* ($M = 23.35$, $SD = 4.05$, maximal zu erreichende Punktzahl 28) der 6- bis 7-Jährigen korrelieren schwach positiv mit der Gesamtanzahl korrekter Antworten ($r = .10$, $p = .029$) und der Anzahl korrekt gelöster Items zum Lastarm im Kontext Schubkarre ($r = .22$, $p < .001$).

Nebenfragestellung 1 kann folgendermaßen beantwortet werden: Insgesamt zeigen sich zwischen den kognitiven und verbalen Fähigkeiten sowie der Anzahl korrekter Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm vor einer Intervention nur geringe Zusammenhänge.

17 Diskussion Studie I: Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 16 (S. 154) dargestellten Ergebnisse diskutiert. Zunächst erfolgt eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse zu den eingangs formulierten Hypothesen. Im Anschluss findet eine theoriebezogene Diskussion der Ergebnisse statt. In dieser werden die zentralen Ergebnisse in Beziehung zu Forschungsergebnissen anderer gesetzt. Die folgende methodische Diskussion betrachtet Besonderheiten des Einsatzes und der Art der verwendeten Erhebungsinstrumente und bezieht sie auf die erfassten Vorstellungen. Abschließend werden Schlussfolgerungen der vorliegenden Untersuchung für die Praxis gezogen.

17.1 Zusammenfassungen der wichtigsten Ergebnisse bzgl. der Hypothesen 1 bis 4 und der Nebenfragestellung 1

Das Ziel von Studie I ist zum einen die Untersuchung, ob sich die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm einseitiger Hebel empirisch als Wissens Elemente trennen lassen sowie zum anderen, welche Vorstellungen 6- bis 7-Jährige zu Last, Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln in den Alltagskontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel zeigen.

Mithilfe der Hauptkomponentenanalyse konnten die Aspekte des Hebelgesetzes Last, Lastarm und Kraftarm empirisch als Wissens Elemente nachgewiesen werden. Hypothese 1 kann somit bestätigt werden. Die entwickelte Befragung in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel ermöglicht eine objektive, reliable und valide Erfassung der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Last, Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln. Zum einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre lösen 6- bis 7-Jährige mehr Items zur Last als zum Lastarm und zum Kraftarm korrekt. Somit wählen sie häufiger die Schubkarre, die mit einer kleinen Last beladen ist, als die Schubkarre, bei der die Last in der Nähe des Rades steht, oder die Schubkarre, die lange Griffe hat. Hypothesen 2a und 2b werden ebenfalls bestätigt. Innerhalb der Dimension Abstand lösen die 6- bis 7-Jährigen im Kontext Schubkarre zum Lastarm mehr Items korrekt als zum Kraftarm. Hypothese 3 wird demnach ebenfalls bestätigt. Der prozentuale Anteil korrekter Antworten zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel unterscheidet sich nicht signifikant. Hypothese 4, mit der angenommen wird, dass beim Aspekt Kraftarm im Kontext

Schraubenschlüssel mehr Items korrekt gelöst werden als im Kontext Schubkarre, wird daher nicht bestätigt. Insgesamt zeigen sich nur geringe Zusammenhänge zwischen der Anzahl korrekter Antworten zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm sowie kognitiven und verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen.

17.2 Theoretische Bezüge der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln

In der theoriebezogenen Diskussion werden Querverbindungen, Parallelen und Unterschiede der vorliegenden Studie zu Ergebnissen aus der Literatur herausgearbeitet. Nur wenige Forschungsarbeiten, die Vorstellungen zu einseitigen Hebeln betreffen, sind bekannt (vgl. Kapitel 6, S. 42). Daher werden im Folgenden neben Ergebnissen aus Studien zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel auch Ergebnisse zum Gleichgewicht von Hebeln im Kontext Balkenwaage diskutiert. Der Aufbau der theoriebezogenen Diskussion orientiert sich an den Hypothesen 1 bis 4. Ergebnisse werden in bisherige Forschungsergebnisse eingeordnet und diskutiert, die theoriebezogene Diskussion schließt mit der Erörterung der Zusammenhänge zwischen Vorstellungen zu einseitigen Hebeln und verbalen sowie kognitiven Fähigkeiten 5- bis 7-Jähriger (Nebenfragestellung 1). Im Anschluss werden methodische Aspekte der Studie diskutiert und Implikationen für die Praxis gezogen.

17.2.1 Empirische Bestätigung der Wissens Elemente Last, Lastarm und Kraftarm (Hypothese 1)

Bzgl. des Prinzips *Kraftsparen* bei einseitigen Hebeln in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel existiert kein Gesamtfaktor, der das Wissen 6- bis 7-Jähriger abbildet. Vielmehr liegen Vorstellungen getrennt für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel vor (Hypothese 1).

Auch Schwelle et al. (2014a) zeigten, dass der von ihnen entwickelte „Wissenstest zum Hebelgesetz“ (S. 181) für 8- bis 9-Jährige keine einfaktorielle Struktur besitzt. Obwohl sich beide Befragungen in verschiedenen Punkten, z. B. befragte Altersgruppe, Itemformate, Arten der Hebel und untersuchte Prinzipien unterscheiden, scheint Wissen über die Funktionsweise von Hebeln nicht mit einem Faktor abbildbar zu sein. In der Befragung von Schwelle et al. (2014a) werden die Prinzipien Kraftverstärkung,

Gleichgewicht und Begriffswissen untersucht. Die Befragung der vorliegenden Studie bezieht sich ausschließlich auf das Prinzip des Kraftsparens. Erfasst wird, ob die 6- bis 7-Jährigen das Verhältnis von Lastarm zu Kraftarm und Größe der Last auf die aufzubringende Kraft einschätzen können. Das Prinzip Kraftsparen stimmt damit in etwa mit dem Prinzip der Kraftverstärkung bei Schwelle et al. (2014a) überein. Neben der Kraftverstärkung beinhaltete die Befragung von Schwelle et al. darüber hinaus das Prinzip Gleichgewicht und das Begriffswissen. Letztere beiden wurden in Studie I dieser Arbeit nicht betrachtet. Zudem wurden in der vorliegenden Arbeit im Durchschnitt etwa 2 Jahre jüngere Kinder als bei Schwelle et al (2014a) befragt.

17.2.2 Häufigkeit korrekter Vorstellungen zu Gewicht und Abstand im Kontext Schubkarre (Hypothese 2)

Im Folgenden werden die Ergebnisse bzgl. der Häufigkeit korrekter Vorstellungen zu Gewicht und Abstand im Kontext Schubkarre (Hypothese 2) berichtet. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bzgl. der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Gewicht und Abstand beim kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel bestätigen die Ergebnisse von Studien zum Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln. Die korrekte Berücksichtigung des Gewichts scheint 6- bis 7-Jährigen leichter zu fallen als die Berücksichtigung des Abstands (z. B. Ferretti & Butterfield, 1986; Inhelder & Piaget, 1958; Jansen & van der Maas, 2002; McFadden et al., 1987; Siegler, 1976; Wilkening & Anderson, 1991). Da sich nur eine kleine Effektgröße der Differenz der Anzahl korrekter Vorstellungen zu den Wissenselementen Last und Lastarm im Kontext Schubkarre zeigt, ist dieser Unterschied als wenig bedeutsam zu beurteilen. Die Effektgröße für den Unterschied zwischen der Anzahl korrekter Vorstellungen zur Last und zum Kraftarm im Kontext Schubkarre weist hingegen auf einen bedeutenderen Effekt hin (Bortz & Döring, 2006; Bortz & Schuster, 2010; Field, 2013).

Im Folgenden wird diskutiert, wodurch die Unterschiede in den Wissenselementen zu den Dimensionen Gewicht und Abstand bedingt sein könnten.

Die Relational Complexity Theory (Halford et al., 1998) nimmt an, dass die Leistung in einer Aufgabe davon abhängt, wie viele Variablen berücksichtigt werden müssen (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39). Ist die Anzahl der zu berücksichtigenden Variablen bei zwei Aufgaben im selben Themenbereich gleich, sollten ähnliche Leistungen gezeigt werden. Unterscheiden sich dennoch die Leistungen bei zwei Aufgaben, bei denen die gleiche

Anzahl an Variablen berücksichtigt werden muss, wird dies auf ein unterschiedliches Ausmaß an Alltagserfahrungen zurückgeführt (Halford et al., 2002).

Im Kontext Schubkarre unterscheiden sich die drei Abbildungen eines Items zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm ausschließlich in einem Aspekt. Zur Lösung eines Items müssen die drei Abbildungen miteinander verglichen werden, d. h. eine mindestens dreifache Relation muss vollzogen werden (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39). Komplexere Lösungsstrategien sind ebenfalls denkbar, aber unwahrscheinlich. Bspw. könnte für jede Schubkarre eines Items das Drehmoment aus Last und Lastarm bestimmt werden. In einem weiteren Schritt könnte für jede Schubkarre die Kraft bestimmt werden, die benötigt wird, um das Produkt aus Kraft und Kraftarm größer als das Produkt aus Last und Lastarm werden zu lassen. Danach könnten die Kräfte, die bei jeder der drei Schubkarren notwendig sind, miteinander verglichen werden. Die Schubkarre, bei der die kleinste Kraft notwendig ist, wird im Anschluss gewählt. Im Kontext Schubkarre ist jedoch unwahrscheinlich, dass die 6- bis 7-Jährigen den multiplikativen Zusammenhang zwischen Kraft und Kraftarm sowie Last und Lastarm erkennen, da alle vier Aspekte auf derselben Seite des Drehpunkts liegen. Zudem sind im Kontext Schubkarre, anders als im Kontext Balkenwaage, keine numerischen Werte für Gewicht und Abstand ablesbar. Im Kontext Balkenwaage können die Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage und deren Abstände vom Drehpunkt gezählt werden. Im Kontext Schubkarre ist dies nicht möglich. Daher ist sehr unwahrscheinlich, dass die 6- bis 7-Jährigen diesen Lösungsweg wählen.

Unabhängig von der gewählten Lösungsstrategie unterscheidet sich die zu berücksichtigende Anzahl an Variablen nicht zwischen Items zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm im Kontext Schubkarre. Da zur Last im Kontext Schubkarre mehr Items korrekt gelöst werden, könnte dies über Alltagserfahrungen erklärt werden. Kinder sammeln im Alltag mehr Erfahrungen im Anheben unterschiedlich schwerer Lasten als mit der Auswirkung des Abstands der Kraft oder der Last an einem Hebel (Halford et al., 2002).

17.2.3 Verortung der Vorstellungen zur Last im Kontext Schubkarre in bisherigen Forschungsergebnissen

Da bisher keine Studien bekannt sind, in denen systematisch der Einfluss der Last beim einseitigen Hebel untersucht wurde, können die Ergebnisse der vorliegenden Studie damit nicht verglichen werden. Daher werden die Ergebnisse zur Last beim einseitigen Hebel im

Kontext Schubkarre mit Ergebnissen zum Gewicht bei zweiseitigen Hebeln verglichen. Hauptsächlich wird auf Studien Bezug genommen, in denen Kinder beurteilten, zu welcher Seite sich z. B. eine Balkenwaage neigt. Abschließend werden diese Ergebnisse ergänzt um Studien, in denen Kinder den zweiseitigen Hebel handelnd ausbalancierten.

Beurteilungsaufgaben zum zweiseitigen Hebel wurden unter Verwendung verschiedener Methoden (vgl. Kapitel 5.3, S. 34) ausgewertet. Bei der Zuordnung von Regeln im Kontext Balkenwaage mithilfe der Entscheidungsbaummethode (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) wird von einem konstanten Antwortverhalten ausgegangen, wenn mindestens 80 % der Antworten einer bestimmten Regel folgen. In der vorliegenden Studie im Kontext Schubkarre wird konstantes Antwortverhalten über drei von vier korrekt gelösten Items definiert (vgl. Kapitel 16.5, S. 158). Dieses 75 %-Kriterium entspricht in etwa dem von Siegler (1976) gewählten 80 %-Kriterium.

64.13 % der 6- bis 7-Jährigen wählen in mindestens drei von vier Items zur Last im Kontext Schubkarre die korrekte Antwort. Dieser Anteil liegt etwas unter dem Anteil von Gleichaltrigen, die beim Beurteilen, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt, konstant das Gewicht berücksichtigen (Regel I). In den klassischen Studien zur Balkenwaage von Siegler (1976) berücksichtigten alle 5-Jährigen das Gewicht in mindestens 80 % der Items korrekt. In einer anderen Studie, ebenfalls unter Verwendung der Entscheidungsbaummethode im Kontext Balkenwaage, berücksichtigten sowohl 75 % der 5- als auch 75 % der 7-Jährigen in mindestens dreiviertel der Items das Gewicht (McFadden et al., 1987). Amsel et al. (1996) zeigten ebenfalls, dass 91 % der 6-Jährigen in mindestens sieben von acht Items korrekt vorhersagten, ob und zu welcher Seite sich verschiedene zweiseitige Hebel neigten, deren Seiten sich nur in dem Gewicht unterschieden.

Bei der Regeldiagnose im Kontext Balkenwaage (z. B. Siegler, 1976; 1978) wurden Kinder ab 80 % korrekter Antworten einem konstanten Antwortverhalten zugeordnet (Regel I bis IV). In der vorliegenden Studie im Kontext Schubkarre wird ab 75 % korrekter Antworten von einem konstanten Antwortverhalten ausgegangen. Obwohl der prozentuale Anteil, ab wann ein konstantes Antwortverhalten vorliegt, im Kontext Balkenwaage strenger gewählt ist (d. h. die Kinder müssen einen höheren Anteil der Aufgaben korrekt lösen) als im Kontext Schubkarre, berücksichtigen mehr Kinder im Kontext Balkenwaage konstant das Gewicht. Mögliche Gründe dafür könnten sich auf den Kontext, das untersuchte Prinzip (Gleichgewicht vs. Kraftverstärkung) oder die Verwendung einer

anderen Erhebungsmethode beziehen. Auf diese methodischen Aspekte wird in Kapitel 17.3 (S. 178) eingegangen.

Werden die Ergebnisse der Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre mit den Ergebnissen von Produktionsaufgaben im Kontext Balkenwaage verglichen, zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Vergleich mit Beurteilungsaufgaben im Kontext Balkenwaage. Die korrekte Berücksichtigung des Gewichts beim handelnden Ausbalancieren einer Balkenwaage scheint für 6- bis 7-jährige Jungen leichter zu sein als die Berücksichtigung der Last bei der Beurteilung, welche Schubkarre leichter zu transportieren ist. 68 % der 5- bis 6-jährigen Jungen und 80 % der 7- bis 10-jährigen Jungen lösten alle Items im Kontext Balkenwaage korrekt, wenn die Balkenwaage nur mit einem Gewicht ausgeglichen werden musste (Roth, 1970; 1974). Im Kontext Schubkarre gelingt nur 52 % der 6- bis 7-Jährigen Jungen und Mädchen in allen Items korrekt vorherzusagen, welche Schubkarre am leichtesten anzuheben ist.

Die Relational Complexity Theory (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39) geht davon aus, dass Aufgaben, die dieselbe Anzahl an Relationen aufweisen, die gleiche Komplexität besitzen und daher gleich gut gelöst werden (Halford et al., 1998; Halford et al., 2002). Die unterschiedliche Anzahl korrekter Vorstellungen zur Last im Kontext Schubkarre und zum Gewicht im Kontext Balkenwaage könnte über die Relational Complexity Theory (Halford et al., 1998) erklärt werden. Sowohl bei Items zur Last im Kontext Schubkarre als auch bei Items zum Gewicht im Kontext Balkenwaage wird nur ein Aspekt, die Last bzw. das Gewicht, zwischen den verschiedenen Schubkarren eines Items oder den beiden Seiten einer Balkenwaage variiert. Im Kontext Balkenwaage reicht zum Lösen eines Items eine zweifache Relation aus. Das Gewicht auf der rechten Seite kann mit dem Gewicht auf der linken Seite verglichen werden. Um die Items im Kontext Schubkarre lösen zu können, reicht eine zweifache Relation jedoch nicht aus (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39). Vielmehr müssen die Lasten dreier Schubkarren miteinander verglichen werden. Eine solche dreifache Relation zu vollziehen, ist für 6- bis 7-Jährige anspruchsvoller als der Vollzug einer zweifachen Relation. Dies kann dazu führen, dass im Kontext Schubkarre weniger Kinder als im Kontext Balkenwaage konstant die Last berücksichtigen.

Die unterschiedliche Häufigkeit korrekter Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zwischen Last im Kontext Schubkarre und Gewicht im Kontext Balkenwaage könnte ein Hinweis darauf sein, dass anfängliches naturwissenschaftliches Wissen fragmentiert und nur lose miteinander verknüpft vorliegt (diSessa, 1983; 1988). Vorstellungen, die 6- bis 7-Jährige

zum Gewicht im Kontext Balkenwaage zeigen, müssen daher nicht für die Last im Kontext Schubkarre vorliegen. Beide Kontexte sind äußerlich sehr verschieden und das gemeinsame Funktionsprinzip, das Hebelgesetz (vgl. Kapitel 2, S. 16), ist nicht leicht zu erkennen. Nachdem die Vorstellungen zur Gewichtsdimension (Last) im Kontext Schubkarre mit bisherigen Forschungsbefunden zum Gewicht verortet wurden, werden im nächsten Kapitel die Ergebnisse zur Abstandsdimension (Lastarm, Kraftarm) berichtet.

17.2.4 Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm unterscheiden sich im Kontext Schubkarre (Hypothese 3)

Innerhalb der Dimension Abstand schätzen 6- bis 7-Jährige im Kontext Schubkarre mehr Items zum Lastarm als zum Kraftarm korrekt ein. Der Unterschied in der durchschnittlichen Anzahl korrekt beantworteter Items ist aufgrund der Effektgröße von $d = .5$ als bedeutsam anzusehen (Bortz & Döring, 2006; Bortz & Schuster, 2010; Field, 2013). Hypothese 3 kann demnach bestätigt werden.

Verschiedene Erklärungsansätze, warum 6- bis 7-Jährige im Kontext Schubkarre mehr korrekte Vorstellungen zum Lastarm als zum Kraftarm zeigen, werden im Folgenden diskutiert. Sowohl bei Items zum Lastarm als auch bei Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre erfolgt die Lösung über eine mindestens dreifache Relation (vgl. Kapitel 5.3.5, S. 39). Weil dieselbe Anzahl an Relationen vollzogen werden muss, wird davon ausgegangen, dass beide Aufgaben gleich gut gelöst werden. Aufgrund empirischer Ergebnisse im Kontext Balkenwaage (Halford et al., 2002) machen Vertreter der Relational Complexity Theory die Zusatzannahme, dass neben der Komplexität einer Aufgabe auch ein unterschiedliches Ausmaß an Alltagserfahrungen die Lösungswahrscheinlichkeit beeinflusst (Halford et al., 2002). Der Kontext Schubkarre bietet 6- bis 7-Jährigen im Alltag eher die Gelegenheit, Erfahrungen zum Lastarm (Verschieben der Position der Ladung) als zum Kraftarm (Verändern der Griffängen) zu sammeln.

Vier weitere Argumente, die ebenfalls mit Besonderheiten des Kontexts Schubkarre zusammenhängen, liefern weitere mögliche Gründe, warum es 6- bis 7-Jährigen leichter fällt, den Lastarm als den Kraftarm korrekt einzuschätzen.

Erstens könnte der Lastarm im Kontext Schubkarre einfacher zu erkennen sein als der Kraftarm. Der Lastarm wird durch den Abstand zwischen Drehpunkt (Achse des Rads) und

dem massiven Objekt Last markiert. Der Kraftarm hingegen wird definiert durch den Abstand zwischen Drehpunkt und dem Ende der Griffe. Fraglich ist, ob 6- bis 7-Jährige von sich aus eine Verbindung zum Drehpunkt herstellen können oder ob sie die Position des Steins in Relation zur Wanne und die Länge der Griffe ab der Wanne betrachten.

Zweitens hat eine Veränderung des Kraftarms durch Verlängern der Griffe eine, wenn auch nur geringfügige, Auswirkung auf das Gesamtgewicht der Schubkarre. Bei der Variation des Lastarms durch Verschieben der Last in der Wanne verändert sich das Gesamtgewicht jedoch nicht. Die Annahme, dass eine insgesamt schwerere Schubkarre mit längeren Griffen leichter zu transportieren ist als eine insgesamt leichtere Schubkarre mit kürzeren Griffen, widerspricht dem Verständnis, dass leichte Dinge mit weniger Kraft angehoben werden können. Fraglich bleibt, ob die 6- bis 7-Jährigen eine Verknüpfung zwischen längeren Griffen und höherem Gesamtgewicht der Schubkarre herstellen.

Drittens könnten Kinder bspw. beim Spielen mit Stöcken die Erfahrung gemacht haben, dass ein langer Stock instabiler ist und eher durchbricht. Diese Erfahrung könnten sie auf die langen Griffe der Schubkarre übertragen und annehmen, dass auch diese schneller durchbrechen. Daher könnte die Schubkarre mit den langen Griffen weniger geeignet erscheinen, einen Gegenstand zu transportieren. Dies würde zu einer selteneren Wahl der korrekten Antwort führen. Im Kontext Schubkarre hingegen würde die Annahme, dass beim Anheben der Schubkarre der Stein in der Wanne nach vorne zum Rad rutscht, wenn dieser hinten bei den Griffen steht, die korrekte Antwort (kurzer Lastarm) begünstigen.

Viertens verändern sich bei der Verlängerung der Griffe einer Schubkarre die Proportionen. Weder die Schubkarre mit den kurzen Griffen noch die Schubkarre mit den langen Griffen entspricht in ihren Proportionen einer Schubkarre, wie sie aus dem Alltag bekannt ist. Die Schubkarre mit den mittleren Griffen hingegen schon. Beim Lastarm verändern sich durch Verschieben der Last die Proportionen der Schubkarre nicht.

Eine Vielzahl von Gründen kann demnach angeführt werden, warum es 6- bis 7-Jährigen im Kontext Schubkarre leichter fällt, die Rolle des Kraftarms im Gegensatz zum Lastarm für das Einsparen von Kraft korrekt einzuschätzen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie in bisherige Forschungsergebnisse eingebettet.

17.2.5 Verortung der Vorstellungen zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre in bisherigen Forschungsergebnissen

Bisher ist keine Studie bekannt, die die Vorstellungen zu den Wissenselementen Lastarm und Kraftarm systematisch in einem Kontext eines einseitigen Hebels erfasst. Daher können die Ergebnisse der vorliegenden Studie nur im Vergleich zu bisheriger Forschung betrachtet werden, die die Wissenselemente und Vorstellungen zum Abstand beim zweiseitigen Hebel primär im Kontext Balkenwaage untersucht.

Wird die konstante Berücksichtigung des Abstands betrachtet, lösen im Kontext Schubkarre beim Lastarm 36.52 % und beim Kraftarm 15.14 % der 6- bis 7-Jährigen mindestens 75 % der Items korrekt. Bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Balkenwaage lösen 10 % der 5- und 7-Jährigen 20 von 24 Items (83%-Kriterium) korrekt (McFadden et al., 1987). Die Berücksichtigung des Lastarms im Kontext Schubkarre und damit die Anwendung von Regel II (vgl. Kapitel 5.3.2, S. 35) scheint dieser Altersgruppe leichter zu fallen als die Berücksichtigung des Abstands im Kontext Balkenwaage. Die korrekte Beantwortung von Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre scheint hingegen vergleichbar mit der Berücksichtigung des Abstands im Kontext Balkenwaage.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Betrachtung der durchschnittlichen Anzahl korrekter Antworten in beiden Kontexten. Im Kontext Schubkarre gelingt es 6- bis 7-Jährigen, beim Lastarm im Durchschnitt 46.22 % und beim Kraftarm 22.5 % der Items korrekt zu lösen. Siegler (1976) zeigt, dass im Kontext Balkenwaage 5- bis 6-Jährige im Durchschnitt nur bei 9 % der Items zum Abstand korrekt vorhersagen, ob und zu welcher Seite sich die Balkenwaage neigt. Insgesamt scheint es 6- bis 7-Jährigen bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre deutlich leichter zu fallen, die Rolle des Lastarms für das Sparen von Kraft einzuschätzen, als im Kontext Balkenwaage die Rolle des Abstands für das Herstellen von Gleichgewicht.

Sollen Jungen eine Balkenwaage handelnd ins Gleichgewicht bringen, berücksichtigen 24 % der 5- bis 6-Jährigen und 54 % der 7- bis 10-Jährigen bei allen Items die Distanz (Roth, 1970; 1974). Bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre gelingt es beim Lastarm 20.54 % der Jungen und Mädchen und beim Kraftarm 6.49 % der Jungen und Mädchen, alle Items korrekt zu lösen. Die korrekte Beantwortung aller Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre scheint 6- bis 7-Jährigen deutlich schwieriger zu fallen als die Berücksichtigung des Abstands beim handelnden Ausbalancieren. Dieser

Unterschied könnte u. a. mithilfe der geänderten Erhebungsform (Beurteilung vs. Produktion) und den geänderten Kontexten (Schubkarre vs. Balkenwaage) erklärt werden.

17.2.6 Vorstellungen zum Kraftarm in verschiedenen Kontexten (Hypothese 4)

Bisher wurden die Ergebnisse im Kontext Schubkarre vorgestellt. Im Folgenden werden die Ergebnisse zum Kraftarm im Kontext Schubkarre mit den Ergebnissen zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel verglichen. 6- bis 7-Jährige lösen, entgegen der vorherigen Annahme in Hypothese 4, zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel gleich viele Items korrekt (vgl. Kapitel 16.4, S. 157).

Die Verteilung der Antworten über die drei Antwortalternativen in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel ist sehr ähnlich. Bei etwa einem Viertel aller Antworten wird in beiden Kontexten die korrekte Lösung (langer Kraftarm) gewählt. In beiden Kontexten entfällt die Mehrheit der Antworten auf die Wahl des mittleren Kraftarms. Dies könnte auf eine ‚Mittelstrategie‘ hinweisen. Bisherige Forschung zeigt, dass gerade bei wenig bekannten Themen häufig die mittlere Antwortalternative gewählt wird (Bortz & Döring, 2006; vgl. Kapitel 17.3.2, S. 178). Evtl. ist den 6- bis 7-Jährigen der Kraftarm in beiden Kontexten weniger vertraut als angenommen. Ob die ähnlichen Ergebnisse auf ein gleiches Ausmaß an Alltagserfahrungen zurückgeführt werden können, kann von der vorliegenden Studie nicht geklärt werden.

17.2.7 Verortung der Vorstellungen zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel in bisherigen Forschungsergebnissen

Nachdem im vorhergehenden Kapitel die Ergebnisse zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel innerhalb der Studie verglichen wurden, werden diese im Folgenden in Vergleich zu anderen Studien betrachtet. Lediglich eine Studie ist bekannt, die die Vorstellungen zum Kraftarm im Kontext eines einseitigen Hebels untersuchte. Die Vorstellungen zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel wurden von Duismann und Meschenmoser (2009) mithilfe eines Items erhoben. Bei diesem Item entfiel knapp die Hälfte der Antworten der 12- bis 16-Jährigen auf den längeren Schraubenschlüssel, um mit diesem eine Schraube möglichst leicht zu lösen. Die korrekte Antwortalternative wurde häufiger, als durch Raten zu erwarten gewesen wäre

(Erwartungswert = .33), gewählt. Bei den zwei Items der Befragung im Kontext Schraubenschlüssel sollten die 6- bis 7-Jährigen eine von drei Positionen eines Schraubenschlüssels auswählen, bei der es ihnen am leichtesten fällt, eine Schraube fest anzuziehen. Ca. ein Viertel der Antworten entfällt auf die Position am Ende des Griffs. Die 6- bis 7-Jährigen wählen dabei signifikant seltener, als durch Raten zu erwarten wäre (Erwartungswert = .67), die korrekte Antwort (vgl. Tabelle 11, S. 156). Zwei Drittel der Antworten entfallen auf die mittlere Position. Die 6- bis 7-Jährigen scheinen eine Mittelstrategie zu verfolgen. Der Vergleich der Ergebnisse zum Kraftarm aus beiden Studien ist schwierig, da sich die Befragungen u. a. im Alter der Stichprobe, in der Art der Items und der Fragestellung ‚lösen‘ vs. ‚festziehen‘ unterscheiden. Dennoch scheint die Aussage zulässig, dass sich die Vorstellungen zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel von wenig korrekten Vorstellungen bei 6- bis 7-Jährigen zu 50 % korrekten Vorstellungen bei 12- bis 16-Jährigen verändern.

Beim Vergleich der Vorstellungen zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel zeigt sich ein kleiner Effekt für folgenden Zusammenhang: Je häufiger die 6- bis 7-Jährigen die Schubkarre mit den langen Griffen wählen, desto häufiger wählen sie auch die Position am Ende des Schraubenschlüssels. Einige 6- bis 7-Jährige scheinen eine erste Idee davon zu haben, dass mit einem langen Kraftarm Kraft gespart werden kann. Der Effekt es jedoch als klein zu beurteilen. Dass ein Zusammenhang zwischen Vorstellungen zu Hebeln in verschiedenen Kontexten vorliegt, bestätigen Amsel et al. (1996). Sie finden große signifikante Korrelationen in der Anzahl korrekter Antworten zwischen verschiedenen Kontexten zweiseitiger Hebel (z. B. Balkenwaage, Wippe oder Brettermodell). Allerdings wurden in dieser Studie alle Aufgabentypen, nicht ausschließlich Distanzaufgaben, in die Analyse mit einbezogen. Außerdem wurden die Urteile von Kindern einer größeren Altersspanne (5 bis 11 Jahre) betrachtet.

17.2.8 Hinweise auf die Organisation der Wissens Elemente und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln

Im Folgenden wird diskutiert, welche Schlussfolgerungen aus den obigen Ergebnissen zu der Organisation von anfänglichen Wissens Elementen und Vorstellungen zu einseitigen Hebeln gezogen werden können. Zunächst unterscheiden sich die Vorstellungen zu den einzelnen Wissens Elementen Last, Lastarm und Kraftarm und bilden nicht einen einzigen

Faktor ‚Wissen zu einseitigen Hebeln‘. Eine differenzierte Betrachtung des Abstands bzgl. Lastarm und Kraftarm im Kontext einseitiger Hebel ist demnach wichtig.

Beim Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel werden etwa gleich wenige Items korrekt gelöst. In der Korrelation beider Kontexte zeigt sich nur ein Zusammenhang mit geringer praktischer Bedeutung. Dies deutet darauf hin, dass auch beim einseitigen Hebel anfängliche naturwissenschaftliche Wissens Elemente und Vorstellungen unstrukturiert und nur lose miteinander zusammenhängen (diSessa, 1983; 1988). Der geringe Zusammenhang könnte jedoch auch darauf hin deuten, dass sich im Alter von 6 bis 7 Jahren beim einseitigen Hebel Vorstellungen zum Abstand beginnen aufzubauen und zu differenzieren. Studien zum zweiseitigen Hebel bestätigen dies. Im Kontext Balkenwaage wurde gezeigt, dass sich zwischen 5 und 8 Jahren die Fähigkeit zur Berücksichtigung des Abstands entwickelt (z. B. Siegler, 1976).

17.2.9 Zusammenhang der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln mit kognitiven und verbalen Fähigkeiten (Nebenfragestellung 1)

Um auszuschließen, dass Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm unabhängig von den kognitiven und verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen sind, wurden die kognitiven und verbalen Fähigkeiten erfasst. Insgesamt zeigen sich zwischen den kognitiven und verbalen Fähigkeiten (vgl. Kapitel 15.5, S. 142) sowie der Anzahl korrekter Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm nur geringe Zusammenhänge.

In Bezug auf die kognitiven Fähigkeiten *visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit* (Rohwerte des Subtest Labyrinth CFT 1) sowie *Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemen zu erkennen* (Rohwerte des Subtests Matrizen CFT 1) zeigen sich ebenfalls keine oder nur geringe Zusammenhänge mit der Anzahl korrekter Vorstellungen zu einseitigen Hebeln. Da die Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm bildbasiert erfasst wurden, ist naheliegend, dass die Fähigkeit zur visuellen Orientierung und Aufmerksamkeit mit der Leistung der 6- bis 7-Jährigen zusammenhängen könnte. Die 6- bis 7-Jährigen müssen sich in den Items visuell orientieren und zurechtfinden, auch wenn dies durch die verbale Beschreibung der Unterschiede vom Befragungsleiter unterstützt wird.

Ein schwacher negativer Zusammenhang zwischen der *Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen*, zeigt sich ausschließlich zur Anzahl korrekter Antworten

beim Kraftarm im Kontext Schubkarre. Eine Erklärungsmöglichkeit, dass sich bis auf die Anzahl korrekt gelöster Aufgaben zum Kraftarm keine Zusammenhänge zu der *Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen*, zeigen, könnte sein, dass für das Lösen der Items zu einseitigen Hebeln weniger diese Fähigkeit als eher Vorerfahrungen relevant sind.

Die verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen wurden durch die verschiedenen Klassenlehrpersonen im Durchschnitt als hoch eingeschätzt. Dennoch zeigt sich, dass 6- bis 7-Jährige mit geringeren verbalen Fähigkeiten (eingeschätzt durch die Klassenlehrperson) insgesamt weniger Items der Befragung zu einseitigen Hebeln korrekt lösen als Kinder mit höheren verbalen Fähigkeiten. Der Zusammenhang ist jedoch aufgrund der geringen Effektgröße nur von geringer praktischer Relevanz. Die Tendenz geht jedoch in die gleiche Richtung wie in der Studie von Schöps und Hahn (2014). Die Autoren fanden, dass ein bis zwei Jahre jüngere Kinder (4- und 5-Jährige) mit schlechteren verbalen Fähigkeiten schlechtere Leistungen in einem naturwissenschaftlichen Test erbringen als Gleichaltrige mit besseren sprachlichen Voraussetzungen. Der verwendete Test beinhaltete auch ein Item zum Hebel im Kontext Wippe.

Dass sich bei Betrachtung der einzelnen Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm nur beim Lastarm im Kontext Schubkarre ein signifikanter Zusammenhang mit den verbalen Fähigkeiten zeigt, könnte auf die Wichtigkeit der verbalen Hinweise des Befragungsleiters hindeuten. Bei Items zur Last und zum Kraftarm im Kontext Schubkarre sind die Unterschiede (Größe der Last bzw. Länge der Griffe) der drei Abbildungen eines Items evtl. direkt ohne verbale Begleitung des Befragungsleiters zu erkennen. Beim Lastarm hingegen muss genauer hingeschaut werden, an welcher Position die Last in den drei Abbildungen steht. Die befragten 6- bis 7-Jährigen mit höheren verbalen Fähigkeiten können die Beschreibung des Befragungsleiters evtl. besser nutzen und lösen daher mehr Items korrekt als Kinder mit geringeren verbalen Fähigkeiten. Gleichaltrige mit niedrigeren verbalen Fähigkeiten profitieren evtl. von der Beschreibung lediglich in geringerem Ausmaß und lösen weniger Items korrekt. Insgesamt werden die verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen in der Hauptuntersuchung von den Klassenlehrpersonen jedoch als hoch eingeschätzt.

Kognitive und verbale Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen scheinen, wenn überhaupt, nur in einem geringen Zusammenhang mit den Vorstellungen zu Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel zu stehen.

17.3 Methodische Diskussion der Vorgehensweise

Insgesamt scheinen die Erkenntnisse aus Prä-Pilotierung und Pilotierung zu der Entwicklung einer geeigneten Befragung zu den Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln beigetragen zu haben. Dennoch wird im Folgenden die theoriebezogene Diskussion der Hypothesen um kritische Überlegungen in Bezug auf die angewandte Methode ergänzt.

17.3.1 Güte der Befragung

Die in Kapitel 15.9 (S. 146) berichteten Kennwerte deuten darauf hin, dass die Befragung zu einseitigen Hebeln eine objektive, reliable und valide Erfassung der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel ermöglicht. Die Trennschärfen und Schwierigkeiten der Items liegen im gewünschten Bereich. Guttmanns Λ_2 als Maß für die Reliabilität ist trotz der Verwendung von nur vier Items pro Aspekt im Kontext Schubkarre als gut einzuschätzen. Die Hauptkomponenten-Faktorenanalyse zeigt zudem, dass die gefundenen Hauptkomponenten die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm des Hebelgesetzes abbilden. Die gewonnene Stichprobe von 370 6- bis 7-Jährigen ist groß genug, um die Güte der Befragung und die aufgestellten Hypothesen zu prüfen. Trotz der guten Gütekriterien und der ausreichend großen Stichprobe können Aspekte der Befragung die Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen beeinflusst haben. Auf diese Aspekte wird im Folgenden eingegangen.

17.3.2 Mögliche Einflussfaktoren der Befragung auf die Vorstellungen

Im Folgenden wird auf methodische Aspekte der Befragung eingegangen, die die Vorstellungen beeinflusst haben könnten. Dazu zählen: die Befragungssituation in der Gruppe, die Anzahl an Items, die sprachliche Formulierung der Aufgabenstellung sowie die verschiedenen Antwortformate in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel.

Befragung von Gruppen 6- bis 7-Jähriger

Die Befragung der 6- bis 7-Jährigen fand, abweichend zu den meisten bisherigen Studien zum Thema Hebel, in Gruppen statt. Mithilfe einer Gruppenbefragung kann eine höhere *ökologische Validität*, d. h. größere Bedeutung für das Alltagsgeschehen (Fahrenberg, 2014; Fahrenberg et al., 2007) im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht, angenommen werden. Die Erfassung von Vorstellungen in Gruppen geht jedoch auch mit

Einschränkungen einher. Bei einer Gruppenbefragung ist, im Gegensatz zu einer Eins-zu-eins-Befragung, mit einer weniger konzentrierten Bearbeitung der Items von jedem einzelnen Kind zu rechnen. Da 6- bis 7-Jährige zunehmend soziale Vergleiche anstellen (Hasselhorn & Grube, 2008), kann davon ausgegangen werden, dass sie ein Interesse an den Antworten anderer Kinder zeigen. Durch die Nutzung von kleinen Stellwänden als Sichtschutz in der vorliegenden Untersuchung wurde versucht, Abschreiben zu unterbinden. Dennoch herrscht in einer Gruppenbefragung eine weniger ruhige Arbeitsatmosphäre. Diese könnte dazu geführt haben, dass einige 6- bis 7-Jährige weniger korrekte Vorstellungen als in Eins-zu-eins-Situationen zeigen.

Anzahl der Items

Für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre scheinen die vier Items pro Aspekt auszureichen, um die Vorstellungen reliabel zu erheben. In anderen Studien zu Hebeln wurden ebenfalls vier Items pro Aspekt eingesetzt (z. B. Siegler, 1976). Bei der Interpretation der Ergebnisse zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel sollte berücksichtigt werden, dass die Vorstellungen mit nur zwei Items erfasst wurden. Dadurch kann die Reliabilität geringer ausfallen als bei Verwendung einer größeren Anzahl an Items (Bühner, 2011).

Wortlaut der Fragestellungen

In der Befragung zu einseitigen Hebeln wurde darauf verzichtet, fachliche Begriffe wie Lastarm, Kraftarm, Last und Kraft zu verwenden, da sie nicht zum Vokabular 6- bis 7-Jähriger gehören. Ebenfalls wurde für den Begriff ‚Kraft‘ bereits gezeigt, dass er vieldeutig und schwierig zu verstehen sein kann (Duit, 2002; Ionniades & Vosniadou, 2002; Wodzinski, 1996). Um die Aspekte dennoch erfassen zu können, wurden sie umschrieben. Die 6- bis 7-Jährigen sollten im Kontext Schubkarre angeben, bei welcher Schubkarre es ihnen am leichtesten fällt, den Betonklotz zu transportieren. Den Kindern wurde an einem Modell demonstriert, was unter dem Verb ‚transportieren‘ zu verstehen ist. Dazu wurde die Modellschubkarre ein wenig angehoben und ein kurzes Stück geschoben. Die Verwendung des Verbs ‚transportieren‘ und die Demonstration könnte Aspekte der Praktikabilität impliziert haben. Um eine Last in einer Schubkarre mit langen Griffen anzuheben, wird zwar weniger Kraft benötigt, jedoch kann das Transportieren der Last über eine kurze Strecke auch wackeliger sein als bei mittellangen oder kurzen Griffen.

Auch die persönliche Ansprache in der Aufgabenstellung könnte einen Einfluss auf die erfassten Vorstellungen haben. Sowohl im Kontext Schubkarre als auch im Kontext Schraubenschlüssel wurden die 6- bis 7-Jährigen gefragt, bei welcher Schubkarre bzw. Position am Schraubenschlüssel es ihnen am leichtesten fällt, die Schubkarre zu transportieren bzw. eine Schraube festzuziehen. Die personalisierte Ansprache könnte die Kinder auf der einen Seite zwar stärker motivieren, auf der anderen Seite aber auch eine Antworttendenz i. S. des kindlichen Überoptimismus (vgl. Kapitel 3, S. 19) begünstigen. Der kindliche Überoptimismus könnte z. B. bei der Last zu weniger korrekten Antworten führen. Bspw. äußerte Tim (6 Jahre) im Anschluss an die Befragung gegenüber dem Befragungsleiter: „Ich bin stark, für mich ist das Große genau so leicht wie das Kleine. Ich kann alles anheben!“ Weitere Untersuchungen sind notwendig, um zu prüfen, ob die personalisierte Befragung Antworttendenzen beeinflusst oder den kindlichen Überoptimismus begünstigt. Bspw. könnten in Folgestudien die Begründungen 6- bis 7-Jähriger für die Wahl einer Antwortoption erfasst werden oder wie im Kontext Balkenwaage (z. B. Krist et al., 2004; McFadden et al., 1987; Siegler, 1976; 1978) nicht personalisiert gefragt werden (vgl. Kapitel 21.3, S. 256).

Neben der persönlichen Ansprache könnte auch die verbale Beschreibung der Unterschiede zwischen den Abbildungen eines Items die Antworten der 6- bis 7-Jährigen beeinflusst haben. Schon Siegler (1976) zeigte, dass Hilfestellungen zum Erkennen der Anzahl und Positionen der Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage zu korrekteren Vorhersagen führen, zu welcher Seite sie sich neigt. Wenn 5- bis 8-Jährige bspw. die Anordnungen von Gewicht und Abstand an der Balkenwaage nachbauten, gelang es etwa einem Drittel der Kinder, den Abstand zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 8.4, S. 78). Die verbale Beschreibung der Unterschiede zwischen den Abbildungen eines Items könnte daher auch in der vorliegenden Studie dazu geführt haben, dass es den 6- bis 7-Jährigen in diesem Kontext leichter fiel, den Abstand zu berücksichtigen, als im Kontext Balkenwaage ohne Beschreibung.

Die Items im Kontext Schraubenschlüssel unterscheiden sich zwischen der vorliegenden Studie und der Studie von Duismann und Meschenmoser (2009). In der vorliegenden Studie wurde gefragt, an welcher Position die 5- bis 7-Jährigen persönlich den Schraubenschlüssel anfassen würden, damit es ihnen möglichst leichtfällt, eine Schraube festzuziehen. Duismann und Meschenmoser (2009) fragten danach, mit welchem von zwei

Schraubenschlüsseln sich eine Schraube möglichst leicht lösen lässt. Darüber hinaus unterscheiden sich beide Items im Antwortformat. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

Unterschiedliches Antwortformat beim Aspekt Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel

Das Antwortformat unterscheidet sich bei Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre und Schraubenschlüssel. Im Kontext Schubkarre wählten die 6- bis 7-Jährigen eine von drei Schubkarren mit unterschiedlich langen Griffen aus. Im Kontext Schraubenschlüssel wählten die Kinder bei einem Schraubenschlüssel eine von drei möglichen Positionen aus, an der sie diesen anfassen würden (vgl. Anhang A.1.2, S. 306). Eine Gemeinsamkeit beider Itemformate ist die Anzahl der Antwortalternativen (jeweils 3). Im Kontext Schubkarre wurde der Kraftarm durch die Länge der Griffen, die am Ende angefasst werden sollen, vorgegeben. Im Kontext Schraubenschlüssel mussten die Kinder die Länge des Kraftarms durch die Auswahl einer von drei vorgegebenen Positionen selbst bestimmen. Dieser Unterschied im Antwortformat könnte die Vorstellungen zum Kraftarm beeinflusst haben. Die prozentuale Verteilung der Antworten auf die drei Antwortoptionen (kurzer Kraftarm, mittlerer Kraftarm, langer Kraftarm) in beiden Kontexten ist jedoch sehr ähnlich (vgl. Tabelle 11, S. 156). In beiden Kontexten zeigt sich eine starke Tendenz zur Wahl der mittleren Antwortkategorie. In mehr als zwei Drittel der Antworten wurde die Schubkarre mit den mittellangen Griffen bzw. die mittlere Position des Schraubenschlüssels gewählt. Verschiedene methodische Gegebenheiten fördern die Wahl der mittleren Antwortkategorie. Diese werden im Folgenden diskutiert:

Erstens zeigten die jeweils drei Abbildungen der Items zu den Aspekten Last und Lastarm im Kontext Schubkarre immer Schubkarren mit mittlerem Kraftarm (mittellangen Griffen). Bspw. wurde zwischen den Items zum Aspekt Last zwar die Position der Last (Lastarm) variiert, nicht aber die Länge der Griffen (Kraftarm). Dies könnte die 6- bis 7-Jährigen bei der Beantwortung der Items zum Kraftarm, bei denen die Länge der Griffen innerhalb eines Items variiert wurde, beeinflusst haben. Aufgrund der häufigen Darstellung mittellanger Griffen bei Items zur Last und zum Lastarm könnten die 6- bis 7-Jährigen angenommen haben, dass auch bei Items zum Kraftarm mittellange Griffen die korrekte Antwortoption sind. Gegen diesen Erklärungsansatz spricht jedoch, dass beim Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel keine weiteren Items zu anderen Aspekten gestellt wurden, die eine Wahl des mittleren Kraftarms nahelegten. Zudem wurden Items zum Lastarm und Kraftarm in randomisierter Reihenfolge dargeboten. Da sich die Antwortverteilungen in

beiden Kontexten zum Kraftarm jedoch ähneln, kann davon ausgegangen werden, dass die Vorstellungen nur geringfügig durch diesen methodischen Aspekt beeinflusst wurden.

Zweitens könnte die Wahl der mittleren Antwortkategorie beim Kraftarm im Kontext Schubkarre auch durch die Proportionen der Schubkarre beeinflusst worden sein. Die Proportionen einer Schubkarre mit mittellangen Griffen entsprechen den Proportionen einer realen Schubkarre. Eine Schubkarre mit kurzen Griffen wirkt in ihren Proportionen gestaucht und eine Schubkarre mit langen Griffen gestreckt. Die Wahl der mittleren Antwortalternative im Kontext Schraubenschlüssel kann jedoch nicht über die Proportionen erklärt werden. Die Schraubenschlüssel, die die 6- bis 7-Jährigen bei den beiden Items zum Kraftarm sahen, entsprachen in ihren Proportionen denen eines üblichen Schraubenschlüssels. Zudem sollen die Kinder die Position markieren, an der sie den Schraubenschlüssel anfassen würden und nicht einen von drei Schraubenschlüsseln mit unterschiedlichen Proportionen auswählen.

Drittens tritt eine Tendenz zur Wahl der mittleren Antwortoption häufig auf, wenn die zu beurteilenden Objekte den Urteilern wenig vertraut sind (Bortz & Döring, 2006). Dass 6- bis 7-Jährigen Schubkarren und Schraubenschlüssel aus ihrem Alltag vertraut sind, konnte jedoch durch Gespräche mit den Kindern nach der Befragung bestätigt werden.

17.3.3 Anzahl der zu berücksichtigenden Aspekte bei der Lösung von Items

Ein Unterschied zwischen Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre und Produktions- bzw. Beurteilungsaufgaben im Kontext Balkenwaage liegt in der Anzahl der vorgegebenen Aspekte des Hebelgesetzes. Bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Balkenwaage sind alle vier Aspekte vorgegeben: Die Gewichte auf beiden Seiten der Balkenwaage und deren Abstände vom Drehpunkt. Bei Handlungsaufgaben im Kontext Balkenwaage oder Wippe (z. B. Inhelder & Piaget, 1958; McFadden et al., 1987; Metz, 1993; Surber & Gzesh, 1984; Wilkening & Anderson, 1991) sind nur drei Werte vorgegeben, z. B. Gewicht links, Abstand links und Gewicht rechts. Der vierte Wert, in diesem Fall das Gewicht auf der rechten Seite, muss bestimmt werden, um ein vorgegebenes Ereignis, z. B. Gleichgewicht, herzustellen. Bei Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre sind pro Schubkarre ebenfalls drei Aspekte vorgegeben: Last, Lastarm und Kraftarm. Der vierte Aspekt, die Kraft, muss bestimmt werden. Abgesehen davon, dass bei der Lösung von Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre nicht an diesen Gegenständen gehandelt

wird, sind Handlungsaufgaben im Kontext Balkenwaage und Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre in der Anzahl der vorgegebenen Aspekte (drei) identisch. Bei beiden Aufgabentypen muss ein vierter fehlender Wert bestimmt werden. Jedoch reicht es bei den Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre nicht aus, die fehlende Größe einer Schubkarre zu bestimmen. Die fehlende Größe dreier Schubkarren muss bestimmt und miteinander verglichen werden. Im Anschluss muss die Schubkarre gewählt werden, bei der die fehlende Größe den kleinsten Wert besitzt. Beurteilungsaufgaben im Kontext Schubkarre ähneln daher in gewisser Hinsicht Handlungsaufgaben im Kontext Balkenwaage und wurden in der obigen theoriebezogenen Diskussion ebenfalls als Referenzstudien herangezogen. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist jedoch die unterschiedliche Art der Erfassung der Vorstellungen (Handlung vs. Beurteilung) zu berücksichtigen.

17.3.4 Struktur der Daten

Die Daten der Studie I haben eine Mehrebenenstruktur. Eine Mehrebenenstruktur liegt vor, da die 6- bis 7-Jährigen in verschiedenen Klassen genestet sind und diese Klassen aus verschiedenen Schulen in Münster rekrutiert wurden. Die Anwendung einer Mehrebenenanalyse ist sinnvoll, wenn die Befragten einer Stichprobe natürlicher Gruppen angehören, wie einer Schulklasse, und davon ausgegangen werden muss, dass die Zugehörigkeit zu dieser Gruppe einen Einfluss auf die interessierende Merkmalsausprägung hat (Wirtz, 2014). Zwar zeigen die erhobenen Daten eine Mehrebenenstruktur, jedoch sprechen verschiedene Gründe gegen die Auswertung mithilfe einer Mehrebenenanalyse. Erstens wurden die 6- bis 7-Jährigen zu Beginn des 1. Schuljahrs befragt. Die Kinder waren daher erst wenige Wochen in ihrer Klasse. Zudem hatten sie nur wenige Stunden Sachunterricht erlebt. Auch wurde das Thema Hebel in allen Klassen noch nicht behandelt. Aufgrund der kurzen Zugehörigkeit zur Klasse ist daher fraglich, ob die Klasse einen Einfluss auf die interessierende Merkmalsausprägung, die Vorstellungen zu einseitigen Hebeln, hat. Zweitens wäre der Stichprobenumfang für die Durchführung einer Mehrebenenanalyse zu gering. Für eine solide Parameterschätzung einer Mehrebenenanalyse sollten mindestens 30 Einheiten pro Ebene (z. B. Schüler, Klasse) vorliegen (Wirtz, 2014). In der vorliegenden Studie hätten demnach mindestens 30 Schüler pro Klasse und mindestens 30 Klassen befragt werden müssen. Die durchschnittliche Anzahl von 6- bis 7-Jährigen pro Klasse liegt jedoch deutlich unter 30 Schülern und diese kamen aus 25 Klassen. Aufgrund der oben genannten Gründe wurde

sich bei der Auswertung von Studie I für die Anwendung klassischer statistischer Verfahren entschieden.

