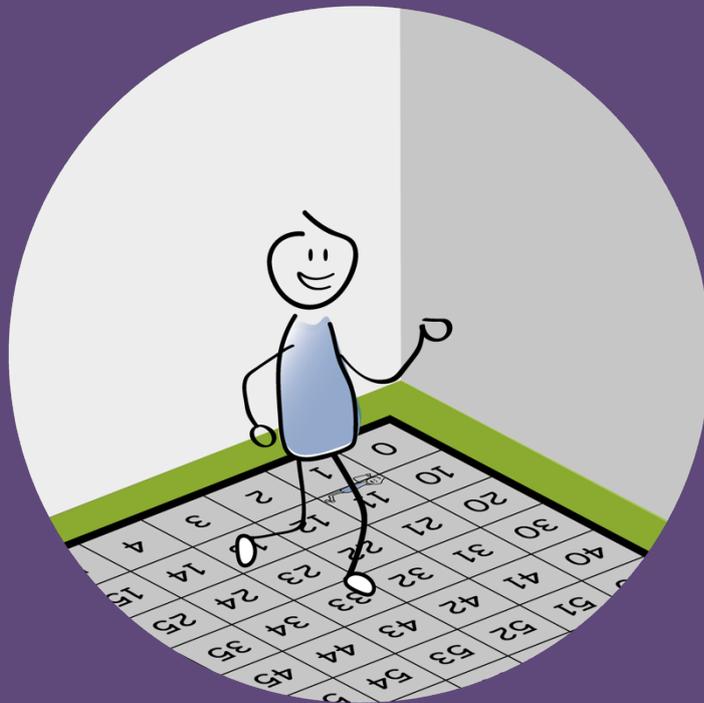


LENA RADÜNZ

Förderung mathematischer Grundvorstellungen durch Bewegtes Lernen



Empirische Analysen am Beispiel
des Stellenwertverständnisses

WTM
Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien
Münster

**Diversität und Inklusion im Kontext
mathematischer Lehr-Lern-Prozesse**

Herausgegeben von
Ralf Benölken, Nina Berlinger und Marcel Veber

Band 9

Lena Radünz

**Förderung mathematischer
Grundvorstellungen
durch Bewegtes Lernen**

**Empirische Analysen am Beispiel des
Stellenwertverständnisses**

WTM
Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien
Münster

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte Informationen sind im Internet über <http://dnb.de> abrufbar

Druck durch:
winterwork
04451 Borsdorf
<http://www.winterwork.de/>

Umschlaggestaltung: Lena Radünz

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© WTM – Verlag für wissenschaftliche Texte und Medien, Münster 2025. – E-Book
Ferdinand-Freiligrath-Str. 26, 48147 Münster
stein-wtm@outlook.de
ISBN 978-3-95987-336-9
<https://doi.org/10.37626/GA9783959873369.0>

Für Jamie

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	VII
Danksagung	IX
Akronymverzeichnis	XII
1. Einleitung	1
1.1. Problemlage	1
1.2. Ziele und wissenschaftliche Fragestellungen	10
1.3. Forschungsmethodische Anlage	11
1.4. Abgrenzungen	14
1.5. Zum Aufbau der Arbeit	17
2. Theoretische Ausgangspunkte zu Bewegung und Lernen – Ein interdisziplinäres Forschungsfeld	21
2.1. Zentrale Begriffsbestimmungen	21
2.1.1. Lernen	21
2.1.2. Bewegung	25
2.1.3. Exkurs: Bewegung aus fachmathematischer Perspektive	31
2.1.4. Zusammenführung der Begriffsverständnisse <i>Bewegung</i> und <i>Lernen</i>	37
2.2. Die sportwissenschaftliche Perspektive – Bewegtes Lernen im Kontext der Bewegten Schule	39
2.2.1. ‚Die‘ Bewegte Schule – eine Einordnung	39
2.2.2. Der Ursprung der Bewegten Schule	40
2.2.3. Bausteine einer Bewegten Schule — Der Versuch einer Systematisierung	42
2.2.4. Argumente und Begründungen für mehr Bewegung in der Schule	45
2.2.5. Formen und Funktionen von Bewegung im Unterricht	54
2.2.6. Forschungsergebnisse zum bewegten Lernen im Kontext Bewegter Schulen	64
2.2.6.1. Forschungsergebnisse zur Umsetzung der Bewegten Schule	66
2.2.6.2. Bewegtes Lernen im internationalen Vergleich	75
2.2.7. Forschungsergebnisse zu verschiedenen Formen von Bewegung im Unterricht	79
2.2.7.1. Bewegungspausen im Unterricht – Forschungsergebnisse zum Lernen <i>mit</i> Bewegung	79
2.2.7.2. Forschungsergebnisse zum bewegten Lernen	86