17.3.5 Bedeutung der Standardabweichungen

Die Standardabweichungen der durchschnittlichen Anzahlen korrekter Antworten in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel deuten auf eine große Streuung der Werte hin (Tabelle 10, S. 155). Einige 6- bis 7-Jährige wählten konstant die korrekte Antwort, während andere kein Item korrekt lösten (Tabelle 12, S. 159). Das bedeutet auch, dass interindividuelle Unterschiede zu den Vorstellungen zu einseitigen Hebeln vorliegen. Dass große Standardabweichungen bei der Altersgruppe 6- bis 7-Jähriger bei einer Befragung zum Thema Hebel nicht ungewöhnlich sind, zeigen auch Amsel et al. (1996). In dieser Studie beurteilten 6-Jährige, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage bei Items zum Gewicht (Nonkonflikt Gewicht-Aufgaben) und Abstand (Nonkonflikt Distanz-Aufgaben) neigt. Vergleichbar hohe Standardabweichungen wie in der vorliegenden Untersuchung wurden gezeigt (Amsel et al., 1996).

17.3.6 Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten

Zum Abschluss der methodischen Diskussion wird auf den geringen Zusammenhang zwischen Vorstellungen zu einseitigen Hebeln sowie kognitiven und verbalen Fähigkeiten eingegangen.

Zunächst wurde geprüft, dass weder zwischen den kognitiven noch den verbalen Fähigkeiten und der Anzahl korrekt gelöster Aufgaben zu einseitigen Hebeln ein kurvenlinearer Zusammenhang vorliegt. Darüber hinaus wurde geprüft, dass keine Varianzeinschränkungen vorliegen. Im Anschluss kann davon ausgegangen werden, dass die beiden Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen der Stichprobe nicht oder nur schwach mit den korrekten Vorstellungen zu einseitigen Hebeln in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel zusammenhängen. Alle Instrumente wiesen gute Gütekriterien auf (vgl. Kapitel 15.5, S. 142; Kapitel 15.9, S. 146). Dies spricht ebenfalls dafür, dass tatsächlich keine oder nur schwache Zusammenhänge bestehen. Da weder für die beiden Subtests des CFT 1 (Labyrinth und Matrizen) noch für den Lehrpersonenfragebogen Normwerte zur Verfügung stehen, kann über das tatsächliche Niveau der kognitiven und verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen im Vergleich zu einer Normstichprobe keine Aussage getroffen werden. Von einem durchschnittlich guten Niveau kognitiver

Fähigkeiten wird jedoch ausgegangen, da sich die 6- bis 7-Jährigen der Stichprobe zwischen dem Minimum von 0 korrekt gelösten Matrizen oder Labyrinthen und dem Maximum von 12 korrekt gelösten Items verteilen (vgl. Abbildung 9, S. 161; Abbildung 10, S. 161). Von einem durchschnittlich guten Niveau verbaler Fähigkeiten wird ausgegangen, da 6- bis 7-Jährige mit schlechteren verbalen Fähigkeiten, die der Befragung nicht folgen konnten, von der Befragung ausgeschlossen (vgl. Kapitel 15.7, S. 144) wurden. Der Ausschluss von Kindern mit schlechten verbalen Fähigkeiten begünstigt auch, dass sich beim Streudiagramm des Zusammenhangs (vgl. Abbildung 11, S. 162) zwischen verbalen Fähigkeiten und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zu einseitigen Hebeln die Mehrheit der Punkte im I. und IV. Quadranten des Graphs befinden. Die Varianz der verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen ist daher geringer als die Varianz der kognitiven Fähigkeiten. Würde eine Stichprobe befragt, die in verbalen Fähigkeiten heterogener ist, könnte evtl. ein stärkerer Zusammenhang zwischen verbalen Fähigkeiten und der Anzahl korrekter Vorstellungen zu einseitigen Hebeln gezeigt werden.

17.4 Anregungen für die Praxis

Verschiedene Implikationen für die Praxis, also die Erfassung von Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln im Klassenkontext, können aus der vorliegenden Studie abgeleitet werden:

Erstens wird durch die entwickelte Befragung zu einseitigen Hebeln eine objektive, reliable und valide Erfassung der Vorstellungen zu den Wissens-elementen bereitgestellt. Erstmals steht eine Befragung zu einseitigen Hebeln zur Verfügung, die die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm systematisch und getrennt voneinander erfasst und die für Gruppen 6- bis 7-Jähriger geeignet ist. Zweitens knüpfen die Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel an die Lebenswelt der 6- bis 7-Jährigen an. Daher eignet sich die Befragung, um zu Beginn einer Unterrichtsreihe, z. B. zum Thema ‚Schwere Dinge können leichter angehoben werden‘ (Leuchter & Naber, 2015), die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln zu erfassen. Drittens konnten erstmals Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu den Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln erfasst werden. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse kann angesetzt werden, die Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen in der ZPD zu fördern (vgl. Studie II; Kapitel 18, S. 187). Dabei bietet es sich an, die Vorstellungen zur Abstandsdimension getrennt für die Wissens-elemente Lastarm und Kraftarm zu betrachten. Zum einen unterscheiden sich die

bereits vorhandenen Vorstellungen zu den Aspekten Lastarm und Kraftarm. Zum anderen müssen die Vorstellungen in unterschiedliche Richtungen entwickelt werden. Beim Lastarm muss die Vorstellung ‚je kürzer, desto leichter‘ und beim Wissenselement Kraftarm die Vorstellung ‚je länger, desto leichter‘ aufgebaut werden.

Zusammenfassend macht Studie I einen ersten Schritt für die Schaffung einer Grundlage für die Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Unterrichts zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel. Eine Befragung zur Erfassung der Vorstellungen in einem an die Lebenswelt anknüpfenden Kontext wurde entwickelt. Darüber hinaus gibt Studie I erste Hinweise, welche Vorstellungen bei 6- bis 7-Jährigen zu den fachdidaktisch relevanten Aspekten Last, Lastarm und Kraftarm zu erwarten sind. Aufbauend auf der Kenntnis dieser Vorstellungen wird in Studie II der Frage nachgegangen, ob und wie die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln verändert werden können.

18 Methode Studie II: Veränderungen von Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm

Nachdem in Studie I eine Befragung zur Erfassung von Wissens-elementen und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln entwickelt und im Anschluss die Vorstellungen erfasst wurden, wird in Studie II untersucht, ob diese Vorstellungen mithilfe verschiedener Impulse verändert werden können. Kapitel 18 beschreibt die Methode, die zur Veränderung der Vorstellungen genutzt wird. Ziel von Studie II ist die Prüfung der Hypothesen 5 bis 9 (vgl. Kapitel 14.3, S. 119)

Nachdem das Design vorgestellt und methodische Vorüberlegungen zur Intervention dargelegt wurden, wird die Prä-Pilotierung und Pilotierung der Intervention beschrieben. Anschließend werden Ablauf, Erhebungsinstrumente und Stichprobe der Hauptuntersuchung vorgestellt.

18.1 Design Studie II

In der Hauptuntersuchung wurde ein quasi-experimentelles 2 x 2-Design mit einer Kontrollgruppe über drei Befragungszeitpunkte implementiert (vgl. Abbildung 12).

Zeitpunkt Eins (t1)	Zeitpunkt Zwei (t2)	Zeitpunkt Drei (t3)															
Prä-Befragung Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm einseitiger Hebel im Kontext: - Schubkarre Kognitive Fähigkeit (CFT 1: Labyrinth, Matrizen)	Intervention im Kontext Schubkarre <table border="1"> <tr> <td colspan="2">2 x 2-Design</td> <td colspan="2">UV₂: Bilder</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>mit</td> <td>ohne</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">UV₁: verbale Impulse</td> <td>mit</td> <td>EG 1 N = 44</td> <td>EG 2 N = 47</td> </tr> <tr> <td>ohne</td> <td>EG 3 N = 45</td> <td>EG 4 N = 45</td> </tr> </table> KG: N = 44 Post-Befragung Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm einseitiger Hebel im Kontext: - Schubkarre	2 x 2-Design		UV ₂ : Bilder				mit	ohne	UV ₁ : verbale Impulse	mit	EG 1 N = 44	EG 2 N = 47	ohne	EG 3 N = 45	EG 4 N = 45	Follow-Up Befragung Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm einseitiger Hebel in den Kontexten: - Schubkarre - Hebelmodell
2 x 2-Design		UV ₂ : Bilder															
		mit	ohne														
UV ₁ : verbale Impulse	mit	EG 1 N = 44	EG 2 N = 47														
	ohne	EG 3 N = 45	EG 4 N = 45														
	Ca. eine Woche später	Ca. vier Wochen später															
Einschätzung von verbalen Fähigkeiten durch die Lehrperson																	

Abbildung 12. Design der Hauptuntersuchung von Studie II

Zum ersten Befragungszeitpunkt wurden die Vorstellungen zu Lastarm (Position der Last) und Kraftarm (Länge der Griffe) eines einseitigen Hebels im Kontext Schubkarre (Abhängige Variablen, AV_{t1}) mithilfe der in Studie I entwickelten Befragung (vgl. Kapitel 15.4, S. 141) erfasst. Zudem bearbeiteten die Kinder ‚Rätsel‘ zur kognitiven Fähigkeit

(CFT Subtests Labyrinth und Matrizen). Zum zweiten Befragungszeitpunkt (t_2), ca. eine Woche später, fand die Intervention zur Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre statt. Die unabhängigen Variablen der Intervention bildeten verbale Impulse (UV_1) und Bilder (UV_2). Verbale Impulse wurden gewählt, da diese inhaltlich strukturierend und kognitiv aktivierend wirken können sowie sich bei zweiseitigen Hebeln vielfach als hilfreich für eine Veränderung von Vorstellungen erwiesen haben (vgl. Kapitel 10, S. 90). Bilder wurden gewählt, da diese die Behaltensleistung steigern können (vgl. Kapitel 9, S. 82). Aus der Kombination verbaler Impulse und Bilder ergeben sich vier Experimentalgruppen (EGs):

- **„Verbale Impulse + Bilder“**: Kinder dieser Gruppe handelten an Schubkarren und wurden mit verbalen Impulsen und Bildern unterstützt (EG 1).
- **„Verbale Impulse“**: Kinder dieser Gruppe handelten an Schubkarren und erhielten verbale Impulse (EG 2).
- **„Bilder“**: Kinder dieser Gruppe handelten an Schubkarren und sahen zusätzlich Bilder dieser Schubkarren (EG 3).
- **„Basisintervention“**: Kinder dieser Gruppe handelten an Schubkarren, ohne zusätzliche verbale Impulse oder Bilder zu erhalten (EG 4).

Eine **Kontrollgruppe** (KG) erhielt keine Intervention zum Thema Hebel, sondern bearbeitete ein anderes naturwissenschaftliches Thema (Statik am Beispiel Bauklötze oder potenzielle Energie am Beispiel Kugeln). Die Erhebung der Kontrollgruppe erfolgte, um einen möglichen Testwiederholungseffekt auszuschließen.

Pro Schulklasse wurden zunächst per Zufall drei Experimentalgruppen oder zwei Experimentalgruppen und die Kontrollgruppe ausgewählt. In einem nächsten Schritt wurden die Kinder einer Klasse randomisiert einer dieser Gruppen zugewiesen. Die Experimentalgruppen und die Kontrollgruppe setzten sich somit aus jeweils fünf bis sechs Kleingruppen, bestehend aus ca. 8 Kindern aus unterschiedlichen Schulklassen, zusammen. Dieses Vorgehen verhindert Schulklasseneffekte, da die Kinder einer Klasse an verschiedenen Experimentalgruppen bzw. der Kontrollgruppe teilnahmen. Im Anschluss an die Intervention wurden in der Post-Befragung erneut die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre erfasst (AV_{t_2}).

Zum dritten Befragungszeitpunkt, 4 Wochen nach der Intervention, wurden in der Follow-Up Befragung die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm einseitiger Hebel in den

Kontexten Schubkarre und dem neuen Kontext Hebelmodell erfasst (AV_{t3}). Sowohl die Prä-, Post- und Follow-Up Befragung wie auch die Intervention fanden in Gruppen von ca. 8 Kindern statt. Die Lehrperson schätzte während eines der drei Befragungszeitpunkte die verbalen Fähigkeiten der Kinder ein.

Die Befragung, mithilfe derer die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre erhoben wurde, wurde bereits in Studie I dargestellt (vgl. Kapitel 15.4, S. 141). Um die Intervention mit den beiden UVs ‚verbale Impulse‘ und ‚Bilder‘ für 6- bis 7-Jährige angemessen operationalisieren zu können, wurde diese nach einigen methodischen Vorüberlegungen in der Prä-Pilotierung und Pilotierung erprobt.

18.2 Methodische (Vor-)Überlegungen zur Entwicklung der Intervention

Die Veränderung von Vorstellungen unterliegt entwicklungspsychologischen Voraussetzungen. Daher mussten zur Entwicklung einer Intervention zum Lastarm und Kraftarm eines einseitigen Hebels für 6- bis 7-Jährige einige Vorüberlegungen getroffen werden.

Das Arbeitsgedächtnis 6- bis 7-Jähriger hat noch nicht seine volle Kapazität erreicht (vgl. Kapitel 3, S. 19). Die Aufmerksamkeitspanne ist noch begrenzt und für diese Altersgruppe ist es schwierig, Informationen selektiv aufzunehmen (Hasselhorn & Grube, 2008). Daher sollte die Intervention nicht zu lang dauern und nur solche Informationen dargeboten werden, die zu einer Veränderung der Vorstellungen relevant sind. Eine klare inhaltliche Struktur kann die Auswahl relevanter Informationen erleichtern und die Aufmerksamkeit fokussieren (Pea, 2004; Reiser, 2004). Eine handlungsbasierte Intervention bietet sich ebenfalls an, denn diese kann durch ihre visuelle und haptische Wahrnehmbarkeit das Arbeitsgedächtnis entlasten (Leuchter & Möller, 2014). Von verbaler Instruktion in großen Gruppen profitieren die 6- bis 7-Jährigen zwar kaum (Leuchter & Möller, 2014), jedoch hat sich die Kombination von Gegenständen und verbalen Impulsen für eine Veränderung von Vorstellungen als hilfreich erwiesen (z. B. Day & Cordon, 1993; Philips & Tolmie, 2007). Bilder können darüber hinaus helfen, die Behaltensleistung zu steigern (z. B. Lesgold et al., 1975; Rubman & Waters, 2000).

Die Durchführung der Intervention in Gruppen von Kindern ist ökologischer als die in der entwicklungs- und lernpsychologischen Forschung üblichen Eins-zu-eins-Situation (z. B.

für den zweiseitigen Hebel Balkenwaage; Siegler, 1976). Der Gruppenkontext entspricht eher den Gegebenheiten im Unterricht. Eine Intervention in Kleingruppen an verschiedenen Stationen (Stationsarbeit) ermöglicht bspw. den Kindern, (nach einer Anleitung) selbstständig zu den Aspekten Lastarm und Kraftarm in verschiedenen Kontexten zu handeln.

Auf die Verwendung des Begriffs ‚Kraft‘ sollte in der Intervention verzichtet werden, da dieser vieldeutig ist und dem wissenschaftlichen Verständnis nicht immer nahe liegt (Wodzinski, 1996). In der Intervention soll daher, wie schon bei der Erfassung der Vorstellungen (vgl. Kapitel 17.3.2, S. 178), der Begriff ‚Kraft‘ umschrieben werden. Anstatt die Kinder zu fragen, bei welcher Schubkarre sie am wenigsten Kraft benötigen, um diese anzuheben, wurden sie gefragt, bei welcher Schubkarre es ihnen leichter fällt, diese anzuheben.

Bei der Auswahl der Kontexte der Intervention ist darauf zu achten, dass sie für die Lernenden Lebensweltbezug besitzen (Leuchter & Möller, 2014). Zudem sollte die Intervention an bereits vorhandene Vorstellungen der Altersgruppe 6- bis 7-Jähriger anknüpfen (Leuchter et al., 2014; Leuchter & Saalbach, 2014) und in der ZPD ansetzen (Vygotsky, 1978). Für den Themenbereich Hebel bedeutet dies, dass sich z. B. der Kontext Schubkarre eignet und dass auf Basis der bereits vorhandenen Vorstellungen die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm verändert werden könnten.

18.3 Prä-Pilotierung der Intervention

Unter Berücksichtigung dieser Vorüberlegungen wurde die Intervention zum Lastarm und Kraftarm entwickelt und in einer Prä-Pilotierung erprobt. Ziel der Prä-Pilotierung (November 2012) war die Erprobung der Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel, der Gegenstände und des Ablaufs der handlungsorientierten ‚Basisintervention‘.

18.3.1 Stichprobe und Ablauf der Prä-Pilotierung

An der Prä-Pilotierung nahmen 16 Kinder (10 Jungen, 6 Mädchen) einer ersten Klasse teil (Alter: $M = 6.63$, $SD = .34$, $Min = 6.08$, $Max = 7.17$).

Die Kinder arbeiteten in Kleingruppen von ca. 4 Kindern selbstständig an vier Stationen. Eine Station thematisierte den Lastarm im Kontext Schubkarre (Station 1) und eine Station

den Kraftarm im Kontext Schubkarre (Station 2). An zwei weiteren Stationen arbeiteten die Kinder zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (Station 3 und 4). Abbildung 13a-d zeigt einen Überblick über die an den Stationen verwendeten Gegenstände.

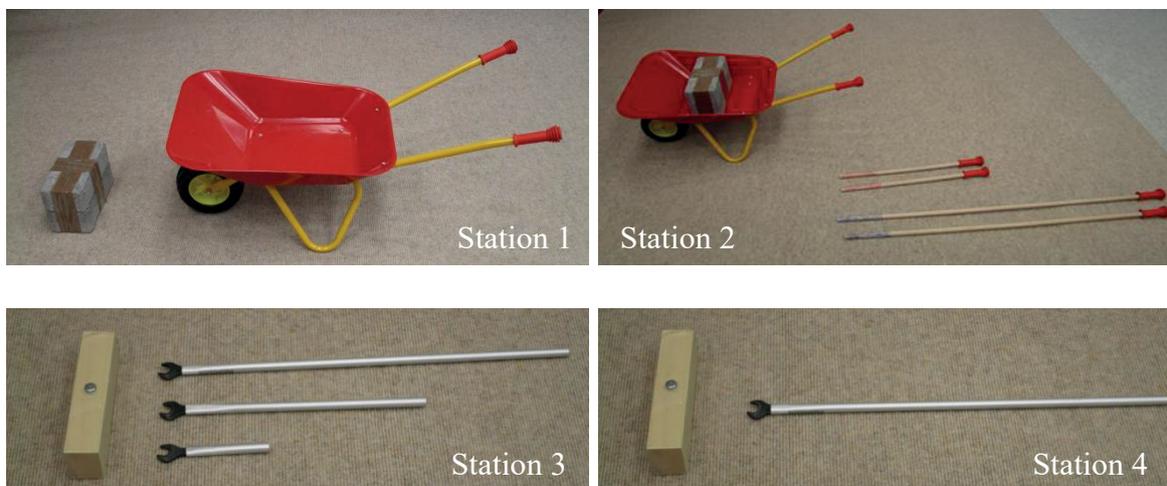


Abbildung 13a-d. Gegenstände der Prä-Pilotierung an den Stationen 1 bis 4. Station 1 (oben links): Lastarm Kontext Schubkarre, Station 2 (oben rechts): Kraftarm Kontext Schubkarre, Station 3 (unten links) Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel, Station 4 (unten rechts): Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel

An der ersten Station zum Lastarm erhielten die Kinder eine kindgerechte Schubkarre mit einem Steinpaket (ca. 6 kg), bestehend aus zwei Ziegelsteinen. Die 6- bis 7-Jährigen sollten durch Verschieben des Steinpakets herausfinden, bei welcher Position in der Wanne es ihnen am leichtesten fällt, das Steinpaket zu transportieren. An der zweiten Station arbeiteten die Kinder zum Kraftarm im Kontext Schubkarre. Dort sollten sie herausfinden, wie lang die Griffe einer Schubkarre sein müssen, damit es ihnen möglichst leichtfällt, ein Steinpaket zu transportieren. Die Kinder erhielten neben einer mit einem Steinpaket beladenen Schubkarre drei verschieden lange Griffpaare. Diese Art und Weise der Präsentation des Materials ermöglichte den 6- bis 7-Jährigen, die Länge der Griffe der Schubkarre selbstständig zu variieren. Die dritte Station thematisierte den Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel. Dort probierten die 6- bis 7-Jährigen, ähnlich zum Kontext Schubkarre, aus, welche Länge ein Schraubenschlüssel haben sollte, damit ihnen das Anziehen einer Schraube möglichst leichtfällt. Das Material bestand aus folgenden Gegenständen: einem Holzblock mit Schraube und drei Schraubenschlüsseln verschiedener Längen. Die vierte Station thematisierte ebenfalls den Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel. An dieser Station prüften die Kinder, an welcher Stelle ein Schraubenschlüssel angefasst werden sollte, damit ihnen das Anziehen einer Schraube möglichst leichtfällt. Das Material an dieser Station bestand aus den Gegenständen Holzblock mit Schraube und Schraubenschlüssel mit langem Griff. Angaben zu den

verwendeten Griffhöhen bei Schubkarre und Schraubenschlüssel sowie Positionen der Steine in der Schubkarre sind in Anhang A.3 (S. 314) dargestellt.

Zu Beginn der Intervention erklärte ein Interventionsleiter allen Kindern die Aufgabenstellung und den Umgang mit den Gegenständen. Im Anschluss arbeiteten die 6- bis 7-Jährigen selbstständig in Gruppen an den verschiedenen Stationen. Nach 5 Minuten rotierte jede Gruppe zur nächsten Station. An jeder Station hielten die Kinder ihre Ergebnisse durch Aufschreiben bzw. Zeichnen auf Papier fest.

18.3.2 Ergebnisse, Reflexion und Konsequenzen für die Pilotierung

Im Ablauf der Intervention der Prä-Pilotierung gestalteten sich einige Aspekte als schwierig. Diese werden im Folgenden reflektiert, um daraus Konsequenzen für die Intervention der Pilotierung abzuleiten. Zum einen überschritt die Stationsarbeit die vorgesehene Dauer von 5 Minuten pro Station deutlich. Den 6- bis 7-Jährigen gelang es nicht, in der vorgesehenen Zeit die Aufgabenstellung der Station zu bearbeiten. Daher wurde den Kindern mehr Zeit für die Stationsarbeit eingeräumt. Da eine Ausdehnung der Projektzeit auf die nächste Unterrichtsstunde nicht möglich war, konnte im Anschluss an die Stationsarbeit keine Post-Befragung durchgeführt werden. Die Beobachtung der Gruppenarbeit durch den Interventionsleiter zeigte, dass die 6- bis 7-Jährigen mit der selbstständigen Gruppenarbeit an den Stationen überfordert schienen. Sie handelten zwar mit den Gegenständen Schubkarre und Schraubenschlüssel, allerdings fand keine gezielte Überprüfung der Fragestellungen statt. Bspw. zeigten die Kinder an beiden Stationen im Kontext Schubkarre großes Interesse für das Schieben der Schubkarren. Eine systematische Variation von Lastarm und Kraftarm sowie Überprüfung der Fragestellung fand jedoch nicht statt. Möglicherweise war die Aufgabenstellung zu wenig strukturiert und den Kindern die Methode der Stationsarbeit nicht bekannt, da sie erst wenige Wochen die Schule besuchten. Da ein Interventionsleiter alleine alle vier Stationen betreute, konnte nicht gewährleistet werden, dass alle Gruppen fokussiert die Fragestellung bearbeiteten. Insgesamt zeigten sich die Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel als geeignet, da sie das Interesse der Kinder weckten und ihnen aus ihrem Alltag bekannt waren. Neben Schwierigkeiten beim Ablauf gab es auch Probleme mit den verwendeten Gegenständen. Bspw. drohte die Schubkarre an Station 1 zum Lastarm (vgl. Abbildung 13, S. 191) umzufallen, wenn die Kinder den Stein in der Wanne in die Nähe der Griffe schoben (langer Lastarm). Ebenso gestaltete sich das Auswechseln der Griffe an der Schubkarre für

die 6- bis 7-Jährigen als schwierig, da nicht alle Kinder die Kraft aufbringen konnten, die Griffe abzuziehen und auszutauschen.

Aufgrund dieser Gegebenheiten wurden für die Pilotierung der Ablauf und die Gegenstände angepasst: Die Kinder arbeiteten nicht selbstständig an verschiedenen Stationen, sondern wurden von einem Interventionsleiter durchgängig betreut. Unter seiner Anleitung arbeiteten ca. 8 Kinder zum Lastarm und Kraftarm an einem Ort. Auf diese Weise sollte ein strukturierterer Ablauf, eine intensivere Betreuung und damit eine fokussierte Bearbeitung der Fragestellung gewährleistet werden.

Auch der Wortlaut der Fragestellung der Intervention im Kontext Schubkarre sollte von „transportieren“ (Prä-Pilotierung) hin zu „anheben“ (Pilotierung) geändert werden. Die Kinder in beiden Interventionssequenzen der Pilotierung sollten gefragt werden, bei welcher Schubkarre es ihnen am leichtesten fällt, sie anzuheben. Somit unterschieden sich der Wortlaut der Fragestellung in der Intervention und der Erfassung der Vorstellungen (Prä- Post- und Follow-Up Befragung) leicht. Zum einen sollte mit der Instruktion des Anhebens das Schieben der Schubkarren weniger nahegelegt werden als mit dem Verb „transportieren“. Zum anderen wird durch einen unterschiedlichen Wortlaut in der Intervention und den Befragungen weniger ‚teaching to the test‘ forciert und ein Verständnis der Kinder für den Sachverhalt notwendig.

Als weitere Veränderung zwischen Prä-Pilotierung und Pilotierung wurden die Gegenstände optimiert, indem die Standfestigkeit der Schubkarren durch einen Umkippschutz (in Form einer Holzschiene) erhöht wurde. Außerdem sollten in der folgenden Pilotierung die Sequenzen noch stärker strukturiert werden. Daher erhielten die 6- bis 7-Jährigen bspw. bei der Sequenz zum Lastarm anstatt einer drei Schubkarren, bei denen die Gewichte bereits an unterschiedlichen Positionen standen. Bei der Sequenz zum Kraftarm wurden ebenfalls drei Schubkarren mit unterschiedlich langen Griffen dargeboten. Eine Verschiebung der Steine bzw. das Umstecken der Griffe entfiel somit.

Darüber hinaus sollten die Aufgaben mit steigendem Schwierigkeitsgrad bearbeitet werden, d. h. zunächst sollte zum Lastarm und anschließend zum Kraftarm gearbeitet werden. Studie I (vgl. Kapitel 16.3, S. 157) zeigt, dass 6- bis 7-Jährige mehr korrekte Vorstellungen zum Lastarm als zum Kraftarm zeigen. Bereits vorhandene Vorstellungen können die Veränderung von Vorstellungen beeinflussen (Dochy & Alexander, 1995; Duit, 2002; Hasselhorn & Grube, 2008). Evtl. fällt es den 6- bis 7-Jährigen beim Aspekt Lastarm

aufgrund der bereits gezeigten Anzahl korrekter Vorstellungen in der Prä-Befragung leichter, nach der Intervention diese Vorstellungen zu vernetzen und zu reorganisieren (vgl. diSessa, 1983).

Aus Zeitgründen und weil die Dokumentationen (Zeichnungen) der Prä-Pilotierung wenig Inhaltliches zeigten, wurde in der folgenden Pilotierung auf das Dokumentieren der Ergebnisse verzichtet.

18.4 Pilotierung der Intervention

Nach der Überarbeitung des Ablaufs der Intervention und der Optimierung der Gegenstände auf Basis der Erkenntnisse der Prä-Pilotierung fand eine Pilotierung statt. Ziel der Pilotierung (November 2012) war erstens, den neuen Ablauf in Kleingruppenarbeit und zweitens, die veränderten Gegenstände zu erproben. Drittens wurde geprüft, ob die handlungsorientierte Intervention in Kombination mit verbalen Impulsen, darstellenden Bildern oder beidem die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Lastarm und Kraftarm verändern kann. Viertens wurden Items zur Erfassung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im neuen, nicht in der Intervention thematisierten Kontext Hebelmodell erprobt.

18.4.1 Stichprobe der Pilotierung

Insgesamt nahmen 83 Kinder aus fünf ersten Klassen an der Pilotierung teil. 6 Kinder wurden von der Datenanalyse ausgeschlossen, weil sie zum ersten oder zweiten Befragungszeitpunkt fehlten. Ein weiteres Kind verstand nach Aussage der Lehrperson nur schlecht Deutsch und wurde ebenfalls von der Datenanalyse ausgeschlossen. 76 Kinder (44 Jungen, 32 Mädchen, Alter $M = 6.60$ Jahre, $SD = .31$, $Min = 6.00$, $Max = 7.67$) bildeten somit die Stichprobe für die Veränderung von Vorstellungen zwischen Prä- und Post-Befragung. Aus organisatorischen Gründen konnte bei einer Gruppe (9 Kinder) die Befragung zum dritten Zeitpunkt (Follow-Up Befragung) nicht durchgeführt werden. Zudem fehlten 3 Kinder krankheitsbedingt in der Follow-Up Befragung. Somit setzt sich die Stichprobe für die Veränderungen der Vorstellungen zwischen Prä- und Follow-Up Befragung aus 64 Kindern (37 Jungen, 27 Mädchen, Alter $M = 6.62$, $SD = .31$, $Min = 6.00$, $Max = 7.67$) zusammen.

18.4.2 Ablauf der Pilotierung

Innerhalb jeder Schulklasse wurden per Zufall zwei Drittel der 6- bis 7-Jährigen einer von vier Bedingungen zugeteilt. Ein geschulter Interventionsleiter führte die Intervention unter den verschiedenen Bedingungen in Gruppen von ca. 8 Kindern durch. Das verbleibende Drittel der Klasse nahm an einer Intervention zu einem anderen Thema teil (Kontrollgruppe). Kinder der Experimentalgruppen arbeiteten zunächst zum Lastarm im Kontext Schubkarre. Im Anschluss wurde der Kraftarm im Kontext Schubkarre und der Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel thematisiert.

Die vier Experimentalgruppen unterschieden sich in Art und Ausmaß der Unterstützung. Entweder handelten die Kinder an den Gegenständen begleitet mit nur minimalen Instruktionen (,Basisintervention‘ EG 4, N = 16), sahen zusätzlich zur Handlung an den Gegenständen Bilder (,Bilder‘ EG 3, N = 13), erhielten zusätzlich zur Handlung an den Gegenständen verbale Impulse (,verbale Impulse‘ EG 2, N = 17) oder verbale Impulse kombiniert mit Bildern (,verbale Impulse + Bilder‘ EG 1, N = 16). Eine Kontrollgruppe (KG, N = 14) nahm an keiner Intervention zum Themenbereich Hebel teil, sondern zum Thema Statik bzw. potenzielle Energie. Im Anschluss an die Intervention und 4 Wochen später wurden die Vorstellungen zu den Wissenselementen Lastarm und Kraftarm erneut erfasst.

Die Intervention der Pilotierung dauerte ca. 30 Minuten. Die ,time on task‘ von 10 Minuten pro Interventionssequenz (Lastarm Kontext Schubkarre, Kraftarm Kontext Schubkarre und Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel) wurde über die verschiedenen Experimentalgruppen konstant gehalten. Kindern der ,Basisintervention‘ wurde mehr Zeit bei der Handlung an den Gegenständen gewährt als Kindern der anderen Experimentalgruppen, um die benötigte Zeit für die verbalen Impulse und das Einführen der Bilder zu kompensieren. Im Folgenden wird der Ablauf der Intervention unter verschiedenen Bedingungen vorgestellt.

18.4.2.1 Basisintervention (EG 4)

Unabhängig davon, an welcher Intervention die Kinder teilnahmen, wurde in Gruppen von ca. 8 Kindern zuerst zum Lastarm im Kontext Schubkarre und anschließend zum Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel gearbeitet. In Abbildung 14a,b,c (S. 196) sind die Gegenstände der ,Basisintervention‘ der Pilotierung abgebildet.

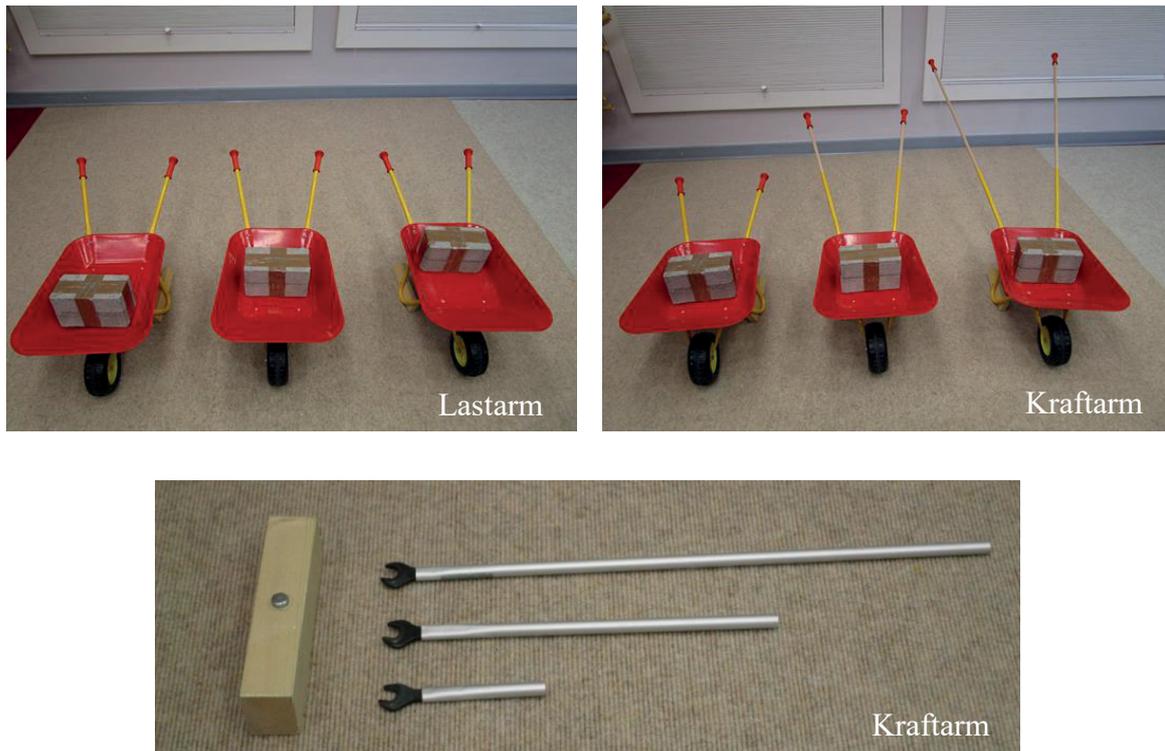


Abbildung 14a,b,c. Gegenstände der Pilotierung für die Sequenzen Lastarm Kontext Schubkarre (oben links), Kraftarm Kontext Schubkarre (oben rechts) und Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel (unten)

Zu Beginn der Intervention entfernte der Interventionsleiter eine Decke, unter der drei kindgerechte Schubkarren nebeneinander standen. Bei der Interventionssequenz zum Lastarm unterschieden sich die drei Schubkarren in der Position der Last (Steinpaket bestehend aus zwei Ziegelsteinen) in der Wanne. Die Last der ersten Schubkarre stand in der Wanne vorne beim Rad (kurzer Lastarm). Die Last der zweiten Schubkarre stand in der Mitte der Wanne (mittlerer Lastarm). Die Last der dritten Schubkarre stand in der Wanne hinten bei den Griffen (langer Lastarm). Die Längen der Lastarme sind in Anhang A.3 (S. 314) abgebildet. Der Interventionsleiter beschrieb den Unterschied zwischen den drei Schubkarren. Im Anschluss erhielten die 6- bis 7-Jährigen dieser Experimentalgruppe nur minimale Anweisungen zur Bearbeitung der Aufgabe. Die Kinder wurden aufgefordert zu vermuten, bei welcher Position der Last ihnen das Anheben der Schubkarre am leichtesten fällt. Die Vermutungen sollten jedoch nicht laut geäußert werden. Im Anschluss überprüfte jedes Kind durch Anheben der drei Schubkarren seine Vermutung. Abermals sollte nicht laut geäußert werden, was herausgefunden wurde. Eine zweite Runde der Überprüfung, in der die Kinder erneut alle drei Schubkarren anhoben, folgte. Erneut sollten die Kinder für sich behalten, was sie herausgefunden hatten.

Die Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schubkarre verlief analog. Bei dieser unterschieden sich die Schubkarren in der Länge der Griffe (vgl. Abbildung 14, oberes

rechtes Bild). Verwendet wurden: *mittlere Griffe* (entspricht der gewöhnlichen Länge der Griffe einer Spielzeugschubkarre), *lange Griffe* und *sehr lange Griffe*. Anhang A.3 (S. 314) zeigt einen Überblick über die Länge der Griffe.

In der Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel arbeiteten die Kinder in Paaren. In dieser Sequenz sollten sich die 6- bis 7-Jährigen ebenfalls zunächst überlegen, bei welchem Schraubenschlüssel ihnen das Festziehen der Schraube am leichtesten fällt. Zur Überprüfung der Vermutung hielt ein Kind den Holzklötz, in dem sich eine Schraube befand, fest, während das andere Kind drei verschieden lange Schraubenschlüssel ausprobierte. Dabei sollten die Griffe der Schraubenschlüssel an den Enden angefasst werden. Die Griffängen der Schraubenschlüssel sind in Anhang A.3 (S. 314) dargestellt. In einer zweiten Runde überprüften die 6- bis 7-Jährigen analog zum Kontext Schubkarre erneut, was sie herausgefunden hatten. Ihre Erfahrung sollten die Kinder nicht laut äußern.

Insgesamt erhielten die Kinder in dieser Experimentalgruppe ausschließlich minimale Anweisungen, um die Aufgaben bearbeiten zu können. In den drei anderen Experimentalgruppen wurden hingegen zusätzliche Impulse in Form von Bildern, verbalen Impulsen oder beidem gegeben.

18.4.2.2 Intervention mit Bildern (EG 3)

In der Experimentalgruppe ‚Bilder‘ präsentierte der Interventionsleiter den 6- bis 7-Jährigen zusätzlich zu den Instruktionen und den Gegenständen der ‚Basisintervention‘ Bilder. Jeweils drei DIN-A4-Bilder einer Schubkarre mit unterschiedlicher Position der Last oder unterschiedlich langen Griffen wurden gezeigt. Die Bilder dreier Schraubenschlüssel unterschieden sich ebenfalls in der Länge der Griffe. Abbildung 15 (S. 198) zeigt die Bilder für die Interventionssequenz Lastarm Kontext Schubkarre (oben), Kraftarm Kontext Schubkarre (Mitte) und Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel (unten).

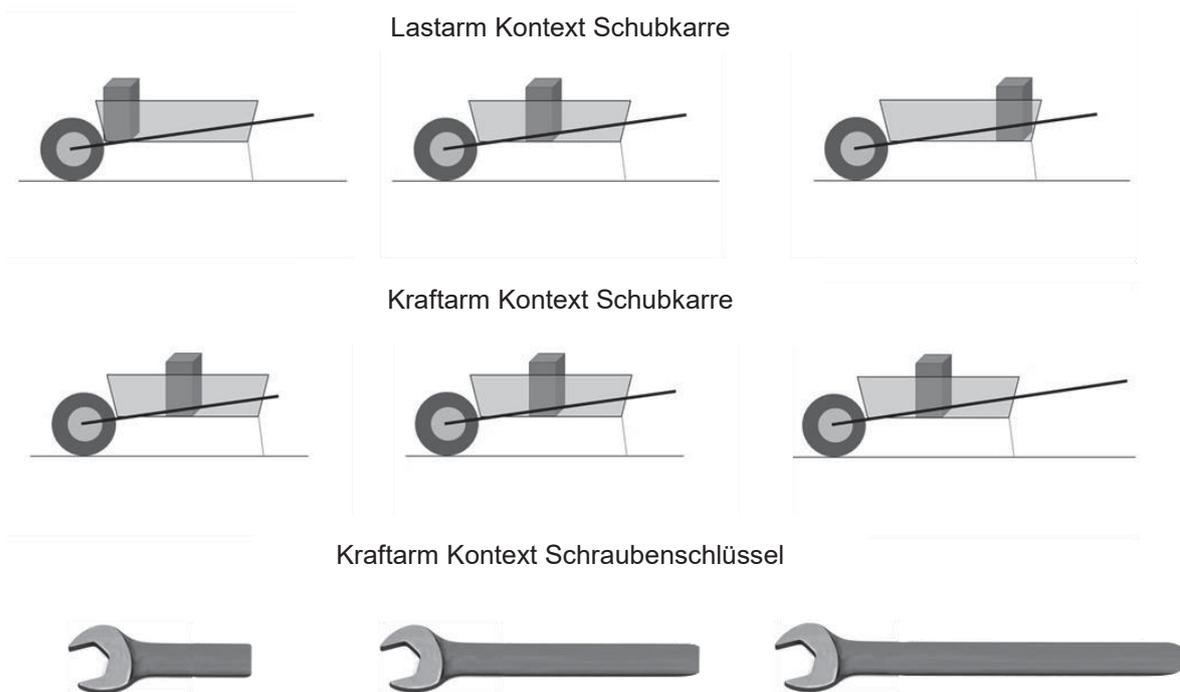


Abbildung 15. Darstellende Bilder für die Interventionssequenz zum Lastarm im Kontext Schubkarre (oben), zum Kraftarm im Kontext Schubkarre (Mitte) und Schraubenschlüssel (unten)

Diese Abbildungen der Intervention entsprachen fast den Abbildungen der Items in der Prä-, Post- und Follow-Up Befragung (vgl. Anhang A.1.2, S. 306). Neben der Größe der Abbildungen lag ein weiterer Unterschied bei den Bildern im Kontext Schubkarre in der Form der Last. Die Bilder der Intervention zeigten Schubkarren, die mit Steinpaketen beladen waren. In der Prä-, Post- und Follow-Up Befragung waren die Schubkarren in den Abbildungen eines Items mit Zylindern beladen. Die Bilder der Intervention im Kontext Schraubenschlüssel zeigten drei Schraubenschlüssel unterschiedlicher Längen. Die in Graustufen gehaltenen Bilder wurden bei jeder Sequenz vor der Einführung in die Gegenstände präsentiert. Der Interventionsleiter beschrieb die drei Abbildungen und wies auf die Unterschiede hin. Während der Intervention wurden die Kinder immer wieder aufgefordert, die Bilder zu betrachten. Dazu diente der Impuls: „Schau auf das Bild!“

18.4.2.3 Intervention mit verbalen Impulsen (EG 2)

In der Experimentalgruppe ‚verbale Impulse‘ (EG 2) wurden die 6- bis 7-Jährigen während der handlungsorientierten Intervention zusätzlich durch verbale Impulse unterstützt. Folgende verbale Impulse, die sowohl strukturierende als auch kognitiv aktivierende Funktion besitzen (vgl. Kapitel 10, S. 90), kamen zum Einsatz: aufmerksamkeitsregulierende Hinweise, Fragen, Einforderungen von detaillierteren

Ausführungen, Begründungen bzw. Selbsterklärungen, Austausch von Ideen anregen und Zusammenfassungen.

Der Ablauf der Intervention mit verbalen Impulsen war, bis auf die verbalen Impulse, analog zur ‚Basisintervention‘. Nachdem die Kinder die Unterschiede der drei Schubkarren herausgearbeitet hatten, wurden sie aufgefordert zu vermuten, welche Schubkarre ihnen am leichtesten anzuheben fällt. Dabei regten verbale Impulse die 6- bis 7-Jährigen an, sich über ihre Vermutungen auszutauschen. Der Interventionsleiter demonstrierte das Anheben der Schubkarre und die Kinder konnten ihre Vorstellungen überprüfen. Im Anschluss wurden die Kinder mithilfe verbaler Impulse angeregt, sich über ihre Erfahrungen auszutauschen. Begründungen bzw. Selbsterklärungen wurden eingefordert. Darüber hinaus fasste der Interventionsleiter korrekte Aussagen der Kinder zusammen. Bspw. sagte der Interventionsleiter zur Fokussierung der Aufmerksamkeit (Pea, 2004) bei der Interventionssequenz zum Lastarm im Kontext Schubkarre: „Genau! Wenn der Stein vorne beim Rad steht, fällt es dir leicht.“ Damit hatte dieser Impuls inhaltlich strukturierende Funktion. Tabelle 15 zeigt beispielhaft einige der verwendeten verbalen Impulse. Anhang A.4 (S. 315) ist der Interventionsleitfaden mit allen verwendeten Impulsen zu entnehmen.

Tabelle 15. Art der verbalen Impulse und beispielhafte Umsetzung in der Intervention

Art der verbalen Impulse	Beispielhafte Umsetzung in den Intervention
Aufmerksamkeitsregulierende Hinweise (strukturierend)	„[...]Steinpakete stehen an unterschiedlicher Stelle.“ „[...]die Griffe bei den Schubkarren sind unterschiedlich lang.“
Fragen (kognitiv aktivierend und strukturierend)	„Was hast du herausgefunden [...]?“
Einfordern von Begründungen, Selbsterklärungen bzw. detaillierteren Ausführungen (kognitiv aktivierend)	„Was glaubst du [...]? Und warum glaubst du das?“
Austausch von Ideen anregen (kognitiv aktivierend)	„Und du, was meinst du?“
Zusammenfassungen (strukturierend)	„Ja genau. [...] Ist das Steinpaket vorne beim Rad, fällt es dir leicht. Ist das Steinpaket in der Mitte, fällt es dir etwas schwerer. Ist das Steinpaket hinten bei den Griffen, fällt es dir noch schwerer.“ „Ja genau! [...] Sind die Griffe lang, fällt es dir leicht. Sind die Griffe mittel, fällt es dir etwas schwerer. Sind die Griffe kurz, fällt es dir noch schwerer.“

Die linke Seite der Tabelle 15 zeigt die Art des verbalen Impulses und dessen Funktion. Die Zuordnung der verbalen Impulse zu ihren Funktionen erfolgt angelehnt an Meschede et al. (2015). Dabei sei darauf hingewiesen, dass z. B. Fragen primär zur kognitiven Aktivität anregen sollen, gleichzeitig aber auch inhaltlich strukturierend wirken können.

Der rechten Seite der Tabelle 15 (S. 199) sind Beispiele aus der Umsetzung in der Intervention zu entnehmen.

18.4.2.4 Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern (EG 1)

Kinder der Experimentalgruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ (EG 1) erhielten zusätzlich zur Handlung an den Gegenständen verbale Impulse kombiniert mit Bildern. Zu Beginn jeder Interventionssequenz sahen die 6- bis 7-Jährigen jeweils drei Bilder (vgl. Abbildung 15, S. 198). Wie in der Experimentalgruppe ‚Bilder‘ wurde der Unterschied der Bilder beschrieben. Nach der Einführung in die Handhabung der Gegenstände wurden die verbalen Impulse (vgl. Tabelle 15, S. 199) eingesetzt. Die Bilder lagen während der jeweiligen Interventionssequenz vor den Gegenständen. Während der Handlung an den Schubkarren und den Schraubenschlüsseln forderte der Interventionsleiter die 6- bis 7-Jährigen immer wieder auf, die Bilder zu betrachten, und gab zusätzlich die in Tabelle 15 (S. 199) dargestellten verbalen Impulse.

18.4.3 Ergebnisse der Pilotierung

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Pilotierung berichtet.

Reliabilität der Befragung zu den drei Zeitpunkten

Ein Ziel der Pilotierung ist die Prüfung, ob eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe verschiedener Impulse bzw. deren Kombinationen möglich ist. Um dies prüfen zu können, müssen die Items die Vorstellungen reliabel erfassen. Daher werden zunächst die Reliabilitäten der Items zu den drei Befragungszeitpunkten berichtet (vgl. Tabelle 16)

Tabelle 16. Reliabilitäten (Guttman's λ_2)¹ für Lastarm Schubkarre, Kraftarm Schubkarre und Schraubenschlüssel zu den drei Befragungszeitpunkten

Reliabilität Guttman's λ_2	N	t1 (N = 76)	t2 (N = 76)	t3 (N = 64)
Lastarm Schubkarre	4	.78	.84	.86
Kraftarm Schubkarre	4	.83	.87	.89
Kraftarm Schraubenschlüssel	2	.79	.67	.80

¹ berechnet aus dichotomen Werten (richtig gelöst, falsch gelöst) der drei Antwortoptionen. Berechnungen zu t2 beziehen sich auf Kinder, die die Befragungszeitpunkte eins und zwei bearbeitet haben. Berechnungen zu t3 beziehen sich auf Kinder, die an den Befragungszeitpunkten eins, zwei und drei teilgenommen haben.

Die Reliabilitäten zu Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Schraubenschlüssel und Hebelmodell sind, unter Berücksichtigung der geringen Itemanzahl, zu allen drei Befragungszeitpunkten als akzeptabel bis gut zu bewerten. Daher

kann im Folgenden die Frage, ob mithilfe der Intervention die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm verändert werden können, beantwortet werden.

Im Folgenden wird berichtet, ob mithilfe der Interventionen unter Verwendung verschiedener Impulse eine Veränderung der Vorstellungen erzielt werden kann. In Tabelle 17 sind Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der Anzahl korrekt gelöster Items für die verschiedenen Gruppen für die Aspekte Lastarm Schubkarre, Kraftarm Schubkarre und Kraftarm Schraubenschlüssel dargestellt.