2.2.7.3.	Exkurs: Bewegtes Lernen im Kontext des Fremdsprachenlernens	89
2.2.8.	Zusammenfassung: Bewegtes Lernen aus sportwissenschaftlicher Perspektive	91
2.3.	Die kognitionspsychologische und neurowissenschaftliche Perspektive	94
2.3.1.	Theoretische Grundlagen zur Kognition und den Strukturen und Funktionsweisen des Gehirns	94
2.3.2.	Effekte, Zusammenhänge und Wirkungen – Was wissen wir über das Zusammenspiel von Bewegung und Lernen aus der Kognitionspsychologie?	103
2.3.2.1.	Allgemeine Zusammenhänge zwischen Bewegung und Kognition	104
2.3.2.2.	Effekte körperlicher Aktivitäten auf kognitive Fähigkeiten als zeitlich getrennte Aspekte	106
2.3.2.3.	Exkurs: Life Kinetik und BrainGym – Förderprogramme <i>mit</i> Bewegung abseits bewegten Lernens	112
2.3.2.4.	Effekte durch die Verbindung von Bewegung und Lernen auf zeitlicher Ebene	114
2.3.3.	Embodied Cognition – Verbindung von Körper und Kognition als untrennbare Einheit	120
2.3.3.1.	Gesten – Ein Teilbereich bewegten Lernens?	129
2.3.3.2.	<i>Embodied Learning</i> und <i>Embodied Education</i> – Konzepte zur Umsetzung des Embodiment-Ansatzes in schulischen Kontexten	131
2.3.3.3.	Forschungsergebnisse zu kognitionspsychologischen Arbeiten zu bewegtem Lernen im Kontext von Mathematik	136
2.3.4.	Zusammenführung – Bewegtes Lernen aus kognitionspsychologischer und neurowissenschaftlicher Perspektive	141
2.4.	Die allgemein pädagogisch-didaktische Perspektive	146
2.4.1.	Ganzheitliches Lernen als zentrales Leitprinzip	146
2.4.2.	Lernen mit allen Sinnen als Forderung ganzheitlicher Wahrnehmungsprozesse	149
2.4.3.	Handlungsorientiertes Lernen als aktive Auseinandersetzung	156
2.4.4.	(Aktiv) Entdeckendes Lernen	161
2.4.5.	Öffnung des Unterrichts als notwendige Maßnahme zur Umsetzung der pädagogischen Prinzipien	165
2.4.6.	Zusammenführung – Bewegtes Lernen aus allgemein pädagogisch-didaktischer Perspektive	169

2.5.	Die entwicklungsbezogene Perspektive	172
2.5.1.	Die körperliche-motorische Entwicklung	172
2.5.2.	Die allgemeine kognitive Entwicklung	177
2.5.3.	Die Entwicklung mathematischer Kompetenzen	187
2.5.4.	Zusammenführung – Bewegtes Lernen aus entwicklungs- bezogener Perspektive	193
2.6.	Die mathematikdidaktische Perspektive – Bewegungen im Kontext des Mathematikunterrichts	195
2.6.1.	Tragfähige Grundvorstellungen als zentrales Ziel des Ma- thematikunterrichts	195
2.6.2.	Die zentrale Bedeutung von Anschauungsmitteln zur För- derung tragfähiger Grundvorstellungen	203
2.6.3.	Das Stellenwertverständnis als eine zentrale Grundvor- stellung	210
2.6.4.	Die Hundertertafel – ein traditionelles Anschauungsmit- tel zur Einsicht in das dezimale Stellenwertsystem	219
2.6.5.	Exkurs: Die historische Entwicklung der Hundertertafel	227
2.6.6.	Lernumgebungen	233
2.6.7.	Zusammenführung – Bewegtes Lernen aus mathematik- didaktischer Perspektive	243
2.7.	Zusammenführung der Perspektiven zu einem interdis- ziplinären Begriffsverständnis	245
3.	Die Studie	252
3.1.	Ziel der Untersuchung	252
3.2.	Forschungsdesign	252
3.3.	Das Lehr-Lern-Labor <i>MATHletics</i> als Rahmenbedingung der Erhebungen	254
3.3.1.	Einordnung und Ziele des Lehr-Lern-Labors	254
3.3.2.	Zur Organisationsstruktur des Seminars	257
3.3.3.	Fachliche Eingrenzung	257
3.3.4.	Zum Ablauf der Förderstunden	258
3.3.5.	Zur Entwicklung des Seminarkonzeptes	261
3.3.6.	Zusammenfassende Bewertung des Projektes im Hinblick auf die Zielstellung der Arbeit	266
3.4.	Die bewegten Lernumgebungen zum Zahlenteppich als Interven- tionsgrundlage	266
3.4.1.	Zur Entwicklung der bewegten Lernumgebungen	267
3.4.2.	Erläuterung der verschiedenen Aufgabenformate	268
3.4.2.1.	L1 – Orientierungsübungen auf dem Zahlentep- pich	271
3.4.2.2.	L2 – Wege auf dem Zahlenteppich	278
3.4.2.3.	L3 – Entdeckungen auf dem Zahlenteppich	284

3.5.	Fallauswahl	286
3.6.	Erläuterung zur Komposition der Durchführung und Auswertung der verwendeten Erfassungsinstrumente	287
3.6.1.	Leitfadeninterviews mit dem Kind und der Lehrperson	290
3.6.1.1.	Erläuterungen zu den Leitfadeninterviews	290
3.6.1.2.	Durchführung der Leitfadeninterviews	293
3.6.1.3.	Auswertung der Leitfadeninterviews	294
3.6.2.	Das Diagnosespiel – „Wir holen den Schatz zurück“	294
3.6.2.1.	Erläuterungen zum Diagnosespiel	294
3.6.2.2.	Durchführung des Diagnosespiels	299
3.6.2.3.	Auswertung des Diagnosespiels	301
3.6.3.	Förderaktivitäten durch Bewegung	303
3.6.3.1.	Erläuterung der Instrumente zur Dokumentation der Förderstunden	303
3.6.3.2.	Durchführung der Förderstunden	305
3.6.3.3.	Auswertung der Förderstunden	306
3.6.4.	Triangulation der durch die verschiedenen Erfassungsinstrumente gewonnenen Daten	313
4.	Ergebnisse zu den empirischen Fallstudien	314
4.1.	Der Codierleitfaden als Ergebnis der Analysearbeit	316
4.2.	Einzelfallstudie zu Maya	322
4.2.1.	Ergebnisse aus den Leitfadeninterviews	322
4.2.2.	Ergebnisse aus der Prediagnostik	324
4.2.3.	Eindrücke aus den Förderstunden	327
4.2.4.	Ergebnisse aus der Postdiagnostik	338
4.2.5.	Zusammenführung der Einblicke zur Fallstudie – Maya	342
4.3.	Einzelfallstudie zu Idris	344
4.3.1.	Ergebnisse aus den Leitfadeninterviews	344
4.3.2.	Ergebnisse aus der Prediagnostik	346
4.3.3.	Eindrücke aus den Förderstunden	350
4.3.4.	Ergebnisse aus der Postdiagnostik	363
4.3.5.	Zusammenführung der Einblicke zur Fallstudie – Idris	368
4.4.	Einzelfallstudie zu Seda	371
4.4.1.	Ergebnisse aus den Leitfadeninterviews	371
4.4.2.	Ergebnisse aus der Prediagnostik	372
4.4.3.	Eindrücke aus den Förderstunden	379
4.4.4.	Ergebnisse aus der Postdiagnostik	394
4.4.5.	Zusammenführung der Einblicke zur Fallstudie – Seda	399
4.5.	Einzelfallstudie zu Josue	401
4.5.1.	Ergebnisse aus den Leitfadeninterviews	401
4.5.2.	Ergebnisse aus der Prediagnostik	403
4.5.3.	Eindrücke aus den Förderstunden	409