Tabelle 17. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der Anzahl korrekter Antworten für Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel zu den drei Befragungszeitpunkten in den verschiedenen Gruppen

Pilotierung	t1 (N = 76)			t2 (N = 76)			t3 (N = 64)		
	M	SD	Max	M	SD	Max	M	SD	Max
Lastarm Schubkarre									
Verb. Impulse + Bilder	1.00	1.21	4	3.25	1.39	4	2.80	1.52	4
Verb. Impulse	1.41	1.42	4	2.71	1.61	4	2.00	1.77	4
Bilder	1.31	1.44	4	1.69	1.44	4	1.27	1.49	4
Basisintervention	1.38	1.67	4	1.75	1.65	4	1.94	1.73	4
Kontrollgruppe	1.50	1.56	4	1.93	1.49	4	1.50	1.61	4
Kraftarm Schubkarre									
Verb. Impulse + Bilder	.75	.93	3	3.00	1.46	4	2.53	1.73	4
Verb. Impulse	1.00	1.62	4	2.18	1.67	4	2.25	1.98	4
Bilder	1.31	1.49	4	1.69	1.70	4	1.36	1.50	4
Basisintervention	.81	1.28	4	1.13	1.36	4	1.06	1.44	4
Kontrollgruppe	.64	1.28	4	.79	1.42	4	.71	1.27	4
Kraftarm Schraubenschlüssel									
Verb. Impulse + Bilder	.25	.58	2	.88	.81	2	.93	.96	2
Verb. Impulse	.47	.80	2	1.12	.86	2	1.13	.99	2
Bilder	.62	.87	2	.77	.83	2	.73	.79	2
Basisintervention ¹	.81	.91	2	.50	.82	2	.69	.95	2
Kontrollgruppe	.36	.74	2	.21	.43	1	.43	.76	2

¹Bei der Basisintervention verzögerte sich der Beginn der Intervention aufgrund unvorhersehbarer Umstände. Daher konnte keine Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel durchgeführt werden.

Mittelwertvergleiche (t-Tests für abhängige Stichproben) zwischen Prä- und Post-Befragung sowie Prä- und Follow-Up Befragung für die verschiedenen Gruppen bei Lastarm und Kraftarm Kontext Schubkarre und Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel sind in Tabelle 18 (S. 202) dargestellt.

Tabelle 18. Veränderung der Vorstellungen (*t*-Test für abhängige Stichproben) von der Prä- zur Post-Befragung und von der Prä- zur Follow-Up Befragung zu den Aspekten Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel unter den verschiedenen Bedingungen

Pilotierung	Prä-Befragung → Post-Befragung (N = 76)				Prä-Befragung → Follow-Up Befragung (N = 64)			
	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i> _{einseitig}	<i>d</i>	<i>t</i>	<i>df</i>	<i>p</i> _{einseitig}	<i>d</i>
Lastarm Schubkarre								
Verb. Impulse + Bilder	-5.084	15	<.001	1.27	-4.379	14	<.001	1.13
Verb. Impulse	-2.678	16	.008	.65	-1.183	7	.138	.42
Bilder	-.923	12	.187	.25	.131	10	.449	.04
Basisintervention	-1.000	15	.167	.25	-1.259	15	.114	.31
Kontrollgruppe	-1.249	13	.177	.33	0	13	.5	0
Kraftarm Schubkarre								
Verb. Impulse + Bilder	-6.068	15	<.001	1.52	-4.291	14	<.001	1.11
Verb. Impulse	-2.787	16	.007	.66	-2.733	7	.015	.97
Bilder	-1.046	12	.158	.29	.199	10	.423	.06
Basisintervention	-.791	15	.221	.20	-.62	15	.272	.16
Kontrollgruppe	-.322	13	.376	.08	-.211	13	.418	.06
Kraftarm Schraubenschlüssel								
Verb. Impulse + Bilder	-3.478	15	.002	.87	-2.320	14	.018	.60
Verb. Impulse	-2.678	16	.009	.65	-1.528	7	.085	.54
Bilder	-.617	12	.275	.17	0	10	.500	0
Basisintervention ¹	1.775	15	.096	.44	.656	15	.290	.14
Kontrollgruppe	.694	13	.250	.19	-.322	13	.376	.09

¹keine Intervention zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel.

Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ lösen in der Post- und Follow-Up Befragung signifikant mehr Items korrekt als in der Prä-Befragung, alle $p_{\text{einseitig}} < .019$ (vgl. Tabelle 18). Dies gilt für Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel. Die gefundenen Effekte sind als mittel und groß (alle $d > .6$) zu bezeichnen (Cohen, 1988). Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse‘ lösen in der Post-Befragung ebenfalls bei allen Aspekten signifikant mehr Items korrekt als in der Prä-Befragung, alle $p_{\text{einseitig}} < .01$. Die Effektgröße ist nach der Klassifikation von Cohen (1988) als mittel einzustufen (alle $d > .64$). Zudem zeigt die Gruppe ‚verbale Impulse‘ in der Follow-Up Befragung ausschließlich beim Aspekt Kraftarm im Kontext Schubkarre signifikant mehr korrekte Vorstellungen als in der Prä-Befragung, $p_{\text{einseitig}} = .015$. Auch hier ist die Effektgröße als mittel ($d = .97$) einzuschätzen. 6- bis 7-Jährige der Gruppe ‚Bilder‘ oder ‚Basisintervention‘ zeigen weder zur Post- noch zur Follow-Up Befragung mehr korrekte Vorstellungen zu einem der Aspekte als in der Prä-Befragung, alle $p_{\text{einseitig}} > .095$. Bei der Anzahl korrekter Antworten von Kindern der Kontrollgruppe zeigt sich kein Testwiederholungseffekt, $p_{\text{einseitig}} > .176$.

18.4.4 Reflexion der Pilotierung und Konsequenzen für die Hauptuntersuchung

Bevor die obigen Ergebnisse interpretiert werden, wird auf die Teststärke der Untersuchung eingegangen. Unter Teststärke (auch *Power* genannt) wird die Wahrscheinlichkeit verstanden, mit der ein Ergebnis bei einer korrekten Alternativhypothese statistisch signifikant wird (Bortz & Döring, 2006). Aufgrund der vielen Kinder, die zu einem Befragungszeitpunkt fehlten oder aus anderen Gründen aus der Stichprobe genommen werden mussten (vgl. Kapitel 18.4.1, S. 194), basieren die obigen Ergebnisse auf einer relativ kleinen Stichprobe von 76 (Mittelwertvergleiche Prä-Befragung und Postbefragung) bzw. 64 Kindern (Mittelwertvergleiche Prä-Befragung und Follow-Up Befragung). Pro Experimentalgruppe verbleiben bei den Mittelwertvergleichen für die Prä- und Postbefragung 13 bis 17 Kinder und bei den Mittelwertvergleichen für die Prä- und Follow-Up Befragung 8 bis 17 Kinder.

G*Power (Buchner, Erdfelder, Faul & Lang, 2014) zeigte bspw. für die Experimentalgruppe ‚verbale Impulse‘ (N = 8) bei dem Mittelwertvergleich von Prä- zur Follow-Up Befragung für den Aspekt Lastarm im Kontext Schubkarre eine Teststärke von nur 28 % (einseitiger t-Test für abhängige Stichproben, $\alpha = .05$, $d = .42$). Das heißt in 72 % der Fälle wird ein wahrer Effekt beim Aspekt des Lastarms im Kontext Schubkarre nicht gefunden. Insgesamt kann aufgrund der kleinen Stichprobenumfänge nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass in der Pilotierung ein signifikanter Effekt übersehen wurde. Um dies in der Hauptuntersuchung zu verhindern, wurde für die Hauptuntersuchung der optimale Stichprobenumfang mit G*Power berechnet.

Die Pilotierung zeigt, dass eine Kombination von verbalen Impulsen und Bildern direkt im Anschluss an die Intervention und 4 Wochen später zu einer Veränderung der Vorstellungen führt. Trotz des relativ geringen Stichprobenumfangs und der kurzen Interventionszeit von 10 Minuten pro Aspekt zeigen sich mittlere bis große Effektgrößen. Direkt im Anschluss an die Intervention regen auch verbale Impulse einer Veränderung der Vorstellungen in den oben genannten Aspekten an. Die Effektgröße hier ist als mittel einzustufen. Dass sich in der Gruppe ‚verbale Impulse‘ 4 Wochen nach der Intervention keine Veränderung der Vorstellungen zeigt, könnte an der geringen Power der Untersuchung, bedingt durch den kleinen Stichprobenumfang, liegen. Dadurch kann ein tatsächlich vorliegender Effekt leicht übersehen werden. Bilder oder die ‚Basisintervention‘ führen hingegen weder in der Post- noch in der Follow-Up Befragung

zu mehr korrekten Vorstellungen als in der Prä-Befragung. Ebenso zeigen Kinder der Kontrollgruppe keine Veränderung ihrer Vorstellung zu einseitigen Hebeln. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse werden Konsequenzen für die Hauptuntersuchung gezogen.

Methodische Aspekte der Pilotierung

In Bezug auf methodische Aspekte ist eine Konsequenz aus der Pilotierung für die Hauptuntersuchung, dass auf einen ausreichend großen Stichprobenumfang und damit einhergehend auf ausreichend große Power der Untersuchung geachtet wird. Daher wurde der optimale Stichprobenumfang mit G*Power berechnet (vgl. Kapitel 18.5, S. 207).

In der Pilotierung setzte sich jede Experimentalgruppe aus Kindern einer Schulklasse zusammen. Ausschließlich die Kontrollgruppe wurde aus Kindern verschiedener Klassen gebildet. Wird eine Experimentalgruppe von Kindern derselben Klasse gebildet, so können keine Klasseneffekte kontrolliert werden. Daher sollte in der Hauptuntersuchung, zur Vermeidung von Klasseneffekten, jede Experimentalgruppe aus 6- bis 7-Jährigen verschiedener Klassen und Schulen zusammengesetzt werden.

Ablauf der Pilotierung

In Bezug auf den Ablauf erwiesen sich die Veränderungen gegenüber der Prä-Pilotierung als positiv. Die Organisationsform (eine von einem Interventionsleiter betreute Kleingruppenarbeit) erwies sich gegenüber der Stationsarbeit in der Prä-Pilotierung als angemessener. Die 6- bis 7-Jährigen bearbeiteten während der ersten beiden Interventionssequenzen zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre konzentriert und fokussiert die Aufgabenstellung. Während der Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel, die weniger strukturiert in Partnerarbeit durchgeführt wurde, ließ diese Arbeitshaltung jedoch nach.

Insgesamt dauerte die Bearbeitung von drei Sequenzen (Lastarm und Kraftarm jeweils im Kontext Schubkarre, Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel) länger als erwartet. Aus Zeitgründen musste in zwei Gruppen auf die Durchführung der Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel verzichtet werden. In der Hauptuntersuchung wurde daher die Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel nicht mehr durchgeführt. Im Kontext Schubkarre und im Kontext Schraubenschlüssel ließ sich eine Veränderung von Vorstellungen zum Kraftarm mithilfe von verbalen Impulsen und

Bildern oder verbalen Impulsen anregen. Allerdings bot es sich für die Hauptuntersuchung an, eine Veränderung von Vorstellungen zum Lastarm und Kraftarm im selben Kontext zu thematisieren. Denn nur unter Verwendung desselben Kontexts ist der Vergleich möglich, ob sich eine Veränderung von Vorstellungen beim Lastarm und Kraftarm mithilfe der gleichen Impulse unterscheidet.

Verschiedene Gründe sprechen für die Verwendung des Kontexts Schubkarre in der Hauptuntersuchung. Erstens ist die Entwicklung einer Interventionssequenz zum Lastarm im Kontext Schraubenschlüssel schwierig. Dies liegt daran, dass sich das Drehmoment durch die Vorspannkraft der Schraube und dem Radius der Schraube (vgl. Kapitel 2, S. 16) zusammensetzt. Die Darstellung dieses Zusammenhangs über Material ist kompliziert, da Schrauben mit unterschiedlichem Radius gewählt werden müssten und die Vorspannkraft für 6- bis 7-Jährige verständlich dargestellt werden müsste. Zweitens ist die verwendete Fragestellung im Kontext Schraubenschlüssel problematisch. Die Kinder wurden gefragt, mit welchem Schraubenschlüssel es ihnen am leichtesten fällt, die Schraube festzuziehen. Die Begründungen der Kinder in den Gruppen ‚verbale Impulse‘ oder ‚verbale Impulse + Bilder‘ bezogen sich vermehrt auf die Praktikabilität und Handlichkeit des Schraubenschlüssels und seltener auf die benötigte Kraft. Zudem sprechen die höheren Reliabilitäten (vgl. Tabelle 16, S. 200) der Items zum Kraftarm im Kontext Schubkarre für die Wahl dieses Kontexts. Aus den genannten Gründen wird in der Hauptuntersuchung die Interventionssequenz zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre durchgeführt.

Die Optimierung der Interventionsgegenstände, wie die Erhöhung der Stabilität der Schubkarren durch Holzschienen, erwies sich als hilfreich, da die Schubkarren nicht drohten umzufallen. Die Kinder schienen während der Intervention zum Lastarm bei der Schubkarre die unterschiedlichen Positionen der Steine nur schwer zu erkennen. Daher wurden bei den Schubkarren in der Hauptuntersuchung drei mögliche Lastpositionen in die Wanne aufgemalt. Dies sollte den 6- bis 7-Jährigen erleichtern, die Position der Last in der Schubkarre zu erkennen.

Auch an den Schubkarren der Interventionssequenz zum Lastarm in der Hauptuntersuchung wurden Modifikationen vorgenommen. Kinder, die an der Interventionssequenz zum Kraftarm in der Pilotierung mit verbalen Impulsen teilnahmen, nannten als Begründung für die Wahl einer Schubkarre, dass die sehr langen Griffe instabil scheinen würden und durchbrechen könnten. Daher wurden in der Intervention der Hauptuntersuchung die sehr langen Griffe nicht verwendet und durch kurze Griffe ersetzt.

Für eine Übersicht der verschiedenen Griffängen und Positionen der Steine in der Schubkarre in der Prä-Pilotierung, Pilotierung und Hauptuntersuchung wird auf Anhang A.3 (S. 314) verwiesen.

In der Hauptuntersuchung wurde bei der Kontrollgruppe auf die Durchführung einer Follow-Up Befragung verzichtet. Dieses Vorgehen ist von anderen Studien (z. B. Leuchter et al., 2014) bekannt. Zum einen macht es wenig Sinn, den langzeitigen Effekt einer Intervention zu prüfen, die nicht stattgefunden hat. Zum anderen kann bereits durch die Pilotierung ausgeschlossen werden, dass das wiederholte Bearbeiten der Items zu einer Veränderung der Vorstellungen (Testwiederholungseffekt) zum Lastarm und Kraftarm führt (vgl. Tabelle 18, S. 202).

Überarbeitung der in der Pilotierung verwendeten Bilder für die Hauptuntersuchung

Die Modifikationen der unabhängigen Variable Bild bezieht sich sowohl auf die Art des Bildes als auch auf den Einsatz. Die in Graustufen gehaltenen DIN-A4-Bilder der Pilotierung wurden für die Hauptuntersuchung auf DIN A3 vergrößert und farbig gestaltet. Durch die farbliche Hervorhebung der Elemente (Position des Steins, Griffänge, Wanne, Rad) der Schubkarre in den Bildern waren diese besser zu erkennen (,Cueing‘, vgl. Kapitel 9.4, S. 86). Um die Bilder stärker zu betonen, wurden diese in der Hauptuntersuchung *vor* der Präsentation der Gegenstände dargeboten. Darüber hinaus erarbeitete der Interventionsleiter die Unterschiede der Bilder gemeinsam mit den Kindern. Zur Verdeutlichung, dass die Schubkarren an den Enden der Griffe angefasst werden sollten, wurden am Ende der Griffe kleine Hände eingezeichnet. Dass die Darbietungsreihenfolge von Bild und Text einen Einfluss auf die Behaltensleistung haben kann, zeigte sich in multimedialen Lernumgebungen (vgl. Kapitel 12, S. 107). Wurden bspw. zuerst Bilder und später Text präsentiert, konnte die Behaltensleistung erhöht werden (Picture-Text Sequenzing Effekt, Schnotz, 2005). In der Hauptuntersuchung sollten zudem die Bilder nicht nur vor die Schubkarre gelegt werden, sondern auch dahinter. Auf diese Weise konnten die 6- bis 7-Jährigen direkt nach dem Anheben der Schubkarren die Bilder betrachten. Durch diese Modifikationen sollte die Behaltensleistung stärker gesteigert werden als in der Pilotierung. Bilder der Hauptuntersuchung sind in Tabelle 19 (S. 210) abgebildet.

Überarbeitung der verbalen Impulse der Pilotierung für die Hauptuntersuchung

Die Zeit, die mithilfe der Reduktion der Intervention von drei (Lastarm Schubkarre, Kraftarm Schubkarre und Kraftarm Schraubenschlüssel) auf zwei Sequenzen (Lastarm Schubkarre und Kraftarm Schubkarre) gewonnen wurde, ermöglichte in der Hauptuntersuchung, die verbalen Impulse in den Gruppen ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ auszuweiten und zu intensivieren. Nicht nur einzelne Kinder, sondern fast alle 6- bis 7-Jährigen befragte der Interventionsleiter nach ihren Vorstellungen und Begründungen. Zudem erhielten die Kinder mehr Zeit als in der Pilotierung beim Austausch von Ideen. Mithilfe dieser Modifikationen sollten in der Hauptuntersuchung die verbalen Impulse stärker zu einer Veränderung von Vorstellungen anregen.

Zusammenfassend betrachtet wurde während der Interventionsentwicklung der Ablauf, die Gegenstände, die Bilder und die verbalen Impulse optimiert. Darüber hinaus wurde aus den oben genannten Gründen in der Hauptuntersuchung auf den Kontext Schubkarre fokussiert.

18.5 Stichprobe der Hauptuntersuchung

Der optimale Stichprobenumfang wurde mithilfe des Programms G*Power (Buchner et al., 2014) bei der Planung der Untersuchung bestimmt. Für den Vergleich zweier Mittelwerte bei gerichteten Hypothesen und erwartetem mittleren Effekt ergab sich ein optimaler Stichprobenumfang von 51 Kindern pro Gruppe ($d = .5$, $\alpha = .05$, $\beta = .8$, Anzahl der Gruppen = 5). Bei varianzanalytischer Auswertung und Vergleich aller Gruppen, ebenfalls unter Erwartung mittlerer Effekte, belief sich der optimale Stichprobenumfang der Gesamtstichprobe auf 200 Kinder ($d = .25$, $\alpha = .05$, $\beta = .8$).

Bei den Kindern, die an der Hauptuntersuchung von Studie II teilnahmen, handelte es sich um einen Teil der Kinder der Hauptuntersuchung von Studie I. Insgesamt nahmen 304 Kinder aus 19 ersten Klassen an der Hauptuntersuchung von Studie II teil. Nicht alle Kinder konnten bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden. Aus folgenden Gründen wurden Kinder von der Datenanalyse ausgeschlossen:

Kinder, die zu einem oder mehreren Befragungszeitpunkten fehlten ($N = 52$), weil sie z. B. den Förderunterricht besuchten oder krank waren, blieben bei der Auswertung unberücksichtigt. Die Studie wurde von 11/2012 bis 02/2013 und 11/2013 bis 02/2014 in denselben Schulen durchgeführt. Daher nahmen vier Kinder, aufgrund Wiederholung der

Jahrgangsstufe Eins, zweimal an der Befragung teil. Bei diesen Kindern wurden nur die Daten aus der ersten Teilnahme im Schulhalbjahr 2012/13 berücksichtigt. Kinder, die jünger als 5.9 Jahre bzw. älter als 7.9 Jahre ($N = 3$) waren, wurden von der Analyse ausgeschlossen. Darüber hinaus blieben Kinder, die nach Beurteilung der Klassenlehrperson (Fragebogen zu den verbalen Fähigkeiten; vgl. Kapitel 15.5, S. 142) keinen altersangemessenen Wortschatz besaßen und zu schlecht Deutsch verstanden, um der Intervention oder der Befragung folgen zu können, bei der Datenanalyse unberücksichtigt ($N = 2$). Die Kontrolle der Videoaufzeichnungen der Prä-, Post- und Follow-Up Befragungen sowie der Intervention gewährleistete, dass diese entsprechend der Befragungs- und Interventionsleitfäden (vgl. Anhang A.1.1, S. 301; A.1.5, S. 310; A.4, S. 315) durchgeführt wurden. Aufgrund der Erkrankung eines Interventionsleiters mussten zwei Interventionsgruppen von jeweils 9 Kindern zu einer großen Gruppe zusammengelegt werden. Die Durchführung der Intervention mit einer Gruppe von 18 Kindern wich stark vom vorgesehenen Ablauf ab. Daher wurden diese Kinder bei der Datenauswertung nicht berücksichtigt. Somit beläuft sich die verbleibende Stichprobe der Hauptuntersuchung von Studie II auf 225 Kinder (102 Jungen, 123 Mädchen), die im Durchschnitt 6.63 Jahre alt waren ($SD = .32$, $Min = 5.92$, $Max = 7.42$). Im Folgenden wird diese Stichprobe als 6- bis 7-Jährige beschrieben. Die 6- bis 7-Jährigen verteilten sich wie folgt auf die fünf Gruppen: ‚verbale Impulse + Bilder‘ $N = 44$; ‚verbale Impulse‘ $N = 47$; ‚Bilder‘ $N = 45$; ‚Basisintervention‘ $N = 45$; ‚Kontrollgruppe‘ $N = 44$ (vgl. Abbildung 12, S. 187).

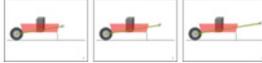
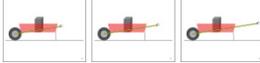
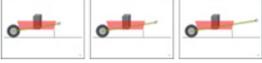
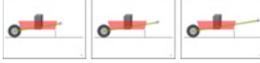
18.6 Ablauf der Intervention der Hauptuntersuchung

Der Ablauf der Intervention der Hauptuntersuchung baute auf den Erkenntnissen der beiden Pilotierungen auf. Ein geschulter Interventionsleiter führte die Intervention der Hauptuntersuchung in Kleingruppen von ca. 8 Kindern durch. Die Kinder wurden innerhalb einer Schulklasse per Zufall einer von drei Gruppen zugeteilt. Jede Gruppe wiederum wurde per Zufall einer der vier Experimentalgruppen (‚Basisintervention‘; ‚Bilder‘; ‚verbale Impulse‘; ‚verbale Impulse + Bilder‘) oder der Kontrollgruppe zugewiesen. In Abbildung 12 (S. 187) ist die Anzahl der Kinder in den Gruppen dargestellt. Die Experimentalgruppen unterschieden sich nicht in ihren Lernzielen oder Reihenfolge der Interventionssequenzen, jedoch im Ausmaß weiterer Unterstützung. Die ‚time on task‘ für alle vier Experimentalgruppen blieb konstant. Kinder der ‚Basisintervention‘ wurde mehr Zeit als den anderen Experimentalgruppen bei der Handlung an den Gegenständen

gewährt, um die benötigte Zeit für die verbalen Impulse und das Einführen der Bilder zu kompensieren. In einem Interventionsprotokoll wurden mögliche Abweichungen vom standardisierten Vorgehen festgehalten.

Ziel der Intervention war es, dass die 6- bis 7-Jährigen erkennen, dass es ihnen am leichtesten fällt, eine Schubkarre anzuheben, deren Last sich vorne beim Rad befindet (kurzer Lastarm) oder eine Schubkarre anzuheben, die mit langen Griffen ausgestattet ist (langer Kraftarm). Die 20-minütige Intervention bestand daher aus einer Sequenz zum Lastarm (10 Minuten) und einer Sequenz zum Kraftarm (10 Minuten). In Tabelle 19 (S. 210) ist ein Überblick über den Ablauf der Intervention der Hauptuntersuchung für die verschiedenen Experimentalgruppen dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Experimentalgruppen und der Kontrollgruppe erfolgt in den Kapiteln 18.6.1 (S. 211) bis 18.6.5 (S. 213).

Tabelle 19. Ablauf der Intervention der Hauptuntersuchung bei den vier Experimentalgruppen beispielhaft in der Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schubkarre

,Basisintervention‘ (EG 4)	,Bilder‘ (EG 3)	,Verbale Impulse‘ (EG 2)	,verbale Impulse + Bilder‘ (EG 1)
			
	 Was siehst du auf diesen Bildern? Kannst du den Unterschied beschreiben?		 Was siehst du auf diesen Bildern? Kannst du den Unterschied beschreiben?
Darstellen der Situation und Herausarbeiten der Unterschiede an den Schubkarren. Überlege dir, bei welcher Schubkarre es dir am leichtesten fällt diese anzuheben!			
Sage es nicht laut!	Sage es nicht laut!	Was glaubst du? Und warum? Und du, was glaubst du?	Was glaubst du? Und warum? Und du, was glaubst du?
Runde 1: Handlung an den Schubkarren			
-	 Schaue dir die Bilder nochmal gut an!	-	 Schaue dir die Bilder nochmal gut an!
Behalte für dich, was du herausgefunden hast!	Behalte für dich, was du herausgefunden hast!	Was hast du herausgefunden? Und warum ist das so? Und du, was glaubst du?	Was hast du herausgefunden? Und warum ist das so? Und du, was glaubst du?
-	-	Genau, wenn die Griffe lang sind, dann fällt es dir leichter.	Genau, wenn die Griffe lang sind, dann fällt es dir leichter.
Runde 2: Handlung an den Schubkarren (Überprüfung)			
-	 Schau dir die Bilder nochmal gut an!	-	 Schau dir die Bilder nochmal gut an!
-	-	Genau, wenn die Griffe lang sind, dann fällt es dir leichter.	Genau, wenn die Griffe lang sind, dann fällt es dir leichter.

18.6.1 Basisintervention (EG 4)

Zunächst wird der Ablauf der ‚Basisintervention‘ der Hauptuntersuchung vorgestellt. Das Material der Hauptuntersuchung bestand aus drei Schubkarren pro Interventionssequenz. Ca. 8 Kinder saßen im Halbkreis. Der Interventionsleiter entfernte eine Decke, unter der drei kindgerechte Schubkarren nebeneinander standen. In der Interventionssequenz zum Lastarm wurden drei Schubkarren mit ‚mittlerer Grifflänge‘ gewählt, bei denen sich die Position der Last (vorne beim Rad, in der Mitte der Wanne, hinten bei den Griffen) unterschied. Die drei möglichen Positionen waren als Felder in die Schubkarren gemalt und die Lasten befanden sich in je einem der Felder. In der Interventionssequenz zum Kraftarm standen die Lasten der drei Schubkarren jeweils in der Mitte der Wanne, jedoch unterschieden sich die Schubkarren in der Länge ihrer Griffe. Eine Schubkarre hatte kurze Griffe, eine weitere mittlere Griffe und die dritte Schubkarre lange Griffe. Angaben zur Position der Ladung und Länge der Griffe der Schubkarre sind in Anhang A.3 (S. 314) dargestellt.

Der Ablauf der Intervention entsprach dem der Pilotierung (vgl. Kapitel 18.4.2.1, S. 195). Nachdem die Gegenstände eingeführt wurden, arbeitete der Interventionsleiter gemeinsam mit den Kindern die Unterschiede zwischen den drei Schubkarren heraus. Im Anschluss erhielten die 6- bis 7-Jährigen dieser Experimentalgruppe nur minimale Anweisungen zur Bearbeitung der Aufgabe. Die Kinder wurden aufgefordert zu vermuten, bei welcher Position der Last bzw. Länge der Griffe es ihnen am leichtesten fällt, die Schubkarre anzuheben. Die Vermutungen sollten jedoch nicht laut geäußert werden. Der Interventionsleiter demonstrierte das Anheben der Schubkarre und im Anschluss überprüfte jedes Kind durch Anheben der drei Schubkarren seine Vermutung. Abermals sollten die Kinder nicht laut äußern, was sie herausgefunden hatten. Eine zweite Runde der Überprüfung, in der die Kinder erneut alle drei Schubkarren anhoben, folgte. Erneut behielten die Kinder für sich, was sie herausgefunden hatten. Diese ‚Basisintervention‘ wurde in den weiteren Experimentalgruppen um Bilder, verbale Impulse oder beides ergänzt.

18.6.2 Intervention mit Bildern (EG 3)

Kinder der Experimentalgruppe 3 nahmen an der handlungsorientierten Intervention in Kombination mit Bildern teil. Zu Beginn jeder Interventionssequenz wurden drei farbige DIN-A3-Bilder einer Schubkarre, die sich entweder in der Position der Last oder der Länge

der Griffe unterschieden, präsentiert. Die Abbildungen entsprachen, bis auf die farbige Gestaltung und die Form der Last, den Abbildungen in der Prä-, Post- und Follow-Up Befragung. Abbildung 16 zeigt die darstellenden Bilder zum Lastarm und zum Kraftarm im Kontext Schubkarre.

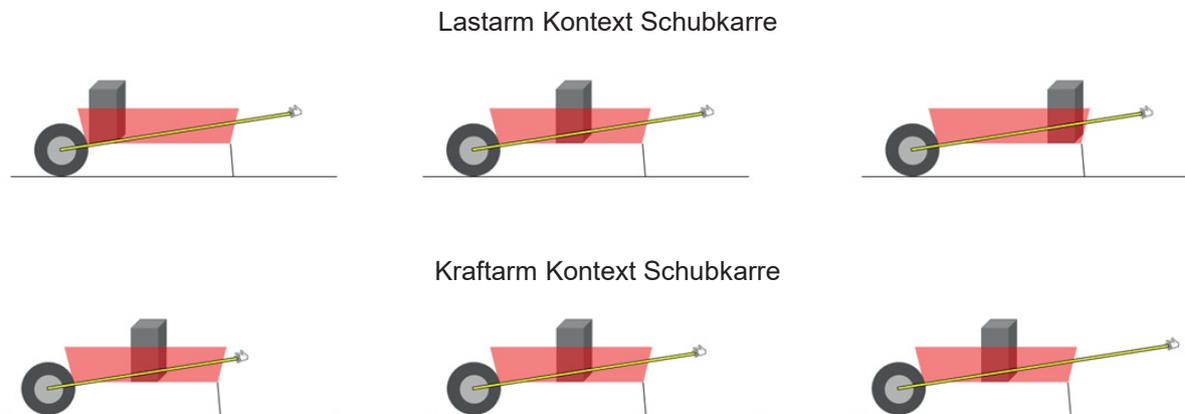


Abbildung 16. Bilder der Intervention der Hauptuntersuchung zum Lastarm (oben) und Kraftarm (unten) im Kontext Schubkarre

Wichtige Elemente einer Schubkarre, wie die Länge der Griffe (gelb), die Wanne der Schubkarre (rot) und die Last (grau), waren farblich hervorgehoben. Zunächst lenkte der Interventionsleiter die Aufmerksamkeit der Kinder auf die darstellenden Bilder. Diese lagen vor den unter einer Decke verdeckten Schubkarren. Gemeinsam mit dem Interventionsleiter arbeiteten die 6- bis 7-Jährigen die Unterschiede zwischen den Bildern heraus. Anschließend wurden die Schubkarren unter der Decke hervorgeholt. Der Interventionsleiter stellte die Situationen in den Bildern mit den Schubkarren dar. Der weitere Ablauf der Intervention verlief weitgehend analog zur ‚Basisintervention‘. Zusätzlich lagen vor und hinter jeder Schubkarre die drei Bilder. Während die Kinder die Schubkarren anhoben, wurden sie aufgefordert, nochmals die Schubkarren mit den Bildern zu vergleichen. Die Bilder der Schubkarren blieben während der gesamten Interventionssequenz vor und hinter den Schubkarren liegen. Der Ablauf der Intervention jeder Gruppe erfolgte standardisiert nach vorgegebenem Ablauf (vgl. Anhang A.4, S. 315).

Die Funktion der darstellenden Bilder war u. a. eine zusätzliche inhaltliche Strukturierung der Situationen. Darüber hinaus sollte den Kindern eine Hilfestellung bei der Übertragung des dreidimensionalen Gegenstands Schubkarre aus der Intervention auf die zweidimensionalen Abbildungen in der Post- bzw. Follow-Up Befragung gegeben werden.

Außerdem wurde angenommen, dass die Bilder die Behaltensleistung steigern (vgl. Kapitel 9.3, S. 84).

18.6.3 Intervention mit verbalen Impulsen (EG 2)

In der Hauptuntersuchung wurden die gleichen verbalen Impulse wie in der Pilotierung (vgl. Tabelle 15, S. 199) eingesetzt, jedoch wurden diese ausgeweitet und intensiviert. Der Interventionsleiter fragte fast alle 6- bis 7-Jährigen nach ihren Vermutungen und Begründungen. Zudem wurde den Kindern mehr Zeit beim Austausch von Ideen und Erfahrungen gegeben als in der Pilotierung.

18.6.4 Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern (EG 1)

Kinder der Experimentalgruppe 1 nahmen an der handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern teil. Die verbalen Impulse aus Experimentalgruppe 2 wurden dabei mit den Bildern aus Experimentalgruppe 3 additiv kombiniert (vgl. Tabelle 19, S. 210). Der Ablauf dieser Intervention fand ebenfalls nach dem vorgegebenen Interventionsleitfaden statt (vgl. Anhang A.4, S. 315).

18.6.5 Kontrollgruppe (KG)

Die 44 Kinder der Kontrollgruppe nahmen an einer Intervention zum Thema Statik oder potenzielle Energie teil. In beiden Interventionen wurden die Aspekte Lastarm und Kraftarm im nicht thematisiert. Jedoch wurden auch in dieser Gruppe die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm direkt im Anschluss an die Intervention erfasst.

18.7 Erhebungsinstrumente

Im Folgenden werden die Fragebögen zur Erfassung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln, den kognitiven und verbalen Fähigkeiten vorgestellt.

18.7.1 Erfassung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln in den Kontexten Schubkarre und Hebelmodell

In der Prä-, Post- und Follow-Up Befragung wurden die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre mit der in Studie I entwickelten Befragung

erfasst. Items und Ablauf der Befragung waren analog zur Hauptuntersuchung von Studie I gestaltet (vgl. Kapitel 15.4, S. 141; Kapitel 15.8, S. 145).

In der Prä-Befragung bearbeitete die Hälfte der 6- bis 7-Jährigen jeder Experimentalgruppe Befragungsversion A, die andere Hälfte Version B, die jeweils vier Items zum Lastarm und vier Items zum Kraftarm beinhaltete. Beide Versionen unterschieden sich in der Reihenfolge der Items (vgl. Anhang A.1.3, S. 308). In der Post-Befragung erhielten die Kinder die noch nicht bearbeitete Version. In der Follow-Up Befragung bearbeiteten die Kinder die selbe Version wie in der Prä-Befragung. Die Verwendung zweier Parallelversionen bot die Möglichkeit, Reihenfolgeeffekte der Items zu kontrollieren.

Kontext Hebelmodell

In der Follow-Up Befragung bearbeiteten die Kinder neben den ihnen bereits bekannten Items im Kontext Schubkarre sechs Items (je drei zu Lastarm und Kraftarm) zu einseitigen Hebeln im neuen Kontext *Hebelmodell*. Der Kontext Hebelmodell wurde eingeführt, um zu prüfen, ob 6- bis 7-Jährigen eine Übertragung ihrer Vorstellungen auf einen anderen Kontext gelingt. Darüber hinaus sollte er die Studie gegenüber Kritik absichern, dass eine Veränderung von Vorstellungen nur gelingt, weil Intervention und Befragung im gleichen Kontext stattfanden („teaching to the test“). In Abbildung 17a+b sind Beispielitems zum Last- und zum Kraftarm im Kontext Hebelmodell dargestellt.

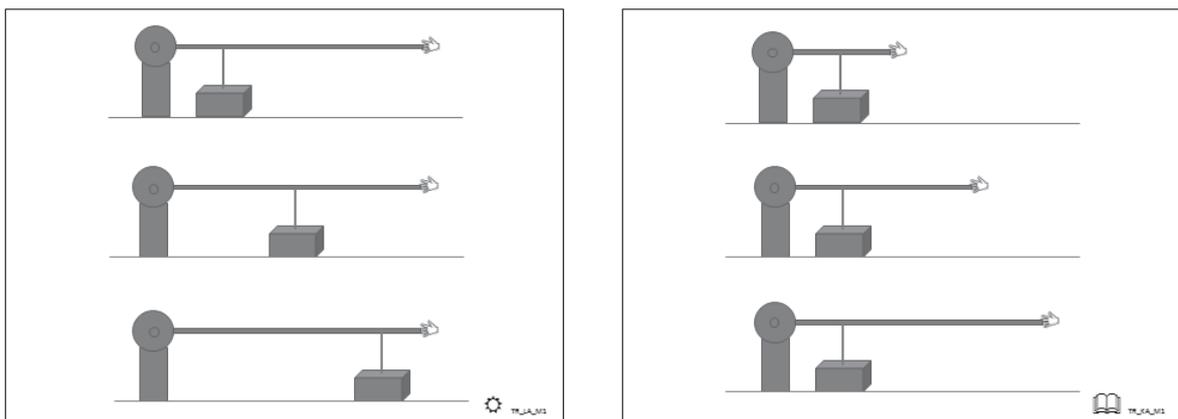


Abbildung 17a+b. Beispielitems zum Lastarm (links) und zum Kraftarm (rechts) im Kontext Hebelmodell

Alle verwendeten Items und der Wortlaut der Befragung sind dem Befragungsleitfaden in Anhang A.1.5 (S. 310) und A.1.6 (S. 312) zu entnehmen. Analog zum Kontext Schubkarre bestand jedes Item aus drei Bildern. Jedes Bild zeigte eine um einen Drehpunkt gelagerte Stange. Unter dieser hing eine Last, die mithilfe der Stange angehoben werden sollte. Die drei Abbildungen der Items zum Lastarm unterschieden sich in der Position, an der das

Gewicht an der Stange befestigt war. Die drei Abbildungen der Items zum Kraftarm unterschieden sich in der Länge der Stange. Jeweils drei Items zum Last- und zum Kraftarm wurden im Kontext Hebelmodell bearbeitet. In diesem Kontext erklärte der Befragungsleiter ebenfalls die Unterschiede zwischen den einzelnen Bildern. Die Kinder markierten durch Einkreisen, bei welcher Abbildung es ihnen am leichtesten fällt, die Last anzuheben.

18.7.2 Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten

Kognitive und verbale Fähigkeiten können einen Einfluss auf naturwissenschaftliche Vorstellungen und die Veränderung von Vorstellungen u. a. zum Thema Hebel haben (z. B. Day & Cordon, 1993; Schöps & Hahn, 2014; vgl. Kapitel 13.5.5, S. 111). Daher werden in Studie II, wie schon in Studie I, neben den Vorstellungen zu einseitigen Hebeln auch die kognitiven und verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen erfasst. Zur Erfassung der kognitiven Fähigkeiten visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit sowie der Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemstellungen erkennen zu können, wurden die Subtests *Labyrinthe* und *Matrizen* des CFT 1 (Cattell et al., 1997) verwendet (vgl. Kapitel 15.5, S. 142). Die Klassenlehrperson schätzte für jedes Kind die verbalen Fähigkeiten mithilfe von sieben vierstufigen Items ein (vgl. Kapitel 15.5, S. 142; Anhang A.1.4, S. 309).

19 Ergebnisse Studie II: Veränderungen der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm

Im Folgenden werden zunächst (Vor-)Überlegungen zur Hypothesenauswertung berichtet. Im Anschluss findet die Ergebnisdarstellung bzgl. der Hypothesen 5 bis 9 und Nebenfragestellung 2 statt.

19.1 Vorüberlegungen zur Hypothesenauswertung

Die (Vor-)Überlegungen zur Hypothesenauswertung betreffen das Signifikanzniveau, den Umgang mit fehlenden Werten, die Reliabilität der Befragung, die Erfüllung der statistischen Voraussetzungen, die Anzahl korrekter Vorstellungen vor der Intervention und einen möglichen Testwiederholungseffekt.

Signifikanzniveau

Das Signifikanzniveau für das Prüfen der Hypothesen 5 bis 9 und Nebenfragestellung 2 beträgt, wie schon in Studie I, $\alpha = 5\%$. Dabei handelt es sich um einen üblichen Wert in der Grundlagenforschung (Bortz & Döring, 2006).

Umgang mit fehlenden Werten

Ausschließlich Kinder, die an der Intervention und zu allen drei Zeitpunkten an der Befragung teilnahmen, wurden in der Analyse berücksichtigt (Ausschluss von Kindern vgl. Kapitel 18.5, S. 207). Kinder, die an allen drei Befragungszeitpunkten teilnahmen, wurden aufgefordert zu kontrollieren, ob sie zu jedem Item eine Antwortoption eingekreist hatten. Daher gab es sehr wenig fehlende Antworten. Einzelne Werte, die dennoch fehlten, wurden, wie schon in Studie I (vgl. Kapitel 15.9.1, S. 146), als *Missing Value* (Field, 2009) codiert. Eine Ersetzung der fehlenden Werte durch den Mittelwert der Skala fand nicht statt, da dieses Vorgehen die Anzahl richtig gelöster Items für ein Kind überschätzen kann. Vielmehr wurde das Nicht-Beantworten eines Items als Nicht-Kennen der korrekten Antwort interpretiert.

Reliabilität

Tabelle 20 (S. 217) zeigt die Reliabilitäten (Guttman's λ_2) der Items in der Prä-, Post- und Follow-Up Befragung für Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Hebelmodell.

Tabelle 20. Reliabilitäten (Guttman's λ_2) für die Aspekte Lastarm und Kraftarm zu den drei Befragungszeitpunkten in den Kontexten Schubkarre und Hebelmodell

Reliabilitäten ¹ (Guttman's λ_2)	Anzahl Items	Prä-Befragung	Post-Befragung	Follow-Up Befragung
Lastarm Schubkarre	4	.72	.85	.84
Kraftarm Schubkarre	4	.73	.91	.91
Lastarm Hebelmodell	3	-	-	.80
Kraftarm Hebelmodell	3	-	-	.81

¹Berechnet aus dichotom codierten Items (richtig gelöst, falsch gelöst).

In Studie II wird die Anzahl korrekt gelöster Items betrachtet. Daher basieren die Reliabilitäten auf dichotom codierten Items (richtig gelöst, falsch gelöst). Für beide Kontexte, Schubkarre und Hebelmodell, zeigen sich insbesondere zum zweiten und dritten Befragungszeitpunkt gute bis sehr gute Reliabilitäten.

Statistische Voraussetzungen zur varianzanalytischen Auswertung

Als statistische Voraussetzungen für die varianzanalytische Auswertung gelten Normalverteilung und Varianzhomogenität (Field, 2009). Die vorliegenden Daten sind nicht normalverteilt und Varianzhomogenität liegt nur teilweise vor. Da in der vorliegenden Studie gleich große Gruppen mit ausreichend vielen Kindern befragt wurden (vgl. Kapitel 18.5, S. 207), kann von einer Robustheit gegen die Verletzung der Voraussetzungen ausgegangen werden (Field, 2009). Die Daten werden daher varianzanalytisch ausgewertet.

Anzahl korrekter Vorstellungen zu den drei Befragungszeitpunkten

In Tabelle 21 (S. 218) sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Anzahl korrekter Vorstellungen zu den drei Befragungszeitpunkten für Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre dargestellt.

Tabelle 21. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der Anzahl korrekter Vorstellungen (Lastarm und Kraftarm) im Kontext Schubkarre für die fünf Gruppen zu drei Befragungszeitpunkten

Kontext Schubkarre	Prä-Befragung			Post-Befragung			Follow-Up Befragung		
	M	SD	Max	M	SD	Max	M	SD	Max
Lastarm (4 Items)									
Verb. Impulse + Bilder	1.86	1.49	4	3.07	1.44	4	2.93	1.48	4
Verb. Impulse	1.77	1.39	4	2.53	1.59	4	2.83	1.36	4
Bilder	1.89	1.56	4	2.49	1.52	4	2.13	1.60	4
Basisintervention	2.49	1.46	4	2.29	1.63	4	1.87	1.70	4
Kontrollgruppe	2.14	1.42	4	1.89	1.71	4	-	-	-
Kraftarm (4 Items)									
Verb. Impulse + Bilder	.57	1.04	4	2.73	1.76	4	2.84	1.66	4
Verb. Impulse	.74	1.09	4	3.17	1.37	4	2.36	1.74	4
Bilder	.98	1.32	4	2.18	1.76	4	1.49	1.63	4
Basisintervention	1.20	1.42	4	1.51	1.67	4	1.07	1.54	4
Kontrollgruppe	.80	1.11	4	1.30	1.58	4	-	-	-

In Tabelle 22 sind die Mittelwerte und Standardabweichungen für die Anzahl korrekter Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Hebelmodell in der Follow-Up Befragung dargestellt.

Tabelle 22. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima für die Anzahl korrekter Vorstellungen in der Follow-Up Befragung im Kontext Hebelmodell

Kontext Hebelmodell	Follow-Up Befragung					
	Lastarm (3 Items)			Kraftarm (3 Items)		
	M	SD	Max	M	SD	Max
Verb. Impulse + Bilder	1.59	1.24	3	1.55	1.34	3
Verb. Impulse	1.57	1.30	3	1.49	1.23	3
Bilder	1.53	1.32	3	1.29	1.22	3
Basisintervention	1.38	1.25	3	1.02	1.22	3

Unterschiede in den Vorstellungen der Gruppen vor der Intervention

Zur Prüfung, ob sich die fünf Gruppen in der Anzahl korrekter Antworten in der Prä-Befragung unterscheiden, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse gerechnet. Diese zeigt folgendes Ergebnis: In der Prä-Befragung unterscheidet sich die Anzahl korrekter Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen zwischen den fünf Gruppen weder beim Lastarm ($F(4,220) = 1.80$, $p = .131$, $\eta^2 = .03$) noch beim Kraftarm ($F(4,220) = 1.78$, $p = .134$, $\eta^2 = .03$) signifikant. Darüber hinaus unterscheiden sich keine zwei Gruppen innerhalb des Aspekts Lastarm oder Kraftarm signifikant voneinander in der Anzahl korrekter Antworten (Post hoc-Test Lastarm: alle $p > .185$, Kraftarm: alle $p > .143$).

Da bereits vorhandene Vorstellungen ein Prädiktor für die Leistung sein können (z. B. Hasselhorn & Gold, 2006; Stern & Möller, 2004), wird ein möglicher Einfluss der Anzahl korrekt gelöster Items in der Prä-Befragung aus der Post- und Follow-Up Befragung herauspartialisiert. Die Auswertung der Hypothesen erfolgt auf Basis dieser Regressionsresiduen. In Tabelle 23 sind die Residuen zur Post- und Follow-Up Befragung für Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre dargestellt.

Tabelle 23. Residuen der Anzahl korrekt gelöster Items (Lastarm, Kraftarm) in der Post- und Follow-Up Befragung im Kontext Schubkarre

Kontext Schubkarre	Residuen Post-Befragung		Residuen Follow-Up Befragung	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Lastarm				
Verb. Impulse + Bilder	.49	1.01	.37	.96
Verb. Impulse	.15	1.10	.32	.95
Bilder	.08	.81	-.19	.84
Basisintervention	-.28	.85	-.55	1.03
Kontrollgruppe	-.44	.95	-	-
Kraftarm				
Verb. Impulse + Bilder	.37	1.01	.61	.94
Verb. Impulse	.59	.78	.30	1.00
Bilder	-.03	1.00	-.24	.86
Basisintervention	-.46	.88	-.53	.84
Kontrollgruppe	-.50	.84	-	-

Testwiederholungseffekt

Das wiederholte Bearbeiten von Items kann zu besserer Leistung in den gleichen Aufgaben führen (Testwiederholungseffekt, Bortz & Döring, 2006). Im Folgenden wird geprüft, ob ein solcher Testwiederholungseffekt bei den Items zu einseitigen Hebeln vorliegt.

6- bis 7-Jährige der Kontrollgruppe, die an keiner Intervention zu einseitigen Hebeln teilnahmen, lösen in der Post-Befragung beim Lastarm gleich viele Items korrekt wie in der Prä-Befragung, $t(43) = 1.25$, $p_{\text{einseitig}} = .110$, $d = .19$. Beim Kraftarm lösen Kinder der Kontrollgruppe in der Post-Befragung signifikant mehr Items korrekt als in der Prä-Befragung, $t(43) = -2.231$, $p_{\text{einseitig}} = .015$, $d = .34$). Die geringe Effektgröße und die Lösung von nur einem halben Item mehr als in der Prä-Befragung weist auf eine geringe praktische Bedeutsamkeit hin (Cohen, 1988). Da sich die Hypothesenauswertung auf die Unterschiede zwischen den Gruppen bezieht und Kinder aller Gruppen die Befragung mehrfach beantworteten, wird im Folgenden darauf verzichtet, diesen geringfügigen Effekt statistisch zu kontrollieren.

19.2 Ergebnisse der Interventionsstudie

Im Folgenden werden die Hypothesen 5 bis 9 und Nebenfragestellung 2 statistisch geprüft und die Ergebnisse berichtet.

19.2.1 Die handlungsorientierte Basisintervention führt zu gleich vielen korrekt gelösten Items wie keine Intervention (Hypothese 5)

Hypothese 5 (6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten ‚Basisintervention‘ zu einseitigen Hebeln im Kontext Schubkarre zum Lastarm und zum Kraftarm teilnehmen, lösen im Anschluss an die Intervention mehr Items im Kontext Schubkarre korrekt als Kinder, die an keiner Intervention zu einseitigen Hebeln teilnehmen) wird mithilfe eines t-Tests für unabhängige Stichproben geprüft. Die 6- bis 7-Jährigen, die an der handlungsorientierten ‚Basisintervention‘ teilnahmen, lösen in der Post-Befragung gleich viele Items korrekt wie Kinder, die an der Intervention zu einem anderen Themenbereich teilnahmen (‚Kontrollgruppe‘). Dies gilt für den Lastarm (H5a: $t(87) = .81$, $p_{\text{einseitig}} = .211$, $d = .17$) und den Kraftarm (H5b: $t(87) = .27$, $p_{\text{einseitig}} = .395$, $d = .06$). Um die Nullhypothese zu Hypothese 5 (H_0 : 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten ‚Basisintervention‘ zu einseitigen Hebeln im Kontext Schubkarre zum Lastarm und zum Kraftarm teilnehmen, lösen im Anschluss an die Intervention gleich viele Items im Kontext Schubkarre korrekt wie Kinder, die an keiner Intervention zu einseitigen Hebeln teilnehmen) zu bestätigen, muss die β -Fehlerwahrscheinlichkeit (Fehler 2. Art) bestimmt werden. Der β -Fehler beschreibt die Wahrscheinlichkeit, eine falsche Nullhypothese beizubehalten, d. h. nach der Intervention keinen Unterschied zwischen ‚Basisintervention‘ und ‚Kontrollgruppe‘ anzunehmen, obwohl tatsächlich ein Unterschied vorliegt (Bortz & Schuster, 2010). In der Statistik wird anstelle der β -Fehlerwahrscheinlichkeit meist die Power ($1 - \beta$ -Fehlerwahrscheinlichkeit) angegeben. Diese beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Signifikanztest zugunsten der Alternativhypothese entscheidet, falls diese gilt (Bortz & Schuster, 2010). Die Power wurde mithilfe des Programms G*Power (Buchner et al., 2014) bestimmt. Für den Aspekt Lastarm beträgt die Power .13 und für den Aspekt Kraftarm .06. Das bedeutet, dass die Sensitivität des Tests, einen tatsächlichen Effekt zwischen der ‚Basisintervention‘ und der ‚Kontrollgruppe‘ zu erkennen, beim Lastarm höher ist als beim Kraftarm. Gleichsam ist die Wahrscheinlichkeit (β -Fehler), nach der Intervention keinen Unterschied zwischen ‚Basisintervention‘ und

„Kontrollgruppe“ anzunehmen, obwohl tatsächlich ein Unterschied vorliegt, beim Aspekt Lastarm geringer als beim Kraftarm.

Alternativhypothesen 5a und 5b werden, bezugnehmend auf obige Überlegungen, nicht bestätigt. Da sich in der Post-Befragung keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl korrekt gelöster Aufgaben zwischen der Basisintervention und der Kontrollgruppe zeigen, werden im Folgenden die weiteren Experimentalgruppen („verbale Impulse + Bilder“, „verbale Impulse“ und „Bilder“) mit der „Basisintervention“ verglichen.

19.2.2 Übersicht der Ergebnisse im Kontext Schubkarre

Im Folgenden wird mithilfe von Diagrammen ein Überblick über die Ergebnisse der geplanten Kontraste zum Lastarm und Kraftarm in Post- und Follow-Up Befragung gegeben. Abbildung 18a+b und Abbildung 19a+b (S. 222) zeigen die Mittelwerte der standardisierten Residuen für die Anzahl korrekter Antworten und die Ergebnisse der Signifikanzprüfung der geplanten Kontraste der Hypothesen 6 bis 9.

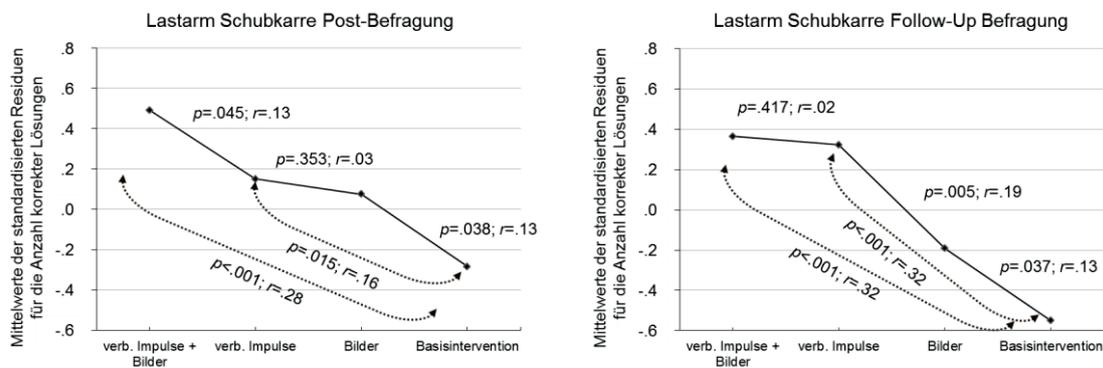


Abbildung 18a+b. Mittelwerte der standardisierten Residuen für die Anzahl korrekt gelöster Items beim Lastarm über die verschiedenen Gruppen in der Post-Befragung (links) und Follow-Up Befragung (rechts). Dargestellt sind die Signifikanzen ($p_{\text{einseitig}}$) und Effektgrößen der geplanten Kontraste

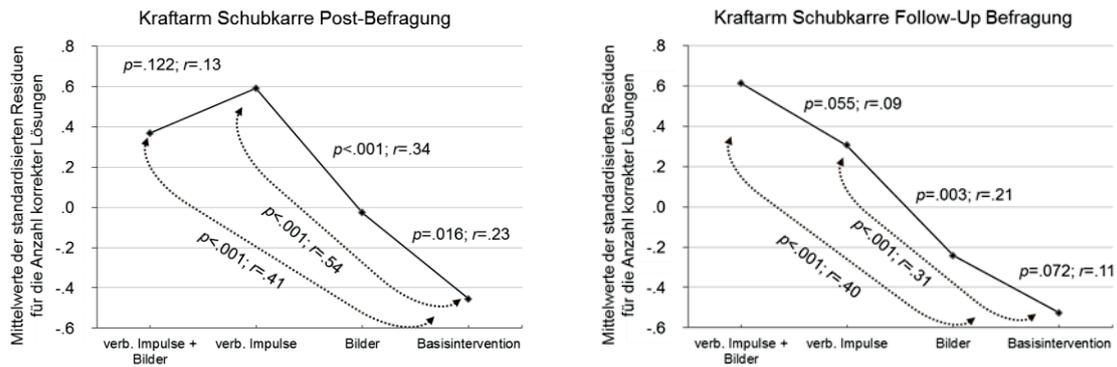


Abbildung 19a+b. Mittelwerte der standardisierten Residuen für die Anzahl korrekt gelöster Items beim Kraftarm über die verschiedenen Gruppen in der Post-Befragung (links) und Follow-Up Befragung (rechts). Dargestellt sind die Signifikanzen ($p_{\text{einseitig}}$) und Effektgrößen der geplanten Kontraste

Neben den obigen Abbildungen ist in Anhang A.5.1 (S. 319) eine Übersicht über die Signifikanzprüfung der geplanten Kontraste für Hypothesen 6 und 7 dargestellt. In der folgenden Hypothesenprüfung und Ergebnisdarstellung wird auf Abbildung 18a+b und Abbildung 19a+b Bezug genommen.

19.2.3 Die handlungsorientierte Intervention mit weiteren Impulsen führt meist zu mehr korrekt gelösten Items im Kontext Schubkarre als die handlungsorientierte Intervention (Hypothese 6)

Hypothese 6 wird mithilfe geplanter Kontraste geprüft. Field (2009) empfiehlt bei der Berechnung von geplanten Kontrasten die Angabe des t-Wertes. Dieser ist die Wurzel des F-Wertes. Die Angabe des t-Wertes hat zum Vorteil, dass bei gerichteten Hypothesen, wie Hypothese 6 (vgl. Kapitel 14.3, S. 119), die Signifikanzprüfung einseitig erfolgen kann.

Als Effektgröße wird r_{Kontrast} ⁹ empfohlen (Field, 2009). Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre in der Post- und Follow-Up Befragung berichtet.

Lastarm Kontext Schubkarre

⁹ r_{Kontrast} wird mit folgender Formel berechnet (Field, 2013):

$$r_{\text{Kontrast}} = \sqrt{\frac{t^2}{t^2 + df}}$$

Folgende Einteilungen der Effektgröße r_{Kontrast} werden vorgenommen: $r_{\text{Kontrast}} \geq .1$ kleinen Effekt, $r_{\text{Kontrast}} \geq .3$ mittlerer Effekt, $r_{\text{Kontrast}} \geq .5$ großer Effekt (Cohen, 1988).

6- bis 7-Jährige, die an der Intervention zum Lastarm im Kontext Schubkarre mit verbalen Impulsen, Bildern oder beidem teilnahmen, lösen in der Post-Befragung zum Lastarm mehr Items korrekt als Kinder, die an der Intervention ohne weitere Impulse („Basisintervention“) teilnahmen (H6a1: $t(177) = 3.19$, $p_{\text{einseitig}} = .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .23$). Gleiches gilt für die Follow-Up Befragung (H6a2: $t(177) = 4.39$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .31$). Die Effekte sind als klein (Post-Befragung) bzw. mittel (Follow-Up Befragung) zu bewerten. Hypothese 6a wird demnach bestätigt.

Werden die Experimentalgruppen ‚verbale Impulse + Bilder‘, ‚verbale Impulse‘ und ‚Bilder‘ einzeln mithilfe geplanter Kontraste gegen die ‚Basisintervention‘ verglichen, zeigt sich beim Lastarm in der Post-Befragung Folgendes: Die Gruppen ‚verbale Impulse + Bilder‘ ($t(177) = 3.84$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .28$), ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = 2.19$, $p_{\text{einseitig}} = .015$, $r_{\text{Kontrast}} = .16$) und ‚Bilder‘ ($t(177) = 1.79$, $p_{\text{einseitig}} = .038$, $r_{\text{Kontrast}} = .133$) unterscheiden sich signifikant von der ‚Basisintervention‘. Die Effekte sind als klein zu beurteilen (Cohen, 1988). In der Follow-Up Befragung wird dieses Muster bestätigt: 4 Wochen nach der Intervention unterscheiden sich die Gruppen ‚verbale Impulse + Bilder‘ ($t(177) = 4.59$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .32$), ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = 4.42$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .32$) und ‚Bilder‘ ($t(177) = 1.79$, $p_{\text{einseitig}} = .037$, $r_{\text{Kontrast}} = .13$) signifikant von der ‚Basisintervention‘. Die Effekte sind als klein bis mittel zu bewerten (Cohen, 1988). Die Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 18a+b (vgl. Kapitel 19.2.2, S. 221) dargestellt. Anhang A.5.1 (S. 319) zeigt ebenfalls einen Überblick über die Ergebnisse der geplanten Kontraste.

Kraftarm Kontext Schubkarre

6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention zum Kraftarm begleitet durch weitere Impulse teilnahmen, lösen signifikant mehr Items in der Post- ($t(80)^{10} = 4.997$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .49$) und Follow-Up Befragung ($t(177) = 4.78$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .338$) korrekt als Kinder der ‚Basisintervention‘. Die Effekte sind als mittel zu bewerten. Hypothese 6b wird demnach ebenfalls bestätigt.

Werden die Experimentalgruppen ‚verbale Impulse + Bilder‘, ‚verbale Impulse‘ und ‚Bilder‘ einzeln mithilfe geplanter Kontraste gegen die ‚Basisintervention‘ verglichen, zeigt sich beim Kraftarm in der Post-Befragung folgendes Ergebnis: Die Gruppe ‚verbale

¹⁰ Falls der Levene-Test keine Varianzhomogenität anzeigt ($p < .05$), werden die korrigierten Freiheitsgrade berichtet.

Impulse + Bilder‘ ($t(85) = 4.11$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .41$), die Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($t(88) = 6.05$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .54$) und die Gruppe ‚Bilder‘ ($t(89) = 2.16$, $p_{\text{einseitig}} = .016$, $r_{\text{Kontrast}} = .23$) unterscheiden sich signifikant von der ‚Basisintervention‘.

Auch in der Follow-Up Befragung lösen 6- bis 7-Jährige der Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ ($t(177) = 5.88$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .40$) und ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = 4.36$, $p_{\text{einseitig}} > .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .31$) signifikant mehr Items zum Kraftarm korrekt als Kinder der ‚Basisintervention‘. Die Effekte sind als mittel zu beurteilen (Cohen, 1988). 6- bis 7-Jährige der Gruppe ‚Bilder‘ ($t(177) = 1.47$, $p_{\text{einseitig}} = .072$, $r_{\text{Kontrast}} = .11$) lösen gleich viele Items korrekt wie Kinder der Gruppe ‚Basisintervention‘.

Die Residuen der Mittelwerte und geplanten Kontraste sind graphisch in Abbildung 19 a+b (S. 222) dargestellt. Anhang A.5.1 (S. 319) zeigt ebenfalls einen Überblick über die Ergebnisse der geplanten Kontraste.

19.2.4 Die Annahme ‚verbale Impulse + Bilder‘ > ‚verbale Impulse‘ > ‚Bilder‘ > ‚Basisintervention‘ wird für den Kontext Schubkarre nicht bestätigt (Hypothese 7)

Mit Hypothese 7 wird angenommen, dass die Anzahl korrekt gelöster Items zum Lastarm bzw. Kraftarm im Kontext Schubkarre bei der Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ > ‚verbale Impulse‘ > ‚Bilder‘ > ‚Basisintervention‘ ist (vgl. Kapitel 14.3, S. 119). Zur Beantwortung dieser Hypothese wird zunächst ein Trend mithilfe einer linearen Kontrastanalyse geprüft. Im Anschluss werden einzelne Experimentalgruppen mithilfe geplanter Kontraste miteinander verglichen. Nachdem die Ergebnisse zum Lastarm berichtet wurden, folgen die Ergebnisse zum Kraftarm.

Lastarm Kontext Schubkarre

Beim Lastarm im Kontext Schubkarre zeigt sich in der Post- (H7a1: $t(177) = 3.77$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .27$) und Follow-Up Befragung (H7a2: $t(177) = 5.14$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .38$) ein signifikanter linearer Trend über die vier Gruppen. Die Effektgröße für den linearen Trend in der Post-Befragung ist gering, in der Follow-Up Befragung zeigt sich jedoch eine mittlere Effektgröße. Diese deutet auf einen praktisch bedeutsamen Effekt hin. Um Hypothese 7a zu bestätigen, muss nicht nur ein linearer Trend vorliegen, sondern sollten sich auch die einzelnen Experimentalgruppen signifikant voneinander unterscheiden. Daher werden im Anschluss an die Prüfung des linearen Trends die einzelnen Experimentalgruppen miteinander verglichen.

Beim Lastarm in der Post-Befragung löst die Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ mehr Items korrekt als die Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = 1.71$, $p_{\text{einseitig}} = .045$, $r_{\text{Kontrast}} = .13$). Diese Gruppe löst gleich viele Items korrekt wie die Gruppe ‚Bilder‘ ($t(177) = .38$, $p_{\text{einseitig}} = .353$, $r_{\text{Kontrast}} = .03$). Die Gruppe ‚Bilder‘ wiederum löst signifikant mehr Items korrekt als die Gruppe ‚Basisintervention‘ ($t(177) = 1.78$, $p_{\text{einseitig}} = .038$, $r_{\text{Kontrast}} = .13$). Die Effektgrößen sind jedoch als klein zu beurteilen, was auf eine geringe praktische Bedeutsamkeit hindeutet.

In der Follow-Up Befragung zum Lastarm zeigt sich ein etwas anderes Bild. 4 Wochen nach der Intervention lösen Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ und der Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = .21$, $p_{\text{einseitig}} = .417$, $r_{\text{Kontrast}} = .02$) gleich viele Items korrekt. Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse‘ lösen in der Follow-Up Befragung mehr Items zum Lastarm korrekt als Kinder der Gruppe ‚Bilder‘ ($t(177) = 2.61$, $p_{\text{einseitig}} = .005$, $r_{\text{Kontrast}} = .19$). Zudem lösen Kinder der Gruppe ‚Bilder‘ 4 Wochen nach der Intervention mehr Items korrekt als Kinder der Gruppe ‚Basisintervention‘ ($t(177) = 1.79$, $p_{\text{einseitig}} = .037$, $r_{\text{Kontrast}} = .13$). Die gezeigten Effekte sind als klein zu beurteilen. Zwar zeigt sich beim Aspekt Lastarm in der Post- und Follow-Up Befragung ein signifikanter linearer Trend mit kleiner bis mittlerer Effektgröße, allerdings unterscheiden sich die einzelnen Experimentalgruppen nicht, wie angenommen, oder nur mit geringer Effektgröße voneinander. Daher wird Hypothese 7a abgelehnt.

Die Ergebnisse sind graphisch in Abbildung 18a+b (vgl. Kapitel 19.2.2, S. 221) dargestellt. Anhang A.5.1 (S. 319) zeigt ebenfalls einen Überblick über die Ergebnisse der geplanten Kontraste.

Kraftarm Kontext Schubkarre

Auch beim Kraftarm zeigt sich im Kontext Schubkarre in der Post-Befragung (H7b1: $t(100) = 4.90$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .27$) und Follow-Up Befragung (H7b2: $t(177) = 6.48$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .36$) ein signifikanter linearer Trend über die vier Gruppen. In der Post-Befragung ist die Effektgröße als klein, aber in der Follow-Up Befragung als mittel einzuordnen. Um Hypothese 7b zu bestätigen, muss nicht nur ein linearer Trend vorliegen, sondern sollten sich auch die einzelnen Experimentalgruppen signifikant voneinander unterscheiden. Daher werden im Anschluss an die Prüfung des linearen Trends die einzelnen Experimentalgruppen miteinander verglichen.

Beim Kraftarm in der Post-Befragung löst die Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ gleich viele Items korrekt wie die Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($t(81) = -1.18$, $p_{\text{einseitig}} = .122$, $r_{\text{Kontrast}} = .13$). 6- bis 7-Jährige, die mit verbalen Impulsen unterstützt wurden, lösen mehr Items korrekt als Kinder der Gruppe ‚Bilder‘ ($t(83) = 3.30$, $p_{\text{einseitig}} < .001$, $r_{\text{Kontrast}} = .34$). Dieser Effekt ist als mittel zu beurteilen. Die Gruppe ‚Bilder‘ wiederum löst signifikant mehr Items korrekt als die Gruppe ‚Basisintervention‘ ($t(87) = 2.16$, $p_{\text{einseitig}} = .016$, $r_{\text{Kontrast}} = .23$). Dieser Effekt ist klein.

In der Follow-Up Befragung (4 Wochen nach der Intervention) lösen 6- bis 7-Jährige der Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ gleich viele Items korrekt wie Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = 1.61$, $p_{\text{einseitig}} = .055$, $r_{\text{Kontrast}} = .09$). Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse‘ lösen in der Follow-Up Befragung, wie in der Post-Befragung, mehr Items zum Kraftarm korrekt als Kinder der Gruppe ‚Bilder‘ ($t(177) = 2.87$, $p_{\text{einseitig}} = .003$, $r_{\text{Kontrast}} = .21$). Die Effektgröße ist jedoch als klein zu beurteilen. Kinder der Gruppe ‚Bilder‘ lösen in der Follow-Up Befragung gleich viele Items korrekt wie Kinder der Gruppe ‚Basisintervention‘ ($t(177) = 1.47$, $p_{\text{einseitig}} = .072$, $r_{\text{Kontrast}} = .11$).

Zwar zeigt sich beim Aspekt Kraftarm in der Post- und Follow-Up Befragung ein signifikanter linearer Trend mit kleiner bis mittlerer Effektgröße, allerdings unterscheiden sich die einzelnen Experimentalgruppen nicht, wie angenommen, oder nur mit geringer Effektgröße, voneinander. Daher wird auch Hypothese 7b abgelehnt.

Die Residuen der Mittelwerte und geplanten Kontraste sind graphisch in Abbildung 19 a+b (vgl. Kapitel 19.2.2, S. 222) dargestellt. Anhang A.5.1 (S. 319) zeigt ebenfalls einen Überblick über die Ergebnisse der geplanten Kontraste.

19.2.5 Beim Kraftarm gelingt eine Übertragung der Vorstellungen auf den neuen Kontext Hebelmodell (Hypothese 8)

Im Folgenden wird berichtet, inwieweit es den 6- bis 7-Jährigen gelingt, die in der Intervention im Kontext Schubkarre erworbenen Vorstellungen auf den neuen Kontext Hebelmodell zu übertragen. In Tabelle 22 (S. 218) sind Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima für die Anzahl korrekter Antworten im Kontext Hebelmodell zum Lastarm und zum Kraftarm in den vier Gruppen dargestellt. Abbildung 20a+b (S. 227) zeigt eine Übersicht über die Signifikanzprüfung der geplanten Kontraste für Hypothesen 8 und 9 im Kontext Hebelmodell.

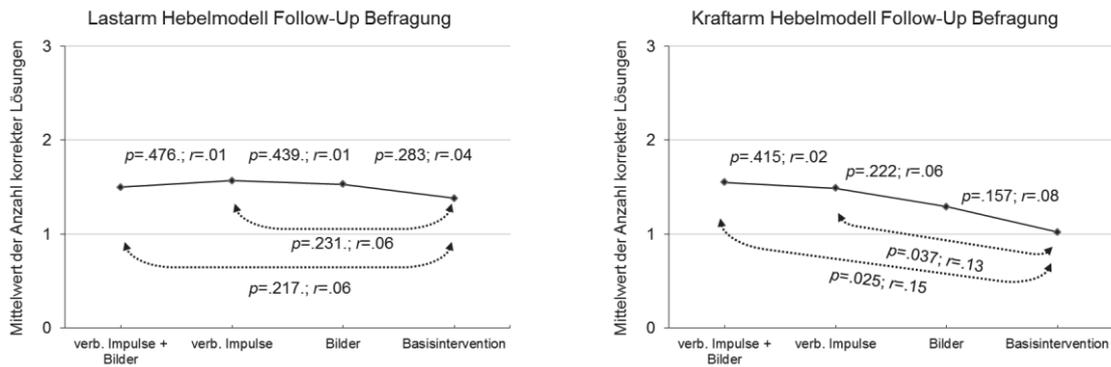


Abbildung 20a+b. Mittelwerte der Anzahl korrekter Antworten für Lastarm (links) und Kraftarm (rechts) bei den verschiedenen Gruppen in der Follow-Up Befragung. Dargestellt sind die Signifikanzen ($p_{\text{einseitig}}$) und Effektgrößen für geplante Kontraste

Mit Hypothese 8 wird angenommen, dass 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention zum Lastarm bzw. Kraftarm im Kontext Schubkarre teilnahmen, in der sie zusätzlich mithilfe von verbalen Impulsen, Bildern oder beidem unterstützt wurden, 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) in dem neuen Kontext (Hebelmodell) mehr Items zum Lastarm (H8a) bzw. Kraftarm (H8b) korrekt lösen als Kinder, die in der Intervention ausschließlich an Gegenständen handelten. Geprüft wird diese Hypothese mithilfe geplanter Kontraste.

Zum **Lastarm** im Kontext Hebelmodell (H8a) lösen 6- bis 7-Jährige aller Experimentalgruppen 4 Wochen nach der Intervention gleich viele Items korrekt ($t(177) = .86$, $p_{\text{einseitig}} = .197$, $r_{\text{Kontrast}} = .07$). Hypothese 8a wird daher verworfen. Werden die Experimentalgruppen mit zusätzlichen Impulsen einzeln betrachtet und mit geplanten Kontrasten gegen die ‚Basisintervention‘ verglichen, zeigt sich beim Aspekt des Lastarms im Kontext Hebelmodell Folgendes: Weder die Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ ($t(177) = .76$, $p_{\text{einseitig}} = .217$, $r_{\text{Kontrast}} = .06$), noch die Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($t(177) = .74$, $p_{\text{einseitig}} = .231$, $r_{\text{Kontrast}} = .06$) oder die Gruppe ‚Bilder‘ ($t(177) = .58$, $p_{\text{einseitig}} = .283$, $r_{\text{Kontrast}} = .04$) löst im Kontext Hebelmodell mehr Items korrekt als die Gruppe ‚Basisintervention‘.

Zum **Kraftarm** im Kontext Hebelmodell (H8b) lösen 6- bis 7-Jährige, die in der Intervention an Schubkarren handelten und zusätzlich mit verbalen Impulsen, Bildern oder beidem begleitet wurden, signifikant mehr Items korrekt als Kinder, die in der Intervention ausschließlich an den Schubkarren handelten ($t(177) = 1.95$, $p_{\text{einseitig}} = .027$, $r_{\text{Kontrast}} = .144$). Hypothese 8b wird angenommen. Werden die Experimentalgruppen einzeln betrachtet und gegen die ‚Basisintervention‘ verglichen, zeigt sich beim Kraftarm Folgendes: Die Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ ($t(177) = 1.97$, $p_{\text{einseitig}} = .025$, $r_{\text{Kontrast}} = .15$) und die Gruppe

„verbale Impulse“ ($t(177) = 1.79$, $p_{\text{einseitig}} = .037$, $r_{\text{Kontrast}} = .13$) lösen signifikant mehr Items korrekt als die Gruppe „Basisintervention“. Die Effektgrößen sind jedoch gering. Kinder, die mit Bildern unterstützt wurden, lösen hingegen gleich viele Items korrekt wie Kinder der Gruppe „Basisintervention“ ($t(177) = .10$, $p_{\text{einseitig}} = .157$, $r_{\text{Kontrast}} = .08$). In Anhang A.5.2 (S. 320) sind die Anzahl korrekter Antworten im Kontext Hebelmodell zum Lastarm und zum Kraftarm dargestellt.

19.2.6 Die Annahme „verbale Impulse + Bilder“ > „verbale Impulse“ > „Bilder“ > „Basisintervention“ wird für den Kontext Hebelmodell nicht bestätigt (Hypothese 9)

Mit Hypothese 9 wird für den Kontext Hebelmodell, wie schon mit Hypothese 7 für den Kontext Schubkarre, ein linearer Trend der Form „Impulse + Bilder“ > „verbale Impulse“ > „Bilder“ > „Basisintervention“ bzgl. der Anzahl korrekt gelöster Aufgaben nach der jeweiligen Intervention geprüft.

Für den Aspekt **Lastarm** (H9a) im Kontext Hebelmodell zeigt sich kein linearer Trend ($t(177) = .79$, $p_{\text{einseitig}} = .21$, $r_{\text{Kontrast}} = .06$). Die Anzahl korrekt gelöster Items der Gruppen „verbale Impulse + Bilder“ unterscheidet sich nicht von der Gruppe „verbale Impulse“. Diese unterscheidet sich nicht von der Gruppe „Bilder“. Auch die Gruppe „Bilder“ unterscheidet sich nicht von der „Basisintervention“, alle $p > .282$ (vgl. Anhang A.5.2, S. 320; Abbildung 20a, S. 227). Hypothese 9a wird daher verworfen.

Für den Aspekt **Kraftarm** (H9b) im Kontext Hebelmodell zeigt sich über die verschiedenen Experimentalgruppen ein linearer Trend ($t(177) = 2.11$, $p_{\text{einseitig}} = .018$, $r_{\text{Kontrast}} = .16$). Die Effektgröße ist jedoch als klein zu beurteilen. Werden die Anzahlen korrekter Antworten der benachbarten Gruppen miteinander verglichen, zeigen sich keine signifikanten Unterschiede, alle $p > .156$ (vgl. Anhang A.5.2, S. 320 und Abbildung 20b, S. 227). Hypothese 9b wird daher ebenfalls verworfen.

Raten die 6- bis 7-Jährigen im Kontext Hebelmodell?

Um zu überprüfen, ob die 6- bis 7-Jährigen bei den Items zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Hebelmodell raten, wurde der Erwartungswert bestimmt. Der Erwartungswert (μ) einer Zufallsvariable beschreibt die Zahl, die eine Zufallsvariable im Mittel annimmt (Bortz & Schuster, 2010). Bei jeweils drei Items zum Lastarm und zum Kraftarm mit drei Antwortoptionen ergibt sich ein Erwartungswert von 1 ($3 \times 1/3$). Unter Berechnung von t -

Tests wird geprüft, ob sich die durchschnittliche Anzahl korrekt gelöster Items in den vier Gruppen (,verbale Impulse + Bilder‘, ,verbale Impulse‘, ,Bilder‘ und ,Basisintervention‘) beim Lastarm und Kraftarm im Kontext Hebelmodell signifikant vom Erwartungswert μ unterscheidet. In Anhang A.5.3 (S. 320) sind die Ergebnisse für die t-Tests gegen den Erwartungswert dargestellt. Beim **Lastarm** im Kontext Hebelmodell unterscheiden sich die Gruppen ,verbale Impulse + Bilder‘, ,verbale Impulse‘, ,Bilder‘ und ,Basisintervention‘ signifikant vom Erwartungswert, alle $p_{\text{zweiseitig}} < .049$. Alle Gruppen lösen signifikant mehr Items korrekt, als durch Raten zu erwarten ist. Beim **Kraftarm** im Kontext Hebelmodell unterscheiden sich Kinder der Gruppen ,verbale Impulse + Bilder‘ und ,verbale Impulse‘ signifikant vom Erwartungswert. Diese beiden Gruppen lösen beim Kraftarm mehr Items korrekt, als durch Raten zu erwarten ist (alle $p_{\text{zweiseitig}} < .011$).

19.2.7 Kognitive und verbale Fähigkeiten haben kaum Einfluss auf die Anzahl korrekter Vorstellungen nach der Intervention (Nebenfragestellung 2)

Mittelwerte und Standardabweichungen für die kognitiven und verbalen Fähigkeiten der verschiedenen (Experimental-)Gruppen sind in Tabelle 24 dargestellt. Zur Erfassung der kognitiven Fähigkeiten (visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit; Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemstellungen erkennen) wurden die Subtests Labyrinth und Matrizen des CFT 1 von den 6- bis 7-Jährigen bearbeitet (vgl. Kapitel 18.7.2, S. 215). Zur Erfassung der verbalen Fähigkeiten wurde ein Lehrpersonenfragebogen verwendet (vgl. Anhang A.1.4., S. 309).

Tabelle 24. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der kognitiven und verbalen Fähigkeiten

Experimentalgruppe	Kognitive Fähigkeiten						Verbale Fähigkeiten		
	Visuelle Orientierung u. Aufmerksamkeit (CFT 1: Labyrinth)			Regeln u. Zusammenhänge erkennen (CFT 1: Matrizen)			Sprachverständnis/ -fähigkeit (Lehrpersonenfragebogen)		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Max</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Max</i>
Verb, Impulse + Bilder	6.71	2.51	12	7.91	2.92	12	23.29	4.28	28
Verb. Impulse	7.19	2.40	12	6.98	2.74	12	21.19	3.98	28
Bilder	6.23	2.34	12	7.14	2.94	11	24.64	3.66	28
Basisintervention	7.20	2.44	12	7.07	3.39	11	23.83	4.12	28
Kontrollgruppe	6.95	2.65	12	5.91	3.44	12	23.39	3.85	28

Damit eine Variable als Kovariate in die Auswertung aufgenommen werden kann, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Zum einen sollte aus der Theorie ableitbar sein,

dass diese Variable einen möglichen Einfluss auf den untersuchten Zusammenhang hat. Für die in der vorliegenden Untersuchung relevanten Variablen wurde dies in Kapitel 15.5 (S. 142) gezeigt. Neben dieser theoretischen Voraussetzung werden weitere statistische Voraussetzungen angeführt: a) Unabhängigkeit von Kovariate und Interventionseffekt (Field, 2009), b) signifikante Korrelation zwischen abhängiger Variable und Kovariate (Bortz & Schuster, 2010) und c) homogene Regressionssteigungen der Kovariate in den Experimentalgruppen (Bortz & Schuster, 2010; Field, 2009). Diese statistischen Voraussetzungen werden für die kognitiven und verbalen Fähigkeiten geprüft.

Nach eingehender Prüfung werden alle Voraussetzungen für die Variable *Erkennen von Regeln und Zusammenhängen* für Lastarm und Kraftarm in der Post-Befragung erfüllt. Die Experimentalgruppen und die Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen, sind unabhängig voneinander ($F(4,218) = 2.32$, $p = .058$, $\eta^2 = .04$). Zudem zeigen sich signifikante Korrelationen zwischen der Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen, und den Residuen der Anzahl korrekt gelöster Items zum zweiten Befragungszeitpunkt beim Lastarm ($r = .14$, $p = .037$) und beim Kraftarm ($r = .14$, $p = .046$). Die dritte Voraussetzung, homogene Regressionssteigungen, ist ebenfalls erfüllt (vgl. Anhang A.5.4, S. 321). Daher kann die Variable Erkennen von Regeln und Zusammenhängen (CFT 1: Matrizen) als Kovariate in die einfaktorielle Varianzanalyse aufgenommen werden. Diese zeigt jedoch weder beim Lastarm ($F(1,217) = 1.736$, $p = .189$, $\eta^2 = .008$) noch beim Kraftarm ($F(1,217) = .925$, $p = .167$, $\eta^2 = .009$) einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl korrekter Antworten in der Post-Befragung. Das bedeutet, dass die Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen, in dem Kontext Schubkarre keinen Einfluss auf die Anzahl der korrekten Antworten beim Lastarm oder Kraftarm in der Post-Befragung hat.

Die Variablen *verbale Fähigkeit* sowie *visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit* erfüllen die Voraussetzungen für die Einführung als Kovariate nicht. Daher wird im Folgenden auf die Unterschiede zwischen den Ausprägungen der verschiedenen Experimentalgruppen eingegangen.

Die verbale Fähigkeit unterscheidet sich über alle Gruppen betrachtet signifikant ($F(4,205) = 4.437$, $p = .002$, $\eta^2 = .08$). Werden die Gruppen einzeln betrachtet, unterscheiden sich jedoch nur die Gruppe ‚Bilder‘ und die Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($p = .002$, $d = .51$). Dabei schätzten die Lehrpersonen die verbalen Fähigkeiten von

Kindern der Gruppe ‚Bilder‘ ($M = 24.64$; $SD = 3.66$) um ca. 3 Punkte höher ein als die verbalen Fähigkeiten von Kindern der Gruppe ‚verbale Impulse‘ ($M = 21.19$; $SD = 3.98$).

Bei der Variable *visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit* zeigt sich weder über alle Gruppen betrachtet ($F(4,217) = 1.2$, $p = .312$, $\eta^2 = .02$) noch bei post-hoc Vergleichen zwischen einzelnen Gruppen ein signifikanter Unterschied, alle $p > .644$. Bei der Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen, zeigt sich ebenso, wie oben schon berichtet, über alle Gruppen betrachtet kein signifikanter Unterschied ($F(4,218) = 1.32$, $p = .058$, $\eta^2 = .04$). Einzelne Gruppen unterscheiden sich jedoch. Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse + Bilder‘ erkennen signifikant besser Regeln und Zusammenhänge als 6- bis 7-Jährige der Kontrollgruppe ($p = .006$, $d = .63$). Die anderen Gruppen unterscheiden sich hingegen nicht signifikant voneinander, alle $p > .642$.

Abschließend werden getrennt für die Gruppen die Korrelationen zwischen den Residuen der Anzahl korrekter Antworten zum Lastarm und Kraftarm in der Post- und Follow-Up Befragung mit den kognitiven und verbalen Fähigkeiten betrachtet. In der Gruppe ‚verbale Impulse‘ zeigt sich sowohl beim Aspekt Lastarm als auch beim Aspekt Kraftarm in der Follow-Up Befragung ein signifikanter Zusammenhang mittlerer Stärke zwischen den verbalen Fähigkeiten und der Anzahl korrekt gelöster Items (Lastarm: $r = .41$, $p = .004$; Kraftarm: $r = .42$, $p = .003$). Darüber hinaus zeigen sich keine signifikanten Zusammenhänge.

Nebenfragestellung 2 kann folgendermaßen beantwortet werden: Die kognitiven Fähigkeiten Erkennen von Regeln und Zusammenhängen sowie visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit stehen, unabhängig von der Interventionsbedingung, in keinem Zusammenhang zu der Anzahl korrekt gelöster Aufgaben zum einseitigen Hebel nach der Intervention. Verbale Fähigkeiten hingegen scheinen, wenn 6- bis 7-Jährige in der Intervention mit verbalen Impulsen unterstützt werden, nach der Intervention in einem mittleren positiven Zusammenhang zur Anzahl korrekt gelöster Aufgaben zu stehen.

20 Diskussion Studie II: Veränderungen der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse bzgl. der Veränderung der Vorstellungen diskutiert. Nach der Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse erfolgt deren theoriebezogene Diskussion. Darin findet eine Einordnung der Ergebnisse in bisherige Forschungsergebnisse statt. Die anschließende methodische Diskussion geht auf die Vorgehensweise der Studie ein. Abschließend werden Schlussfolgerungen für die Praxis gezogen.

20.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zum Lastarm und Kraftarm eines einseitigen Hebels können mithilfe der Intervention unter verschiedenen Bedingungen verändert werden.

Die Ergebnisse im **Kontext Schubkarre** zeigen Folgendes:

Die 6- bis 7-Jährigen, die an der handlungsorientierten ‚Basisintervention‘ teilnahmen, lösen in der Post-Befragung gleich viele Items zum Lastarm und Kraftarm korrekt wie Kinder der Kontrollgruppe, die an einer Intervention zu einem anderen Themenbereich teilnahmen. Hypothese 5a und b werden nicht bestätigt.

Die 6- bis 7-Jährigen, die an der handlungsorientierten Intervention zum Lastarm bzw. Kraftarm mit zusätzlicher Unterstützung durch verbale Impulse, Bilder oder verbale Impulse und Bilder teilnahmen, lösen zusammengenommen in der Post- und Follow-Up Befragung zum Lastarm und Kraftarm mehr Items korrekt als Kinder, die an der handlungsorientierten Basisintervention teilnahmen. Kleine bis mittlere Effekte zeigen sich. Hypothesen 6a und 6b werden bestätigt. Werden die Gruppen ‚verbale Impulse‘, ‚Bilder‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ einzeln mit der Gruppe ‚Basisintervention‘ verglichen, lösen Kinder jeder der drei Gruppen in der Post- und Follow-Up Befragung beim Aspekt Lastarm signifikant mehr Aufgaben korrekt als Kinder der Basisintervention. In der Post-Befragung zum Kraftarm zeigt sich selbiges Bild. In der Follow-Up Befragung zum Kraftarm unterscheiden sich die Gruppen ‚verbale Impulse + Bilder‘ und ‚verbale Impulse‘ signifikant von der Gruppe Basisintervention, nicht jedoch die Gruppe ‚Bilder‘.

Bei den Aspekten Lastarm und Kraftarm in der Post- und Follow-Up Befragung zeigt sich ein signifikanter linearer Trend in der Anzahl korrekter Antworten (,verbale Impulse + Bilder' > ,verbale Impulse' > ,Bilder' > ,Basisintervention'). Die einzelnen Experimentalgruppen unterscheiden sich jedoch nicht alle wie angenommen oder nur mit geringer bzw. mittlerer Effektgröße. Daher werden Hypothese 7a und 7b nicht bestätigt. Werden die Experimentalgruppen einzeln miteinander verglichen, zeigt sich Folgendes: 6- bis 7-Jährige der Experimentalgruppe ,verbale Impulse + Bilder' lösen nur beim Lastarm in der Post-Befragung signifikant mehr Aufgaben korrekt als Kinder der Gruppe ,verbale Impulse'. Kinder der Gruppe ,verbale Impulse' lösen signifikant mehr Aufgaben korrekt als Kinder der Gruppe ,Bilder' beim Lastarm in der Follow-Up Befragung sowie beim Kraftarm in Post- und Follow-Up Befragung. Kinder der Gruppe ,Bilder' lösen signifikant mehr Aufgaben korrekt als Kinder der Gruppe ,Basisintervention' beim Lastarm in der Post- und Follow-Up Befragung sowie beim Kraftarm in der Post-Befragung.

Die Ergebnisse im **Kontext Hebelmodell** zeigen Folgendes:

Beim Kraftarm gelingt es 6- bis 7-Jährigen, Vorstellungen vom Kontext Schubkarre auf den Kontext Hebelmodell zu übertragen. Die 6- bis 7-Jährigen, die in der Intervention im Kontext Schubkarre mithilfe von verbalen Impulsen oder verbalen Impulsen und Bildern unterstützt wurden, lösen beim Kraftarm im Kontext Hebelmodell mehr Items korrekt als Gleichaltrige, die an der ,Basisintervention' teilnahmen. Hypothese 8b wird daher bestätigt. Beim Lastarm deutet sich keine Übertragung der Vorstellungen vom Kontext Schubkarre auf den Kontext Hebelmodell an, daher wird Hypothese 8a verworfen. Weder beim Lastarm noch beim Kraftarm im Kontext Schubkarre zeigt sich das angenommene Muster (,verbale Impulse + Bilder' > ,verbale Impulse' > ,Bilder' > ,Basisintervention') in der Anzahl korrekter Vorstellungen im Kontext Hebelmodell. Hypothese 9a und 9b werden ebenfalls verworfen.

Kognitive Fähigkeiten haben, unabhängig von der Interventionsbedingung, keinen Einfluss auf die Anzahl korrekter Vorstellungen zu Lastarm oder Kraftarm nach der Intervention. Verbale Fähigkeiten stehen in einem mittleren positiven Zusammenhang zur Anzahl korrekt gelöster Aufgaben zu Lastarm und Kraftarm, wenn 6- bis 7-Jährige in der Intervention mit verbalen Impulsen unterstützt werden.

20.2 Theoretische Bezüge der Ergebnisse

In der theoriebezogenen Diskussion werden Querverbindungen, Parallelen und Unterschiede der vorliegenden Studie mit Befunden aus der Literatur herausgearbeitet.

Vorstellungen verändern zum Lastarm und Kraftarm einer Schubkarre mithilfe von Handlung am Gegenstand Schubkarre

Handlung an Schubkarren in der Intervention reicht nicht aus, um die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zum kraftsparenden Einsatz von Lastarm und Kraftarm eines Hebels im Kontext Schubkarre zu verändern. Die Erfassung der Vorstellungen fand mithilfe einer Paper-Pencil-Befragung statt. Dass Handlungen an einer Balkenwaage oder einem Bauklotz ausreichen können, um bessere Leistung beim handelnden Ausbalancieren dieser Gegenstände zu erzielen, zeigten Peters et al. (1999) sowie Philips und Tolmie (2007). Beide Studien erfassten im Gegensatz zur vorliegenden Studie Vorstellungen zum Gleichgewicht bei zweiseitigen Hebeln und nicht zum kraftsparenden Einsatz von Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln. Zudem fand nicht nur die Veränderung der Vorstellungen handlungsorientiert statt, sondern auch die Erfassung. Philips und Tolmie (2007) ergänzten, dass sich in den Begründungen der 6- bis 8-Jährigen beim handelnden Ausbalancieren keine Verbesserungen zeigten. In anderen Themenbereichen existieren ebenfalls Hinweise, dass der handelnde Umgang in Gruppen von Kindern mit Gegenständen nicht ausreicht, um korrekte Vorstellungen, z. B. zur Stabilität von Türmen, aufzubauen (z. B. Hadzigeorgiou, 2002).

Im Folgenden werden Erklärungen diskutiert, warum die Handlung an Schubkarren in der Intervention nicht ausreichte, um Vorstellungen zu verändern.

Erstens sollten die 6- bis 7-Jährigen der Gruppe ‚Basisintervention‘ ihre Vermutungen, bei welcher Position des Steins und bei welcher Griffhöhe es ihnen am leichtesten fällt, die Schubkarre anzuheben, nicht laut äußern (vgl. Tabelle 19, S. 210). Zum einen kann durch das Nicht-laute-Äußern nicht kontrolliert werden, ob die 6- bis 7-Jährigen sich tatsächlich eine Vermutung überlegt haben. Zum anderen kann nicht gewährleistet werden, dass – falls die 6- bis 7-Jährigen tatsächlich eine Vermutung aufgestellt haben – diese ohne Aufzeichnen nach der Handlung am Material noch präsent ist und mit auch mit der Erkenntnis aus der Handlung an den Schubkarren verglichen wird.

Zweitens handeln die 6- bis 7-Jährigen der ‚Basisintervention‘ zwar an den Schubkarren, was potenziell kognitive Aktivität anregt (z. B. Hardy, 2012; Hartinger & Hawelka, 2005; Kleickmann, Hardy, Jonen, Blumberg & Möller, 2007; Lipowsky, 2009; Marzano, Gaddy & Dean, 2000), allerdings könnte durch die Instruktion, die Vermutungen und Ergebnisse nicht laut auszusprechen („Sage es nicht laut!“), die kognitive Aktivität unterdrückt werden (Vygotsky, 1962). Bei Kindern bis in die ersten Grundschuljahre wird angenommen, dass hörbares Sprechen mit sich selbst für Denk- und Problemlöseprozesse notwendig ist (Vygotsky, 1962). Daher könnten die 6- bis 7-Jährigen der Gruppe ‚Basisintervention‘, bei denen das Sprechen per Anweisung unterbunden wurde, Schwierigkeiten haben zu überlegen, welche Schubkarre ihnen am leichtesten fällt anzuheben.

Drittens beeinflussen vorhandene Vorstellungen die Wahrnehmung (Duit, 1989). Zum Wissenselement Kraftarm wählen die 6- bis 7-Jährigen vor der Intervention am häufigsten die Vorstellung ‚Eine Schubkarre mit mittellangen Griffen ist am leichtesten anzuheben‘ (vgl. Kapitel 16.1, S. 154). Diese Vorstellung könnte dazu führen, dass die Kinder beim Anheben der Schubkarren in der Intervention tatsächlich spüren, dass die Schubkarre mit den mittleren Griffen am leichtesten anzuheben ist. Zudem entspricht die Schubkarre mit den mittellangen Griffen einer Schubkarre, wie sie aus dem Alltag bekannt ist. Darauf wird in der methodischen Diskussion in Kapitel 20.3 (S. 245) nochmals detaillierter eingegangen.

Viertens können vorhandene Vorstellungen auch zu einer selektiven Informationsauswahl führen (Duit, 1996; Möller, 2007a). Dabei werden Informationen so ausgewählt, dass sie die bereits vorhandenen Vorstellungen bestätigen („confirmation bias“ z. B. Duit, 1996; Möller, 2007a). In der Intervention zum Kraftarm hoben die 6- bis 7-Jährigen zuerst die Schubkarre mit den kurzen, anschließend mit den mittleren und abschließend die Schubkarre mit den langen Griffen an. Die Kinder könnten bemerkt haben, dass die Schubkarre mit den mittleren Griffen leichter anzuheben ist als die Schubkarre mit den kurzen Griffen und sich in ihrer Vorstellung bestätigt sehen. Die Information, dass die Schubkarre mit den längsten Griffen noch leichter anzuheben ist, könnte daraufhin nicht berücksichtigt worden sein. Eine Tendenz gegen diese Falsifizierung von Vorstellungen besteht nicht nur bei Kindern, sondern auch bei Erwachsenen (Karmiloff-Smith & Inhelder, 1976). Insgesamt ist das Widerlegen der eigenen Vorstellungen durch Gegenevidenz eine Herausforderung (Pauen, 2013). Zumeist reicht ein einziges Gegenbeispiel nicht aus, um Kinder zu überzeugen (Duit, 1989). Daher wäre es sinnvoll,

das Hebelgesetz in einer längeren Intervention mehrmals in verschiedenen Kontexten, z. B. Schubkarre und Sackkarre, zu betrachten (Lohrmann et al., 2013).

Fünftens können vorhandene Vorstellungen nicht nur die Wahrnehmung und die Informationsauswahl beeinflussen, sondern auch das Handeln (Duit, 1989). Bspw. balancieren 7- bis 8-Jährige, die davon ausgehen, dass ein Hebel in der geometrischen Mitte ausbalanciert wird, einen Holzbalken mit einem seitlich versteckten Gewicht ebenfalls an der Mitte aus. Trotz empirischer Evidenz, dass die manipulierten Holzbalken nicht in der Mitte ausbalanciert werden, behielten die Kinder ihre ursprüngliche Vorstellung bei (Karmiloff-Smith & Inhelder, 1976).

Sechstens hat bereits mathematikdidaktische Forschung gezeigt, dass Handlung an Gegenständen zwar die wichtige enaktive Wissensrepräsentation anspricht, diese jedoch für das Erlernen mathematischer Inhalte nicht unbedingt ausreicht. Beim Thema Hebel handelt es sich um einen naturwissenschaftlich-mathematischen Inhalt, auch bei diesem scheint neben der enaktiven Wissensrepräsentation die ikonische und symbolische notwendig zu sein (Bruner, 1964; Hasemann & Gasteiger, 2014).

Ein weiterer Grund, warum das Anheben der Schubkarren nicht zu einer Veränderung der Vorstellungen führt, könnte darin liegen, dass sich die 6- bis 7-Jährigen beim Anheben der Schubkarren mit den mittleren Griffen weniger bücken mussten als bei der Schubkarre mit den kurzen Griffen.

Ob die 6- bis 7-Jährigen, die an der handlungsorientierten Intervention ohne weitere Impulse teilnahmen (,Basisintervention), durch ihre vorhandenen Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm ihre Wahrnehmung beeinflussten, die Informationen selektiv auswählten oder gemäß ihren Vorstellungen handelten, bleibt offen.

Vorstellungen verändern im Kontext Schubkarre mithilfe von Handlung am Gegenstand in Kombination mit verbalen Impulsen, Bildern oder beidem

Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention im Kontext Schubkarre mit verbalen Impulsen, Bildern oder beidem teilnahmen, lösen direkt im Anschluss an die Intervention und größtenteils 4 Wochen später mehr Items zum Lastarm und Kraftarm korrekt als Kinder, die ausschließlich an den Schubkarren handelten. Dieser Befund deckt sich mit bisherigen Forschungsergebnissen (z. B. Peters et al., 1999; Philips & Tolmie, 2007; Pine et al., 1999).

Vier Wochen nach der handlungsorientierten Intervention mit Bildern lösen 6- bis 7-Jährige beim Lastarm im Kontext Schubkarre, aber nicht beim Kraftarm, mehr Aufgaben korrekt als Kinder, die an der ‚Basisintervention‘ teilnahmen. Die Effektgröße ist jedoch gering. Darstellende Bilder fokussieren die Aufmerksamkeit (Newton, 1995), bieten Informationen doppelt dar (Levin et al., 1987) und können bei der Übertragung vom Objekt der Intervention auf die Befragung helfen. Zudem wird durch Bilder die symbolische Repräsentationsebene (Bruner, 1964) angesprochen. Darstellende Bilder, wie in der Intervention verwendet, tragen jedoch weniger zur Anregung der kognitiven Aktivität bei als z. B. verbale Impulse (vgl. Kapitel 14.3, S. 119). Hinzu kommt, dass bei Kindern der Gruppe ‚Bilder‘, gleichsam wie bei Kindern der Gruppe ‚Basisintervention‘, durch die Instruktion, Vermutungen und Erkenntnisse nicht laut zu nennen, privates hörbares Sprechen (Vygotsky, 1962) unterbunden wurde. Dies könnte die 6- bis 7-Jährigen beim Bearbeiten der Aufgabenstellung behindert haben, da hörbares Sprechen in dieser Altersgruppe als Voraussetzung für Denk- und Problemlöseprozesse angesehen wird (Vygotsky, 1962).

Warum Kinder der Gruppe ‚Bilder‘ beim Lastarm, aber nicht beim Kraftarm, 4 Wochen nach der Intervention mehr Items korrekt lösen als die Gruppe ‚Basisintervention‘, wird im folgenden Erklärungsversuch diskutiert. Beim Lastarm wird von den 6- bis 7-Jährigen bereits vor der Intervention die korrekte Antwort (kurzer Lastarm) am häufigsten gewählt. Beim Kraftarm hingegen wird vor der Intervention am häufigsten eine falsche Antwortoption, die mittleren Griffe, gewählt (vgl. Tabelle 10, S. 155). Evtl. reicht die aufmerksamkeitslenkende und behaltenssteigernde Funktion der darstellenden Bilder (vgl. Kapitel 9.3, S. 84) bei dem Aspekt mit größerem Vorwissen (Lastarm) aus, um die Vorstellungen auch 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) zu verändern. Bei weniger korrekten Vorstellungen vor der Intervention (Kraftarm) scheinen weitere Impulse notwendig.

Die darstellenden Bilder sind 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) beim Lastarm, dem Aspekt, zu dem die größere Anzahl korrekter Vorstellungen vorliegt, hilfreicher für eine Veränderung der Vorstellungen als beim Kraftarm. Dies widerspricht auf den ersten Blick dem Befund, dass Bilder gerade bei wenig Vorwissen hilfreich sind (Fletcher & Tobias, 2005; Mayer & Gallini, 1990). Jedoch sind Funktion und Wirkungsweise von Bildern stark von der Art des Bildes, dem Themenbereich und der betreffenden Altersgruppe abhängig (vgl. Kapitel 9, S. 82), weshalb der Befund der

vorliegenden Studie keinen Widerspruch zu Fletcher und Tobias (2005) sowie Mayer und Gallini (1990) darstellt. Vielmehr handelt es sich um eine Ergänzung, dass diese Art der darstellenden Bilder beim Themenbereich Hebel bei 6- bis 7-Jährigen beim Lastarm wirkungsvoller sind als beim Kraftarm.