4.5.5	Zusammenführung der Einblicke zur Fallstudie – Josue	424
4.6	Einzelfallstudie zu Mostafa	428
4.6.1	Ergebnisse aus den Leitfadeninterviews	428
4.6.2	Ergebnisse aus der Prediagnostik	429
4.6.3	Eindrücke aus den Förderstunden	437
4.6.4	Ergebnisse aus der Postdiagnostik	457
4.6.5	Zusammenführung der Einblicke zur Fallstudie – Mostafa	462
4.7	Einzelfallstudie zu Samra	465
4.7.1	Ergebnisse aus den Leitfadeninterviews	465
4.7.2	Ergebnisse aus der Prediagnostik	466
4.7.3	Eindrücke aus den Förderstunden	471
4.7.4	Ergebnisse aus der Postdiagnostik	483
4.7.5	Zusammenführung der Einblicke zur Fallstudie – Samra	488
4.8	Zusammenfassende Interpretation im Hinblick auf die Ziele der Untersuchung	491
4.9	Methodenkritische Bemerkungen	502
5	Zusammenfassende Interpretation der Hauptergebnisse aller Studien und vorläufiges Resümee	507
6	Schlussfolgerungen und praktische Konsequenzen für die För- derung durch Bewegtes Lernen im Kontext von Mathematik	512
7	Offene Fragen und Vorschläge für weiterführende Untersuchen- gen	520
	Literatur	523
	Abbildungsverzeichnis	558
	Tabellenverzeichnis	565
	Anhang	567

Vorwort

In der aktuellen fachdidaktischen Diskussion werden verschiedenste Zugänge zu Individualisierungen des Lernens, zu Partizipation, zu Verstehensorientierung und Potenzialorientierung diskutiert. Hierzu zählen auch Arbeiten, die eine ganzheitlich-bewegungsorientierte Perspektive einnehmen und Potenziale (oder auch Grenzen) beleuchten von beispielsweise Gesten, von Ansätzen einer „embodied cognition“ oder überhaupt von Zugängen, die versuchen, Lernen und Bewegung zu verbinden. Insbesondere ist ein Lernen von Mathematik „durch Bewegung“, d.h. eine lernerschließende Perspektive, die Bewegungen und den Aufbau tragfähiger Grundvorstellungen verbindet, zunehmend Gegenstand mathematikdidaktischer Forschung. Die Dissertationsschrift von Lena Radünz ist im Kontext des Lehr-Lern-Labor-Projekts „MATHletics“ entstanden, das fest im Lehrkanon der Arbeitsgruppe Didaktik und Geschichte der Mathematik an der Bergischen Universität Wuppertal etabliert war und durch die gemeinsame Arbeit von Kindern, Studierenden und Forschenden den empirischen Studien einen günstigen Rahmen bot. Der Erkenntnisgewinn der vorliegenden Schrift, die Analysen zur Förderung mathematischer Grundvorstellungen durch Bewegtes Lernen im Kontext eines positionsorientierten Stellenwertverständnisses intendiert, ist hauptsächlich in den folgenden Aspekten zu sehen:

- Die Arbeit bietet sehr umfangreiche interdisziplinär ausgerichtete theoretisch-analytische Erörterungen zur Bedeutung von Bewegung für Lehr-Lern-Prozesse auf aktuellem nationalen wie auch internationalen Erkenntnisstand aus mathematikdidaktischer Perspektive. Das daraus begründete differenzierte Begriffsverständnis zu Bewegtem Lernen im Kontext von Mathematik ist auch unabhängig von den empirischen Studien als Beitrag zur fachdidaktischen Theoriebildung an der Schnittstelle von Lernen und Bewegung zu sehen.
- Die für die im Kontext der Untersuchungen organisierten Rahmungen, v.a. die Konzeption des Lehr-Lern-Labors „MATHletics“, die Komposition des „Zahlenteppichs“ als körper- und raumorientiertes Anschauungsmittel sowie die im Kontext der Studien erprobten bewegten Lernumgebungen bieten fundierte Grundlagen für vielschichtige Anschlussstudien und sie sind ebenso nutzbar als Orientierungen für zahlreiche lehr-lern-praktische Situationen.
- Die Arbeit bietet im Ergebnis der empirischen Studien vielschichtige und facettenreiche Eindrücke zu Potenzialen und Grenzen der Entfaltung des Stellenwertverständnisses unter verstehens- und zugleich bewegungsorientierter Perspektive.

- Aus den Resultaten der Untersuchungen heraus werden zahlreiche praktische Konsequenzen für individuelle Förderung im Kontext Bewegten Lernens abgeleitet.

Über den wissenschaftlichen Wert hinaus weist die Dissertationsschrift von Lena Radünz einen hohen praktischen Wert für die weitere Verbesserung verstehensorientierter individueller Förderung im Kontext des Mathematikunterrichts auf, ebenso für die Weiterentwicklung der Studiencurricula in der Lehrerbildung. Daher sei der vorliegenden Schrift eine breit gefächert interessierte Leser*innenschaft gewünscht.

Lena Radünz interessierte sich bereits während ihres Studiums für Potenziale von Verbindungen der Komplexe Lernen und Bewegung im Mathematikunterricht. Insbesondere widmete sie Ihre Masterthesis bereits Untersuchungen zu Potenzialen und Grenzen dieser Schnittstellenbetrachtung. Nach ihrem Studienabschluss folgen eine mehrjährige Tätigkeit als Wissenschaftliche Mitarbeiterin, zunächst am Institut für Didaktik der Mathematik an der Universität Münster, später in der Arbeitsgruppe Didaktik und Geschichte der Mathematik an der Bergischen Universität Wuppertal. „Im Hintergrund“ der vorliegenden Dissertationsschrift leistete Lena Radünz beachtliche Netzwerkarbeit, um Infrastrukturen für die empirischen Untersuchungen zu etablieren – neben der Leitung von Fördergruppen im Lehr-Lern-Labor „MATHletics“ sind diesbezüglich insbesondere eine enge und langfristige Kooperation mit der Grundschule Marienschule in Wuppertal, und intra- wie auch intradisziplinäre Kooperationen mit Wissenschaftler*innen, insbesondere mit Prof. Dr. Michael Pfitzner (Universität Duisburg-Essen) erwähnenswert. Diesen Partnern wie überhaupt allen Beteiligten, insbesondere den Kindern, Lehrkräften und Studierenden, die die Forschungsarbeiten von Lena Radünz unterstützt haben, sei herzlich gedankt.

Wuppertal im November 2024

Ralf Benölken

Danksagung

„Wer nur am (sicheren) Ufer entlang schwimmt, gelangt nie zu wahrer Tiefe“

(Helga Schäferling, 1957)

Durch mein Grundschullehramtsstudium mit dem Wahlfach Sport wurde ich durch diverse universitäre Veranstaltungen bereits frühzeitig auf das Konzept der Bewegten Schule aufmerksam. Der Samen für meinen wissenschaftlichen Werdegang und somit diese Arbeit wurde allerdings erst durch mein Forschungsprojekt im Rahmen meines Praxissemesters im Sommer 2016 gesät. Dort fiel mir im Unterricht der zweiten Klasse der Schüler *Jamie* auf, der deutliche Schwierigkeiten im Rechnen hatte, während der Stunde unruhig auf seinem Stuhl hin und her rutschte und bezogen auf mathematische Inhalte immer wieder sein Unverständnis und seine Demotivation zum Ausdruck brachte. Durch meine Teilnahme an dem Projekt MaKosi („Mathematische Kompetenzen sichern“) von meinem jetzigen Doktorvater Ralf Benölken war mir bewusst, wie wichtig es ist, derartigen Kindern das Interesse an dem Fach zurückzugeben, um ihnen einen Weg aus dem ‚Teufelskreis‘ zu zeigen und sie inhaltlich fördern zu können. Mit dem primären Ziel der Motivation und positiver Emotionen entstand damals die Idee eines ‚Einmaleinstrainingslagers‘ zur Automatisierung der Kernaufgaben durch Bewegung. Jamie begeistert durch die Sporthalle laufen und mit Freude die Einmaleinsaufgaben lösen zu sehen, führten mir damals das Potenzial von Bewegung für das Lernen vor Augen. Dadurch, dass er mir gegen Ende der Projektphase dann seinen Einmaleinstest stolz nach vorne zum Pult brachte und für sich selbst einschätzen konnte, dass er deutlich mehr Aufgaben lösen konnte, wurde bei mir das Interesse geweckt, das Potenzial von Bewegung für das Lernen von Mathematik genauer zu untersuchen. Jamie war es somit, der mich zu dieser Arbeit inspirierte und sein stolzes Lächeln über seine Entwicklung hat mich all die Jahre motiviert, mein Forschungsziel mit Blick auf meine eigene schulpraktische Arbeit als Lehrerin nicht aus den Augen zu verlieren. Daher möchte ich meine Arbeit gerne dem Schüler Jamie widmen und ihm für seine Inspiration danken.

Auf meinem Weg zur Fertigstellung dieser Arbeit haben mich verschiedenste Menschen begleitet und unterstützt. An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater *Prof. Dr. Ralf Benölken* bedanken. Er hat damals das Potenzial für die Erforschung des Bewegten Lernens im Kontext von Mathematik anhand meiner Idee aus dem Praxissemester erkannt und mich durch den einfachen Satz „Da müssen wir mehr draus machen!“ dazu angestoßen, mich tiefer wissenschaftlich zunächst durch meine Masterarbeit und anschließend diese Doktorarbeit mit der Thematik auseinanderzusetzen. Zuvor hatte ich einen derartigen wissenschaftlichen Werdegang für mich nicht ins Auge ge-