Die handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen führt bei Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre zu mehr korrekten Vorstellungen als die handlungsorientierte Intervention ohne weitere Impulse. Dies kann auf der einen Seite darauf zurückgeführt werden, dass in der einen Bedingung verbale Impulse und das damit einhergehende private Sprechen (Vygotsky, 1962) Denk- und Problemlöseprozesse erleichtern. Auf der anderen Seite werden in den Bedingungen ohne weitere verbale Impulse (‘Basisintervention‘ und ‘Bilder‘) durch die Instruktion, Vermutungen und Erkenntnisse nicht laut zu nennen, privates Sprechen und damit einhergehend Denk- und Problemlöseprozesse unterdrückt.

Ähnliche Befunde zeigen sich beim zweiseitigen Hebel im Kontext Balkenwaage. In diesem Kontext nannten 6- bis 8-Jährige nach dem handelnden Ausbalancieren einer Balkenwaage mit verbalen Impulsen den Abstand als Begründung für das Verhalten der Balkenwaage. Kinder im Alter von 6 bis 8 Jahren, die eine Balkenwaage ohne verbale Impulse ausbalancierten, nannten weiterhin nur das Gewicht (Philips & Tolmie, 2007). Verbale Impulse scheinen sowohl bei Vorstellungen über das Gleichgewicht eines zweiseitigen Hebels als auch bei Vorstellungen zur Kraftverstärkung bei einseitigen Hebeln eine wichtige Rolle bei der Veränderung der Vorstellungen zu spielen. Dass die verbalen Impulse stärker als die darstellenden Bilder eine Veränderung von Vorstellungen unterstützen, könnte u. a. darauf zurückgeführt werden, dass verbale Impulse neben strukturierender Funktion auch zur kognitiven Aktivität anregen (vgl. Kapitel 10, S. 90). Darüber hinaus sprechen verbale Impulse die symbolische Art der Wissensrepräsentation an (Bruner, 1964).

Die handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern führt ebenfalls bei Lastarm und Kraftarm zu mehr korrekten Vorstellungen als die handlungsorientierte Intervention ohne weitere Impulse. Bisher wurden diese Kombinationen an Impulsen in keiner bekannten Studie zum Thema Hebel untersucht. Daher können an dieser Stelle keine Querverbindungen zu anderen Studien gezogen werden. Jedoch scheint plausibel, dass die Intervention, die neben Gegenständen weitere Impulse, die u. a. strukturierend und kognitiv aktivierend wirken, beinhaltet, einer ausschließlich handlungsorientierten

Intervention überlegen ist. Bereits Bruner (1972) entwickelte für die Mathematikdidaktik der Primarstufe die Unterrichtstheorie, dass Unterstützung, die verschiedene Repräsentationsarten (enaktiv, ikonisch und symbolisch) betrifft, zu einer Veränderung von Vorstellungen beiträgt und wirkungsvoller ist als die Unterstützung mit nur einer oder zwei Repräsentationsarten. Auch die Theorie des Multimedialen Lernens liefert dafür eine Erklärungsmöglichkeit. Multimediales Lernen (Roy & Chi, 2005) liegt vor, sobald Informationen aus verschiedenen Zeichensystemen bzw. Sinnesmodalitäten integriert werden. Da die 6- bis 7-Jährigen in der Intervention zusätzlich zu Informationen aus visuellen und haptischen Erfahrungen durch die Handlung an den Schubkarren, je nach Experimentalgruppe, auch visuelle Informationen aus darstellenden Bildern oder verbale Impulse erhielten, handelt es sich um multimediales Lernen. Befunde aus Studien zum multimedialen Lernen lassen sich aufgrund von geänderten Untersuchungsbedingungen (z. B. Gruppenkontext, andere Form der verbalen Informationen) nur bedingt auf die Ergebnisse in der vorliegenden Studie übertragen (vgl. Kapitel 12.2, S. 109). Dennoch können diese Anregungen geben. Bspw. hat Forschung gezeigt, dass die Unterstützung mithilfe verschiedener Modalitäten der Unterstützung mithilfe nur einer Modalität unter bestimmten Voraussetzungen (vgl. Kapitel 12, S. 107) überlegen sein kann (Chandler & Sweller, 1991; Mayer, 2005; 2009; Schnotz & Bannert, 2003; Schnotz, 2005). Im Folgenden werden Befunde zum multimedialen Lernen nochmals detaillierter mit den Befunden beim Vergleich einzelner Experimentalgruppen der vorliegenden Studie diskutiert.

Verbale Impulse oder verbale Impulse kombiniert mit Bildern tragen im Kontext Schubkarre gleichermaßen zu einer Veränderung von Vorstellungen bei

Die handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern führt im Kontext Schubkarre größtenteils zur gleichen Anzahl korrekt gelöster Items wie die Intervention mit verbalen Impulsen. Einzige Ausnahme bilden die Vorstellungen zum Lastarm in der Post-Befragung. Direkt im Anschluss an die Intervention lösen 6- bis 7-Jährige, die an der handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern teilnahmen, mehr Items korrekt als Kinder, die an der handlungsorientierten Intervention nur mit verbalen Impulsen teilnahmen. Die Effektgröße ist jedoch als klein zu beurteilen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern größtenteils zu gleich vielen korrekt gelösten Items führt wie die Intervention mit ausschließlich verbalen Impulsen.

Eine Studie zum Thema Hebel, die eine handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern und eine handlungsorientierte Intervention mit Bildern vergleicht, ist nicht bekannt. Daher müssen Studien herangezogen werden, die die Kombination von verbalen Inhalten und Bildern mit verbalen Inhalten vergleichen. Der von Segers et al. (2008) bei 10-Jährigen gezeigte Multimediaeffekt (vgl. Kapitel 12.1, S. 107), der eine Überlegenheit von Text und Bild gegenüber Text bei einem naturwissenschaftlichen Thema demonstriert, kann in der vorliegenden Studie nicht bestätigt werden. Befunde aus Theorien zum multimedialen Lernen können jedoch nicht eins-zu-eins auf die vorliegende Studie übertragen werden (vgl. Kapitel 12.2, S. 109). Bspw. beziehen sich viele Annahmen im Rahmen multimedialen Lernens auf Texte und Bilder und weniger auf haptische Informationen. In der vorliegenden Studie erhielten Kinder in allen Experimentalgruppen jedoch haptische Informationen durch das Anheben der Schubkarren. Im Folgenden wird dennoch versucht, die Ergebnisse vor dem Hintergrund multimedialen Lernens zu interpretieren.

Einen Erklärungsansatz bietet der *Redundanz Effekt* (Cook, 2006; Sweller, 2002). Dieser besagt, dass redundante Informationen eine Veränderung von Vorstellungen behindern können. Evtl. sind die Informationen, welche die 6- bis 7-Jährigen aus der Handlung an den Schubkarren in Kombination mit den verbalen Impulsen erhalten, bereits für eine Veränderung von Vorstellungen ausreichend. Bei zusätzlicher Präsentation von Bildern könnte die Aufmerksamkeit der Kinder nicht wie intendiert fokussiert, sondern zwischen dem Gegenstand Schubkarre, den verbalen Impulsen und den Bildern geteilt werden. Dies könnte zu verringerten kognitiven Ressourcen führen, die jedoch für eine Veränderung von Vorstellungen notwendig wären. Auf der einen Seite spricht gegen die Annahme der verringerten kognitiven Ressourcen, dass beim Lastarm in der Post-Befragung mithilfe der handlungsorientierten Intervention mit verbalen Impulsen und Bildern signifikant mehr Items korrekt gelöst werden als bei der Intervention mit verbalen Impulsen. Auf der anderen Seite ist die praktische Bedeutsamkeit dieses Unterschieds als gering zu beurteilen (vgl. Kapitel 19.2.2, S. 221). Zudem lösen die 6- bis 7-Jährigen der Gruppen ‚verbale Impulse + Bilder‘ und ‚Bilder‘ sowohl in der Follow-Up zum Lastarm als auch in Post- und Follow-Up Befragung zum Kraftarm im Kontext Schubkarre gleich viele Items korrekt. Dies könnte evtl. doch für einen Redundanz Effekt sprechen. Die zusätzliche Präsentation von Bildern scheint sich zwar nicht negativ auf die Veränderung von Vorstellungen auszuwirken, jedoch führt sie nur im Ausnahmefall beim Lastarm direkt im

Anschluss an die Intervention (Post-Befragung) zu mehr korrekten Vorstellungen als die Intervention mit verbalen Impulsen ohne Bilder.

Verbale Impulse führen im Kontext Schubkarre zu mehr korrekten Antworten als Bilder

Beim Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre führt die handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen auch 4 Wochen nach der Intervention (Follow-Up Befragung) zu mehr korrekten Antworten als die handlungsorientierte Intervention mit Bildern. Dies könnte daran liegen, dass verbale Impulse zusätzliche Anregung geben und daher kognitiv aktivierend wirken (Pauli et al., 2008; Schworm & Renkl, 2007). Darstellende Bilder können zwar die Behaltensleistung erhöhen (Lesgold et al., 1975; Levin et al., 1987), die Aufmerksamkeit fokussieren (Newton, 1995), durch Redundanz Information erneut darbieten (Levin et al., 1987) und bei der Übertragung vom Gegenstand auf ein Bild helfen, sind jedoch weniger kognitiv anregend als verbale Impulse. Wie stark die 6- bis 7-Jährigen mithilfe der einzelnen verwendeten verbalen Impulse kognitiv aktiviert werden, bleibt hingegen offen.

Die Veränderung der Vorstellungen im Kontext Schubkarre unterscheidet sich zwischen Lastarm und Kraftarm

Eine Veränderung von Vorstellungen gelingt beim Lastarm und Kraftarm. Allerdings zeigen die 6- bis 7-Jährigen nach der Intervention mehr korrekte Vorstellungen zum Kraftarm als zum Lastarm. In der Lernpsychologie wird häufig davon ausgegangen, dass der Erfolg der Veränderung von Vorstellungen von den bereits vorhandenen Vorstellungen abhängt. Je mehr inhaltsbezogenes Wissen vorhanden ist, desto erfolgreicher ist eine Veränderung von Vorstellungen (Hasselhorn & Gold, 2009). Im Kontext Schubkarre zeigen 6- bis 7-Jährige vor der Intervention mehr korrekte Vorstellungen zum Lastarm als zum Kraftarm (vgl. Tabelle 21, S. 218). Beim Lastarm lösen die Kinder im Durchschnitt fast zwei der vier Items korrekt. Beim Kraftarm lösen sie im Mittel weniger als ein Item korrekt. Der obigen Annahme folgend, sollte den 6- bis 7-Jährigen daher beim Lastarm im Gegensatz zum Kraftarm eine Veränderung von Vorstellungen erfolgreicher gelingen. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen jedoch Gegenteiliges. Beim Lastarm (Aspekt, bei dem vor der Intervention die größere Anzahl korrekter Vorstellungen gezeigt wurde) gelingt mithilfe der Intervention eine Veränderung der Vorstellungen weniger gut als beim Kraftarm (dem Aspekt, bei dem vor der Intervention die geringere Anzahl Vorstellungen gezeigt wurde). Zwei mögliche Erklärungsversuche werden im Folgenden diskutiert.

Erstens bietet der Kraftarm aufgrund der geringeren Anzahl korrekter Vorstellungen in der Prä-Befragung ein höheres Potenzial zur Veränderung der Vorstellungen. Zweitens sehen die drei Schubkarren in der Interventionssequenz zum Kraftarm evtl. für die 6- bis 7-Jährigen ungewöhnlicher aus als die Schubkarre in der Interventionssequenz zum Lastarm. In der Interventionssequenz zum Kraftarm unterscheiden sich die drei Schubkarren deutlich in der Länge der Griffe. In der Intervention zum Lastarm sind die drei Schubkarren identisch, nur die Position des Steins in der Wanne unterscheidet sich. Die Unterschiede in der Position der Steine sind für die 6- bis 7-Jährigen evtl. weniger gut zu erkennen und zudem weniger eindrucksvoll als die unterschiedlich langen Griffe. Dies könnte dazu führen, dass die korrekte Länge der Griffe beim Kraftarm im Gegensatz zur korrekten Position des Steins in der Wanne beim Lastarm besser erinnert wird.

Veränderung von Vorstellungen im Kontext Hebelmodell

Einseitige Hebel sind für 6- bis 7-Jährige ein komplexes Thema und bisher ist wenig über die Veränderungen der Vorstellungen dazu bekannt. Die vorliegende Studie zeigt, dass nicht nur eine Veränderung von Vorstellungen zum Abstand bei einseitigen Hebeln im gleichen Kontext wie die Intervention, dem Kontext Schubkarre, möglich ist, sondern auch in Ansätzen eine Übertragung der Vorstellungen auf einen neuen Kontext gelingen kann. Beim Kraftarm, nicht jedoch beim Lastarm, gelingt es den 6- bis 7-Jährigen, ihre Vorstellungen vom Kontext Schubkarre auf den neuen Kontext Hebelmodell zu übertragen. Diese Übertragung der Vorstellungen beim Aspekt Kraftarm ist unter Berücksichtigung folgender Punkte beachtlich: Zum einen dauerte die Intervention pro Aspekt nur ca. 10 Minuten, was eine sehr kurze Interventionsdauer darstellt. Zum anderen wurde in der Intervention kein Transfer eingeübt, z. B. durch Verwendung verschiedener Kontexte einseitiger Hebel.

In Kapitel 11 (S. 98) wurden zwei Studien vorgestellt, die eine Übertragung der Vorstellungen zu zweiseitigen Hebeln auf eine komplexere Situation bzw. einen anderen Kontext empirisch belegen (vgl. Day & Cordón, 1993; Murphy & Messer, 2000). Handelnd erfasste Vorstellungen 5- bis 7-Jähriger zum Gleichgewicht von Alltagsgegenständen ließen sich auf Holzbalken übertragen (Murphy & Messer, 2000). Unabhängig davon, ob die Kinder alleine oder mit verbalen Impulsen eines Interventionsleiters an den Gegenständen handelten, gelang ihnen die Übertragung der Vorstellungen gleich gut. Beim Vergleich dieses Befundes mit der vorliegenden Studie sollte beachtet werden, dass die Vorstellungen über handelndes Ausbalancieren und nicht

über Beurteilung von Bildern erfasst wurden. Zudem stand das Prinzip Gleichgewicht und nicht Kraftverstärkung im Vordergrund. Beim Ausbalancieren von Gegenständen scheinen verbale Impulse weniger hilfreich als bei der Veränderung von Vorstellungen zum Kraftarm. Verbale Impulse sind bei der Veränderung von Vorstellungen zum Kraftarm evtl. eher notwendig. In der vorliegenden Studie wurden die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger nicht über Handlung verändert und erfasst, sondern die Kinder handelten in der Intervention und die Vorstellungen wurden über eine Paper-Pencil-Befragung erfasst. Dass verbale Impulse bei der Übertragung von Vorstellungen von einem Kontext auf einen anderen eine wichtige Rolle spielen, bestätigen Day & Córdón (1993). 8-Jährigen, die adaptiv mit verschiedenen Abstufungen von verbalen Fragen und Hinweisen unterstützt werden, gelingt eine Übertragung der Vorstellungen über das Gleichgewicht einer Standard-Balkenwaage auf eine komplexere Balkenwaage im Paper-Pencil-Format.

Insgesamt scheinen verbale Impulse bei der Übertragung von Vorstellungen eine wichtige Rolle zu spielen. Die handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen oder mit verbalen Impulsen und Bildern ermöglicht den Aufbau korrekter Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre, d. h. vorhandene Wissens Elemente und dazugehörige Vorstellungen werden längerfristig modifiziert (diSessa, 1983). Einige 6- bis 7-Jährige vernachlässigen die im Kontext Schubkarre vor der Intervention erfasste Vorstellung, dass das Anheben einer Schubkarre mit mittellangen Griffen am leichtesten ist, zugunsten der Vorstellung, dass lange Griffe das Anheben der Schubkarre erleichtern. Diese neue Vorstellung erklärt die Funktionsweise von einseitigen Hebeln im Kontext Schubkarre als Klasse von Phänomenen besser (Fischbein, 1987). Eine Vernetzung und Reorganisation findet statt, indem Vorstellungen zum Kraftarm weggelassen und neue hinzugefügt werden (diSessa, 1983). Da aber eine Übertragung auf den neuen Kontext Hebelmodell nur in Ansätzen gelingt, scheinen die Wissens Elemente und Vorstellungen noch nicht stark miteinander vernetzt und eher an den Kontext gebunden (diSessa, 1988). Eine Übertragung der Vorstellungen auf die Klasse von Phänomenen einseitiger Hebel unabhängig vom Kontext scheint noch schwierig. Dies deutet darauf hin, dass die Wissens Elemente und Vorstellungen z. T. noch fragmentiert und isoliert vorliegen.

Geringer Einfluss kognitiver und verbaler Fähigkeiten auf die Veränderung der Vorstellungen

Im Folgenden wird der Einfluss von kognitiven und verbalen Fähigkeiten auf die Veränderung von Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm diskutiert.

Die **kognitiven Fähigkeiten** (visuelle Orientierung und Aufmerksamkeit, Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Aufgaben zu erkennen) scheinen keinen bzw. nur sehr geringen Einfluss auf die Veränderungen der Vorstellungen zu haben. Day & Córdón (1993) fanden einen mittleren Zusammenhang zwischen dem Verarbeitungstempo 8-Jähriger und der Anzahl korrekt gelöster Items im Kontext Balkenwaage. Dieser Zusammenhang wird bei der vorliegenden Studie mit 6- bis 7-Jährigen nicht bestätigt, obwohl das Verarbeitungstempo auch bei der visuellen Orientierung und Aufmerksamkeit und beim Erkennen von Regeln und Zusammenhängen eine Rolle spielt.

Die **verbalen Fähigkeiten** scheinen ebenfalls nur gering mit der Veränderung der Vorstellungen zusammenzuhängen. Zwar werden die verbalen Fähigkeiten von Kindern der Gruppe ‚Bilder‘ höher als die von Kindern der Gruppe ‚verbale Impulse‘ eingeschätzt, jedoch erreichen beide Gruppen sehr gute Werte (vgl. Tabelle 24, S. 229). Keine Gruppe weist schlechte verbale Fähigkeiten auf. Diese könnten eine Veränderung von Vorstellungen behindern (Hasselhorn & Grube, 2008). Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist auch zu berücksichtigen, dass Kinder, deren verbale Fähigkeit nicht ausreichte, um der Intervention zu folgen, von der Datenanalyse ausgeschlossen wurden (vgl. Kapitel 18.5, S. 207). Zwischen den verbalen Fähigkeiten und der Anzahl korrekt gelöster Items beim Lastarm und Kraftarm zeigen sich bei der Gruppe ‚verbale Impulse‘ in der Follow-Up Befragung mittlere Zusammenhänge. Je höher die verbalen Fähigkeiten, desto mehr Items werden korrekt gelöst. Die 6- bis 7-Jährigen scheinen von den verbalen Impulsen insbesondere dann zu profitieren, wenn sie selbst eine höhere verbale Fähigkeit besitzen. In der Gruppe ‚Bilder‘ zeigt sich ein solcher Zusammenhang nicht. Da, wie oben beschrieben, die Kinder der Gruppe ‚verbale Impulse‘ niedrigere Werte in den verbalen Fähigkeiten als Kinder der Gruppe Bilder aufweisen, scheint die verbale Fähigkeit eher einen Einfluss auf die Anzahl korrekter Vorstellungen zu nehmen, wenn diese niedriger ist.

Day & Córdón (1993) bestätigen mittlere Zusammenhänge zwischen den verbalen Fähigkeiten von 8- bis 10-Jährigen und der korrekten Vorhersage, zu welcher Seite sich eine Balkenwaage neigt. Allerdings nur bei Kindern, die nach korrekter Vorhersage mithilfe von minimalen Hinweisen und nach falscher Vorhersage mithilfe von ausführlichen Erklärungen unterstützt wurden, nicht aber bei Kindern, die stärker adaptive Unterstützung erhielten.

Als Fazit wird festgehalten: In der vorliegenden Untersuchung scheinen kognitive und verbale Fähigkeiten nur einen sehr geringen Einfluss auf die Veränderung der Vorstellungen zu haben.

20.3 Methodische Diskussion der Vorgehensweise

Im Folgenden wird diskutiert, inwiefern das methodische Vorgehen (Stichprobenumfang, Befragung, Intervention, Messinstrumente, Wahl der Auswertungsmethode) die Ergebnisse beeinflusst haben könnten.

Stichprobenumfang

Der optimale Stichprobenumfang von 51 Kindern pro Experimentalgruppe wurde annähernd erreicht. Unerwartet viele Kinder fehlten zu einem der drei Befragungszeitpunkte oder mussten im Nachhinein aus anderen Gründen von der Datenauswertung ausgeschlossen werden (vgl. Kapitel 18.5, S. 207). Bei einer verbleibenden Stichprobengröße von 44 bis 47 Kindern pro Experimentalgruppe liegt trotzdem eine ausreichend große Power vor, um die Hypothesen 5 bis 9 zu prüfen. Durch eine Vergrößerung der Stichprobe in künftigen Untersuchungen könnte die Power erhöht werden und die Wahrscheinlichkeit nochmals steigen, dass sich ein Signifikanztest zugunsten der Alternativhypothese entscheidet, falls diese gilt (Bortz & Döring, 2006; Bortz & Schuster, 2010).

Befragung

Inwiefern Art und Ablauf der Befragung zu einseitigen Hebeln im Kontext Schubkarre die Ergebnisse beeinflusst haben könnten, wurde bereits diskutiert (vgl. Kapitel 17.3.2, S. 178). Daher wird im Folgenden auf den Kontext Hebelmodell eingegangen. Beide Kontexte unterscheiden sich in verschiedenen Punkten voneinander.

Erstens wurden die Vorstellungen zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre mit jeweils vier Items und im Kontext Hebelmodell mit jeweils drei Items pro Aspekt erfasst. Zwar führt eine größere Anzahl an homogenen Items zu einer reliableren Messung (Bühner, 2011), jedoch weisen Lastarm und Kraftarm in beiden Kontexten vergleichbar gute Reliabilitäten auf (vgl. Tabelle 20, S. 217).

Zweitens unterscheiden sich Items in den Kontexten Schubkarre und Hebelmodell in der Anordnung der Last. Im Kontext Schubkarre liegt die Last oberhalb der Hebelarme in der Wanne der Schubkarre. Im Kontext Hebelmodell hängt das Gewicht unterhalb des Lastarms und Kraftarms an der Stange. Beim zweiseitigen Hebel im Kontext Balkenwaage wurde in einer Studie bereits explizit untersucht, ob die Position der Gewichte oberhalb oder unterhalb der Hebelarme einen Einfluss auf die Urteile hat. Ca. die Hälfte der 6-, 8- und 10-Jährigen erkennt, dass die Position keinen Einfluss auf das Neigungsverhalten der Balkenwaage hat (Amsel et al., 1996). Dass die Position der Gewichte, oberhalb (Jansen & van der Maas, 2001) oder unterhalb (Boom et al., 2001) der Hebelarme, keinen Einfluss auf das Antwortverhalten hat, zeigt sich auch beim Vergleich zweier Studien im Kontext Balkenwaage. Bei Auswertungen über Latente Klassenanalyse kommen beide Studien zu ähnlichen Ergebnissen in Bezug auf die Berücksichtigung des Abstands bei 7- bis 10-Jährigen (Boom et al., 2001; Jansen & van der Maas, 2002). Die Kinder erhielten jedoch zuvor keine Intervention (vgl. Kapitel 6.2.2, S. 49).

Drittens ist der Kontext Hebelmodell im Gegensatz zum Kontext Schubkarre den Kindern nicht aus ihrem Alltag bekannt. Annahmen über das Funktionsprinzip können daher nicht aus möglichen Vorerfahrungen gezogen werden, sondern müssen direkt vom vorliegenden Gegenstand bzw. dessen Abbildung abgeleitet werden (Klahr, 2000). Daher könnte der Kontext Hebelmodell anspruchsvoller als der Kontext Schubkarre für 6- bis 7-Jährige sein. Ein weniger anspruchsvolles Item, das eine Übertragung der Vorstellungen auf einen anderen Kontext erleichtern könnte, wäre bspw. eine seitenverkehrte Schubkarre oder eine Sackkarre. Der Aufbau beider Kontexte ist ähnlicher als der von Schubkarre und Hebelmodell.

Eine Übertragung der Vorstellungen vom Kontext Schubkarre auf den Kontext Hebelmodell gelingt in Ansätzen beim Kraftarm, nicht jedoch beim Lastarm. Ein Grund dafür könnte sein, dass sich die Abbildungen in der Befragung zum Kraftarm in beiden Kontexten stärker ähneln als zum Lastarm. Beim Lastarm im Kontext Schubkarre befindet sich das Gewicht in der Schubkarre, während es beim Hebelmodell unter der Stange hängt. Die Griffe im Kontext Schubkarre bzw. die Stange im Kontext Hebelmodell sind sich jedoch ähnlicher.

Die Kontexte Schubkarre und Hebelmodell unterliegen einem gemeinsamen Funktionsprinzip, dem Hebelgesetz. Dies ist für 6- bis 7-Jährige jedoch nicht offensichtlich

zu erkennen. Daher ist anzunehmen, dass es den 6- bis 7-Jährigen schwieriger fällt, die Vorstellungen vom Kontext Schubkarre auf den Kontext Hebelmodell zu übertragen.

Intervention

Im Folgenden wird problematisiert, inwiefern die methodische Vorgehensweise in der Intervention einen Einfluss auf die Veränderung der Vorstellungen haben könnte. Dazu zählen: Ablauf und Dauer der Intervention, verwendete Gegenstände, Art und Einsatz von Bildern und verbalen Impulsen.

Ablauf und Dauer der Intervention

Kinder aller Experimentalgruppen arbeiteten in der Intervention zuerst zum Lastarm und anschließend zum Kraftarm. In der Interventionssequenz zum Lastarm unterschieden sich die drei Schubkarren ausschließlich in der Position des Steins in der Wanne. Alle drei Schubkarren besaßen die gleichen Griffhöhen (mittlere Griffe, vgl. Anhang A.3, S. 314), die den Kindern aus dem Alltag vertraut sein sollten. Letzteres könnten die Kinder als Hinweis angesehen haben, dass auch in der folgenden Interventionssequenz zum Kraftarm die Schubkarre mit dieser Griffhöhe diejenige ist, die mit dem geringsten Kraftaufwand angehoben werden kann. Gegen diese Annahme spricht jedoch, dass die 6- bis 7-Jährigen beim Aspekt Kraftarm nach der Intervention häufiger die Schubkarre mit den langen Griffen wählten.

In beiden Interventionssequenzen erhielten die Kinder zweimal die Möglichkeit, ihre Vorstellungen an den drei Schubkarren handelnd zu überprüfen. In den meisten lernpsychologischen Studien, in denen Vorstellungen zu Hebeln mithilfe Beobachtung oder Handlung verändert wurden, erhielten die Kinder häufiger als zweimal die Gelegenheit, ihre Vorstellungen zu überprüfen (z. B. Andrews et al., 2009; Day & Cordon, 1993; Halford et al., 2002; Krist et al., 2004; Schrauf et al., 2011; Siegler, 1976). Vermutlich steigt bei häufigerer Gegenevidenz die Wahrscheinlichkeit zur Veränderung der Vorstellungen. Denn Kinder benötigen meist mehr als einen Gegenbeweis, um ihre Vorstellung zu verändern (Duit, 1989).

Die Anzahl der Überprüfungsmöglichkeiten steht auch in Zusammenhang mit der Dauer der Intervention (jeweils ca. 10 Minuten pro Aspekt). Aufgrund dieser kurzen Zeitspanne sind die gefundenen kleinen und mittleren Effekte als vielversprechend zu bewerten. Bereits eine 10-minütige handlungsorientierte Intervention mit verbalen Impulsen reicht

bspw. aus, um bei 6- bis 7-Jährigen auch noch 4 Wochen nach der Intervention eine Veränderung von Vorstellungen zum Lastarm zu ermöglichen. Zukünftige Studien werden zeigen, inwiefern die häufigere Überprüfung der Vorstellung und damit einhergehend eine längere Intervention die Veränderung der Vorstellungen noch stärker anregen kann.

Gegenstand Schubkarre

Im Folgenden werden die in der Intervention verwendeten Spielzeugschubkarren in Bezug auf ihre Eignung, Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu verändern, diskutiert. Nach den Optimierungen der Schubkarren im Anschluss an die Prä-Pilotierung (vgl. Kapitel 18.3.2, S. 192) und Pilotierung (vgl. Kapitel 18.4.4, S. 203) der Intervention schienen diese für den handelnden Umgang von 6- bis 7-Jährigen geeignet. Bei den Schubkarren, die in der Interventionssequenz zum Kraftarm eingesetzt wurden, unterschieden sich nicht nur die Länge der Griffe, sondern auch die Höhe der Enden der Griffe vom Boden. Der Abstand des Endes der langen Griffe vom Boden war größer als der Abstand des Endes der kurzen und mittleren Griffe vom Boden. Die 6- bis 7-Jährigen mussten sich zum Anheben der Last in den Schubkarren mit kurzen und mittleren Griffen etwas bücken. Um die Last in der Schubkarre mit langen Griffen anzuheben, mussten sich die Kinder nicht bücken. Das könnte die Wahl der Schubkarre mit den langen Griffen nach der Intervention begünstigt haben.

Dass die Handlung an den Schubkarren in der Gruppe ‚Basisintervention‘ nicht ausreicht, um die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm zu verändern, könnte an den Schubkarren selbst liegen. Damit eine Veränderung von Vorstellungen möglich ist, sollte der Unterschied der aufzubringenden Kraft für die 6- bis 7-Jährigen wahrnehmbar sein (Schwelle, Lohrmann & Hartinger, 2015). Evtl. war die Differenz der aufzubringenden Kraft zwischen den drei Schubkarren in beiden Interventionssequenzen zu gering.

Art und Einsatz der Bilder

Inwiefern die Art und der Einsatz der darstellenden Bilder in der Intervention die intendierte Wirkung erzielen, wird im Folgenden aus methodischer Perspektive diskutiert.

Die darstellenden Bilder der Intervention (vgl. Abbildung 15, S. 198) entsprachen, abgesehen von der farblichen Gestaltung und der Form der Last, den Bildern der Items in der Prä-, Post- und Follow-Up Befragung. Somit waren den 6- bis 7-Jährigen die in den Interventionssequenzen verwendeten Bilder bereits bekannt. Einige Aspekte der Bilder

erwiesen sich als schwierig. Bspw. waren die Bilder in der Intervention nicht konsequent zweidimensional gestaltet. Die Ladung der Schubkarre zeigte einen dreidimensionalen Stein, während die anderen Teile der Schubkarre zweidimensional gestaltet waren. In allen Experimentalgruppen mit Bildern wurden die Bilder besprochen, jedoch fand mithilfe des Interventionsleiters keine angeleitete Übertragung von Lastarm und Kraftarm im Bild auf die Schubkarre und andersherum statt. Vielmehr wurde davon ausgegangen, dass 6- bis 7-Jährigen die duale Repräsentation (DeLoache, 2000; 1987; 1991) von alleine gelingt. Durch die zweifache Darbietung jedes Bildes, vor und hinter den Schubkarren, könnten Informationen zu häufig dargeboten worden sein. Dies könnte von der Aufgabe, die Schubkarren anzuheben und zu vergleichen, wie viel Kraft zum Anheben notwendig ist, abgelenkt haben (vgl. Kapitel 20.2, S. 234). Zudem kann nicht sicher gesagt werden, ob die intendierten Funktionen der darstellenden Bilder (u. a. Strukturierung und Übertragung der Vorstellungen) auch ihre beabsichtigte Wirkung bei den 6- bis 7-Jährigen erzeugten (Martschinke, 2001).

Art und Einsatz verbaler Impulse

Die verbalen Impulse in Kombination mit Handlung regen im Kontext Schubkarre beim Lastarm und Kraftarm eine Veränderung der Vorstellungen an. Untersucht wurde ein ‚Bündel‘ an Impulsen. Die vorliegende Studie kann nicht klären, inwiefern die einzelnen verbalen Impulse zu einer Veränderung von Vorstellungen beitragen. Aussagen können nur über das Bündel an verbalen Impulsen in Kombination mit Handlung an Schubkarren getroffen werden. Der Einsatz dieses ‚verbalen Impulsbündels‘ kann aus zwei Gründen als positiv bewertet werden. Zum einen erhöht die Verwendung verschiedener verbaler Impulse die ökologische Validität. Denn auch im Unterricht setzt eine Lehrperson nicht nur einen verbalen Impuls, sondern viele verschiedene. Zum anderen ermöglicht das ‚verbale Impulsbündel‘ in der kurzen Interventionszeit von 10 Minuten pro Aspekt eine Veränderung von Vorstellungen. Problematisch an den eingesetzten Impulsen sind jedoch folgende Aspekte: Bei den verbalen Impulsen handelt es sich um relativ kurze Sätze, die z. T. mehrfach wiederholt werden. Dies könnte als künstlich wahrgenommen werden. Zudem werden die verbalen Impulse statisch und nicht adaptiv eingesetzt. Dies entspricht weniger dem Vorgehen im Unterricht als der adaptive Einsatz von Scaffolds. Die Erforschung des Einflusses der hier verwendeten statischen Impulse kann jedoch gerechtfertigt werden, da bisher noch nicht untersucht wurde, welche Impulse in Kombination mit Handlung beim Themenbereich einseitiger Hebel überhaupt für eine

Veränderung von Vorstellungen in Betracht kommen. In einem zweiten Schritt kann dann der adaptive Einsatz dieser Impulse erforscht werden. In einer Unterrichtssequenz zu einseitigen Hebeln wäre zudem ein interaktiveres Gespräch zwischen Kindern und Lehrperson wünschenswert. Ob der statische Einsatz der verbalen Impulse neben der inhaltlich strukturierenden Funktion auch zum vertieften Nachdenken der Kinder geführt hat, lässt sich nur vermuten, da verbale Impulse Bildern überlegen scheinen.

Messinstrumente für die kognitiven und verbalen Fähigkeiten

Die Messinstrumente zur Erfassung der kognitiven und verbalen Fähigkeiten können als objektiv, reliabel und valide angesehen werden (vgl. Kapitel 15.5, S. 142). Der nicht vorhandene Zusammenhang zwischen kognitiven Fähigkeiten und der sehr geringe Einfluss der verbalen Fähigkeit auf die Veränderung der Vorstellungen kann daher als gegeben angesehen werden. In einer zukünftigen Untersuchung könnte anstelle der Einschätzung der verbalen Fähigkeiten von der Lehrperson ein standardisierter Sprachtest eingesetzt werden. Dieser würde eine präzisere Messung der verbalen Fähigkeiten und den Vergleich zu einer Normstichprobe ermöglichen.

Struktur der Daten und Wahl der Auswertungsmethode

Die Struktur der Daten von Studie II weist, ebenso wie die Daten von Studie I, eine Mehrebenenstruktur auf. 6- bis 7-jährige Schüler aus verschiedenen Klassen aus verschiedenen Schulen nahmen an einer Intervention unter verschiedenen Bedingungen bzw. in der Kontrollgruppe teil. Beim Design wurde jedoch darauf geachtet, Klasseneffekte zu minimieren, indem die 6- bis 7-Jährigen einer Klasse in Kleingruppen an verschiedenen Experimentalgruppen bzw. der Kontrollgruppe teilnahmen (vgl. Kapitel 18.1, S. 187). Daher und aufgrund der für Studie I bereits genannten Argumente gegen die Durchführung einer Mehrebenenanalyse (vgl. Kapitel 17.3.4, S. 183) wurde auch Studie II mithilfe klassischer statistischer Verfahren ausgewertet.

20.4 Anregungen für die Praxis

Im Folgenden werden Anregungen aus der vorliegenden Untersuchung für die nächsten Schritte in Richtung Entwicklung einer Unterrichtssequenz zum Thema einseitige Hebel dargestellt.

Eine Veränderung von Vorstellungen zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre ist möglich. Dazu sind keine langen Eins-zu-eins-Interventionen notwendig, sondern schon 10 Minuten pro Aspekt in einer Kleingruppe reichen aus. Die Verwendung des Kontexts Schubkarre besitzt gegenüber dem in der Entwicklungs- und Lernpsychologie häufig verwendeten Kontext Balkenwaage den Vorteil, dass zwischen Last, Kraft, Lastarm und Kraftarm differenziert werden kann. Zum Einstieg in das Thema Hebel wird empfohlen, den Kontext Balkenwaage zu verwenden (Lohrmann et al., 2013). Denn diese ermöglicht eine Reduzierung der Komplexität, indem nur die Dimensionen Gewicht und Abstand auf beiden Seiten der Balkenwaage relevant sind. Zugunsten der Komplexitätsreduktion gehen jedoch wichtige fachlich relevante Aspekte wie die Differenzierung des Abstands in Lastarm und Kraftarm verloren. Daher sollte im Unterricht entweder ein zweiseitiger Hebel, bei dem Lastarm und Kraftarm differenziert werden können (z. B. das Anheben eines Gegenstandes mit einem Brett wie bei einem Katapult), oder ein einseitiger Hebel (z. B. Schubkarre) thematisiert werden (Lohrmann et al., 2013). Die vorliegende Studie deutet jedoch darauf hin, dass schon 6- bis 7-Jährige bei direkter Thematisierung eines einseitigen Hebels im Kontext Schubkarre ihre Vorstellungen verändern können. Daher ist fraglich, ob die Einführung in das Thema Hebel mittels einer Balkenwaage notwendig oder überflüssig sein kann.

Die Auswahl der Art des Hebels (einseitig vs. zweiseitig) sollte auch vom Ziel der Unterrichtsreihe abhängig gemacht werden. Mögliche Ziele könnten sein, Vorstellungen über Gleichgewicht eines Hebels oder zum kraftsparenden Einsatz zu verändern. Geht es um die Erarbeitung von Vorstellungen über Gleichgewicht, eignet sich der zweiseitige Hebel Balkenwaage eher als der einseitige Hebel Schubkarre. Soll jedoch das Thema Kraftverstärkung thematisiert werden, scheint der Kontext Schubkarre geeigneter als die Balkenwaage. In der vorliegenden Studie war das Ziel, eine Interventionssequenz zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel zu gestalten. Daher bot sich der Kontext Schubkarre an.

Bzgl. der erprobten Unterstützungsformen kann für eine Unterrichtssequenz Folgendes zusammengefasst werden: Handlung am Gegenstand stellt eine gute Grundlage für eine Veränderung von Vorstellungen bei 6- bis 7-Jährigen dar, diese spricht die enaktive Wissensrepräsentation an (vgl. Bruner, 1972). Alleinige Handlung an Schubkarren reicht jedoch nicht aus. Daher sollten im Unterricht unbedingt zusätzliche verbale Impulse gegeben werden, um die Veränderung von Vorstellungen anzuregen. Bilder scheinen

zusätzlich zu verbalen Impulsen im Kontext Schubkarre nur bedingt zu einer Veränderung von Vorstellungen beizutragen. Schwelle, Lohrmann und Hartinger (2015) empfehlen für den Unterricht zum Thema Hebel in der dritten und vierten Jahrgangsstufe den Einsatz von logischen Bildern. Da jedoch gezeigt wurde, dass Kinder im Grundschulalter häufig noch Schwierigkeiten haben, diese zu verstehen (Martschinke & Einsiedler, 1994), sollte im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht bei 6- bis 7-Jährigen auf den Einsatz von logischen Bildern (vgl. Kapitel 9.1, S. 82) verzichtet werden. Bei dieser Altersgruppe eignen sich eher darstellende Bilder (Martschinke, 2001; Peeck, 1994).

Um 6- bis 7-Jährigen eine Übertragung der Vorstellungen auf neue Kontexte zu erleichtern, sollte der Unterricht mehrere Beispiele in verschiedenen Kontexten thematisieren (Gentner, Loewenstein & Thompson, 2004; Lohrmann et al., 2013). Aus diesen verschiedenen Kontexten könnten die strukturellen Ähnlichkeiten (Drehpunkt, Hebelarme, Last) zum Hebelgesetz erarbeitet werden. Studien geben erste Hinweise, dass der Vergleich von Hebeln in verschiedenen Kontexten das Erkennen des zugrunde liegenden Funktionsprinzips – Hebelgesetz – erleichtern und eine Übertragung auf andere Kontexte ermöglichen kann (Gentner et al., 2004; Lohrmann et al., 2013). Die vorliegende Studie zeigt jedoch auch, dass schon die Verwendung eines Kontexts in der Intervention eine Übertragung der Vorstellungen auf einen anderen Kontext ermöglicht, sofern 6- bis 7-Jährige während der Intervention durch verbale Impulse unterstützt werden.

21 Generelle Diskussion

Das vorliegende Kapitel dient der abschließenden Zusammenfassung und Bewertung der Ergebnisse von Studie I und II vor dem Hintergrund der Zielsetzung dieser Arbeit. Die generelle Diskussion ist in drei Teile gegliedert. Nachdem die Ergebnisse von Studie I und II nochmals zusammengefasst werden, werden die Limitationen der Arbeit berichtet. Abschließend wird auf Implikationen für zukünftige Forschung eingegangen. Dazu werden Optimierungsmöglichkeiten in Bezug auf die Erfassung und Veränderungen der Vorstellungen sowie weiterführende Fragestellungen aufgezeigt.

21.1 Zusammenfassung der Ergebnisse von Studie I und Studie II

In Studie I wurden erstmals Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu Last, Lastarm und Kraftarm bei einseitigen Hebeln in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel erfasst. Mithilfe der Hauptkomponentenanalyse konnten die Aspekte des Hebelgesetzes Last, Lastarm und Kraftarm empirisch als Wissens Elemente nachgewiesen werden. Im Kontext Schubkarre zeigen die 6- bis 7-Jährigen mehr korrekte Vorstellungen zur Last als zum Abstand (Lastarm, Kraftarm). Innerhalb der Dimension Abstand zeigen die Kinder mehr korrekte Vorstellungen zum Lastarm (Position des Steins in der Schubkarre) als zum Kraftarm (Länge der Griffe der Schubkarre). Eine Veränderung der Vorstellungen zum kraftsparenden Einsatz von Lastarm und Kraftarm wurde in Studie II untersucht. Eine handlungsorientierte Intervention im Kontext Schubkarre, in der die 6- bis 7-Jährigen, je nach Experimentalgruppe, weitere Unterstützung in Form von entweder verbalen Impulsen und Bildern, verbalen Impulsen allein oder Bildern allein erhielten, wurde implementiert. Eine Veränderung von Vorstellungen auch noch 4 Wochen nach der Intervention zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre ist insbesondere mithilfe der handlungsorientierten Intervention in Kombination mit verbalen Impulsen (und Bildern) möglich. Beim Kraftarm gelang den 6- bis 7-Jährigen unter dieser Art der Unterstützung eine Übertragung der Vorstellungen auf den neuen Kontext Hebelmodell, beim Lastarm jedoch nicht. Die kognitiven und verbalen Fähigkeiten der 6- bis 7-Jährigen hatten insgesamt betrachtet kaum Einfluss auf die Vorstellungen vor der Intervention oder die Veränderung der Vorstellungen mithilfe der Intervention.

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ist es, einen ersten Schritt zur Entwicklung von Unterrichtsequenzen zu einseitigen Hebeln für die Schuleingangsphase zu ermöglichen.

Mit der in Studie I entwickelten Befragung liegt erstmals ein objektives, reliables und valides Instrument vor, mit dem bildbasiert die Vorstellungen zu einseitigen Hebeln in Alltagskontexten bei Gruppen von 6- bis 7-Jährigen erfasst werden können. Die Befragung könnte im naturwissenschaftlichen Anfangsunterricht von einer Lehrperson eingesetzt werden, um die bereits vorhandenen Vorstellungen der Kinder zu erfassen und darauf aufbauend Unterricht zu gestalten. Studie II untersucht die Art der Unterstützung, die für eine Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm hilfreich sein könnte. Die handlungsorientierte Intervention in Kombination mit verbalen Impulsen scheint die 6- bis 7-Jährigen beim Lastarm und Kraftarm in der ZPD zu unterstützen und beim Kraftarm in Ansätzen eine Übertragung der Vorstellungen auf einen neuen Kontext zu ermöglichen. Trotz des Beitrags, den die vorliegende Arbeit zur Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Unterrichts zu einseitigen Hebeln macht, unterliegt sie auch bestimmten Limitationen in Bezug auf ihre Aussagekraft.

21.2 Limitationen

Im Folgenden wird die Aussagekraft der vorliegenden Arbeit diskutiert. Die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln wurden systematisch erfasst und gefördert. Dies geschah ökologisch valider als in vielen entwicklungs- und lernpsychologischen Studien zuvor, stellt allerdings nur den ersten Schritt in Richtung einer Entwicklung von Unterricht zum Themenbereich einseitiger Hebel dar. Die Limitationen der vorliegenden Arbeit betreffen u. a. den Befragungskontext, die Stichprobe, die Art der Erfassung und die Art der Intervention.

Die Kontexte, in denen die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger in der Hauptuntersuchung von Studie I und II erfasst wurden, waren Schubkarre, Schraubenschlüssel und Hebelmodell. Da in der vorliegenden Dissertation davon ausgegangen wird, dass 6- bis 7-Jährige nur beiläufig und punktuell Erfahrungen zu Hebeln sammeln und daher wenig Gelegenheit haben, ihr Wissen integriert und kohärent zu organisieren, wird bei der Interpretation der Befunde auf den Fragmentierungsansatz (diSessa, 1983; 1988; diSessa et al., 2004) fokussiert. Dies bedeutet, dass die Aussagekraft der Studie auf die untersuchten Kontexte Schubkarre, Schraubenschlüssel und Hebelmodell beschränkt ist. Soll Kenntnis über die

Vorstellungen und Veränderung von Vorstellungen zu einseitigen Hebeln, z. B. im Kontext Flaschenöffner, erhalten werden, muss eine Befragung unter Verwendung dieses Kontextes stattfinden. Diese könnte Hinweise liefern, ob das Wissen 6- bis 7-Jähriger zu einseitigen Hebeln tatsächlich fragmentiert und kontextabhängig (diSessa, 1983; 1988; diSessa et al., 2004) oder theorieähnlich und über verschiedene Kontexte kohärent organisiert ist (Chi, 2008; Vosniadou, 1994; Vosniadou & Brewer, 1992; Vosniadou et al., 2008).

Die Stichprobe zur Erfassung der Vorstellungen in Studie I bilden 6- bis 7-Jährige aus dem Stadtgebiet Münster. Welche Vorstellungen jüngere oder ältere Kinder zu einseitigen Hebeln zeigen, untersucht die vorliegende Arbeit nicht.

Bisherige Forschung hat außerdem gezeigt, dass Alltagserfahrungen beim Aufbau naturwissenschaftlicher Wissens Elemente eine wichtige Rolle spielen (diSessa, 1988; Duit & Häußler, 1997; Wandersee et al., 1994). Inwiefern sich die Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger, die in einem ländlicheren oder städtischeren Umfeld wohnen, von den Kindern der vorliegenden Stichprobe unterscheiden, bleibt ebenfalls offen. Evtl. ermöglicht ein ländlicheres Umfeld eher Erfahrungen mit Schubkarren als das Aufwachsen in einer städtischen Umgebung.

Die gezeigten Vorstellungen bleiben auf die Art der Erfassung beschränkt. Die Vorstellungen zu einseitigen Hebeln wurden vor und nach der Intervention bildbasiert in Kleingruppen erfasst. Bei der Erfassung in Kleingruppen anstelle von Eins-zu-eins-Situationen handelt es sich mit dem Fernziel der Entwicklung von Unterricht zwar um ein ökologisch valideres Vorgehen, jedoch geht dieses Vorgehen auch mit Nachteilen einher. Bspw. ist davon auszugehen, dass einige 6- bis 7-Jährige die Items weniger konzentriert bearbeiteten als in Eins-zu-eins-Situationen. Dies könnte dazu geführt haben, dass weniger korrekte Vorstellungen gezeigt werden, als evtl. tatsächlich vorhanden sind. Darüber hinaus kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl der Antwortalternativen die Vorstellungen beeinflusst hat. Zudem ist im Unterricht die Erfassung von Vorstellungen in Kleingruppen von ca. 8 Kindern zwar wünschenswert, aber aufgrund der Anwesenheit fast immer nur einer Lehrperson muss davon ausgegangen werden, dass alle Kinder einer Schulklasse gleichzeitig die Aufgaben bearbeiten.

Die Ergebnisse aus Studie II gelten nur für eine Veränderung von Vorstellungen mithilfe einer handlungsorientierten Intervention im Kontext Schubkarre in Kombination mit verbalen Impulsen, darstellenden Bildern oder beidem. Ob die Verwendung von anderen

Gegenständen, anderen Bildern (z. B. logische Bilder) oder eine Auswahl und Kombination anderer verbaler Impulse ebenfalls zu einer Veränderung der Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm führt, kann mit der vorliegenden Studie nicht geklärt werden. Interessant wäre auch zu untersuchen, ob ein in geringerem Ausmaß statischer, sondern adaptiver Einsatz der verwendeten Hilfestellungen, zu einer stärkeren Veränderung der Vorstellungen führen würde.

Trotz dieser Limitationen trägt die vorliegende Arbeit einen wichtigen Schritt zur Entwicklung naturwissenschaftlichen Unterrichts zum Thema einseitiger Hebel bei. Erstmals wurden entwicklungs- und lernpsychologische Befunde aufgegriffen und genutzt, um eine Befragung zu einseitigen Hebeln für Gruppen von 6- bis 7-Jährigen zu gestalten, die systematisch die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm untersucht. Darüber hinaus fand eine Veränderung der Vorstellungen im ökologisch valideren Gruppenkontext mithilfe verschiedener Arten der Unterstützung in der ZPD der Kinder statt. Aus den Ergebnissen und Limitationen der vorliegenden Studie ergeben sich Implikationen für zukünftige Forschung. Diese betreffen die Optimierung der Befragung und weiterführende Fragestellungen.

21.3 Implikationen für zukünftige Forschung – Optimierungsmöglichkeiten und Ausblick

Aus der vorliegenden Arbeit ergeben sich Anregungen für eine Optimierung in Bezug auf die Erfassung der Vorstellungen und die Veränderung der Vorstellungen mithilfe der Intervention. Darüber hinaus werden weiterführende Fragestellungen eröffnet, die in künftigen Studien erforscht werden sollten.

21.3.1 Optimierungen bzgl. der Erfassung der Vorstellungen

In Bezug auf die Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel bleibt offen, wie viel Erfahrung 6- bis 7-Jährige in ihrem Alltag zu diesen Kontexten bereits gesammelt haben. Daher sollten die Kinder in zukünftigen Untersuchungen befragt werden, ob ihnen beide Gegenstände aus ihrem Alltag vertraut sind und wie oft sie deren Einsatz beobachtet bzw. die Gegenstände selbst verwendet haben. Dazu könnte ein Fragebogen eingesetzt werden. In der Auswertung könnte geprüft werden, ob Art und Umfang der Erfahrung in Zusammenhang mit den Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger in beiden Kontexten stehen.

Darüber hinaus wäre interessant zu prüfen, welche Wissens Elemente und dazugehörigen Vorstellungen 6- bis 7-Jährige über einen einseitigen Hebel zeigen, der ihnen nicht aus ihrem Alltag bekannt ist. Dazu könnte der Kontext Hebelmodell aus der Follow-Up Befragung bereits vor der Intervention in die Befragung aufgenommen werden.

In Studie I wurden Vorstellungen zum Kraftarm in zwei verschiedenen Kontexten, Schubkarre und Schraubenschlüssel, erhoben. Items zu beiden Kontexten unterschieden sich in Art, Aufbau und Anzahl. Daher sind die erfassten Vorstellungen in beiden Kontexten nur bedingt vergleichbar. Um zu untersuchen, ob die Vorstellungen zur Last, zum Lastarm und zum Kraftarm tatsächlich vom Befragungskontext abhängen, könnten Items gestaltet werden, die in Art, Aufbau und Anzahl der Antwortoptionen identisch sind und sich nur im Kontext unterscheiden. Sowohl im Kontext Schubkarre als auch im Kontext Schraubenschlüssel könnten Items zum Kraftarm derart gestaltet werden, dass die Kinder eine von drei Schubkarren bzw. Schraubenschlüsseln mit unterschiedlich langen Griffen auswählen. Alternativ bietet sich auch der Vergleich der Kontexte Schubkarre und Sackkarre sowie Schraubenschlüssel und Flaschenöffner an, da sich die jeweiligen Kontextpaare in ihrem Aufbau ähnlicher sind als Schubkarre und Schraubenschlüssel. Beim Vergleich verschiedener Kontexte eines Hebels ist darauf zu achten, nur Aussagen über den Einfluss des Kontexts machen zu können, wenn Items in Art, Aufbau und Anzahl analog gestaltet sind.

In Bezug auf die Gestaltung der Items können weitere Verbesserungsvorschläge folgendermaßen aussehen: Um die Präferenz für die Wahl der mittleren Antwortoption (z. B. mittlere Position der Last, mittellange Griffen) nicht durch die Art der Antwortoptionen zu fördern, könnten die Items anders gestaltet werden. Eine gerade Anzahl von Antwortalternativen, bspw. vier, könnte die Tendenz, die mittlere Antwortkategorie bei Items zur Dimension Abstand zu wählen, unterbinden (vgl. Bortz & Döring, 2006). Die Kinder müssten eine Entscheidung treffen, ob sie bspw. beim Kraftarm im Kontext Schubkarre eher längere Griffen oder kürzere Griffen wählen. Gleichzeitig senkt die Erhöhung der Antwortmöglichkeiten auf vier die Wahrscheinlichkeit, durch Raten eine korrekte Antwort zu wählen. Zudem könnte beim Kraftarm darauf geachtet werden, dass keine der vier Antwortoptionen bzgl. der Grifflänge den Proportionen einer echten Schubkarre entspricht.

Die 6- bis 7-Jährigen sahen bei den Items der Befragung (vgl. Anhang A.1.2, S. 306) insgesamt sehr häufig eine Schubkarre mit mittellangen Griffen. Alle Items zur Last und

zum Lastarm zeigten jeweils drei Schubkarren mit mittlerem Kraftarm. Das bedeutet, die Grifflänge wurde zwischen den Items zur Last und zum Lastarm nicht variiert. Nur bei den vier Items zum Kraftarm wurde die Länge der Griffe innerhalb jedes Items variiert. Dies könnte dazu geführt haben, dass die 6- bis 7-Jährigen allein durch das Bearbeiten der Items zur Last und zum Lastarm die Annahme bildeten, dass die mittellangen Griffe das Anheben einer Schubkarre erleichtern. In einer zukünftigen Befragung sollte daher darauf geachtet werden, dass zwischen den einzelnen Items zur Last und zum Lastarm die Länge der Griffe variiert werden.

In einer zukünftigen Befragung könnte die Itemanzahl für die verschiedenen Aspekte erhöht werden. Insbesondere im Kontext Schraubenschlüssel sollten mehr als zwei und, wie im Kontext Schubkarre, mindestens vier Items eingesetzt werden. Dies könnte zudem die Reliabilität der Items im Kontext Schraubenschlüssel steigern (Bühner, 2011).

Studien im Kontext Balkenwaage operationalisieren das Gewicht über die unterschiedliche Anzahl an Metallscheiben (z. B. Siegler, 1976). Im Kontext Schubkarre wurde das Gewicht über unterschiedlich große Lasten dargestellt. Kinder bis 7 Jahre sehen Größe und Gewicht als korreliert an. Mit 8 Jahren wird begonnen, auch die Dichte zu berücksichtigen (Smith et al., 1985). Falls die Befragung mit den vorliegenden verwendeten Items mit älteren Kindern ab 8 Jahren durchgeführt werden, sollte die Last über die Anzahl und nicht die Größe operationalisiert werden.

Die drei Abbildungen der Schubkarren eines Items könnten optimiert werden, indem die Darstellung konsequent eindimensional gewählt wird. Die Abbildungen der Schubkarren selbst sind zweidimensional gestaltet, während die Ladung der Schubkarren bei allen Abbildungen dreidimensional ist. Da eine Kombination von zweidimensionalen und dreidimensionalen Aspekten in der Abbildung über die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm konstant gehalten wurde, kann nicht davon ausgegangen werden, dass dies die Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen beeinflusst hat. Dennoch sollte in einer zukünftigen Studie die Dimensionalität innerhalb einer Abbildung konstant gehalten werden.

Um den 6- bis 7-Jährigen nach der Intervention die Übertragung der Vorstellungen auf einen anderen Kontext zu erleichtern, könnten neben dem Kontext Hebelmodell Kontexte gewählt werden, die dem der Schubkarre ähnlicher sind. Dazu bietet sich bspw. der Kontext Sackkarre an.

Neben diesen Optimierungen in Bezug auf die Erfassung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln können aus der vorliegenden Studie auch Optimierungen in Bezug auf die Veränderung der Vorstellungen mithilfe der Intervention abgeleitet werden.

21.3.2 Optimierungen bzgl. der Veränderung der Vorstellungen

Optimierungsmöglichkeiten bzgl. der Veränderung von Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm betreffen sowohl das Design, den Ablauf der Intervention als auch die verschiedenen Arten der Unterstützung.

Design

Das Design von Studie II ließe sich in Bezug auf die Untersuchung der Nachhaltigkeit der Veränderung der Vorstellungen dahingehend verbessern, dass die Follow-Up Befragung zu einem späteren Zeitpunkt, z. B. 3 oder 6 Monate nach der Intervention, durchgeführt wird. Auf diese Weise könnte untersucht werden, ob sich die Veränderungen der Vorstellungen, z. B. zum Kraftarm, auch noch längerfristiger als 4 Wochen nach der Intervention zeigen. Auch könnten in einer Folgestudie zunächst mehr 6- bis 7-Jährige befragt werden, sodass trotz Ausschluss von Kindern von der Untersuchung durch verschiedene wichtige Gründe der optimale Stichprobenumfang erreicht wird. Damit einhergehend würde die Power der Signifikanztests steigen (Bortz & Döring, 2006; Bortz & Schuster, 2010).

Ablauf der Intervention

Bzgl. des Ablaufs der Intervention könnte die Interventionszeit von insgesamt 20 Minuten (10 Minuten pro Sequenz) ausgedehnt werden. Dies würde z. B. die Möglichkeit eröffnen, die Kinder häufiger an den Schubkarren handeln zu lassen, ausführlichere verbale Impulse zu geben und die darstellenden Bilder stärker zu thematisieren. Eine Verlängerung der Interventionszeit würde auch die Möglichkeit bieten, mehrere Kontexte in der Intervention zu betrachten. Unabhängig vom Kontext sollte bei den verwendeten Gegenständen darauf geachtet werden, dass die Unterschiede in der aufzubringenden Kraft zwischen den verschiedenen Situationen möglichst groß sind. Dies würde Kindern, z. B. im Kontext Schubkarre, ermöglichen, eindeutiger zu spüren, bei welcher Position des Steins in der Schubkarre ihnen das Anheben am leichtesten fällt. In zukünftigen Studien sollten die Kinder zudem angehalten werden, ihre Vermutungen zu notieren, sodass sie nach dem Handeln am Material eine Gedächtnisstütze haben, was ihre Vermutung war, um diese anschließend mit ihren Erkenntnissen vergleichen zu können. Neben dem Ablauf der

Intervention könnten auch in Bezug auf die gegebenen Impulse während der Intervention Optimierungen vorgenommen werden.

Darstellende Bilder

Bei der Veränderung von Vorstellungen mithilfe von Bildern besteht die Gefahr, dass die intendierte Funktion der Bilder nicht die beabsichtigte Wirkung beim Rezipienten erzielt (Martschinke, 2001). Bspw. wurde angenommen (vgl. Kapitel 14.3, S. 119), dass die darstellenden Bilder der Intervention bei der Übertragung der Vorstellungen vom Gegenstand in der Intervention auf die anschließende Befragung helfen. Um zu prüfen, ob die in der Intervention verwendeten Bilder tatsächlich bei der Übertragung helfen, könnten die 6- bis 7-Jährigen dazu befragt werden. Ein ähnliches Vorgehen wurde bereits in anderen Studien gewählt (z. B. Segers et al., 2008). Wie oben schon für die Bilder der Befragung diskutiert, könnten auch die Bilder der Intervention konsequent zweidimensional gestaltet werden. Zudem könnten Last, Lastarm und Kraftarm stärker farblich hervorgehoben werden (Cueing vgl. Dwyer, 1978; Martschinke, 2001). Zudem könnte in zukünftigen Studien der Einfluss der Position des Bildes (vor vs. hinter den Schubkarren oder sowohl als auch) untersucht werden. Evtl. gelänge eine Veränderung der Vorstellungen mithilfe der Bilder besser, wenn die Bilder ausschließlich vor den Schubkarren angeordnet wären. Auf diese Weise könnten sich die 6- bis 7-Jährigen evtl. eher auf das Anheben der Schubkarren konzentrieren und weniger Aufmerksamkeitskapazität würde durch die Betrachtung der Bilder während des Anhebens belegt.

Verbale Impulse

Auch bzgl. der eingesetzten verbalen Impulse könnten Optimierungen vorgenommen werden. Bspw. könnte darauf geachtet werden, dass jedes Kind während der Intervention seine Vermutung äußert, bei welcher Schubkarre es ihm leichter fällt, sie anzuheben. Da die Interventionszeit in Studie II sehr kurz war, hatten nicht alle Kinder die Möglichkeit, ihre Vermutungen zu äußern. Im Anschluss daran böte es sich an, die Äußerungen der Kinder während der Intervention zu transkribieren und bei der Auswertung ebenfalls zu berücksichtigen. Bspw. könnten die in der Intervention geäußerten Begründungen transkribiert, den Kindern zugeordnet und mit der Wissensentwicklung verglichen werden.

Auch könnte in einer Folgestudie überlegt werden, in den Gruppen ‚Basisintervention‘ und ‚Bilder‘ das private Sprechen und das damit einhergehende Denken und Problemlösen (Vygotsky, 1962) nicht durch die Instruktion „Sage es nicht laut!“ zu unterdrücken. Vielmehr sollten auch die Kinder in diesen beiden Bedingungen ihre Vermutungen laut äußern, jedoch keine weiteren verbalen Impulse wie z. B. Zusammenfassungen oder das Einfordern von Begründungen erhalten.

Neben den vorausgehend dargestellten Optimierungsmöglichkeiten ergeben sich aus der vorliegenden Studie auch weiterführende Fragestellungen, die in zukünftiger Forschung beantwortet werden könnten.

21.3.3 Weiterführende Fragestellungen

Aus den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit ergeben sich weiterführende Fragestellungen. Die Beantwortung dieser würde weitere Informationen liefern, die wichtige Erkenntnisse für die Entwicklung einer Unterrichtsreihe zum Thema einseitiger Hebel in der Schuleingangsphase liefern könnten.

In Bezug auf die methodischen Aspekte der Befragung zu einseitigen Hebeln ergeben sich folgende weiterführende Fragestellungen.

Hat der Wortlaut der Frage, wenn z. B. nicht nach der Länge der Griffe, sondern nach der Position, an der diese angefasst werden sollen, einen Einfluss auf die Vorstellungen zu einseitigen Hebeln? Zur Untersuchung, ob die Art der Fragestellung einen Einfluss auf das Antwortverhalten der 6- bis 7-Jährigen hat, könnten beide Fragearten sowohl im Kontext Schubkarre als auch im Kontext Schraubenschlüssel eingesetzt werden.

Gelingt es 6- bis 7-Jährigen beim einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre, die Dimensionen Gewicht und Abstand gleichzeitig zu berücksichtigen? In der Befragung wurde innerhalb jedes Items nur ein Aspekt variiert. Somit unterschieden sich die drei Antwortoptionen bei Items zur Last ausschließlich in der Größe der Last und bei Items zum Lastarm ausschließlich in der Position etc. Ab wann es Kindern und Erwachsenen gelingt, Gewicht und Abstand multiplikativ zu verknüpfen, scheint bei dem in der Entwicklungs- und Lernpsychologie häufig verwendeten Kontext Balkenwaage von der Erhebungs- und Auswertungsmethode abzuhängen. Bei einem einseitigen Hebel, z. B. der Schubkarre, wurde bisher noch nicht untersucht, ob 6- bis 7-Jährige Last, Lastarm und Kraftarm kombinieren können, wenn zwei Aspekte gleichzeitig variiert werden. Die

Aufgabenstellung könnte wieder sein, die Schubkarre auszuwählen, bei der es den Kindern am leichtesten fällt, die Last zu transportieren. In Abbildung 21 sind Beispiele für drei mögliche Items dargestellt. Bei dem Item in Abbildung 21a werden Lastarm und Kraftarm variiert. Eine Schubkarre, bei der die Last in der Mitte der Wanne steht und deren Griffe mittellang sind, ist leichter anzuheben als eine Schubkarre, bei der der Stein hinten in der Wanne steht und die kurze Griffe hat. Jedoch ist eine Schubkarre, bei der die Last vorne in der Wanne steht und die lange Griffe hat, noch einfacher anzuheben als erstere. Die korrekte Antwort wäre daher die untere Schubkarre in Abbildung 21a. In Abbildung 21b ist die mittlere Schubkarre am leichtesten anzuheben und in Abbildung 21c die untere Schubkarre.

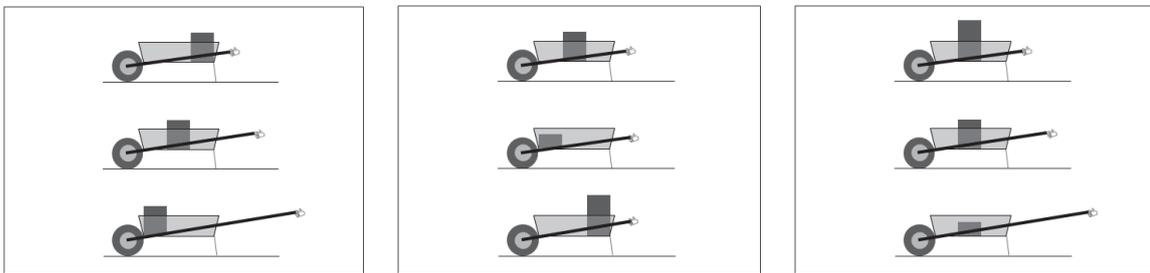


Abbildung 21a,b,c. Item-Entwürfe im Kontext Schubkarre, bei denen innerhalb eines Items jeweils zwei Aspekte variiert werden. Beim linken Item werden Kraftarm und Lastarm variiert, beim mittleren Item Last und Lastarm, beim rechten Item Last und Kraftarm

Die Kombination von zwei Aspekten des Hebelgesetzes scheint für den Alltag von Bedeutung, denn nur durch die Kombination von Last und Lastarm sowie Kraft und Kraftarm kann größtmögliche Kraft eingespart werden. Die vorliegende Studie zeigt, dass die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm eines einseitigen Hebels mithilfe der Intervention verändert werden können. Spannend ist die Frage, ob Kinder in der Follow-Up Befragung ihre korrekten Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm, Last und Lastarm oder Last und Kraftarm kombinieren könnten oder ob ein Aspekt für die Entscheidung, welche Schubkarre leichter anzuheben ist, dominiert. In Bezug auf die Aspekte der Intervention ergeben sich ebenfalls weiterführende Fragestellungen.

Welcher Impuls der Intervention trägt wie viel zur Veränderung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln bei? Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass das Bündel an eingesetzten verbalen Impulsen (z. B. Fragen, aufmerksamkeitslenkende Hinweise, Einforderungen von Begründungen) für eine Veränderung von Vorstellungen hilfreicher ist als die darstellenden Bilder. Ungeklärt ist aber, welcher Impuls wie viel zur Veränderung der Vorstellungen beiträgt. Daher könnten in einer zukünftigen Studie die einzelnen

verbalen Impulse, die die handlungsorientierte Intervention begleiten, miteinander verglichen werden. Darüber hinaus ist die Frage spannend, ob die verbalen Impulse, wenn sie stärker adaptiv eingesetzt würden, die Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen zu Lastarm und Kraftarm stärker bzw. nachhaltiger verändern könnten.

Hat die Anzahl der Kinder, die an der Intervention teilnehmen, und die Dauer der Intervention einen Einfluss auf die Veränderung der Vorstellungen? Um dem Unterrichtsgeschehen in einer zukünftigen Studie einen Schritt näherzukommen, könnte die Intervention zu einseitigen Hebeln in Gruppengrößen, die einer Schulklasse entsprechen (z. B. 28 Kinder), und nicht in Kleingruppen von ca. 8 Kindern durchgeführt werden. Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm längerfristig verändert werden können, wenn die Interventionssequenzen mehr als 10 Minuten betragen.

In Bezug auf die individuell verschiedenen Vorstellungen der 6- bis 7-Jährigen vor der Intervention ergeben sich folgende Fragestellungen:

Profitieren 6- bis 7-Jährige mit unterschiedlichen Vorstellungen vor der Intervention von den verschiedenen Impulsen während der Intervention in unterschiedlichem Ausmaß? Unterscheidet sich die Veränderung der Vorstellungen zu einseitigen Hebeln bei 6- bis 7-Jährigen innerhalb einer Interventionsgruppe, je nachdem, ob die Kinder vor der Intervention bereits viele Items korrekt lösen („Könnern“) oder wenige („Nicht Könnern“)? Dazu müssten vor und nach der Intervention die Vorstellungen pro Aspekt mit einer größeren Anzahl an Items mit unterschiedlichem Schwierigkeitsniveau erhoben und die 6- bis 7-Jährigen den Gruppen „Könnern“ und „Nicht Könnern“ zugewiesen werden. Die Itemschwierigkeiten für einen Aspekt sollten dabei derart gewählt werden, dass vor der Intervention die Kinder der Gruppe „Könnern“ nicht bereits alle Items lösen können.

Auch in Bezug auf den Einsatz einer größeren Methodenvielfalt ergeben sich weiterführende Fragestellungen:

Die vorliegende Studie ermöglicht die quantitative Erfassung der Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zu den Wissens-elementen Last, Lastarm und Kraftarm in verschiedenen Kontexten. Um einen umfassenderen Einblick in die Vorstellungen zu Hebeln bei Kindern dieser Altersgruppe zu erhalten, bietet sich in zukünftigen Studien eine Methodentriangulation, z. B. durch ein Mixed-Method-Design, an. Neben der quantitativen

Beantwortung von Paper-Pencil-Items könnten mit den Kindern halbstandardisierte qualitative Interviews geführt werden. Mithilfe dieser könnte vor, während und nach einer Intervention die Begründung der Kinder für die Wahl einer Antwortalternative erfasst werden. Dies würde einen tieferen Einblick in die Vorstellungen der Kinder zu den Wissensselementen ermöglichen. Erste Einblicke in die genannten Begründungen während der Intervention in der Hauptuntersuchung von Studie II deuten darauf hin, dass die genannten Begründungen für die Wahl der korrekten Antwortalternative nicht mit den wissenschaftlich korrekten Vorstellungen über das Hebelgesetz übereinstimmen. Somit wählen einige Kinder zwar die korrekte Antwortalternative, können die Wahl aber nicht korrekt begründen.

Auch könnte zukünftige Forschung untersuchen, ob sich die Befragung zu einseitigen Hebeln zur Beurteilung der Wissensselemente und Vorstellungen während einer längeren Unterrichtsreihe i. S. eines *formativen Assessments* (Bell & Cowie, 2001) eignet. Wird während einer Unterrichtssequenz laufend die Veränderung der Vorstellungen erhoben und rückgemeldet, kann zum einen die Lehrperson ihre Unterstützung adaptiv an die jeweilige ZPD der Lernenden (vgl. Kapitel 7.1, S. 59) anpassen. Zum anderen erhalten auch die Lernenden die Möglichkeit, die Veränderung ihrer Vorstellungen zu überprüfen. Insgesamt könnte durch diese Rückkopplung die Veränderung von Vorstellungen, evtl. auch zum einseitigen Hebel, verbessert werden (Bell & Cowie, 2001).

22 Fazit

Ziel der Dissertation ist es, einen ersten Schritt zur Entwicklung eines naturwissenschaftlichen Anfangsunterrichts zum kraftsparenden Einsatz einseitiger Hebel zu machen. Dazu sollen entwicklungs- und lernpsychologische Erkenntnisse sowie naturwissenschaftlich-didaktische Überlegungen genutzt werden. Im letzten Kapitel dieser Arbeit wird abschließend reflektiert, welchen tatsächlichen Nutzen diese Arbeit für die zukünftige Entwicklung eines Unterrichts zum Thema einseitiger Hebel bei 6- bis 7-Jährigen ergeben hat.

Angewandte Forschung profitiert von Laborstudien und Laborstudien profitieren von angewandter Forschung (Klahr & Li, 2005). Die vorliegende Studie baut auf Befunden aus Laborstudien (z. B. Siegler, 1976; 1978) auf und erweitert sie in einem ökologisch valideren Gruppen-Setting, das stärker dem Unterrichtskontext entspricht. Das in der vorliegenden Studie gewählte Setting unterscheidet sich in verschiedenen Aspekten von einer Laborstudie. Zum einen ist eine saubere Bedingungskontrolle im Klassenraum im Gegensatz zum Labor nicht möglich (Helmke, 2009). Zum anderen kann angenommen werden, dass die 6- bis 7-Jährigen durch das Bearbeiten der Aufgaben in Gruppen weniger konzentriert waren als in Eins-zu-eins-Situationen. Das gewählte Setting in Teilgruppen einer Schulklasse besitzt jedoch eine höhere ökologische Validität (Helmke, 2009; Klahr & Li, 2005). Zwar werden auch aus Erkenntnissen der Laborstudien Hinweise für die Entwicklung von Unterricht entnommen, jedoch ist die Ableitung von Empfehlungen für die Unterrichtspraxis aus quasi-experimentellen Designs im Schulklassenkontext – wie dem der vorliegenden Studie – legitimer (Einsiedler & Hardy, 2010). Um ein ökologisch valideres Abbild der Wissens Elemente und Vorstellungen zu erhalten, von denen ausgehend später Unterricht gestaltet werden soll, geht die empirische Forschung, wie auch Studie I und Studie II, daher zunehmend in die Schule (Helmke, 2009).

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, entwicklungs- und lernpsychologische Befunde zu erweitern, sodass diese für die Entwicklung von naturwissenschaftlichem Unterricht zu einseitigen Hebeln nutzbar gemacht werden können. Dieses Ziel wurde in Anbetracht folgender Punkte erreicht:

Die gewählten Kontexte, insbesondere der Kontext Schubkarre, ermöglichen die fachdidaktisch wichtige Differenzierung der Abstandsdimension in Lastarm und Kraftarm.

Diese Differenzierung ist bei der in der entwicklungs- und lernpsychologischen Forschung häufig verwendeten Balkenwaage nicht möglich. Mithilfe dieser Differenzierung wird gezeigt, dass sich Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jähriger zur Abstandsdimension bei einem einseitigen Hebel im Kontext Schubkarre unterscheiden. Darüber hinaus bietet der Kontext Schubkarre Kindern die Möglichkeit, das Hebelgesetz selbst zu erfahren, indem direkt an der Schubkarre gehandelt wird. Dieser Aspekt ist wichtig in Bezug auf die Veränderung der Vorstellungen in einer Intervention bzw. im Unterricht. Die Erfassung und Veränderung der Vorstellungen in Gruppen 6- bis 7-Jähriger bietet darüber hinaus eine höhere ökologische Validität (Helmke, 2009; Klahr & Li, 2005). Die Ergebnisse lassen sich eher auf Unterrichtssituationen übertragen als Ergebnisse aus Eins-zu-eins-Untersuchungen.

Eine wichtige Erkenntnis der vorliegenden Arbeit in Bezug auf die zukünftige Entwicklung von Unterricht ist, dass die Vorstellungen zu Lastarm und Kraftarm bei 6- bis 7-Jährigen mithilfe einer kurzen Intervention längerfristig (4 Wochen nach der Intervention) verändert werden können. Handlungen an Gegenständen in Kombination mit verbalen Impulsen oder zusätzlichen Bildern erweisen sich als hilfreich. Eine Übertragung auf einen unbekanntem Kontext gelingt 6- bis 7-Jährigen in Ansätzen beim Kraftarm. Daher sollten bei der Entwicklung von Unterricht zu einseitigen Hebeln mehrere Kontexte thematisiert werden. Dies könnte 6- bis 7-Jährigen die Übertragung auf einen anderen Kontext erleichtern.

Die Befunde der vorliegenden Dissertation können für Unterrichtsentwicklung und weitere Forschungsprojekte im Rahmen der Didaktischen Rekonstruktion genutzt werden (Kattmann, 2007). Die Didaktische Rekonstruktion bezieht drei Aufgaben naturwissenschaftlicher Forschung rekursiv aufeinander: Erfassung von Lernerperspektive, fachliche Klärung und die Didaktische Strukturierung. Die vorliegende Arbeit hat dabei einen ersten Beitrag zur Erfassung der Lernerperspektive geleistet. Sie zeigt, welche Wissens Elemente und Vorstellungen 6- bis 7-Jährige zu einseitigen Hebeln mitbringen und dass die korrekten Vorstellungen mithilfe bestimmter Impulse gefördert werden können. In einer fachlichen Klärung sollten fachwissenschaftliche Aussagen zum Hebelgesetz, fachliche Theorien wie die Regeldiagnose (Siegler, 1976; 1978), Begriffe wie Last, Lastarm und Kraftarm sowie häufig verwendete Methoden und Termini systematisch und kritisch untersucht werden. Ausgehend von der Lernerperspektive und einer fachlichen Klärung kann mit einer Didaktischen Strukturierung begonnen werden. Diese beschreibt

den Planungsprozess für den Unterricht, welcher auf Grundlage und in Wechselbeziehung zwischen fachlicher Klärung und Erhebung der Lernerperspektive erfolgt (Kattmann, 2007).

Das Thema Hebel ist im Lehrplan für das Fach Sachunterricht verankert (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2008). Deren Thematisierung lässt sich dem Bereich ‚Technik und Arbeitswelt‘ zuordnen. Bspw. wird dort im Schwerpunkt ‚Werkzeuge und Materialien‘ als Kompetenz am Ende der zweiten Jahrgangsstufe gefordert, dass Kinder Werkzeuge sachgerecht benutzen und die Funktion einfacher mechanischer Alltagsgegenstände beschreiben können. Diese Kompetenz kann über die Thematisierung einseitiger Hebel, z. B. in den Kontexten Schubkarre oder Schraubenschlüssel, erworben werden. Diese Gegenstände knüpfen an die Lebenswelt der Kinder an und besitzen dadurch, dass mit ihnen Kraft gespart und somit der Alltag erleichtert werden kann, praktische Relevanz.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass mit der vorliegenden Arbeit ein erster Schritt unternommen wurde, entwicklungs- und lernpsychologische Befunde zu Hebeln mit einer stärker fachdidaktisch orientierten Sichtweise zu ergänzen. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um aufbauend auf diesen Befunden einen Unterricht für die Schuleingangsphase zu einseitigen Hebeln zu gestalten.

Literaturverzeichnis

- Aebli, H. (1983). *Zwölf Grundformen des Lehrens: Eine Allgemeine Didaktik auf psychologischer Grundlage. Medien und Inhalte didaktischer Kommunikation, der Lernzyklus*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Alexopoulou, E. & Driver, R. (1996). Small-group discussion in physics: Peer interaction modes in pairs and fours. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), 1099-1114.
- Amsel, E., Goodman, G., Savoie, D. & Clark, M. (1996). The development of reasoning about causal and noncausal influences on levers. *Child Development*, 67(4), 1624-1646.
- Anders, Y., Hardy, I., Pauen, S., & Steffensky, M.: Zieldimensionen früher naturwissenschaftlicher Bildung im Kita-Alter und ihre Messung. In Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (Hrsg.), *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“* (Band 5). Schaffhausen: Schubi Lernmedien AG.
- Anderson, N. H. (1980). Information integration theory in developmental psychology. In F. Wilkening, J. Becker & T. Trabasso (Eds.), *Information integration by children* (pp. 1-45). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Andrews, G., Halford, G. S., Murphy, K. & Knox, K. (2009). Integration of weight and distance information in young children: The role of relational complexity. *Cognitive Development*, 24(1), 49-60.
- Atkinson, R. K., Renkl, A. & Merrill, M. M. (2003). Transitioning from studying examples to solving problems: Effects of self-explanation prompts and fading worked-out steps. *Journal of Educational Psychology*, 95(4), 774-783.
- Ayres, P. & Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 135-146). New York, NJ: Cambridge University Press.
- Bell, B., & Cowie, B. (2001). The characteristics of formative assessment in science education. *Science Education*, 85(5), 536-553.

- Bliss, J. (1996). Piaget und Vygotsky: Ihre Bedeutung für das Lehren und Lernen der Naturwissenschaften. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaft*, 2(3), 3-16.
- Boom, J., Hoijsink, H. & Kunnen, S. (2001). Rules in the balance: Classes, strategies, or rules for the balance scale task? *Cognitive Development*, 16(2), 717-735.
- Bortz, J. & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation: für Human- und Sozialwissenschaftler*. Heidelberg: Springer.
- Bortz, J. & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Brown, A. L. & Campione, J. C. (1994). Guided discovery in a community of learners. In K. McGilly (Ed.), *Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice* (pp. 229-309). Cambridge: The MIT Press.
- Bruner, J. S. (1964). The course of cognitive growth. *American Psychologist*, 19(1), 1-15.
- Bruner, J. S. (1986). *Actual minds, possible worlds*. Harvard, MA: Harvard University Press.
- Bruner, J. S. (1972). *Der Prozess der Erziehung*. Berlin: Berlin Verlag.
- Bruner, J. S., Olver, R. R. & Greenfield P. M. (1971). *Studien zur kognitiven Entwicklung* (1. Auflage). Stuttgart: Klett.
- Bruno, J. E. & Dirkwager, A. (1995). Determining the optimal number of alternatives to a multiple-choice test item: an information theoretic perspective. *Educational and Psychological Measurement*, 55(6), 959-966.
- Brush, T. A. & Saye, J. W. (2002). A summary of research exploring hard and soft scaffolding for teachers and students using a multimedia supported learning environment. *The Journal of Interactive Online Research*, 1(1), 1-12.
- Buchner, A., Erdfelder, E., Faul, F. & Lang, E. (2014). *G*Power* (Version 3.1.9.2) [Computerprogramm]. Düsseldorf, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.
- Bühner, M. (2011). *Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion*. München: Pearson.
- Bühner, M. & Ziegler, M. (2009). *Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler*. München: Pearson.

- Calin-Jageman, R. J. & Horn Ratner, H. (2005). The role of encoding in the self-explanation effect. *Cognition and Instruction*, 23(4), 523-543.
- Case, R. (1985). *Intellectual development. Birth to adulthood*. Orlando, FL: Academic Press.
- Cattell, R. B., Weiss, R. & Osterland, J. (1997). *Grundintelligenztest Skala 1: CFT 1*. Braunschweig: Westermann.
- Cazden, C. B. (1979). Peekaboo as an instructional method: Discourse development at home and at school. *Papers and reports on child language development* (17th ed.). Palo Alto, CA: Stanford University, Department of Linguistics.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332.
- Chi, M. T. H. (1996). Constructing self-explanations and scaffolded explanations in tutoring. *Applied Cognitive Psychology*, 10(7), 33-49.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 61-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chi, M. T. H. (2009). Active-constructive-interactive: A conceptual framework for differentiating learning activities. *Topics in Cognitive Science*, 1(1), 73-105.
- Chi, M. T. H., Bassok, M., Lewis, M. W., Reimann, P. & Glaser, R. (1989). Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems. *Cognitive Science*, 13(2), 145-182.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M. H. & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18(3), 439-477.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. & de Leeuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4(1), 27-43.
- Chiu, M., Chou, C. & Liu, C. (2002). Dynamic processes of conceptual change: Analysis of constructing mental models of chemical equilibrium. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(8), 688-712.
- Clark, K. F. & Graves, M. F. (2005). Scaffolding students' comprehension of text. *The Reading Teacher*, 58(6), 570-580.

- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analyses for the behavioral science* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Collins, A., Brown, J. S. & Newman, S. E. (1989). Cognitive apprenticeship: Teaching the crafts of reading, writing, and mathematics. In L. B. Resnick (Ed.), *Knowing, learning, and instruction: Essay in honor of Robert Glaser* (pp. 453-494). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cook, M. P. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073-1091.
- Cotton, K. (2001). Classroom questioning. *School Improvement Research Series Close up #5*. Zugriff am 14.08.2015 <http://www.learner.org/workshops/socialstudies/pdf/session6/6.ClassroomQuestioning.pdf>
- Cox, R. (1999). Representation construction, externalised cognition and individual differences. *Learning and Instruction*, 9(4), 343-363.
- Cromley, J. G. & Azevedo, R. (2005). What do reading tutors do? A naturalistic study of more and less experienced tutors in reading. *Discourse Processes*, 40(2), 83-113.
- Dandurand, F. & Schulz, R. S. (2009). Modeling acquisition of a torque rule on the balance-scale task. In N. A. Taatgen & H. van Rijn (Eds.), *Proceedings of the 31st Annual Conference of the Cognitive Science Society* (pp. 1541-1546). Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Danise, B. (2001). Scaffolding oral language 'The Hungry Giant' retold. In J. Hammond (Ed.), *Scaffolding teaching and learning in language and literacy education* (pp. 50-90). Newtown, NSW: Primary English Teaching Association.
- Day, J. D. & Córdón, L. A. (1993). Static and dynamic measures of ability: An experimental comparison. *Journal of Educational Psychology*, 85(1), 75-82.
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31(2), 105-113.
- DeLoache, J. S. (1987). Rapid change in the symbolic functioning of very young children. *Science*, 238(4833), 1556-1557.
- DeLoache, J. S. (1991). Symbolic functioning in very young children: Understanding of pictures and models. *Child Development*, 62(4), 736-752.

- DeLoache, J. S. (2000). Dual representation and young children's use of scale models. *Child Development*, 71(2), 329-338.
- DeLoache, J. S. & Burns, N. M. (1994). Early understanding of the representational function of pictures. *Cognition*, 52(2), 83-110.
- diSessa, A. A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 15-34). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49-70). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- diSessa, A. A., Gillespie, N. M. & Esterly, J. B. (2004). Coherence versus fragmentation in the development of the concept of force. *Cognitive Science*, 28(6), 843-900.
- Dochy, F. J. & Alexander, P. A. (1995). Mapping prior knowledge: A framework for discussion among researchers. *European Journal of Psychology of Education*, 10(3), 225-242.
- Drollinger-Vetter, B. & Lipowsky, F. (2006). Fachdidaktische Qualität der Theoriephasen. In E. Klieme, C. Pauli & K. Reusser (Hrsg.), *Videoanalysen. Teil 3 der Dokumentation der Erhebungs- und Auswertungsinstrumente zur schweizerisch-deutschen Videostudie „Unterrichtsqualität, Lernverhalten und mathematisches Verständnis“* (S. 189-205). Frankfurt a. M.: GFPP/DIPF.
- Duismann, G. H. (2009). *Hebel. Technisches Verständnis entwickeln. Schwerpunkt Mechanik*. Berlin: ESF-Projekt Netzwerk Berliner Schülerfirmen in Zusammenarbeit mit der Universität Potsdam, Forschungsstelle BOSS.
- Duismann, G. H. & Meschenmoser, H. (2009). Technisches Verständnis als Arbeitsrelevante Basiskompetenz. Empirische Befunde zur Kompetenzdiagnostik technischer Grundbildung. In W. E. Theuerkauf, H. Meschenmoser, H. Zöllner (Hrsg.), *Qualität technischer Bildung: Zur Entwicklung von Kompetenzmodellen und Kompetenzdiagnostik* (S. 104-117). Berlin: Machmit-Verlag.
- Duit, R. (1989). Vorstellung und Experiment. Von der eingeschränkten Überzeugungskraft experimenteller Beobachtungen. *Naturwissenschaften im Unterricht - Physik/Chemie*, 37(48), 319-321.
- Duit, R. (1996). Lernen als Konzeptwechsel in den Naturwissenschaften. In R. Duit & C. van Röneck (Hrsg.), *Lernen in den Naturwissenschaften* (S. 145-162). Kiel: IPN.

- Duit, R. (2002). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In Kircher, E. & Schneider, W. (Hrsg.), *Physikdidaktik in der Praxis* (S. 1-26). Berlin: Springer.
- Duit, R. & Häußler, P. (1997). Physik und andere naturwissenschaftliche Lernbereiche. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 427-460). Göttingen: Hogrefe.
- Dwyer, F. M. (1978). *Strategies for improving visual learning: A handbook for the effective selection, design, and use of visualized materials*. State College, Pennsylvania State University: Learning Services Division.
- Einsiedler, W. (1997). Unterrichtsqualität und Leistungsentwicklung: Literaturüberblick. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 225-240). Weinheim: Beltz.
- Einsiedler, W. (2007). Methoden und Prinzipien des Sachunterrichts. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, S. van Reeken & D. Wittkowske (Hrsg.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 389-400). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Einsiedler, W. (2011, September). *20 Jahre empirisch-quantitative Grundschulforschung – Rückblick und Ausblick*. Eröffnungsvortrag auf der 20. Jahrestagung der Kommission „Grundschulforschung und Pädagogik der Primarstufe“ an der Universität Paderborn. Zugriff am 14.08.2015 http://www.wolfgang-einsiedler.de/pdf/Einsiedler_Paderborn_2011.pdf
- Einsiedler, W. & Hardy, I. (2010). Kognitive Strukturierung im Unterricht: Einführung und Begriffsklärungen. *Unterrichtswissenschaft*, 38(3), 194-209.
- Eshach, H. & Fried, M. N. (2005). Should science be taught in early childhood? *Journal of Science Education and Technology*, 14(3), 315-336.
- Ewerhardy, A. (2010). *Zusammenhänge zwischen Verständnisorientierung von naturwissenschaftsbezogenem Sachunterricht und Fortschritten im Verständnis naturwissenschaftlicher Konzepte bei Lernenden der Grundschule*. Dissertation Westfälische Wilhelms-Universität Münster. Zugriff am 14.08.2015 http://repositorium.uni-muenster.de/document/miami/517916ba-50b9-40ef-bf03-5e531249510d/diss_ewerhardy.pdf
- Fahrenberg, J. (2014). Ökologische Validität. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch – Lexikon der Psychologie*, S. 1120. Bern: Hans Huber.
- Fahrenberg, J., Myrtek, M., Pawlik, K. & Perrez, M. (2007). Ambulantes Assessment-Verhalten im Alltagskontext erfassen. *Psychologische Rundschau*, 58(1), 12-23.

- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, E. & Buchner, A. (2007). G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical science. *Behaviour Research Methods*, 39(2), 175-191.
- Ferretti, R. P. & Butterfield, E. C. (1986). Are children's rule-assessment classifications invariant across instances of problem types? *Child Development*, 57(6), 1419-1428.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.). London: Sage publications.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics* (4th ed.). London: Sage publications.
- Fischbein, E. (1987). Phenomenological primitives. In A. J. B. Bishop (Ed.), *Intuition in science and mathematics: An educational approach* (pp. 167-175). Cambridge, MA: Reidel.
- Fisseni, H. J. (1997). *Lehrbuch der Psychologischen Diagnostik* (2. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Fletcher, J. D. & Tobias, S. (2005). The multimedia principle. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 117-133). New York, NJ: Cambridge University Press.
- Flick, L. B. (1993). The meaning of hands-on science. *Journal of Teacher Education*, 4(1), 1-8.
- Flottmann, J., Naber, B., Plöger, I. & Leuchter, M. (2014). Erfassung sachunterrichtlich relevanter Wissens Elemente in der Schuleingangsphase: Hebel, Statik und potenzielle Energie. *Zeitschrift für Grundschulforschung*, 7(2), 33-45.
- Ganea, P. A., Ma, L. & DeLoache, J. S. (2011). Young children's learning and transfer of biological information from picture books to real animals. *Child Development*, 82(5), 1421-1433.
- Gascha, H. (1998). *Handbuch Physik*. München: Compact.
- Gayle, B. M., Preiss, R. W. & Allen, M. (2006). How effective are teacher-initiated classroom questions in enhancing student learning? In B. M. Gayle, R. W. Preiss, N. Bunell & M. Allen (Eds.), *Classroom communication and instructional processes. Advances through meta-analysis* (pp. 281-293). Mahwah, NJ: Erlbaum.

- Gentner, D., Loewenstein, J. & Thompson, L. (2004). Analogical encoding: Facilitating knowledge transfer and integration. In K. Forbus, D. Gentner, & T. Regier (Eds.), *Proceedings of the twenty-sixth annual meeting of the cognitive science society* (pp. 452-457). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Gibbons, P. (2002). *Scaffolding language, scaffolding learning. Teaching second language learners in the mainstream classroom*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Goldman, S. R. & Hasselbring, T. S. (1997). Achieving meaningful mathematics literacy for students with learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 30(2), 198-208.
- Gregory, R. L. (2001). Hands-on science. *The challenges for science: Education in the twenty-first century* (pp. 181-194). Vatican: Pontificia Academia Scieniarum Vatican.
- Hadzigeorgiou, Y. (2002). A study of the development of the concept of mechanical stability in preschool children. *Research in Science Education*, 32(3), 373-391.
- Halford, G. S., Andrews, G., Dalton, C., Boag, C. & Zielinski, T. (2002). Young children's performance on the balance scale: The influence of relational complexity. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(4), 417-445.
- Halford, G. S., Wilson, W. H. & Phillips, S. (1998). Processing capacity defined by relational complexity: Implications for comparative, developmental, and cognitive psychology. *Behavioral and Brain Sciences*, 21(06), 803-831.
- Hammond, J. & Gibbons, P. (2001). What is scaffolding? In J. Hammond (Ed.), *Scaffolding: Teaching and learning in language and literacy education* (pp. 1-14). Newtown, NSW: Primary English Teaching Association.
- Hardy, I. (2012). Kognitive Strukturierung – Empirische Zugänge zu einem heterogenen Konstrukt der Unterrichtsforschung. In F. Hellmich, S. Förster & F. Hoya (Hrsg.), *Bedingungen des Lehrens und Lernens in der Grundschule* (S. 51-62). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften | Springer Fachmedien.
- 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.

- Hardy, I. & Stern, E. (2011). Visuelle Repräsentationen der Dichte: Auswirkungen auf die konzeptuelle Umstrukturierung bei Grundschulkindern. *Unterrichtswissenschaft*, 39(1), 35-48.
- Hartinger, A. & Hawelka, B. (2005). Öffnung und Strukturierung von Unterricht. Widerspruch oder Ergänzung? *Die Deutsche Schule*, 97(3), 329-341.
- Hasemann, K. & Gasteiger, M. (2014). *Anfangsunterricht Mathematik* (3. Auflage). Berlin: Springer Spektrum.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2006). Erfolgreiches Lernen als gute Informationsverarbeitung. In F. Heuer, F. Rösler & W. H. Tack (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie. Erfolgreiches Lernen und Lehren* (S. 66-113). Stuttgart: Kohlhammer.
- Hasselhorn, M. & Gold, A. (2009). *Pädagogische Psychologie: Erfolgreiches Lernen und Lehren* (2. Aufl.). Stuttgart: Kohlhammer.
- Hasselhorn, M. & Grube, D. (2008). Individuelle Voraussetzungen und Entwicklungsbesonderheiten des Lernens im Vorschul- und frühen Schulalter. *Empirische Pädagogik*, 22(2), 113-126.
- Hausmann, R. G. M. & VanLehn, K. (2007). Explaining self-explaining: A contrast between content and generation. In R. Luckin, K. R. Koedinger, & J. Greer (Eds.), *Proceedings of AI in Education* (pp. 417-424). Amsterdam: IOS Press.
- Heepmann, B., Muckenfuß, H., Schröder, W. & Stiegler, L. (1995). *Physik Natur und Technik für die Sekundarstufe I* (Band 2, 1. Aufl.). Berlin: Cornelsen.
- Helmke, A. (2003). *Unterrichtsqualität erfassen, bewerten, verbessern*. Seelze: Kallmeyer
- Helmke, A. (2009). *Unterrichtsqualität und Lehrerprofessionalität: Diagnose, Evaluation und Verbesserung des Unterrichts*. Seelze: Klett-Kallmeyer.
- Helmke, A. (2010). Unterrichtsqualität. In H. R. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (4. Aufl., S. 886-895). Weinheim, Basel: Beltz.
- Helmke, A. (2011). Forschung zur Lernwirksamkeit des Lehrerhandelns. In E. Terhart, H. Bennewitz & M. Rothland (Hrsg.), *Handbuch der Forschung zum Lehrerberuf* (S. 630-643). Münster: Waxmann.
- Helmke, A., Helmke, T., Heyne, N., Hosenfeld, A., Kleinbub, I., Schrader, F. & Wagner, W. (2007). Erfassung, Bewertung und Verbesserung des Grundschulunterrichts:

- Forschungsstand, Probleme und Perspektiven. In K. Möller, P. Hanke, C. Beinbrech, A. Hein, T. Kleickmann & R. Schages (Hrsg.), *Qualität von Grundschulunterricht entwickeln, erfassen und bewerten* (Jahrbuch Grundschulforschung Bd. 11, S. 17-34). Bonn: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Helmke, A. & Schrader, F. (1987). Interactional effects of instructional quality and teacher judgement accuracy on achievement. *Teaching and Teacher Education*, 3(2), 91-98.
- Helmke, A. & Weinert, F. E. (1997). Bedingungsfaktoren schulischer Leistungen. In F. E. Weinert (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie. Serie Pädagogische Psychologie, Bd. 3: Psychologie des Unterrichts und der Schule* (S. 71-176). Göttingen: Verlag für Psychologie.
- Herrlinger, S. (2011). *Multimedia learning in primary schools: Multimedia effects, modality effects and attentional guidance*. Dissertation an der Universität Universität Duisburg Essen. Zugriff am 21.08.2015 http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-31043/diss_herrlinger.pdf
- Hogan, K. & Pressley, M. (1997). Scaffolding science competencies within classroom communities of inquiry. In K. Hogan & M. Pressley (Eds.), *Scaffolding student learning: Instructional approaches and issues* (pp. 76-107). Cambridge, MA: Brookline Books.
- Howe, C. & Tolmie, A. (2003). Group work in primary school science: Discussion, consensus and guidance from experts. *International Journal of Educational Research*, 39(1-2), 51-72.
- Howe, C., Tolmie, A. & Rodgers, C. (1990). Physics in the primary school: Peer interaction and the understanding of floating and sinking. *European Journal of Psychology of Education*, 5(4), 459-475.
- Howe, C., Tolmie, A., Thurston, A., Topping, K., Christie, D., Livingston, K., Jessiman, E. & Donaldson, C. (2007). Group work in elementary science: Towards organisational principles for supporting pupil learning. *Learning and Instruction*, 17(5), 549-563.
- Hsin, C. & Wu, K. (2011). Using scaffolding strategies to promote young children's scientific understanding of floating and sinking. *Journal of Science Education & Technology*, 20(5), 656-666.

- Inhelder, B. & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence: An essay on the construction of formal operational structures*. London: Routledge.
- Ionnides, C. & Vosniadou, S. (2002). The changing meaning of force. *Cognitive Science Quarterly*, 2(1), 5-61.
- Issing, L. J. (1994). Wissenserwerb mit bildlichen Analogien. Informierende Bilder. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern: instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 149-176). Bern: Huber.
- Jansen, B. R. J. & van der Maas, H. L. J. (2001). Evidence for the phase transition from rule I to rule II on the balance scale task. *Developmental Review*, 21(4), 450-494.
- Jansen, B. R. J. & van der Maas, H. L. J. (2002). The development of children's rule use on the balance scale task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(4), 383-416.
- Jonen, A., Möller, K. & Hardy, I. (2003). Lernen als Veränderung von Konzepten am Beispiel einer Untersuchung zum naturwissenschaftlichen Lernen in der Grundschule. In D. Chech, H.-J. Schwier (Hrsg.), *Lernwege und Aneignungsformen im Sachunterricht* (S. 93-108). Bad Heilbrunn: Klinkhart.
- Kamii, C., Miyakawa, Y. & Kato, T. (2007). Trying to make a lever work at ages 1 to 4: The development of 'functions' (logico-mathematical thinking). *Early Education and Development*, 18(1), 145-161.
- Karmiloff-Smith, A. & Inhelder, B. (1976). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3(3), 195-212.
- Kattmann, U. (2007). Didaktische Rekonstruktion. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 93-104). Berlin: Springer.
- Kirchner, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). (2007). *Physikdidaktik*. Berlin: Springer.
- Klahr, D. (2000). *Exploring science: The cognition and development of discovery processes*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Klahr, D. & Li, J. (2005). Cognitive research and elementary science instruction: From the laboratory, to the classroom, and back. *Journal of Science Education and Technology*, 14(2), 217-238.