fasst, sodass ich ihm aufrichtig danke, dieses Potenzial in mir erkannt, mir die Möglichkeit durch die Arbeit an seinem Lehrstuhl eröffnet und mir darüber hinaus wertschätzend bei der Entfaltung dieser Fähigkeiten unterstützt zu haben. Er hat mir über die Jahre hinweg immer den Raum gelassen, mein eigenes Interesse zu verfolgen, mich verschiedenen Herausforderungen in Lehre und Forschung zu stellen und hat mich gleichzeitig in den entscheidenden Momenten durch richtungsweisende Ratschläge, konstruktive Kritik und den inhaltlichen Austausch unterstützt.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinem Zweitgutachter *Prof. Dr. Michael Pfitzner* für die inhaltlichen Gespräche und konstruktiven Kritiken, die mir neue Perspektiven eröffneten und mich in meiner Arbeit bestärkten, ganz herzlich bedanken. Er brachte mich zudem mit den Doktorandinnen *Katharina Ludwig* von der Universität Münster und *Jennifer Liersch* von der Universität Duisburg-Essen zusammen. Der durch diesen Kontakt entstandene inhaltliche Austausch zu Bewegung und Mathematik im Rahmen unserer regelmäßigen gemeinsamen und individuell geplanten Kolloquien hat wesentlich zur inhaltlichen Ausgestaltung meiner Arbeit beigetragen und mich immer wieder motiviert, mein Ziel nicht aus den Augen zu verlieren.

Ein weiterer Dank gilt den (ehemaligen) Mitarbeiter*innen der Arbeitsgruppe *Timo Dixel, Sarah Beumann, Wiebke Auhagen, Andrea Tiedke, Dirk Weber, David Jolitz* und *Anna-Maria Schmitz*, die mich nicht nur fachlich und forschungsmethodisch unterstützt haben, sondern mich als Team in der Bewältigung meiner Herausforderungen bestärkt und mir kollegial zur Seite gestanden haben. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle die persönliche und freundschaftliche Unterstützung von *Anna-Maria Schmitz*, die durch ihre wertschätzende und fürsorgliche Art immer die richtigen Worte gefunden hat, mir auf dem teils steinigen Weg zu helfen, an mich selbst zu glauben!

Neben den Kolleg*innen unserer Arbeitsgruppe möchte ich mich auch bei dem Team von *Prof. Dr. Elke Söbbeke* und *Prof. Dr. Marei Fetzer* sowie bei *Prof. Dr. Wolfgang Schwarz* bedanken. Der inhaltliche Austausch im Rahmen des mathematikdidaktischen Oberseminars und weiterer persönlicher Gespräche hat wesentlich zur inhaltlichen Ausschärfung meiner Arbeit beigetragen. Auch meine ehemaligen Kolleg*innen *Kathrin Schröder, Nora Kühme, Jana Thiele* und *Nikola Leufer* aus der Arbeitsgruppe von *Prof. Dr. Martin Stein* an der Universität Münster möchte ich an dieser Stelle namentlich erwähnen, da sie mich besonders in meiner Anfangszeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin begleitet und geprägt haben, von deren freundschaftlichem sowie beruflichen Kontakt ich noch heute profitieren darf.

Die im Rahmen des Lehr-Lern-Labors *MATHletics* entstandenen Abschlussarbeiten lieferten wertvolle Impulse für die vorliegende Arbeit. Ich möchte mich daher ganz herzlich bei allen Autor*innen dieser Thesen bedanken. An dieser Stelle können nicht alle Studierenden namentlich genannt werden. Stellvertretend für die mehr als 40 Arbeiten möchte ich mich bei *Denise Borgmann*,

Annalena Donaera, Ann-Kathrin Gottmann, Sophie Hofstetter, Ann-Christin Juch, Sarah Schmied, Sandra Sengstmann, Anna Slawinski-Hoffmann und Elena Wolski bedanken, deren Daten für die in dieser Arbeit zugrunde gelegten Fallstudien und somit das Erstellen dieser Arbeit von zentraler Bedeutung sind. Abschließend gilt mein Dank natürlich meiner *Familie* und meinen *Freunden*. Sie haben mich über die gesamte Zeit hinweg bestärkt und begleitet, mich nicht nur beim Basteln eines Prototypen meines Zahlenteppichs aktiv unterstützt, sondern auch in entscheidenden Momenten einfach mal von der Arbeit abgelenkt. Dabei haben sie mir immer das Gefühl gegeben, dass sie an mich glauben und dass ich diese Herausforderung meistern werde. Ich möchte meiner Freundin *Silja* und ganz besonders meiner Schwester *Sara* für die endlosen Stunden des Korrekturlesens meiner Arbeit danken.

Dülmen im November 2024

Lena Radünz

Akronymverzeichnis

Akronyme

AG	Arbeitsgemeinschaft
ATOM	A Theory of Magnitude
CON	control group
EC	Embodied Cognition
EEG	Elektroenzephalografie
ES	Effektstärke
FMM	fine motor math group
FS	Förderstunde
GMM	gross motor math group
HT	Hundertertafel
KV	Kopiervorlage
KMK	Kultusministerkonferenz
LLL	Lehr-Lern-Labor(e)
M4T	Move for Thought
MNL	mental number line
OM	operational momentum
PA	physical activity
PCP	polarity correspondence principle
SEB	subjektive Erfahrungsbereiche nach Bauersfeld (1983)
SNA	spatial-numerical association
SR	systematic review
TMS	transkranielle magnetische Stimulation
ÜP	Übersetzungsprozess
ZT	Zahlenteppich