- Klahr, D. & Nigam, M. (2004). The equivalence of learning paths in early science instruction: effect of direct instruction and discovery learning. *Psychological Science, 15*(10), 661-667.
- Klauer, K. (1984). Die Wirksamkeit von Zielangaben im Unterricht. In G. Trommsdorff (Hrsg.), *Jahrbuch für empirische Erziehungswissenschaft 1984* (1. Aufl., S. 85-103). Düsseldorf: Pädagogischer Verlag Schwamm.
- Kleickmann, T. (2012). *Kognitiv aktivieren und inhaltlich strukturieren im naturwissenschaftlichen Sachunterricht*. Kiel: Sinus an Grundschulen.
- Kleickmann, T., Hardy, I., Jonen, A., Blumberg, E. & Möller, K. (2007). Learning environments in primary school science. Scaffolding students' and teachers' processes of conceptual development. The final report of the DGFE priority programme. In M. Prenzel (Ed.), *Studies on the educational qualities of schools* (pp. 137-156). Münster: Waxmann.
- Kleickmann, T., Hardy, I., Pollmeier, J. & Möller, K. (2011). Zur Struktur naturwissenschaftlichen Wissens von Grundschulkindern: Eine personen- und variablenzentrierte Analyse. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 43*(4), 200-212.
- Klieme, E. (2006). Empirische Unterrichtsforschung: Aktuelle Entwicklungen, theoretische Grundlagen und fachspezifische Befunde. Einführung in den Thementeil. *Zeitschrift für Pädagogik, 52*(6), 765-773.
- Klieme, E., Pauli, C. & Reusser, K. (2009). The pythagoras study: Investigating effects of teaching and learning in Swiss and German mathematics classrooms. In T. Janik & T. Seidel (Eds.), *The power of video studys in investigating teaching and learning in the classroom* (pp. 137-160). Münster: Waxmann.
- Klieme, E. & Rakoczy, K. (2008). Empirische Unterrichtsforschung und Fachdidaktik. Outcome-orientierte Messung und Prozessqualität des Unterrichts. *Zeitschrift für Pädagogik, 54*(2), 222-237.
- Koerber, S. (2003). *Visualisierung als Werkzeug im Mathematik-Unterricht. Der Einfluss externer Repräsentationsformen auf proportionales Denken im Grundschulalter*. Hamburg: Dr. Kovac.
- Koslowski, B. & Bruner, J. S. (1972). Learning to use a lever. *Child Development, 43*(3), 790-799.

- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction, 13*(2), 205-226.
- Krammer, K. (2009). Individuelle Unterstützung im Unterricht 4- bis 8-jähriger Kinder. In M. Leuchter (Hrsg.), *Didaktik für die ersten Bildungsjahre - Unterricht mit 4- bis 8-jährigen Kindern* (1. Aufl., S. 112-127). Seelze: Friedrich.
- Krist, H., Bach, S., Öndül, S. & Huber, S. (2004). Mikrogenetische Studien zum physikalischen Wissenserwerb von Kindern: Neue Trainingsexperimente mit der Balkenwaage. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie, 36*(3), 119-129.
- Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Klusmann, U., Krauss, S. & Neubrand, M. (Hrsg.). (2011). *Professionelle Kompetenz von Lehrkräften. Ergebnisse des Forschungsprogramms COACTIV*. Münster: Waxmann.
- Lanz, B. (2015). Die Hebelkraft im Alltag entdecken. *Grundschule Sachunterricht, 65*, 22-25.
- Leahy, W. & Sweller, J. (2011). Cognitive load theory, modality of presentation and the transient information effect. *Applied Cognitive Psychology, 25*(6), 943-951
- Legare, C. H., Gelman, S. A. & Wellman, H. M. (2010). Inconsistency with prior knowledge triggers children's causal explanatory reasoning. *Child Development, 81*(3), 929-944.
- Lesgold, A. M., Levin, J. R., Shimron, J. & Guttman, J. (1975). Pictures and young children's learning from oral prose. *Journal of Educational Psychology, 67*(5), 636-342.
- Leuchter, M. & Möller, K. (2014). Frühe naturwissenschaftliche Bildung. In R. Braches-Chyrek, C. Röhner, H. Sünker & M. Hopf (Hrsg.), *Handbuch frühe Kindheit* (S. 671-680). Opladen: Barbara Budrich.
- Leuchter, M. & Naber, B. (2015). Schwere Dinge können leichter angehoben werden. *Grundschule Sachunterricht, 65*, 8-14.
- Leuchter, M., Naber, B., Plöger, I. & Stipp, J. (2014). Gestaltung von naturwissenschaftlich-technischen Lernsituationen im Übergang vom Kindergarten zur Grundschule. *Probleme und Perspektiven des Sachunterrichts, 24*, 115-122.

- Leuchter, M. & Saalbach, H. (2014). Verbale Unterstützungsmaßnahmen im Rahmen eines naturwissenschaftlichen Lernangebots in Kindergarten und Grundschule. *Unterrichtswissenschaft*, 42(2), 117-131.
- Leuchter, M., Saalbach, H. & Hardy, I. (2014). Designing science learning in the first years of schooling. An intervention study with sequenced learning material on the topic of 'floating and sinking'. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1751-1771.
- Levin, J. R. (1981). On functions of pictures in prose. In F. J. Pirozzolo & M. C. Wittrock (Eds.), *Neuropsychological and cognitive processing in reading* (pp. 203-228). New York, NJ: Academic Press.
- Levin, J. R., Anglin, G. J. & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In D. M. Willows & H. A. Houghton (Eds.), *The Psychology of Illustration* (1st ed., pp. 51-85). New York, NJ: Springer.
- Linn, M. C. (2006). The knowledge integration perspective on learning and instruction. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge Handbook of the learning sciences* (pp. 243-264). New York, NJ: Cambridge University Press.
- Lipowsky, F. (2002). Zur Qualität offener Lernsituationen im Spiegel empirischer Forschung – Auf die Mikroebene kommt es an. In U. Drews & W. Wallrabenstein (Hrsg.), *Freiarbeit in der Grundschule. Offener Unterricht in Theorie, Forschung und Praxis* (S. 126-159). Frankfurt am Main: Grundschulverband - Arbeitskreis Grundschule e. V.
- Lipowsky, F. (2009). Unterricht. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 73-102). Berlin: Springer.
- Lohrmann, K., Hartinger, A. & Schwelle, V. (2013). Exemplarisches Lehren und Lernen durch das Arbeiten mit Beispielen - theoretische Bezüge zwischen allgemeiner Didaktik und Lehr-Lernpsychologie. *Zeitschrift für Grundschulforschung. Bildung im Elementar- und Primarbereich*, 6(1), 158-171.
- Low, R. & Sweller, J. (2005). The modality principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 147-158). New York, NJ: Cambridge University Press.
- Mammes, I. & Tuncsoy, M. (2013). Technische Bildung in der Grundschule. In I. Mammes (Hrsg.), *Technisches Lernen im Sachunterricht. Nationale und internationale Perspektiven* (S. 8-21). Baltmannsweiler: Schneider.

- Mandl, H. Friedrich, H. F. (Hrsg.). (2006). *Handbuch Lernstrategien*. Göttingen: Hogrefe.
- Martin, D. (2011). *Elementary science methods: A constructivist approach* (6th ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Martschinke, S. (1996). Der Aufbau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen. Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmalsdimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht der Grundschule. *Zeitschrift für Pädagogik*, 42(2), 215-232.
- Martschinke, S. (2001). *Der Aufbaubau mentaler Modelle durch bildliche Darstellungen. Eine experimentelle Studie über die Bedeutung der Merkmalsdimensionen Elaboriertheit und Strukturiertheit im Sachunterricht der Grundschule*. Münster: Waxmann.
- Martschinke, S. & Einsiedler, W. (1994). Lernen mit Bildern. Neuere Forschungsergebnisse unter besonderer Berücksichtigung des Sachunterrichts. *Pädagogische Welt*, 48(9), 408-413.
- Marzano, R. J., Gaddy, B. B. & Dean, C. (2000). *What works in classroom instruction*. Aurora, CO: McRel.
- Mautone, P. D. & Mayer, R. E. (2007). Cognitive aids for guiding graph comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 640-652.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes rule against pure discovery learning? *American Psychologist*, 59(1), 14-19.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive theory of multimedia learning. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 31-48). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning: Second edition*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 312-320.

- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43-52.
- McFadden, G. T., Dufresne, A. & Kobasigawa, A. (1987). Young children's knowledge of balance scale problems. *The Journal of Genetic Psychology*, 148(1), 79-94.
- Melero, J., Hernández-Leo, D. & Blat, J. (2011). Towards the support of scaffolding in customizable puzzle-based learning games. *International Conference on Computational Science and its Applications* (pp. 254-257). Santander: IEEE.
- Melero, J., Hernández-Leo, D. & Blat, J. (2012). A review of constructivist learning methods with supporting tooling in ICT higher education: Defining different types of Scaffolding. *Journal of Universal Computer Science*, 18(16), 2334-2360.
- Mercer, N. (2008). Changing our minds: a commentary on 'Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education*, 3(2), 351-362.
- Meschede, N. (2013). *Professionelle Wahrnehmung der inhaltlichen Strukturierung im naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht. Theoretische Erarbeitung und empirische Erfassung*. Unveröffentlichte Dissertation, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- 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.
- Metz, K. E. (1993). Preschoolers' developing knowledge of the pan balance: from new representation to transformed problem solving. *Cognition and Instruction*, 11(1), 31-93.
- Meyer, H. (2004). *Was ist guter Unterricht*. Berlin: Cornelsen.
- Miller, S. P. & Hudson, P. J. (2007). Using evidence-based practices to build mathematics competence related to conceptual, procedural, and declarative knowledge. *Learning Disabilities Research & Practice*, 22(1), 47-57.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.). (2008). *Richtlinien und Lehrpläne für die Grundschule* (1. Aufl.). Frechen: Ritterbach.

- Minner, D. D., Levy, A. J. & Century, J. (2010). Inquiry-based science instruction? What is it and does it matter? Results from a research synthesis years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- 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* (S. 16-31). Opladen: Leske + Budrich.
- Möller, K. (2004). Verstehen und Handeln beim Lernen naturwissenschaftlicher und technikbezogener Sachverhalte. In R. Lauterbach & W. Köhnlein (Hrsg.), *Verstehen und begründetes Handeln* (S. 147-165). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K. (2006). Naturwissenschaftliches Lernen – eine (neue) Herausforderung für den Sachunterricht? In P. Hanke (Hrsg.), *Grundschule in Entwicklung. Herausforderungen und Perspektiven für die Grundschule heute* (S. 107-127). Münster: Waxmann.
- Möller, K. (2007a). Genetisches Lernen und Conceptual Change. In J. Kahlert, M. Fölling-Albers, M. Götz, A. Hartinger, D. von Reeken & S. Wittowske (Eds.), *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts* (S. 411-416). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Möller, K. (2007b). Naturwissenschaftlicher Sachunterricht. Kindern beim Erlernen von Naturwissenschaften helfen. *Grundschulmagazin*, 1, 8-10.
- Möller, K., Jonen, A., Hardy, I. & Stern, E. (2002). Die Förderung von naturwissenschaftlichem Verständnis bei Grundschulkindern durch Strukturierung der Lernumgebung. *Zeitschrift für Pädagogik - Beiheft*, 45, 176-191.
- Möller, K., Kleickmann, T. & Tröbst, S. (2009). Die forschungsgeleitete Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für die frühe naturwissenschaftliche Bildung. *Beträge Zur Lehrerbildung*, 27(3), 415-423.
- Möller, K. & Steffensky, M. (2010). Naturwissenschaftliches Lernen im Unterricht mit 4- bis 8-jährigen Kindern. Kompetenzbereiche frühen naturwissenschaftlichen Lernens. In M. Leuchter (Hrsg.), *Didaktik für die ersten Bildungsjahre. Unterricht mit 4- bis 8-jährigen Kindern* (S. 163-178). Seelze: Friedrich.
- Murphy, N. & Messer, D. (2000). Differential benefits from scaffolding and children working alone. *Educational Psychology*, 20(1), 17-31.
- Neubauer, A. & Stern, E. (2008). *Lernen macht intelligent: Warum Begabung gefördert werden muss* (1. Aufl.). München: Deutsche Verlags-Anstalt.

- Newton, D. P. (1995). The role of pictures in learning to read. *Educational Studies*, 21(1), 119-130.
- Normandeau, S., Larivée, S., Roulin, J. & Longeot, F. (1989). The balance-scale dilemma: Either the subject or the experimenter muddles through. *The Journal of Genetic Psychology*, 150(3), 237-250.
- Oswald, M. E. & Grosjean, S. (2004). Confirmation bias. In R. F. Pohl (Ed.), *Cognitive Illusion. A handbook on fallacies and biases in thinking, judgment and memory* (pp. 79-96). New York, NJ: Psychology Press.
- Pauen, S. (2013). Wissenschaftliches Denken und Vorgehen im Umgang mit Naturphänomenen. In Stiftung „Haus der kleinen Forscher“ (Hrsg.), *Wissenschaftliche Untersuchungen zur Arbeit der Stiftung „Haus der kleinen Forscher“* (Band 5). Schaffhausen: Schubi Lernmedien AG.
- Pauli, C., Drollinger-Vetter, B., Hugener, I. & Lipowsky, F. (2008). Kognitive Aktivierung im Mathematikunterricht. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 22(2), 127-133.
- Pea, R. D. (2004). The social and technological dimensions of scaffolding and related theoretical concepts for learning, education, and human activity. *Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 423-451.
- Peeck, J. (1994). Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In B. Weidenmann (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern. Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen* (S. 59-94). Bern: Huber
- Peters, L., Davey, N., Messer, D. & Smith, P. (1999). An investigation into Karmiloff-Smith's RR model: The effects of structured tuition. *British Journal of Developmental Psychology*, 17(2), 277-292.
- Philips, S. & Tolmie, A. (2007). Children's performance on and understanding of the balance scale problem: The effects of parental support. *Infant and Child Development*, 16(1), 95-117.
- Pine, K. J. & Messer, D. J. (2000). The effect of explaining another's actions on children's implicit theories of balance. *Cognition and Instruction*, 18(1), 35-51.
- Pine, K. J., Messer, D. J. & Godfrey, K. (1999). The teachability of children with naive theories: An exploration of the effects of two teaching methods. *British Journal of Educational Psychology*, 69(2), 201-211.

- Pine, K. J., Messer, D. J. & St. John, K. (2002). Children's learning from contrast modeling. *Cognitive Development*, 17(2), 1249-1263.
- Plöger, I. & Leuchter, M. (2013, September). *Statik als Lerngegenstand im Übergang von Kindergarten zur Grundschule*. Vortrag auf der DGfE Jahrestagung Grundschulforschung, Braunschweig.
- Pressley, M., Wood, E., Woloshyn, V. E., Martin, V., King, A. & Menke, D. (1992). Encouraging mindful use of prior knowledge: Attempting to construct explanatory answers facilitates learning. *Educational Psychologist*, 27(1), 91-109.
- Puntambekar, S. & Hübscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist*, 40(1), 1-12.
- Puntambekar, S. & Kolodner, J. L. (2005). Toward implementing distributed scaffolding: Helping students learn science from design. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(2), 185-217.
- Qualter, A. (2014). *The teaching of science in primary schools* (6th ed.). Abington: Routledge.
- Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D. & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science inquiry. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(3), 337-386.
- Rakoczy, K., Klieme, E., Drollinger-Vetter, B., Lipowsky, F., Pauli, C. & Reusser, K. (2007). Structure as quality feature in mathematics instruction. In M. Prenzel (Hrsg.), *Studies on the educational quality of schools. The final report on the DFG priority Programme* (pp. 101-120). Münster: Waxmann.
- Rakoczy, K., Klieme, E., Lipowsky, F. & Drollinger-Vetter, B. (2010). Strukturierung, kognitive Aktivität und Leistungsentwicklung im Mathematikunterricht. *Unterrichtswissenschaft*, 38(3), 229-246.
- Rasch, A., Friese, M., Hoffmann, W. & Naumann, E. (2014). *Quantitative Methoden 2. Einführung in die Statistik für Psychologen und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Berlin: Springer.
- 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. (2005). Fünf Dogmen in der Diskussion zum Lehren und Lernen. In S. R. Schillings, J. R. Sprarfeldt & C. Pruisken (Eds.), *Aktuelle Aspekte Pädagogisch Psychologischer Forschung* (S. 11-23). Münster: Waxmann.
- Renkl, A. (2007). Wissenserwerb. In E. Wild & Möller, J. *Pädagogische Psychologie* (S. 3-26) Berlin: Springer.
- Reynolds, D. & Muijs, D. (1999). The effective teaching of mathematics: A review of research. *School Leadership & Management*, 19(3), 273-288.
- Rittle-Johnson, B. (2006). Promoting transfer: Effects of self-explanation and direct instruction. *Child Development*, 77(1), 1-15.
- Rittle-Johnson, B., Saylor, M. & Swygert, K. E. (2008). Learning from explaining: Does it matter if mom is listening? *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(3), 215-224.
- Rodriguez, M. C. (2005). Three options are optimal for multiple-choice items: A meta-analysis of 80 years of research. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 24(2), 3-13.
- Rogers, W. T. & Harley, D. (1999). An empirical comparison of three- and four-choice items and tests: Susceptibility to testwiseness and internal consistency reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 59(2), 234-247.
- Rogoff, B. (1990). *Apprenticeship in thinking: Cognitive development in social context*. New York, NJ: Oxford University Press.
- Rosenshine, B. & Stevens, R. (1986). Teaching functions. In M. C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (pp. 376-391). New York, NJ: Macmillan.
- Rost, J. (2004). *Lehrbuch Testkonstruktion – Testtheorie* (2. Aufl.). Bern: Huber
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K. & Wickler, N. (2011). Videobased lesson analysis: effective science PD for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), 117-148.
- Roth, W. (1970). *Die Entwicklung des technischen Verständnisses bei vier- bis zehnjährigen Jungen*. Unveröffentlichte Dissertation Johannes-Gutenberg-Universität zu Mainz.
- Roth, W. (1974). *Entwicklung des technischen Verständnisses*. Ravensburg: Otto Maier Verlag.

- Roy, M. & Chi, M. T. H. (2005). The self-explanation principle in multimedia learning. In R. E. Mayer (Ed.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (pp. 271-286). New York, NJ: Cambridge University Press
- Rubman, C. N. & Waters, H. S. (2000). A, B seeing: The role of constructive processes in children's comprehension monitoring. *Journal of Educational Psychology*, 92(3), 503-514.
- Ryle, G. (1969). *Der Begriff des Geistes*. Stuttgart: Reclam.
- Saalbach, H. & Schalk, L. (2011). Fragen stellen hilft: Die Aktivierung von Vorwissen fördert die Nutzung kategorialer Beziehungen in Wortlernaufgaben bei Kindern im Vorschulalter. In F. Vogt, M. Leuchter, A. Tettenborn, U. Hottinger, M. Jäger, E. Wannack (Hrsg.), *Entwicklung und Lernen Junger Kinder* (S. 53-66) Münster: Waxmann.
- Saye, J. W. & Brush, T. A. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77-69.
- Schalk, L., Saalbach, H. & Stern, E. (2011). Designing learning materials to foster transfer of principles. In L. Carlson, C. Hölscher, & T. Shipley (Eds.), *Proceedings of the 33rd Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Austin, TX: Cognitive Science Society.
- Schmiemann, P., Linsner, M., Wenning, S., Beuhaus, B. & Sandmann, A. (2011). Kontextorientiertes Lernen in Biologie - Aufgaben und Arbeitsmaterialien. In P. Schmiemann & A. Sandmann (Eds.), *Aufgaben im Kontext: Biologie* (1. Aufl., S. 4-12). Seelze: Friedrich.
- Schnotz, W. (2001). Wissenserwerb mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29(4), 292-318.
- Schnotz, W. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia learning* (pp. 49-69). Cambridge: Cambridge University Press.
- Schnotz, W. (2010). Visuelles Lernen. In H. D. Rost (Ed.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (4. Aufl., S. 927-935). Weinheim, Bern: Beltz.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.

- Schöps, K. & Hahn, I. (2014, August). *Disparities in early science skills - The role of migration, language skills and kindergarten (preschol) enrolment*. Vortrag auf der 3rd biennial EARLI conference of SIG 5 - Learning and Development in Early Childhood: "Challenges for the Future in Early Childhood Education", Jyväskylä, Finnland.
- Schrauf, C., Call, J. & Pauen, S. (2011). The effect of plausible versus implausible balance scale feedback on the expectancies of 3- to 4-year-old children. *Journal of Cognition & Development, 12*(4), 518-536.
- Schwelle, V., Hartinger, A., Lohrmann, K. & Groß Ophoff, J. (2013). „Ein Nussknacker ist aus Metall und deshalb stärker als die Hand.“ Präkonzepte von Drittklässlern zum Hebelgesetz. In H.-J. Fischer, H. Giest & D. Pech (Hrsg.), *Der Sachunterricht und seine Didaktik. Bestände prüfen und Perspektiven entwickeln* (S. 129-136). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2012). Woran machen Kinder Gemeinsamkeiten zwischen Phänomenen fest? Prozedurales und konzeptuelles Wissen von Drittklässlern zu Hebeln. In H. Giest, E. Heran-Dörr & C. Archie (Hrsg.), *Lernen und Lehren im Sachunterricht - Zum Verhältnis von Konstruktion und Instruktion* (S. 119-126). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2014a). Interne Strukturen in einem Wissenstest zum Hebelgesetz. In H.-J. Fischer, H. Giest und M. Peschel (Hrsg.), *Lernsituationen und Aufgabenkultur im Sachunterricht* (S. 181-188). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2014b, März). *Vorwissen und kognitive Grundfähigkeiten als Einflussfaktoren auf den Aufbau von konzeptuellen Wissensstrukturen*. Vortrag im Symposium „Kognitiv anspruchsvolle Lernprozesse im Sachunterricht der Grundschule“; 2. Jahrestagung der GEBF, Frankfurt am Main.
- Schwelle, V., Lohrmann, K. & Hartinger, A. (2015). Anders und doch gleich: Arbeiten mit unähnlichen Beispielen. *Grundschule Sachunterricht, 65*, 26-30.
- Schworm, S. & Renkl, A. (2007). Learning argumentation skills through the use of prompts for self-explaining examples. *Journal of Educational Psychology, 99*(2), 285.

- Segers, E., Verhoeven, L. & Hulstijn-Hendrikse, N. (2008). Cognitive processes in children's multimedia text learning. *Applied Cognitive Psychology*, 22(3), 375-387.
- Sharpe, T. (2001). Scaffolding in action - snapshot from the classroom. In J. Hammond (Ed.), *Scaffolding teaching and learning in language literacy education* (pp. 32-48). Marrickville, NSW: Primary English Teaching Association.
- Siegler, R. S. (1976). Three aspects of cognitive development. *Cognitive Psychology*, 8(4), 481-520.
- Siegler, R. S. (1978). The origins of scientific reasoning. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 109-149). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Siegler, R. S. (1995). How does change occur: a microgenetic study of number conservation. *Cognitive Psychology*, 28(3), 225-273.
- Siegler, R. S. (2002). Microgenetic studies of self-explanation. In N. Granott & J. Parziale (Eds.), *Microdevelopment: Transition processes in development and learning* (pp. 31-58). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Siegler, R. S. & Chen, Z. (1998). Developmental differences in rule learning: A microgenetic analysis. *Cognitive Psychology*, 36(3), 273-310.
- Siegler, R. S. & Chen, Z. (2002). Development of rules and strategies: balancing the old and the new. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81(4), 446-457.
- Siegler, R. S., Strauss, S. & Levin, I. (1981). Developmental sequences within and between concepts. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46(2), 1-84.
- Simons, K. D. & Klein, J. D. (2007). The impact of scaffolding and student achievement levels in a problem-based learning environment. *Instructional Science*, 35(1), 41-72.
- Smith, C., Carey, S. & Wiser, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition*, 21(3), 177-237.
- Steiner, G. (2006). Lernen und Wissenserwerb. In A. Krapp & B. Weidemann (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (5. Aufl., S. 163-202). Weinheim: Beltz.

- Stern, E. (2003). Lernen – der wichtigste Hebel der geistigen Entwicklung. *Universitas*, 5, S. 454-464.
- Stern, E. & Möller, K. (2004). Der Erwerb anschlussfähigen Wissens als Ziel des Grundschulunterrichts. In D. Lenzen, J. Baumert, R. Watermann & U. Trautwein (Hrsg.), *PISA und die Konsequenzen für die erziehungswissenschaftliche Forschung* (S. 25-36). Wiesbaden: Verlag für Sozialwissenschaften.
- Stone, C. A. (1998). The metaphor of scaffolding: Its utility for the field of learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities*, 31(4), 344-364.
- Straka, G. A. & Macke, G. (2002). *Lern-lehr-theoretische Didaktik*. Münster: Waxmann.
- Surber, C. F. & Gzesh, S. M. (1984). Reversible operations in the balance scale task. *Journal of Experimental Child Psychology*, 38(2), 254-274.
- Sweller, J. (2002). Visualisation and instructional design. In R. Ploetzner (Ed.), *International workshop on dynamic visualizations and learning* (pp. 1501-1510). Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Tang, W., & Cui, Y. (2012, April). *A simulation study for comparing three lower bounds to reliability*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, Canada.
- Tenberge, C., Lange, K. & Möller, K. (2012). „Praktische Aktivitäten“ im physikbezogenen Sachunterricht der Grundschule und im physikalischen Anfangsunterricht der Sekundarstufe - ein Vergleich. *Jahrbuch Grundschulforschung*, 16, 241-244.
- Thillmann, H., Künsting, J., Wirth, J. & Leutner, D. (2009). Is it merely a question of “what” to prompt or also “when” to prompt? *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 23(2), 105-115.
- Townsend, M. A. & Clarihew, A. (1989). Facilitating children’s comprehension through the use of advance organizers. *Journal of Literacy Research*, 21(1), 15-35.
- Ullrich, M. (2007). Einflüsse der Verarbeitungsreihenfolge auf den Wissenserwerb mit Texten und Bildern. Dissertation an der Universität Koblenz-Landau. Zugriff am 16.08.2015 http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2011/631/pdf/Ullrichdisma_110428.pdf
- Uttal, K., & O’Doherty, K. (2008). Comprehending and learning from ‘Visualizations’: A developmental perspective. In J. Gilbert, M. Reiner, & M. Nakhleh (Eds.),

- Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 53-72). Dordrecht: Springer.
- 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.
- Van de Pol, J., Volman, M. & Beishuizen, J. (2011). Patterns of contingent teaching in teacher – student interaction. *Learning and Instruction*, 21(1), 46-57.
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (2005). The role of context in assessment problems in mathematics. *For the Learning of Mathematics*, 25(2), 2-9.
- Van Zee, E. & Minstrell, J. (1997). Using questioning to guide student thinking. *The Journal of the Learning Sciences*, 6(2), 227-269.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535-585.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45-69.
- Vosniadou, S., Ioannides, C., Dimitrakopoulou, A. & Papademetriou, E. (2001). Designing learning environments to promote conceptual change in science. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 381-419.
- Vosniadou, S., Vamvakoussi, X., & Skopeliti, I. (2008). The framework theory approach to conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 3-34). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and Language*. Cambridge, MA: The M. I. T. Press.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Wagner, K., Klein, M., Klopp, E. & Stark, R. (2014). Instruktionale Unterstützung beim Lernen aus advokatorischen Fehlern in der Lehramtsausbildung. Effekte auf die Anwendung wissenschaftlichen Wissens. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 61(4), 287-301.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science*

- teaching and learning. A Project of the national science teachers association* (pp. 177-210). New York, NJ: Macmillan.
- Wilkening, F. (1988). A misrepresentation of knowledge representation. *Developmental Review*, 8(4), 361-367.
- Wilkening, F. & Anderson, N. H. (1982). Comparison of two rule-assessment methodologies for studying cognitive development and knowledge structure. *Psychological Bulletin*, 92(1), 215-237.
- Wilkening, F. & Anderson, N. H. (1991). Representation and diagnosis of knowledge structures in developmental psychology. *Contributions to Information Integration Theory*, 3, 45-80.
- Wilkening, F. & Cacchione, T. (2011). Children's intuitive physics. In U. Goswami (Ed.), *The Wiley-Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development* (2nd ed., pp. 473-496). Chichester: Wiley-Blackwell.
- Wirtz, M. (Hrsg.). (2014). *Dorsch - Lexikon der Psychologie* (17. Auflage). Bern: Huber.
- Wodzinski, R. (1996). Untersuchungen von Lernprozessen beim Lernen Newtonscher Dynamik im Anfangsunterricht. In A. Gramm, N. Just, K. Möller, M. Soostmeyer, H.-J. Schlichting & E. Sumfleth (Hrsg.), *Naturwissenschaft und Technik – Didaktik im Gespräch*. Münster: Lit.
- Wodzinski, R. (2006). Lernschwierigkeiten erkennen – verständnisvolles Lernen fördern. *Modulbeschreibung des Programms SINUS Transfer Grundschule*. Kiel: IPN.
- Wood, D. (1988). *How Children Think and Learn*. Oxford: Blackwell.
- 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.
- Yoon, J. & Onchwari, J. A. (2006). Teaching young children science: Three key points. *Early Childhood Education Journal*, 33(6), 419-423.
- Zeitler, J. & Simon, G. (2010). *Physik für Techniker*. Leipzig: Carl Hanser.
- Zimmerman, C. (2007). The development of scientific thinking skills in elementary and middle school. *Developmental Review*, 27(2), 172-223.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.	Einseitiger Hebel im Kontext Schubkarre	16
Abbildung 2.	Einseitiger Hebel im Kontext Schraubenschlüssel	17
Abbildung 3.	Zweiseitiger Hebel im Kontext Balkenwaage	18
Abbildung 4.	Entscheidungsbäume für die Regeln I-IV im Kontext Balkenwaage nach Siegler (1976, 1978).....	36
Abbildung 5.	Scaffolding als Unterstützung in der ZPD	58
Abbildung 6a,b,c.	Beispielitems der Prä-Pilotierung zum Lastarm im Kontext Schubkarre (oben links) Kraftarm im Kontext Kiste (oben rechts) und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (unten).....	131
Abbildung 7a,b,c.	Material zur Einführung in die Befragung im Kontext Schubkarre (oben links), Schraubenschlüssel (oben rechts) und Kiste (unten).....	132
Abbildung 8a,b,c.	Beispielitems der Pilotierung Lastarm im Kontext Schubkarre (oben links), Kraftarm im Kontext Kiste (oben rechts), Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel (unten).....	135
Abbildung 9.	Streudiagramm für die Anzahl korrekt gelöster Items zur visuellen Orientierung und Aufmerksamkeit (Labyrinth; Min = 0; Max = 12) und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zum einseitigen Hebel (Min = 0; Max = 14)	161
Abbildung 10.	Streudiagramm für die Anzahl korrekt gelöster Items zur Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge bei figuralen Problemen zu erkennen (Matrizen; Min = 0; Max = 12) und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zum einseitigen Hebel (Min = 0; Max = 14).....	161
Abbildung 11.	Streudiagramm für Einschätzung der verbalen Fähigkeiten (Min = 10; Max = 28) und der Gesamtzahl korrekt gelöster Items zum einseitigen Hebel (Min = 0; Max = 14)	162
Abbildung 12.	Design der Hauptuntersuchung von Studie II.....	187
Abbildung 13a-d.	Gegenstände der Prä-Pilotierung an den Stationen 1 bis 4. Station I (oben links):Lastarm Kontext Schubkarre, Station 2 (oben rechts): Kraftarm Kontext Schubkarre, Station 3 (unten links) Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel, Station 4 (unten rechts): Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel	191
Abbildung 14a,b,c.	Gegenstände der Pilotierung für die Sequenzen Lastarm Kontext Schubkarre (oben links), Kraftarm Kontext Schubkarre (oben rechts) und Kraftarm Kontext Schraubenschlüssel (unten)	196
Abbildung 15.	Darstellende Bilder für die Interventionssequenz zum Lastarm im Kontext Schubkarre (oben), zum Kraftarm im Kontext Schubkarre (Mitte) und Schraubenschlüssel (unten)	198

Abbildung 16.	Bilder der Intervention der Hauptuntersuchung zum Lastarm (oben) und Kraftarm (unten) im Kontext Schubkarre.....	212
Abbildung 17a+b.	Beispielitems zum Lastarm (links) und zum Kraftarm (rechts) im Kontext Hebelmodell.....	214
Abbildung 18a+b.	Mittelwerte der standardisierten Residuen für die Anzahl korrekt gelöster Items beim Lastarm über die verschiedenen Gruppen in der Post-Befragung (links) und Follow-Up Befragung (rechts). Dargestellt sind die Signifikanzen ($p_{\text{einseitig}}$) und Effektgrößen der geplanten Kontraste	221
Abbildung 19a+b.	Mittelwerte der standardisierten Residuen für die Anzahl korrekt gelöster Items beim Kraftarm über die verschiedenen Gruppen in der Post-Befragung (links) und Follow-Up Befragung (rechts). Dargestellt sind die Signifikanzen ($p_{\text{einseitig}}$) und Effektgrößen der geplanten Kontraste	222
Abbildung 20a+b.	Mittelwerte der Anzahl korrekter Antworten für Lastarm (links) und Kraftarm (rechts) bei den verschiedenen Gruppen in der Follow-Up Befragung. Dargestellt sind die Signifikanzen ($p_{\text{einseitig}}$) und Effektgrößen für geplante Kontraste.....	227
Abbildung 21a,b,c.	Item-Entwürfe im Kontext Schubkarre, bei denen innerhalb eines Items jeweils zwei Aspekte variiert werden. Beim linken Item werden Kraftarm und Lastarm variiert, beim mittleren Item Last und Lastarm, beim rechten Item Last und Kraftarm.....	262

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Aufgabentypen an der Balkenwaage (Siegler, 1976)	30
Tabelle 2. Reliabilität (Guttman's λ_2) für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den drei Kontexten der Pilotierung	137
Tabelle 3. Die Itemschwierigkeiten der Pilotierung für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel	137
Tabelle 4. Durchschnittliche Anzahl der gewählten Antwortalternative in Prozent, Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre, Kiste und Schraubenschlüssel	139
Tabelle 5. Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima der Anzahl korrekter Antworten und Mittelwertvergleiche für die Versionen A und B	147
Tabelle 6. Zusammenfassung der exploratorischen Hauptkomponentenanalyse für die Befragung zu einseitigen Hebeln (N = 370)	149
Tabelle 7. Reliabilität (Guttman's λ_2) der Hauptuntersuchung	151
Tabelle 8. Schwierigkeiten der Items der Kontexte Schubkarre und Schraubenschlüssel	152
Tabelle 9. Trennschärfen für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel	153
Tabelle 10. Mittelwerte, Standardabweichungen, Maxima und durchschnittliche Anzahl der Antworten in Prozent für Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel	155
Tabelle 11. Vergleich des Mittelwerts der durchschnittlichen Anzahl korrekter Antworten mit dem Erwartungswert für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre und Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel	156
Tabelle 12. Absolute und prozentuale Häufigkeit von null, eins, zwei, drei, vier oder mindestens drei korrekter Antworten für die Aspekte Last, Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie Schraubenschlüssel	159
Tabelle 13. Varianzaufklärungen bei der Regression für einen quadratischen und linearen Zusammenhang	162
Tabelle 14. Produkt-Moment-Korrelationen	163
Tabelle 15. Art der verbalen Impulse und beispielhafte Umsetzung in der Intervention..	199
Tabelle 16. Reliabilitäten (Guttman's λ_2) für Lastarm Schubkarre, Kraftarm Schubkarre und Schraubenschlüssel zu den drei Befragungszeitpunkten	200

Tabelle 17. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der Anzahl korrekter Antworten für Lastarm und Kraftarm im Kontext Schubkarre sowie Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel zu den drei Befragungszeitpunkten in den verschiedenen Gruppen	201
Tabelle 18. Veränderung der Vorstellungen (t-Test für abhängige Stichproben) von der Prä- zur Post-Befragung und von der Prä- zur Follow-Up Befragung zu den Aspekten Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel unter den verschiedenen Bedingungen.....	202
Tabelle 19. Ablauf der Intervention der Hauptuntersuchung bei den vier Experimentalgruppen beispielhaft in der Interventionssequenz zum Kraftarm im Kontext Schubkarre	210
Tabelle 20. Reliabilitäten (Guttman's λ_2) für die Aspekte Lastarm und Kraftarm zu den drei Befragungszeitpunkten in den Kontexten Schubkarre und Hebelmodell.....	217
Tabelle 21. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der Anzahl korrekter Vorstellungen (Lastarm und Kraftarm) im Kontext Schubkarre für die fünf Gruppen zu drei Befragungszeitpunkten	218
Tabelle 22. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima für die Anzahl korrekter Vorstellungen in der Follow-Up Befragung im Kontext Hebelmodell	218
Tabelle 23. Residuen der Anzahl korrekt gelöster Items (Lastarm, Kraftarm) in der Post- und Follow-Up Befragung im Kontext Schubkarre	219
Tabelle 24. Mittelwerte, Standardabweichungen und Maxima der kognitiven und verbalen Fähigkeiten.....	229

Lebenslauf

Dank

Lernen – der wichtigste Hebel der geistigen Entwicklung (Stern, 2003).

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel wurden benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Datum, Ort

Unterschrift

A Anhang

A.1 Ausgewählte Instrumente

A.1.1 Leitfaden Hauptuntersuchung Studie I und Studie II in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel

Prä-, Post- und Follow-Up Befragung

Einseitige Hebel Schubkarre und Schraubenschlüssel

[Version A]

Kleines einführendes Gespräch mit den Kindern:

- *Ich bin heute hier, weil ich mit dir mit verschiedenen Werkzeugen spielen möchte.*
- *Wie heißt du?*
- *Wie alt bist du?*
- ...

Befragungsleiter: _____

Datum: _____

Vornamen der Kinder: _____

Schule und Klasse: _____

Allgemeine Hinweise zum Vorgehen:

- Die Befragung soll in der beschriebenen Weise durchgeführt werden. Es sollten keine individuellen Veränderungen in der Sprache und dem Ablauf vorgenommen werden.
- Alle Materialien und die Videokamera sowie der Aufbau müssen vor dem Versuch bereit stehen.
- Die komplette Befragung wird auf Video aufgezeichnet.
- Es geht nicht darum, die Kinder durch Hinweise zu korrekten Antworten zu führen, sondern darum zu untersuchen, welche Vorstellungen Kinder zu einseitige Hebel besitzen.
- Lässt bei einem Kind die Motivation oder Konzentrationsfähigkeit im Laufe der Durchführung nach, kann man selbstverständlich individuell eingreifen, z. B. indem gezeigt wird, dass nicht mehr viel zu beantworten ist.
- Geben Sie dem Kind keine Rückmeldung, ob die gegebene Antwort richtig oder falsch war.
-

Einleitung

Material

Bob der Baumeister und Wendy Figur

TUN	SAGEN
Bob und Wendy Figuren zeigen. 	<i>Kennst du Bob den Baumeister? Bob ist ein Bauarbeiter. Er und seine Freundin Wendy bauen Häuser und reparieren Dinge. Dabei benutzen beide viele verschiedene Werkzeuge und Maschinen. Wir wollen den beiden heute ein bisschen bei der Arbeit helfen!</i>

Befragung: Vorstellungen zu einseitigen HebelnMaterial

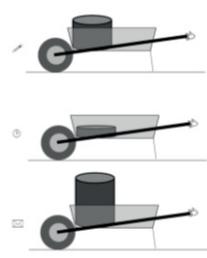
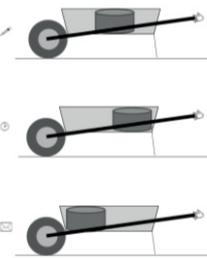
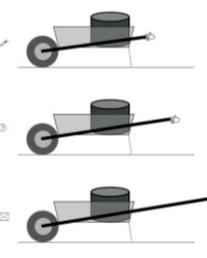
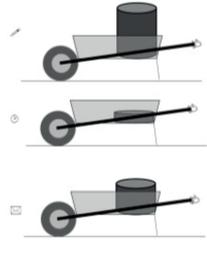
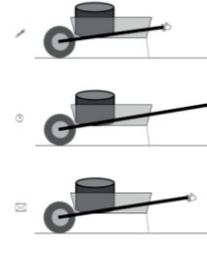
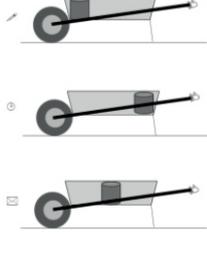
Stifte und Antworthefte

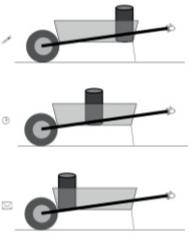
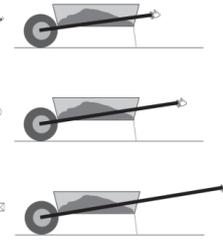
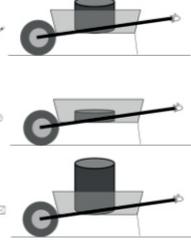
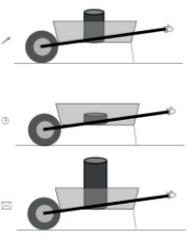
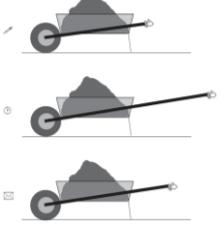
Schubkarrenmodell

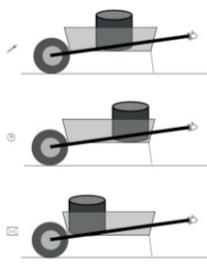
2 blaue Kringel als Lasten

Schraubenschlüssel; Holzklötz mit Schraube

TUN	SAGEN
<p>Kindern die Hefte geben. Kinder Namen eintragen lassen.</p>  <p>Kreis, Kreuz ggf. zeigen.</p>	<p><i>Ich gebe Dir jetzt ein Heft, da sind ganz viele Bilder drin. Zuerst schreibst du bitte deinen Vornamen darauf.</i></p> <p><i>In dem Heft darfst du gleich verschiedene Dinge einkreisen und ankreuzen. Hier vorne ist ein Bild von Bob, Wendy und der Katze Kuschel.</i></p> <p><i>Kannst du bitte Wendy einkreisen.</i></p> <p><i>Und jetzt male an Bobs Helm ein Kreuz.</i></p> <p><i>Immer wenn ihr eine Aufgabe gelöst habt, blättert ihr ganz schnell auf die nächste Seite und legt den Stift auf den Tisch</i></p>
<p>[Einführung Schraubenschlüssel]</p> <p>Holzklötz mit Schraubenschlüssel zeigen.</p> 	<p><i>Blättere jetzt in deinem Heft auf die Seite mit dem Smiley. Hier siehst du einen Schraubenschlüssel, genau wie in deinem Heft.</i></p>
<p>[KA_SS3]</p>  <p style="text-align: right;">☺</p>	<p><i>Wo würdest du den Schraubenschlüssel anfassen, damit es dir am leichtesten fällt die Schraube ganz fest anzuziehen?</i></p> <p><i>Kreise die Hand ein, wo du anfassen würdest!</i></p>
<p>[Einführung Schubkarre]</p> <p>Schubkarrenmodell nehmen. Mit Last beladen und Gebrauch der Schubkarre demonstrieren.</p>  <p>Mit dem Finger kurze und lange Griffe zeigen. Mehrere Lasten in die Schubkarre legen. Lasten nach vorne und hinten schieben.</p>	<p><i>Blättere nun weiter auf die Seite mit dem Telefon.</i></p> <p><i>Bob und Wendy wollen nun verschiedene Dinge mit einer Schubkarre transportieren.</i></p> <p><i>Schau mal, hier habe ich dir eine Schubkarre mitgebracht, genau wie in deinem Heft.</i> <i>Mit einer Schubkarre kann man schwere Gegenstände transportieren. Man fasst die Schubkarre an den Griffen an, hebt sie ein wenig an und kann sie dann schieben.</i> <i>Es gibt verschiedene Arten von Schubkarren. Manche Schubkarren haben lange Griffe andere kurze. Manche sind mit vielen Gegenständen beladen andere mit wenigen. Und die Schubkarren können an unterschiedlicher Stelle beladen sein.</i></p>

<p>[L_S1]</p>  <p style="text-align: right;">☎</p>	<p>Die Schubkarre neben dem Stift ist mit einem mittleren Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben der Uhr ist mit einem kleinen Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben dem Brief ist mit einem großen Betonklotz beladen.</p> <p>Kreise die Schubkarre mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</p>
<p>[LA_S4]</p>  <p style="text-align: right;">✂</p>	<p>Jetzt geht es auf der Seite mit der Schere weiter.</p> <p>Die Schubkarre beim Stift ist in der Mitte beladen. Die Schubkarre bei der Uhr ist ganz hinten beladen. Und die Schubkarre beim Brief ist ganz vorne beladen.</p> <p>Wie würdest du die Schubkarre beladen, damit es dir am leichtesten fällt den Betonklotz zur Baustelle zu bringen?</p> <p>Kreise die Stelle mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</p>
<p>[KA_S2]</p>  <p style="text-align: right;">💻</p>	<p>Blättere nun zur Seite mit dem Computer.</p> <p>Die Schubkarren hier haben unterschiedlich lange Griffe. Die Schubkarre neben dem Stift hat kurze Griffe, die Schubkarre neben der Uhr hat mittlere Griffe und die Schubkarre neben dem Brief hat lange Griffe.</p> <p>Kreise die Schubkarre ein, bei dem es dir am leichtesten fällt, den Betonklotz zu transportieren.</p>
<p>[L_S2]</p>  <p style="text-align: right;">★</p>	<p>Blättere nun zur Seite mit dem Stern.</p> <p>Die Schubkarre neben dem Stift ist mit einem großen Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben der Uhr ist mit einem kleinen Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben dem Brief ist mit einem mittel großen Betonklotz beladen.</p> <p>Kreise die Schubkarre mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</p>
<p>[KA_S4]</p>  <p style="text-align: right;">🚩</p>	<p>Blättere nun zur Seite mit der Fahne.</p> <p>Die Schubkarre neben dem Stift hat kurze Griffe. Die Schubkarre neben der Uhr hat lange Griffe. Die Schubkarre neben dem Brief hat mittlere Griffe.</p> <p>Kreise die Schubkarre ein, bei der es dir am leichtesten fällt den Betonklotz zu transportieren.</p>
<p>[LA_S2]</p>  <p style="text-align: right;">⌚</p>	<p>Jetzt geht es auf der Seite mit der Sanduhr weiter.</p> <p>Die Schubkarre beim Stift ist ganz vorne beladen. Die Schubkarre bei der Uhr ist ganz hinten beladen. Und die Schubkarre beim Brief ist in der Mitte beladen.</p> <p>Wie würdest du die Schubkarre beladen, damit es dir am leichtesten fällt den Betonklotz zur Baustelle zu bringen?</p> <p>Kreise die Stelle mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</p>

<p>[LA_S1]</p>  <p style="text-align: right;">✂</p>	<p><i>Jetzt geht es auf der Seite mit der Schere weiter.</i></p> <p><i>Die Schubkarre beim Stift ist ganz hinten beladen. Die Schubkarre bei der Uhr ist in der Mitte beladen. Und die Schubkarre beim Brief ist ganz vorne beladen.</i></p> <p><i>Wie würdest du die Schubkarre beladen, damit es dir am leichtesten fällt den Betonklotz zur Baustelle zu bringen?</i></p> <p><i>Kreise die Stelle mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</i></p>
<p>[KA_S3]</p>  <p style="text-align: right;">✂</p>	<p><i>Blättere nun zur Seite mit der Brille.</i></p> <p><i>Die Schubkarren neben dem Stift hat kurze Griffe, die Schubkarre neben der Uhr hat mittlere Griffe und die Schubkarre neben dem Brief hat lange Griffe.</i></p> <p><i>Kreise die Schubkarre ein, bei dem es dir am leichtesten fällt, den Sand zu transportieren.</i></p>
<p>[KA_SS2]</p>  <p style="text-align: right;">★</p>	<p><i>Blättere in deinem Heft jetzt einmal um auf die Seite mit dem Stern.</i></p> <p><i>Wo würdest du den Schraubenschlüssel anfassen, damit es dir am leichtesten fällt die Schraube ganz fest anzuziehen?</i></p> <p><i>Kreise die Hand ein, wo du anfassen würdest!</i></p>
<p>[L_S3]</p>  <p style="text-align: right;">★</p>	<p><i>Blättere nun zur Seite mit dem Stern.</i></p> <p><i>Die Schubkarre neben dem Stift ist mit einem mittel großen Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben der Uhr ist mit einem kleinen Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben dem Brief ist mit einem großen Betonklotz beladen.</i></p> <p><i>Kreise die Schubkarre mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</i></p>
<p>[L_S4]</p>  <p style="text-align: right;">→</p>	<p><i>Blättere nun zur Seite mit dem Flugzeug.</i></p> <p><i>Die Schubkarre neben dem Stift ist mit einem mittleren Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben der Uhr ist mit einem kleinen Betonklotz beladen. Die Schubkarre neben dem Brief ist mit einem großen Betonklotz beladen.</i></p> <p><i>Kreise die Schubkarre mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</i></p>
<p>[KA_S1]</p>  <p style="text-align: right;">💻</p>	<p><i>Blättere nun zur Seite mit dem Computer.</i></p> <p><i>Die Schubkarren hier haben unterschiedlich lange Griffe. Die Schubkarre neben dem Stift hat kurze Griffe, die Schubkarre neben der Uhr hat sehr lange Griffe und die Schubkarre neben dem Brief hat mittlere Griffe.</i></p> <p><i>Kreise die Schubkarre ein, bei dem es dir am leichtesten fällt, den Sand zu transportieren.</i></p>

<p>[LA_S3]</p>  <p>✂</p>	<p><i>Jetzt geht es auf der Seite mit der Schere weiter.</i></p> <p><i>Die Schubkarre beim Stift ist in der Mitte beladen. Die Schubkarre bei der Uhr ist ganz hinten beladen. Und die Schubkarre beim Brief ist ganz vorne beladen.</i></p> <p><i>Wie würdest du die Schubkarre beladen, damit es dir am leichtesten fällt den Betonklotz zur Baustelle zu bringen?</i></p> <p><i>Kreise die Schubkarre mit dem Betonklotz ein, bei der es dir am leichtesten fällt, ihn zu transportieren.</i></p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

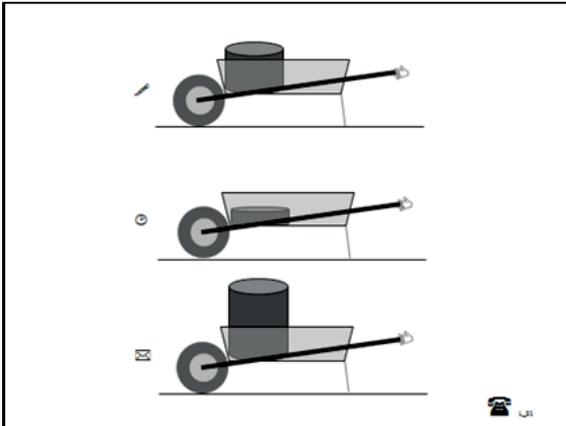
Mit diesen Aufgaben bist du fertig. Du hast super mitgemacht!

Bemerkungen (z. B. wichtige Dinge, die während der Befragung passiert sind und evtl. nicht auf Video aufgenommen wurden):

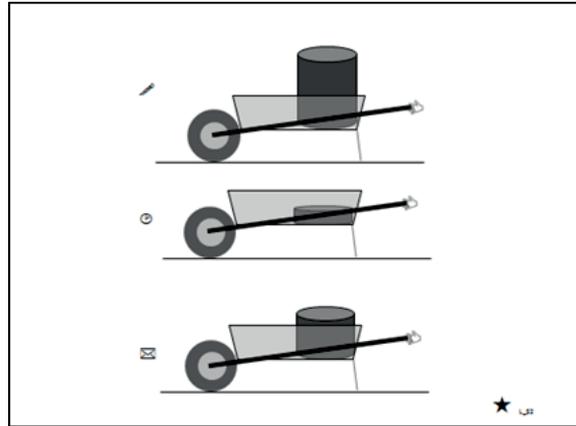
A.1.2 Items zur Erfassung der Vorstellungen in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel (Hauptuntersuchung Studie I und II)

Last Schubkarre

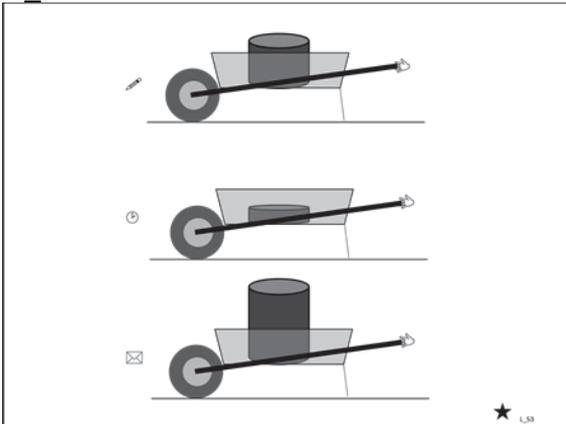
L_S1



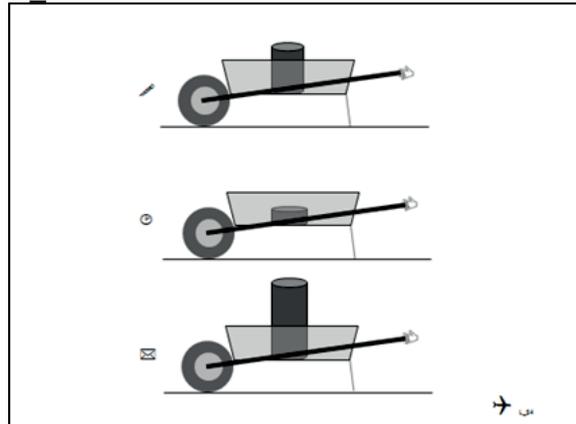
L_S2



L_S3

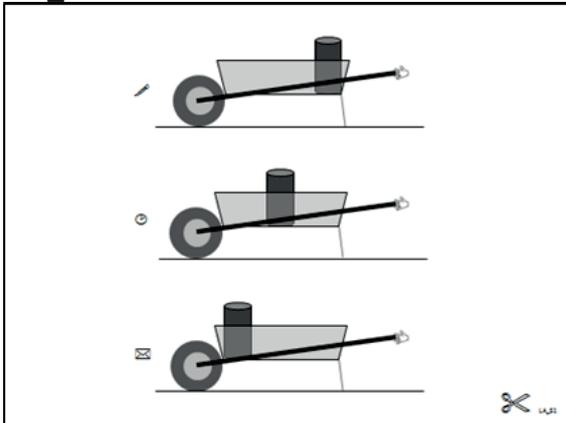


L_S4

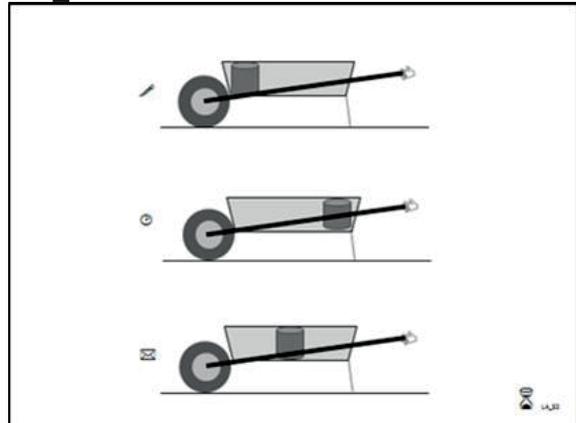


Lastarm Schubkarre

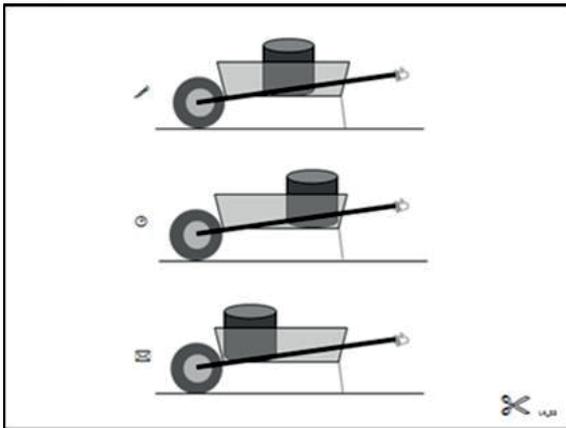
LA_S1



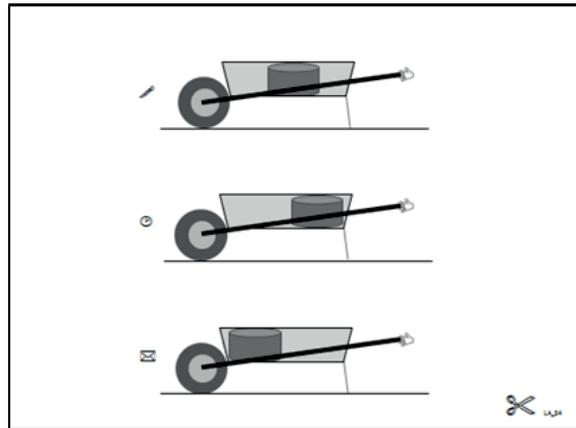
LA_S2



LA_S3

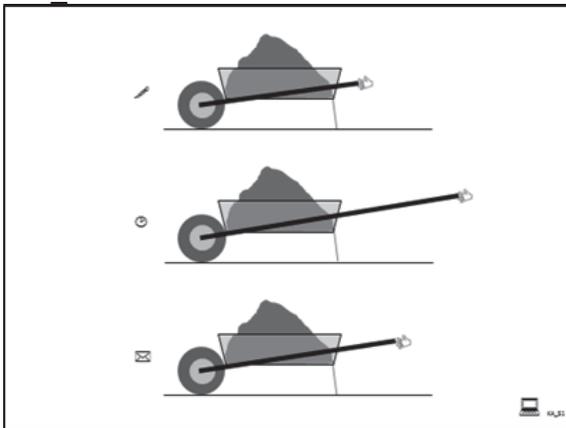


LA_S4

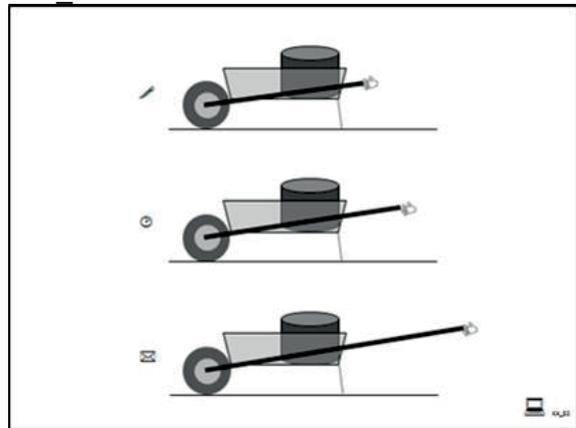


Kraftarm Schubkarre

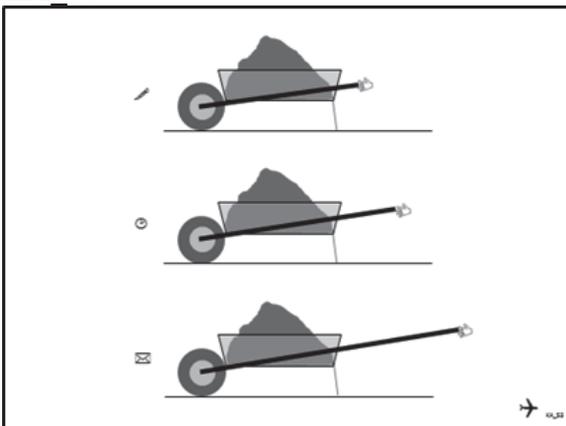
KA_S1



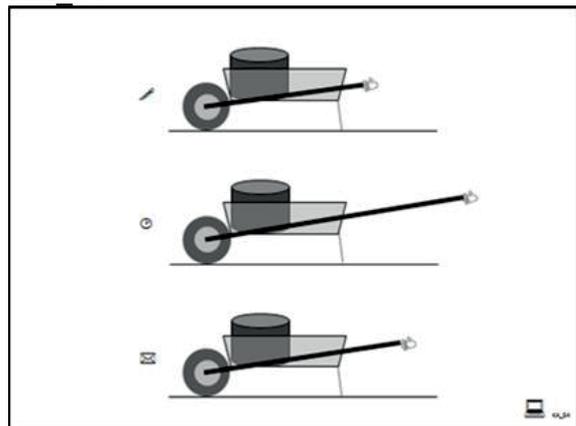
KA_S2



KA_S3

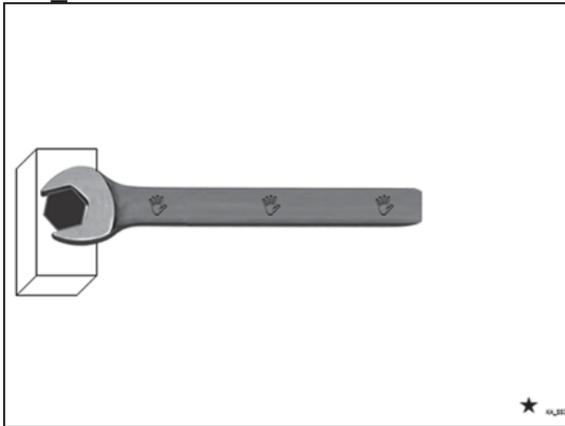


KA_S4

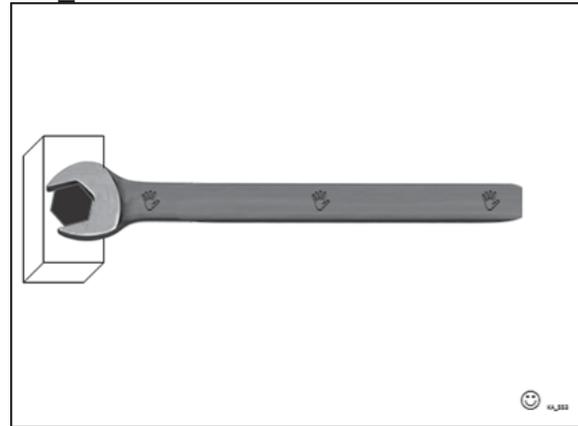


Kraftarm Schraubenschlüssel

KA_SS2



KA_SS3



A.1.3 Darbietungsreihenfolge der Items in den Befragungsversionen A und B der Hauptuntersuchungen von Studie I und II

Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Version A	KA_SS3	L_S1	LA_S4	KA_S2	L_S2	KA_S4	LA_S2	LA_S1	KA_S3	KA_SS2	L_S3	L_S4	KA_S1	LA_S3
Version B	LA_S1	KA_S3	KA_S1	L_S1	L_S2	KA_S4	LA_S4	KA_SS2	L_S3	L_S4	KA_S2	KA_SS3	LA_S3	LA_S2

Anmerkung: L = Last, LA = Lastarm, KA =Kraftarm, S = Schubkarre, SS = Schraubenschlüssel, z. B. bezeichnet „KA_SS3“ das Item Nummer 3 zum Kraftarm im Kontext Schraubenschlüssel.

A.1.4 Fragebogen zur Erfassung der verbalen Fähigkeit

Lehrpersonenfragebogen

Da es nicht gerecht wäre, Kinder mit weniger Deutschkenntnissen gleich zu beurteilen wie Kinder mit viel Deutschkenntnissen, bitten wir Sie, in diesem Fragebogen für jedes Kind ein paar Fragen zu beantworten. Die Antworten werden von uns anonymisiert und vertraulich behandelt. Sie werden ausschließlich dazu benutzt, den Einfluss der sprachlichen Kompetenzen auf das von uns erfasste naturwissenschaftliche Verständnis zu kontrollieren. Bitte benutzen Sie die Spalte ‚weiß nicht‘ nur in Fällen, in denen Ihnen eine Einschätzung absolut nicht möglich ist. Wir danken Ihnen herzlich für Ihre Mitarbeit!

Schule		Code Klasse (2 Stellen, xx, vom Institut)				
Lehrperson						
Name Kind	Geburtsdatum	Code Kind (2 Stellen, vom Institut)				
Einschätzungen Kompetenzen Deutsch: Das Kind...¹	Stimme zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	Weiß nicht	
	1	2	3	4	99	
...hat einen seinem Alter angemessenen passiven Wortschatz, mit dem es gut verstehen kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
...hat einen seinem Alter angemessenen aktiven Wortschatz, mit dem es sich gut ausdrücken kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
...bildet Sätze richtig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
...spricht Worte verständlich aus.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
...erzählt Erlebnisse oder Geschichten zusammenhängend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
...teilt sich gerne anderen Personen mit.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
...spielt mit der Sprache.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

¹Bei der Auswertung wurden die Antwortalternativen umcodiert, sodass höhere Werte bessere verbale Fähigkeiten darstellen.

A.1.5 Leitfaden Follow-Up Befragung Studie II Kontext Hebelmodell

Follow-Up Befragung

Einseitiger Hebel Kontext Hebelmodell

Allgemeine Hinweise zum Vorgehen:

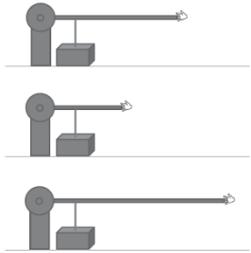
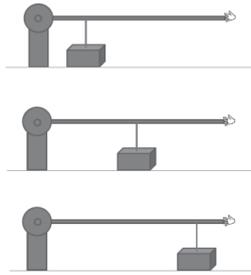
- Es gelten die gleichen Hinweise, wie in den Prä-, Post- und Follow-Up-Befragungen in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel

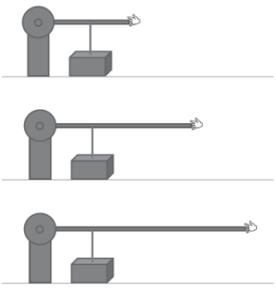
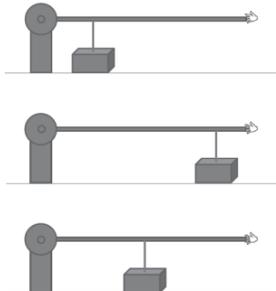
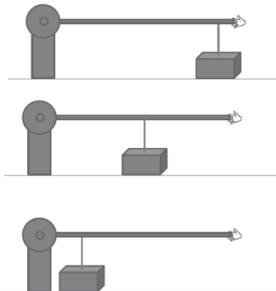
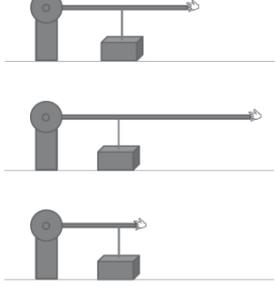
Material

Hebelmodell

3 unterschiedlich lange Stangen

Kleine Last zum anhängen

TUN	SAGEN
Kind das Heft geben. Kinder Namen eintragen lassen.	<i>Ich gebe Dir noch ein Heft, da sind Aufgaben drin, die du noch nicht kennst. Schreibe in den Kasten deinen Namen.</i>
<p>[Einführung Hebelmodell]</p>  <p>Hebelmodell nehmen, die drei unterschiedlich langen Stangen zeigen und das Gewicht an die drei Positionen hängen.</p>	<p><i>Blättere jetzt in deinem Heft auf die Seite mit der Blume.</i></p> <p><i>Hier siehst du eine Stange. Diese Stange kann sich um den runden Kreis nach oben und unten drehen. Es gibt eine kurze eine mittlere und eine lange Stange.</i></p> <p><i>Du kannst mit der Stange den Betonklotz anheben, dieser hängt unten an der Stange [zeigen]. Der Betonklotz ist manchmal an unterschiedlicher Stelle angehängt [Betonklotz verschieben].</i></p> <p><i>Jetzt schau mal in dein Heft, die Stange wird immer dort angefasst, wo die Hand ist, also immer am Ende der Stange.</i></p>
<p>[TR_KA_M2]</p> 	<p><i>In den Bildern auf der Seite mit der Blume ist der Betonklotz immer an der gleichen Stelle der Stange festgemacht, aber die Stangen sind unterschiedlich lang. Das Bild oben hat eine mittlere Stange. Das Bild in der Mitte ein kurze Stange und das Bild unten eine lange Stange.</i></p> <p><i>Bei welchem Bild fällt es dir am leichtesten den Betonklotz anzuheben? Kreise das Bild ein.</i></p>
<p>[TR_LA_M1]</p> 	<p><i>Blättere nun zur Seite mit der Sonne.</i></p> <p><i>Hier sind die Stangen immer gleich lang, aber die Betonklötze sind an unterschiedlicher Stelle festgemacht.</i></p> <p><i>Im Bild oben ist der Betonklotz weit weg von dort wo man anfasst festgemacht. Beim Bild in der Mitte ist der Betonklotz in der Mitte festgemacht und beim Bild unten fast am Ende der Stange wo man anfasst.</i></p> <p><i>Bei welchem Bild fällt es dir am leichtesten den Betonklotz anzuheben? Kreise das Bild ein.</i></p>

<p>[TR_KA_M1]</p>  <p style="text-align: right;"></p>	<p><i>Jetzt geht es auf der Seite mit dem Buch weiter.</i></p> <p><i>In den Bildern auf dieser Seite ist der Betonklotz immer an der gleichen Stelle der Stange festgemacht, aber die Stangen sind unterschiedlich lang. Das Bild oben hat eine kurze Stange. Das Bild in der Mitte ein mittlere Stange und das Bild unten eine lange Stangen.</i></p> <p><i>Bei welchem Bild fällt es dir am leichtesten den Betonklotz anzuheben? Kreise das Bild ein.</i></p>
<p>[TR_LA_M2]</p>  <p style="text-align: right;"></p>	<p><i>Blättere auf die Seite mit der Fahne.</i></p> <p><i>Hier sind die Stangen immer gleich lang, aber die Betonklötze sind an unterschiedlicher Stelle festgemacht.</i></p> <p><i>Im Bild oben ist der Betonklotz weit weg von dort wo man anfasst festgemacht. Beim Bild in der Mitte ist der Betonklotz fast am Ende der Stange wo man anfasst festgemacht. Beim unteren Bild ist der Betonklotz in der Mitte der Stange festgemacht.</i></p> <p><i>Bei welchem Bild fällt es dir am leichtesten den Betonklotz anzuheben? Kreise das Bild ein.</i></p>
<p>[TR_LA_M3]</p>  <p style="text-align: right;"></p>	<p><i>Auf der nächsten Seite findest du noch eine Fahne.</i></p> <p><i>Hier sind die Stangen immer gleich lang, aber die Betonklötze sind an unterschiedlicher Stelle festgemacht.</i></p> <p><i>Im Bild oben ist der Betonklotz fast am Ende der Stange wo man anfasst festgemacht. Beim Bild in der Mitte ist der Betonklotz in der Mitte der Stange festgemacht. Beim unteren Bild ist der Betonklotz weit weg von dort wo man anfasst festgemacht.</i></p> <p><i>Bei welchem Bild fällt es dir am leichtesten den Betonklotz anzuheben? Kreise das Bild ein.</i></p>
<p>[TR_KA_M3]</p>  <p style="text-align: right;"></p>	<p><i>Jetzt geht es auf der Seite mit der Blume weiter.</i></p> <p><i>In den Bildern auf dieser Seite ist der Betonklotz immer an der gleichen Stelle der Stange festgemacht, aber die Stangen sind unterschiedlich lang. Das Bild oben hat eine mittlere Stange. Das Bild in der Mitte eine lange Stange und das Bild unten hat eine kurze Stange.</i></p> <p><i>Bei welchem Bild fällt es dir am leichtesten den Betonklotz anzuheben? Kreise das Bild ein.</i></p>

Mit diesem Heft sind wir fertig. Du hast super mitgemacht!

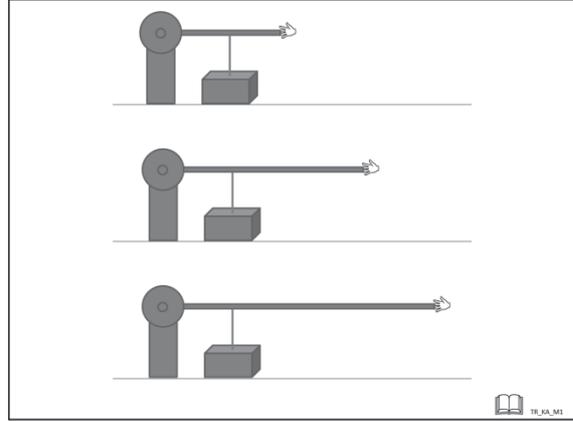
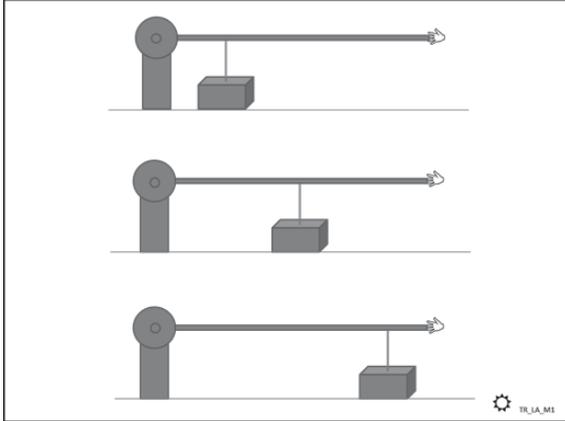
A.1.6 Items zur Erfassung der Vorstellungen im Kontext Hebelmodell (Follow-Up Befragung Studie II)

Lastsarm

Kraftarm

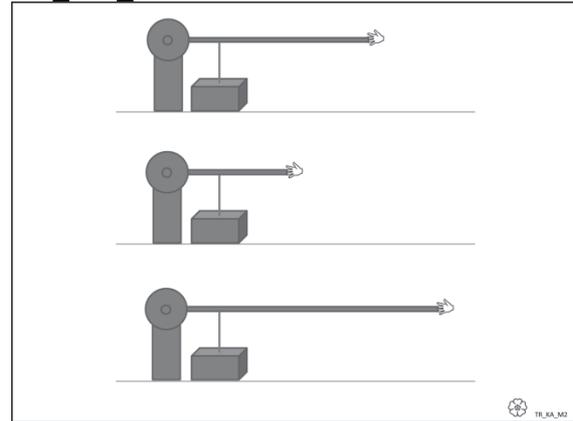
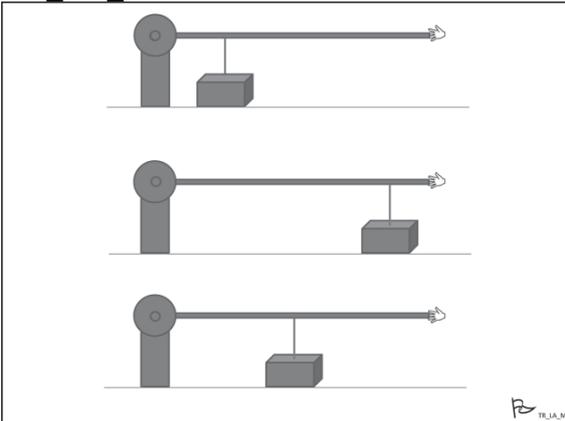
TR_LA_M1

TR_KA_M1



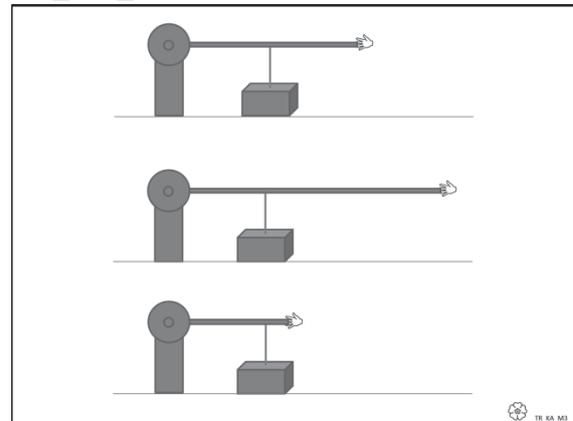
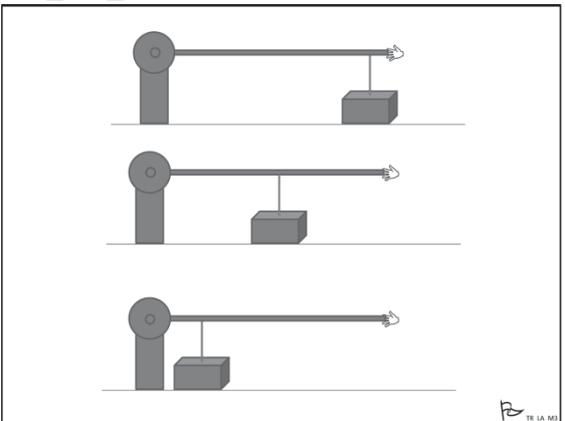
TR_LA_M2

TR_KA_M2



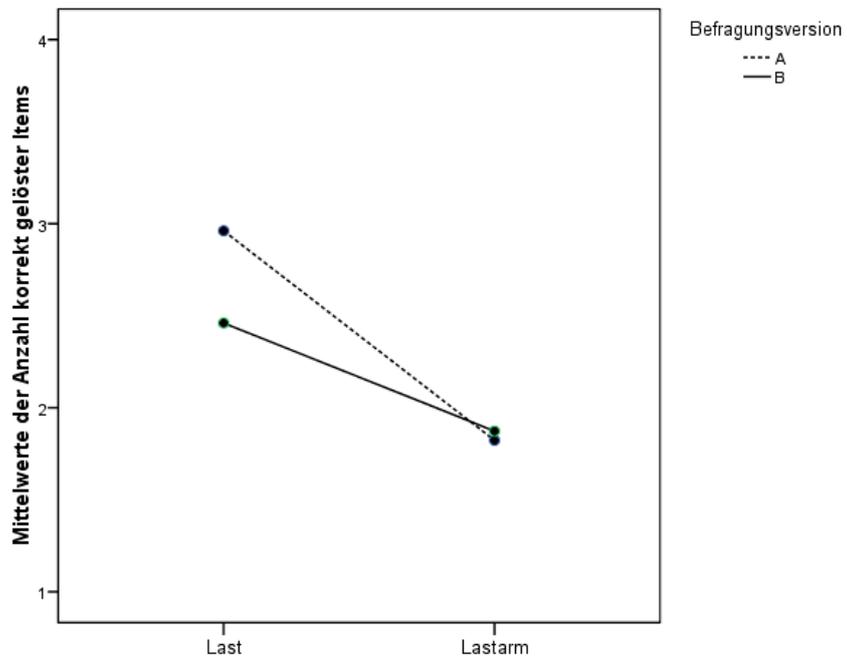
TR_LA_M3

TR_KA_M3

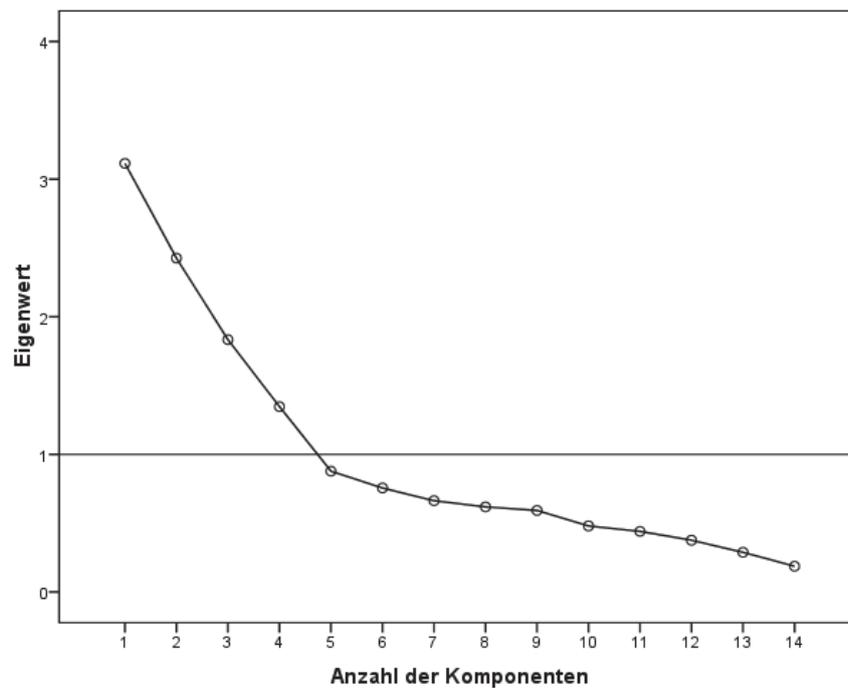


A.2 Ergebnisse Studie I

A.2.1 Signifikante Interaktion zwischen Aspekt (Last, Lastarm) und Fragebogenversion (A, B)



A.2.2 Eigenwerte der Hauptkomponentenanalyse



A.3 Längen von Lastarm und Kraftarm in der Intervention (Prä-, Pilotierung und Hauptuntersuchung Studie II)

Längen von Lastarm und Kraftarm in den Kontexten Schubkarre und Schraubenschlüssel bei Prä-Pilotierung, Pilotierung und Hauptuntersuchung von Studie II

Lastarm Schubkarre	Prä-Pilotierung, Pilotierung und Hauptuntersuchung	
Kurz (Last vorne beim Rad)		15 cm
Mittel (Last in der Mitte der Wanne)		23 cm
Lang (Last bei den Griffen)		31 cm
Kraftarm Schubkarre	Prä-Pilotierung, Pilotierung	Hauptuntersuchung
Kurz (kurze Griffe)	-	55 cm (11 cm) ¹
Mittel (mittlere Griffe)		67 cm (23 cm) ¹
Lang (lange Griffe)		81 cm (37 cm) ¹
Sehr lang (sehr lange Griffe)	160 cm (116 cm) ¹	-
Kraftarm Schraubenschlüssel	Prä-Pilotierung, Pilotierung und Hauptuntersuchung	
Kurz (kurzer Griff)		12 cm
Mittel (mittlerer Griff)		31 cm
Lang (langer Griff)		53 cm

¹Werte in Klammern geben die Länge der Griffe ab dem Ende der Wanne an.

A.4 Interventionsleitfaden Studie II

Überblick über die Interventionen

Dauer	Ca. 20 Minuten	
Organisationsform:	Gruppe von ca. 8 Kindern sitzen im Halbkreis	
Material für Einführung	Bob und Wendy Figur, Decke	
Interventionssequenz	1) Lastarm Schubkarre	2) Kraftarm Schubkarre
Material pro Interventionssequenz	3 Schubkarren mit mittlere Griffen 3 Steinpakete 6 Bilder [EG ‚Bilder‘ und EG ‚verbale Impulse + Bilder‘]	1 Schubkarren mit mittlere Griffen 1 Schubkarre mit abgesägten Griffen 1 Schubkarre mit verlängerten Griffen 3 Steinpakete 6 Bilder [EG ‚Bilder‘ und EG ‚verbale Impulse + Bilder‘]

Ablauf der Intervention

Vorbereitung und Begrüßung		
Zeit	Teilziele	Instruktion Interventionsleiter
5'	Vorbereitung	[3 Schubkarren mit mittellangen Griffen nebeneinander aufbauen. Vor die Schubkarren je ein Steinpaket stellen. Die Schubkarren mit einer Decke abdecken.]
1'	Begrüßung	<i>Wir wollen heute zusammen etwas ausprobieren. Schaut Mal, wen ich hier mitgebracht habe.</i> [Bob und Wendy Figuren zeigen] <i>Kennt ihr die beiden?</i> [Kinder antworten lassen] <i>Genau, das sind Bob und Wendy.</i>
Erste Interventionssequenz zum LASTARM im Kontext Schubkarre		
Zeit	Teilziele	Instruktion Interventionsleiter
10'	Einführung Lastarm	<p>EG: ‚Bilder‘ und ‚verbale Impulse +Bilder‘ [Vor und hinter die noch abgedeckten Schubkarre die Bilder legen, Bild 1: Steinpaket hinten zu den Griffen, Bild 2: Steinpaket in die Mitte, Bild 3: Steinpaket nach vorne zum Rad.] <i>Schaut mal, was ich mitgebracht habe. Hier seht ihr drei Bilder. Was siehst du auf diesen Bildern? Kannst du den Unterschied beschreiben?</i> [Kinder antworten lassen]. <i>Schaut euch mal die Bilder genau an. Wer von seinem Platz nicht so gut sehen kann, darf jetzt leise nach vorne kommen und sich die Bilder anschauen. Dann geht ihr wieder auf euren Platz zurück. Wer kann mir sagen, wo der Unterschied bei den drei Schubkarren ist?</i> [Warten bis alle Kinder wieder sitzen und ein bis zwei Kinder geantwortet haben.]</p> <p>EG: ‚Basisintervention‘ und ‚verbale Impulse‘ [Decke wegnehmen] <i>Schaut mal, was ich mitgebracht habe. Was siehst du hier vorne?</i> [Kinder antworten] <i>Genau, hier sind drei Schubkarren und drei Steinpakete. Ich stelle jetzt die Steinpakete in die Schubkarren.</i></p> <p>[Steinpakete werden in die Schubkarren gestellt: Schubkarre 1: Steinpaket hinten zu den Griffen (langer Lastarm), Schubkarre 2: Steinpaket in die Mitte (mittlerer Lastarm), Schubkarre 3: Steinpaket nach vorne zum Rad (kurzer Lastarm).]</p> <p><i>Schaut euch mal die Schubkarren genau an. Schaut genau hin. Wer von seinem Platz nicht so gut sehen kann, darf jetzt leise nach vorne kommen und sich die Schubkarren anschauen. Dann geht ihr wieder auf euren Platz zurück. Wer kann mir sagen, wo der Unterschied bei den drei Schubkarren ist?</i></p>

	<p>[Warten bis alle Kinder wieder sitzen und ein bis zwei Kinder geantwortet haben.]</p> <p><i>Das hast du gut beobachtet! Die Steinpakete sind alle gleich groß und die Griffe alle gleich lang. Aber die Steinpakete stehen an unterschiedlicher Stelle. Bei dieser Schubkarre ist es ganz hinten bei den Griffen aufgeladen. Das Steinpaket bei dieser Schubkarre ist in der Mitte aufgeladen. Die dritte Schubkarre ist mit dem Steinpaket ganz vorne beim Rad beladen. [Position der Pakete werden im Bild bzw. an den Schubkarren gezeigt]</i></p> <p>EG: ‚Bilder‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ <i>Ich stelle jetzt die Steinpakete genau, wie auf den Bildern in die Schubkarren. [Steinpakete wie auch den Bildern in die Schubkarre stellen.]</i></p> <p><i>Du sollst dir jetzt überlegen, bei welcher Schubkarre es dir am leichtesten fällt die Schubkarre anzuheben.</i></p> <p>EG: ‚Basisintervention‘ und ‚Bilder‘ <i>Du sollst es nicht laut sagen, es ist dein Geheimnis!</i></p> <p>EG: ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ <i>Was glaubst du, bei welcher Schubkarre fällt es dir am leichtesten das Steinpaket anzuheben? Und warum glaubst du das? Und du, was meinst du? Und warum? [Kurz warten und möglichst viele Kinder antworten lassen.]</i></p>
Runde 1: Ausprobieren	<p><i>Jetzt probieren wir das aus. Ich erkläre dir, was du machen sollst. Du fasst die Schubkarre immer am Ende der Griffe an. Du sollst die Schubkarre nur ein wenig anheben und nicht schieben. Ich zeige dir das einmal. [Demonstrieren wo man Schubkarre anfasst].</i></p> <p><i>Du hebst erst diese Schubkarre an [langer Lastarm] und dann hebst du diese an [mittlerer Lastarm]. Danach gehst du zu dieser Schubkarre und hebst auch diese Schubkarre an [kurzer Lastarm].</i></p> <p><i>Dabei sollst du dir überlegen, bei welcher Schubkarre es dir am leichtesten fällt das Steinpaket anzuheben. Dabei sollst du vergleichen, ob die eine Schubkarre schwerer ist anzuheben als die andere.</i></p> <p><i>Du sollst gut beobachten, wo bei der Schubkarre das Steinpaket ist, vergleiche und denke darüber nach.</i></p> <p><i>Kannst du mir sagen, was du machen sollst? [Ein Kind wiederholt.]</i></p> <p><i>Wir fangen hier an [Schubkarre mit Steinpaket bei den Griffen, langer Lastarm].</i></p> <p><i>Ihr stellt euch in der Reihenfolge, wie ihr sitzt hinter [Name des Kindes] auf und ihr dürft dann alle einmal jede Schubkarre anheben. Jedes Kind kann ausprobieren. Wenn du probiert hast, setzt du dich wieder auf deinen Platz.</i></p> <p>[Während des Ausprobierens]</p> <p>EG: ‚Bilder‘+ ‚verbale Impulse + Bilder‘ <i>Schaue dir die Bilder noch einmal gut an!</i></p> <p><i>Jeder von euch hat jetzt rausgefunden, wo es für ihn am leichtesten ist.</i></p> <p>EG: ‚Basisintervention‘ und ‚Bilder‘: <i>Denke daran, das ist dein Geheimnis und du darfst es niemanden verraten.</i></p> <p>EG: ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘: <i>Was hast du herausgefunden, bei welcher Schubkarre fällt es dir am leichtesten das Steinpaket anzuheben? Und warum glaubst du das? Und du, was meinst du? Und warum? [Kurz warten und möglichst viele Kinder antworten lassen.]</i></p> <p><i>Ja genau. Alle Schubkarren haben gleich lange Griffe. Ist das Steinpaket vorne beim Rad, fällt es dir leicht. Ist das Steinpaket in der Mitte fällt es dir etwas schwerer. Ist das Steinpaket hinten bei den Griffen fällt es dir noch schwerer.</i></p>
Runde 2 : Überprüfen	<p><i>Ihr dürft jetzt alle noch einmal probieren und überprüfen, ob das stimmt, was ihr herausgefunden habt. Bei welcher Schubkarre fällt es dir am leichtesten, das Steinpaket anzuheben? Alle Kinder stellen sich wieder hinter [Name Kind] auf und dann geht es der Reihe nach. Wenn du fertig bist, setzt du dich wieder auf deinen Platz.</i></p>

		<p>[Während des Ausprobierens]</p> <p>EG: Basisintervention‘ <i>Verrate es niemanden und merke es dir gut.</i></p> <p>EG: ‚Bilder‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ <i>Schau dir die Bilder noch einmal gut an!</i></p> <p>EG: ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘: <i>Es kommt darauf an, wo das Steinpaket steht. Ist das Steinpaket vorne beim Rad, fällt es dir leicht.</i></p>
Zweite Interventionssequenz zum KRAFTARM im Kontext Schubkarre		
Zeit	Teilziele	Instruktion Interventionsleiter
10‘	Einführung Kraftarm	<p><i>Jetzt habe ich euch noch was anderes mitgebracht.</i></p> <p>EG: ‚Bilder‘ und ‚Verbale Impulse + Bilder‘ [Bilder zum Lastarm wegnehmen und Bilder zum Kraftarm vor und hinter die Schubkarre hinlegen. Bild 1: abgesägte Griffe, Bild 2: mittlere Griffe, Bild: lange Griffe.] <i>Schaut euch mal die Bilder genau an, die sehen jetzt ein bisschen anders aus als eben.</i></p> <p>EG: ‚Basisintervention‘ und ‚verbale Impulse‘ <i>Jetzt baue ich die Schubkarren um.</i> [Steinpakete immer in die Mitte stellen, Schubkarre 1: abgesägte Griffe, Schubkarre 2: mittlere Griffe, Schubkarre 3 mit Verlängerung der Griffe] <i>Schaut mal, diese drei Schubkarren sehen jetzt ein bisschen anders aus als eben.</i></p> <p>alle <i>Wer von seinem Platz nicht so gut sehen kann, darf jetzt leise nach vorne kommen und sich die Schubkarren anschauen. Dann geht ihr wieder auf euren Platz zurück.</i> [Warten bis alle Kinder wieder sitzen.] <i>Kannst du mir erklären, wo was du siehst du wo der Unterschied ist? [Ein bis zwei Kinder antworten lassen.]</i></p> <p><i>Das hast du gut beobachtet! Das Steinpaket steht immer an der gleichen Stelle, aber die Griffe bei den Schubkarren sind unterschiedlich lang. Diese Schubkarre hat ganz kurze Griffe. Die Griffe bei dieser Schubkarre sind ein bisschen länger. Und diese Schubkarre hat lange Griffe. [Länge der Griffe zeigen.]</i></p> <p>EG: ‚Bilder‘ und ‚Verbale Impulse + Bilder‘ <i>Jetzt baue ich die Schubkarren um, sodass sie so wie auf dem Bild aussehen.</i> [Schubkarre umbauen.]</p> <p><i>Du sollst dir jetzt überlegen, bei welcher Schubkarre es dir am leichtesten fällt, das Steinpaket anzuheben.</i></p> <p>EG: ‚Basisintervention‘ und ‚Bilder‘ <i>Du sollst es nicht laut sagen, es ist dein Geheimnis!</i></p> <p>EG: ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder:‘ <i>Was glaubst du, bei welcher Schubkarre fällt es dir am leichtesten das Steinpaket anzuheben? Und warum glaubst du das? Und du, was meinst du? Und warum?</i> [Kurz warten und möglichst viele Kinder antworten lassen.]</p>
	Runde 1: Ausprobieren	<p><i>Deine Aufgabe ist es jetzt wieder herauszufinden, bei welcher Schubkarre es dir am leichtesten fällt, das Steinpaket anzuheben. Du fasst die Schubkarre immer am Ende der Griffe an. Du sollst die Schubkarre nur ein wenig anheben und nicht schieben. Ich zeige dir das einmal. [Demonstrieren wie man die Schubkarre anfasst].</i> <i>Du hebst erst diese Schubkarre an [kurze Griffe]. Danach gehst du zu dieser Schubkarre [mittlere Griffe] und hebst auch diese Schubkarre [lange Griffe] an. Dabei sollst du dir überlegen, bei welcher Schubkarre es dir am leichtesten fällt, das Steinpaket anzuheben.</i></p>

	<p><i>Du sollst gut beobachten, wie lang die Griffe bei der Schubkarre sind, vergleiche und denke darüber nach.</i></p> <p><i>Kannst du mir sagen, was du machen sollst? [Ein Kind wiederholt.]</i></p> <p><i>Wir fangen hier an [Kinder sollen zuerst die Schubkarre mit den kurzen Griffen probieren, danach die mit den mittleren und dann die mit den langen Griffen]. Ihr stellt euch in der Reihenfolge, wie ihr jetzt auch seid hinter [Name Kind] auf und dürft dann alle einmal jede Schubkarre anheben. Jedes Kind darf ausprobieren. Wenn du probiert hast setzt du dich wieder auf deinen Platz.</i></p> <p>[Während des Ausprobierens.] EG: ‚Bilder‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ <i>Schaue dir die Bilder noch einmal gut an!</i></p> <p><i>Jeder von euch hat jetzt rausgefunden, wo es für ihn am leichtesten ist.</i></p> <p>EG: ‚Basisintervention‘ und ‚Bilder‘: <i>Denke daran, das ist dein Geheimnis und du darfst es niemanden verraten.</i></p> <p>EG: ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘: <i>Was hast du herausgefunden, bei welcher Schubkarre fällt es dir am leichtesten das Steinpaket anzuheben? [Warten und Kinder antworten lassen.] Und warum glaubst du das? Und du, was meinst du? Und warum?</i> <i>Ja genau! Bei allen Schubkarren steht das Steinpaket an der gleichen Stelle. Sind die Griffe lang, fällt es dir leicht. Sind die Griffe mittel, fällt es dir etwas schwerer. Sind die Griffe kurz, fällt es dir noch schwerer.</i></p>
Runde 2: Überprüfen	<p><i>Jeder von euch hat jetzt rausgefunden, wo es für ihn am leichtesten ist. Ihr dürft jetzt alle noch einmal probieren und überprüfen, ob das stimmt, was ihr herausgefunden habt. Bei welcher Schubkarre fällt es dir am leichtesten das Steinpaket anzuheben? Alle Kinder stellen sich wieder hinter [Name Kind] auf und dann geht es der Reihe nach. Wenn du fertig bist, setzt du dich wieder auf deinen Platz.</i></p> <p>[Während des Ausprobierens.] EG: ‚Basisintervention‘ <i>Verrate es niemanden und merke es dir gut.</i></p> <p>EG: ‚Bilder‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘ <i>Schaue dir die Bilder noch einmal gut an!</i></p> <p>EG: ‚verbale Impulse‘ und ‚verbale Impulse + Bilder‘: <i>Es kommt darauf an, wie lang die Griffe sind. Sind die Griffe lang fällt es dir leicht.</i></p>
Abschluss	<p><i>Ihr habt alle super mitgemacht! [Evtl. Flitzepause oder Spiel.]</i></p>

Anmerkung: Die Intervention wurde vom Interventionsleiter nach diesem Leitfaden durchgeführt. Wenn die Situation es erforderte, waren sinngemäße Abweichungen vom obigen Wortlaut zugelassen.

A.5 Ergebnisse Studie II

A.5.1 Übersicht über alle geplanten Kontraste der Hauptuntersuchung von Studie II im Kontext Schubkarre

Mittelwerte und geplante Kontraste für Lastarm und Kraftarm Kontext Schubkarre zur Post- und Follow-Up Befragung

Kontext Schubkarre	$M1_{Res}$ ($SD1_{Res}$)	$M2_{Res}$ ($SD2_{Res}$)	t	df^1	$p_{einseitig}$	$r_{Kontrast}$
Lastarm Post-Befragung						
Verbale Impulse + Bilder vs. Basis	.491(.1005)	-.283(.845)	3.841	177	< .001	.28
Verbale Impulse vs. Basis	.150(1.099)	-.283(.845)	2.185	177	.015	.16
Verb. Impulse + Bilder vs. verb. Impulse	.491(.1005)	.150(1.099)	1.71	177	.045	.13
Verbale Impulse vs. Bilder	.150(1.099)	.075(.813)	.378	177	.353	.03
Bilder vs. Basis	.075(.813)	-.283(.845)	1.788	177	.038	.13
Lastarm Follow-Up Befragung						
Verbale Impulse + Bilder vs. Basis	.365(.961)	-.551(1.032)	4.558	177	< .001	.32
Verbale Impulse vs. Basis	.323(.947)	-.551(1.032)	4.420	177	< .001	.32
Verb. Impulse + Bilder vs. verb. Impulse	.365(.961)	.323(.947)	.212	177	.417	.02
Verbale Impulse vs. Bilder	.323(.947)	-.193(.844)	2.61	177	.005	.19
Bilder vs. Basis	-.193(.844)	-.551(1.032)	1.791	177	.037	.13
Kraftarm Post-Befragung						
Verbale Impulse + Bilder vs. Basis	.368(1.010)	-.456(.875)	4.108	85	< .001	.41
Verbale Impulse vs. Basis	.591(.779)	-.456(.875)	6.046	88	< .001	.54
Verb. Impulse + Bilder vs. verb. Impulse	.368(1.010)	.591(.779)	-1.175	81	.122	.13
Verbale Impulse vs. Bilder	.591(.779)	-.028(.999)	3.302	83	< .001	.34
Bilder vs. Basis	-.028(.999)	-.456(.875)	2.162	87	.016	.23
Kraftarm Follow-Up Befragung						
Verbale Impulse + Bilder vs. Basis	.613(.939)	-.526(.835)	5.878	177	< .001	.40
Verbale Impulse vs. Basis	.304(1.004)	-.526(.835)	4.356	177	< .001	.31
Verb. Impulse + Bilder vs. verb. Impulse	.613(.939)	.304(1.004)	1.160	177	.055	.09
Verbale Impulse vs. Bilder	.304(1.004)	-.243(.864)	2.867	177	.003	.21
Bilder vs. Basis	-.243(.864)	-.526(.835)	1.472	177	.072	.11

¹Falls der Levene-Test keine Varianzhomogenität anzeigte ($p < .05$), werden die korrigierten Freiheitsgrade berichtet.

A.5.2 Übersicht über alle geplanten Kontraste der Hauptuntersuchung von Studie II im Kontext Hebelmodell

Mittelwerte und geplante Kontraste für Lastarm und Kraftarm im Kontext Hebelmodell in der Follow-Up Befragung

Kontext Hebelmodell	$M1_{Res}$ ($SD1_{Res}$)	$M2_{Res}$ ($SD2_{Res}$)	t	df	$p_{einseitig}$	$r_{Kontrast}$
Lastarm						
Verbale Impulse + Bilder vs. Basis	1.59(1.24)	1.38(1.25)	.785	177	.217	.06
Verbale Impulse vs. Basis	1.57(1.30)	1.38(1.25)	.737	177	.231	.06
Bilder vs. Basis	1.53(1.32)	1.38(1.25)	.577	177	.283	.04
Verbale Impulse + Bilder vs. verb. Impulse	1.59(1.24)	1.57(1.30)	.061	177	.476	.01
Verbale Impulse vs. Bilder	1.57(1.30)	1.53(1.32)	.154	177	.439	.01
Kraftarm						
Verbale Impulse + Bilder vs. Basis	1.55(1.34)	1.02(1.22)	1.973	177	.025	.15
Verbale Impulse vs. Basis	1.49 (1.23)	1.02(1.22)	1.791	177	.037	.13
Bilder vs. Basis	1.29(1.22)	1.02(1.22)	1.011	177	.157	.08
Verbale Impulse + Bilder vs. verb. Impulse	1.55(1.34)	1.49 (1.23)	.214	177	.415	.02
Verbale Impulse vs. Bilder	1.49 (1.23)	1.29(1.22)	.769	177	.222	.06

A.5.3 Vergleich zum Erwartungswert im Kontext Hebelmodell

T-Test gegen den Erwartungswert für die Anzahl korrekt gelöster Items zum Lastarm und Kraftarm im Kontext Hebelmodell

Follow-Up Befragung Kontext Hebelmodell	μ	$M(SD)$	t	df	$p_{zweiseitig}$	d
Lastarm						
Verbale Impulse + Bilder	1	1.59 (1.24)	3.15	34	.003	.48
Verbale Impulse	1	1.57 (1.30)	3.03	46	.004	.44
Bilder	1	1.53 (1.32)	1.53	44	.010	.40
Basisintervention	1	1.38 (1.25)	2.03	44	.048	.30
Kraftarm						
Verbale Impulse + Bilder	1	1.55 (1.34)	2.71	43	.010	.41
Impulse	1	1.49 (1.23)	2.73	46	.009	.40
Bilder	1	1.29 (1.22)	1.59	44	.119	.23
Basisintervention	1	1.02 (1.22)	1.23	44	.903	.01

A.5.4 Prüfung der Voraussetzungen für eine Kovarianzanalyse

Homogene Regressionssteigungen in der Post-Befragung für die Anzahl korrekt gelöster Items beim Lastarm (oben) und Kraftarm (unten) sowie der Fähigkeit, Regeln und Zusammenhänge zu erkennen (CFT Matrizen).