Allgemeine Abkürzungen

bspw.	beispielsweise	bzgl.	bezüglich
ebd.	ebenda	evtl.	eventuell
i.d.R.	in der Regel	i.e.S.	im eigentlichen Sinne
m.E.	meines Erachtens	o.Ä.	oder Ähnliches
S.	Seite	sog.	sogenannt
u.a.	unter anderem	u.Ä.	und Ähnliches
v.a.	vor allem	Z.	Zeile
z.T.	zum Teil	zw.	zwischen
z.B.	zum Beispiel	f.	folgende
d.h.	das heißt		

1. Einleitung

„Alles, was die Menschen in Bewegung setzt, muss durch ihren Kopf hindurch; aber welche Gestalt es in diesem Kopf annimmt, hängt sehr von den Umständen ab.“

(Friedrich Engels)

1.1. Problemlage

Bewegungen aktiv in den Lernprozess einzubeziehen, ist nicht neu. Mit der Perspektive des ganzheitlichen Lernens der Reformpädagog*innen wurde bereits Anfang des 20. Jahrhundert die Bedeutung von Bewegung für die Entwicklung und das Lernen der Schüler*innen herausgestellt. Dabei wurden die Bedürfnisse der Kinder als Ausgangspunkt für die Gestaltung des Unterrichts gesehen und somit zentral in den Mittelpunkt gestellt. Auch wenn die Bedürfnisse der Schüler*innen in den darauffolgenden Jahren in der Schule weniger Berücksichtigung gefunden haben, werden sie neuzeitlich in der Inklusionsdebatte wieder verstärkt zum Anlass der Lernprozessgestaltung gemacht. Denn aktuell wird nach wie vor zumeist konstituiert, dass bestehende und nicht inklusive Konzepte schulischer Bildung den Bedürfnissen der Kinder nur unzureichend gerecht werden (vgl. Käpnick, 2016a).

Als Folge der Ratifizierung des Artikels 24 der Behindertenrechtskonvention wird die Bildungslandschaft derzeit vor die Aufgabe gestellt, ein inklusives Schulsystem zu entwickeln. Auch wenn der Inklusionsanspruch über das Bildungssystem hinaus geht und als eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu betrachten ist, wird die bereits langjährige Debatte im Besonderen durch Reformansprüche im Schulsystem wahrgenommen. Als Herausforderung erweist sich, dass Inklusion häufig „verkürzt interpretiert“ (Benölken, Berlinger et al., 2018b, S. 1) und die Diskussion auf die gemeinsame Beschulung von Kindern mit und ohne Behinderung verengt wird (vgl. Korff, 2015). Der ursprüngliche Inklusionsgedanke geht jedoch weit darüber hinaus und fordert Konzepte für Schule und Unterricht, welche die Vielfalt der Kinder in umfassenden Maße aufgreifen und auf diese Weise nicht nur fachliches, sondern auch individuelles Lernen möglich machen (vgl. GDM et al., 2017). Für das Gelingen einer inklusiven Schule wird als wesentlicher Aspekt das bewusste und gezielte Aufgreifen der Diversität der Lernenden genannt (vgl. Korff, 2015). Als Herausforderung für den Unterricht bedeutet dies, „[d]ie widersprüchlichen Pole Verschiedenheit und Gleichheit“ durch „Individualisierung und Gemeinsamkeit“ in Balance zu bringen (Wocken, 2014, S. 55f.). Entgegen mancher Eindrücke sei aber zu betonen, dass Inklusion im eigentlichen Sinne keine umfassend neuen Forderungen

an das System Schule stellt (vgl. GDM et al., 2017), denn selbst bei ‚enger‘ Interpretation von Inklusion und unabhängig von der Zuschreibung eines sonderpädagogischen Förderbedarfs ist jedes Kind als einzigartig zu betrachten und sollte davon ausgehend individuell gefördert werden.

Die mit dieser Perspektive verdeutlichte Notwendigkeit, die Vielfalt der Schüler*innen im Unterricht zu erkennen und all ihre Potenziale zur gegenseitigen Bereicherung für das Lernen in der Gruppe einzubringen (vgl. Käpnick, 2016a), zeigt jedoch zugleich, dass ein inklusiver Unterricht, der durch die aufgezeigten Standpunkte bereits vor der Behindertenrechtskonvention als inklusiv einzuschätzen war, kein neuer oder anderer Unterricht sein muss (vgl. Korff, 2015). Mit dem Blick auf die verschiedenen Unterrichtsfächer allgemein und im Speziellen für das Fach Mathematik bedeutet dies, dass ein inklusiver Unterricht als Schlussfolgerung auch keiner neuen Didaktik bedarf (vgl. Berlinger et al., 2017). Grundsätzlich ergibt sich daraus die Konsequenz, dass zwar aktuell fachdidaktische Zugänge zur Gestaltung eines inklusiven Mathematikunterrichts geschaffen werden müssen und somit ein deutlicher Bedarf für Entwicklung und Forschung besteht (vgl. Rottmann & Peter-Koop, 2015). Zugleich sind mindestens seit den 1980er-Jahren umfassend erprobte Ansätze für das Lernen in heterogenen Lerngruppen vorhanden, sodass bereits fachdidaktische Konzepte für den Umgang mit Vielfalt bestehen (vgl. GDM et al., 2017), die z.B. in geeigneter Form zu adaptieren und in Synthesen zu bringen sind. Oft werden dazu offene substanzielle Problemfelder (u.a. Benölken, Berlinger et al., 2018b) sowie mathematisch reichhaltige Lernumgebungen (u.a. Peter-Koop et al., 2009; Wollring, 2008) als Möglichkeiten zur Umsetzung in einem inklusiven Setting benannt, da diese bereits bestehende Ansätze zum Umgang mit Vielfalt verbinden. Dexel (2019) stellt demgemäß die zentrale Bedeutung von Lernarrangements für das inklusive Lernen heraus, indem er die „Balance aus verschiedenen Lernarrangements“ als eine Gelingensbedingung für einen inklusiven Mathematikunterricht herausarbeitet.

Mit dem als zentralen zu benennenden Kriterium der mathematischen Reichhaltigkeit (vgl. GDM et al., 2017) eröffnen sich Chancen natürlicher Differenzierungen vom Kind aus, die über rein methodische Öffnungen hinaus gehen. Gefordert wird somit eine fundamentale mathematische Substanz als ein „vielschichtige[r], aber logisch zusammenhängende[r] Themenkomplex“, der den gemeinsamen Gegenstand für den Unterricht bildet (Wocken, 1998, S. 38). Durch die Offenheit in der Lösung, der Lösungsdarstellung und darüber hinaus durch die Veränderung der Rahmenbedingungen wie Material und Zeit wird eine Individualisierung des Lernprozesses der Schüler*innen ermöglicht. Wie sich exemplarisch an diesen Beispielen verdeutlicht, ergibt sich zusammenfassend als eine zentrale Herausforderung im Fachunterricht, die bereits vorliegenden Konzepte eines differenzierten Mathematikunterrichts auch für inklusive Lerngruppen aufzuarbeiten und diese nach Bedarf zu erweitern oder zu verändern (vgl. Rottmann & Peter-Koop, 2015). Das bewegte Lernen wird im Rahmen

dieser Arbeit als möglicherweise produktives Element mathematikdidaktischer Ansätze erforscht. Es ordnet sich somit in das aktuelle Forschungsfeld zu fachdidaktischen Forschungen im Kontext von Inklusion ein. Diese Arbeit schließt an Reformbewegungen zu inklusivem Fachunterricht als Ausgangspunkt an und sie möchte einen Beitrag als übergeordnetes Ziel dazu leisten, Konzepte individualisiert verständnisorientierten Lernens zu vertiefen und zu erweitern. In diesem Sinne wird das kindliche Bewegungsbedürfnis als ein wichtiger Bestandteil des Potenzials eines jeden Kindes fokussiert und seine mögliche Wirkung individuell wie auch für gemeinsame Lernprozesse erforscht. Auch wenn das Bewegungsbedürfnis ebenfalls individuell für jedes Kind zu betrachten ist, stellt es dennoch ein alle Kinder verbindendes natürliches Bedürfnis dar. B. Winter et al. (2007) merkt hierzu z.B. an, dass genau dieses motorische Bedürfnis im Unterricht nicht ausreichend berücksichtigt wird.

Während ein inklusiver Unterricht im Besonderen die Bedürfnisse und die Individualität der Schüler*innen beachtet und somit vielfältige Ansätze aus fachunabhängiger Perspektive liefert, gilt es darüber hinaus aus fachdidaktischer Perspektive in den gemeinsamen Lernsituationen speziell das fachliche Lernen zu fokussieren (vgl. GDM et al., 2017). So werden in fachdidaktisch fundierten Ansätzen mit Gelegenheiten zum aktiv-entdeckenden Lernen sowie einer natürlichen Differenzierung in Form von substanziellen und mathematisch reichhaltigen Lernumgebungen Möglichkeiten zur Umsetzung eines inklusiven Mathematikunterrichts herausgestellt (GDM et al., 2017, S. 43). Während z.B. fundamentale mathematische Ideen zentrale Inhalte aus fachlicher und fachdidaktischer Perspektive als Rahmung vorgeben, liefert u.a. das Grundvorstellungskonzept einen Betrag zur Gestaltung von Lernprozessen im Kontext von Mathematik (vgl. vom Hofe, 1995). Der Begriff der Grundvorstellung und auch das dahinter liegende Konzept ist bereits seit vielen Jahren in der Mathematikdidaktik etabliert (vgl. Wartha & Schulz, 2019). Wie im Überblick vom Hofes (1995) deutlich wird, sind die Ursprünge des Grundvorstellungskonzepts zwischen den Polen Mathematik und Psychologie entstanden. So besteht weitestgehend Konsens darüber, dass „das Konzept auf den verständnisorientierten Erwerb mathematischer Begriffe und Verfahrensweisen [zielt], wobei bestimmte grundlegende Vorstellungen im Mittelpunkt stehen, die für dieses Verstehen konstituierend sind“ (Vohns, 2005, S. 59). Dabei unterstellen Wartha und Schulz (2019) den Lernenden ein Verständnis, wenn ein Ergebnis auf der Grundlage einer Grundvorstellung in eine andere Darstellung überführt werden kann. Mit ähnlichen Unterscheidungen etwa in traditionellen Modellen zum Darstellungswechsel (siehe u.a. den Überblick bei Zech, 2002; mit Bezug zu den Theorien von Bruner et al., 1988; Aebli, 1980; vgl. Abschnitt 2.5.2) unterscheiden Wartha und Schulz (2019, S. 30) dazu fünf Arten von Darstellungen: Bilder, Handlungen, reale Situationen und mathematische Symbole gesprochen und geschrieben (siehe Abschnitt 2.6.1; Abbildung 31). Dabei werden nach ihrem Verständnis besonders bei der Übersetzung zwischen „mathematisch-

symbolischen (besprochen und geschrieben) und nicht-symbolischen (Bilder, Handlungen und reale Situationen) Darstellungen“ mathematische Grundvorstellungen aktiviert (Wartha & Schulz, 2019, S. 30). Daraus ergibt sich, dass in einem verständnisorientierten Mathematikunterricht der Aufbau von Grundvorstellungen als ein zentrales Ziel angesehen werden muss (vgl. Wartha & Schulz, 2019, siehe Abschnitt 2.6.1). Verschiedene Leistungsvergleichsstudien dokumentieren jedoch, dass der Mathematikunterricht in deutschen Schulen die Entwicklung grundlegender Vorstellungen zu zentralen Begriffen vernachlässigt (vgl. Vohns, 2005). Die Folgen sind, dass auch in den aktuelleren Vergleichsstudien eine zu große Anzahl Schüler*innen in ihren Leistungen auf den unteren Kompetenzstufen verbleiben. So zeigte sich in der Untersuchung zu den mathematischen und naturwissenschaftlichen Leistungen der Grundschüler*innen im Rahmen der TIMSS-Studie von 2016 (Wendt et al., 2016), dass jedes vierte Kind auf den Kompetenzstufen I und II verbleibt und daher zwar über basales Faktenwissen verfügt, aber kein grundlegendes Verständnis aufbaut. Dieses fehlende grundlegende Verständnis führt auf der weiterführenden Schule dazu, dass im Rahmen der PISA-Studie etwa 20% der Schüler*innen „nicht die Mindestanforderungen an eine naturwissenschaftliche Grundbildung“ erreichen (Reiss et al., 2019, S. 16). Die Ursachen für das mangelnde Verständnis werden dabei seit langem zum einen darauf zurückgeführt, dass der Mathematikunterricht durch Methoden des Kalküls dominiert (vom Hofe, 1995; vgl. auch Vohns, 2005) und folglich zu früh auf die symbolische Ebene überführt wird. Dadurch wird zu wenig berücksichtigt, dass der handelnde Umgang am Material eine Voraussetzung für die Entwicklung mentalen Vorstellungen darstellt (vgl. u.a. Schipper, 2009). Zum anderen werden Anschauungsmaterialien selbstverständlich in den Unterricht – vor allem der Primarstufe – eingesetzt (vgl. Wartha & Schulz, 2019), sodass daraus zu schließen ist, dass die reinen Handlungen am Material nicht automatisch zu inneren Vorstellungen bei den Schüler*innen führen. Vom Hofe (1995) betont bspw., dass Grundvorstellungen von den Lernenden individuell geprägt werden und somit durch Emotionen und Erfahrungen der Lernenden angereichert werden. Dies bedeutet folglich, dass Fehlvorstellungen entstehen können, indem Begriffe und Symbole von den Lernenden anders als im Sinne des mathematischen Inhalts gedeutet werden (vgl. ebd.). Darüber hinaus gelingt es einigen Schüler*innen nicht, sich selbstständig von den Handlungen am Material hin zum mentalen Operieren in der Vorstellung zu lösen (vgl. Wartha & Schulz, 2019). Daher finden sich Ansätze wie das „Vierphasenmodell zum Aufbau von Grundvorstellungen“ von Wartha und Schulz (2019) (siehe Abschnitt 2.6.1), die das Ablösen der konkreten Handlungen hin zu gedanklichen Vorstellungen zu fördern versuchen, indem durch den Abbau der unmittelbaren Anschauung des Materials und die sprachliche Begleitung der Handlungen die Vorstellung dessen unterstützt wird. Zusammenfassend zeigt sich, dass Grundvorstellungen bereits seit vielen Jahren eine wichtige Rolle in der Mathematikdidaktik eingenommen haben und

darüber hinaus auch Konsens über die zentrale Bedeutung zum Einsatz von Anschauungsmaterialien im Mathematikunterricht vorliegt. Wie die Ergebnisse der Leistungsvergleichsstudien jedoch dokumentieren, bleibt weiterhin Handlungsbedarf aus der fachdidaktischen Perspektive bestehen, aktuelle Konzepte zur Förderung von Grundvorstellungen zu reflektieren und zu erweitern. So finden sich bereits verschiedene Ansätze zur Förderung lernschwacher Schüler*innen mit allen Sinnen (vgl. u.a. Scherer & Moser Opitz, 2010). Aus einer kritischen Perspektive heraus betonen Scherer und Moser Opitz (2010, S. 83), dass Lernen mit allen Sinnen „nicht per se den mathematischen Lernprozess [unterstützt], sondern nur dann, wenn die Aktivität die Struktur eines mathematischen Lerngegenstandes hervorhebt bzw. dessen Aneignung unterstützt.“ Daraus ergibt sich die Frage, inwieweit sich bewegtes Lernen im Sinne von Verständnis- und Erkenntnisorientierung für mathematische Lehr-Lern-Prozesse nutzen lässt und inwieweit sich z.B. durch die Bewegungen mathematische Strukturen hervorheben lassen, sodass der Grundvorstellungsaufbau durch die Bewegungen gefördert wird.

Wie zu Beginn angeführt, entstand die Idee, Bewegung in den Unterricht zu integrieren und somit ganzheitliches Lernen über vielfältige Sinne zu realisieren, bereits zur Zeit der Reformpädagogen (vgl. Kraft, 2007). So bezeichnete Montessori (1989) das Schulmobilier als Sklavenband und kritisierte die schädliche Haltung über mehrere Stunden (vgl. Laging, 2006b). Diese damals als radikal einzuschätzende Veränderung in Bezug auf die Gestaltung von Schule und Lernen konnte sich jedoch nicht flächendeckend durchsetzen (vgl. ebd.). Schlussendlich waren es die Rückenbeschwerden der Kinder und Jugendlichen als Folge des langen Sitzens in der Schule, die der Bedeutung von Bewegung im Schulalltag neue Aufmerksamkeit verliehen. Anfang der 90er-Jahre wurde mit der Informationskampagne „Sitzen als Belastung“ um Urs Illi die Argumentation der Bewegten Schule angestoßen (vgl. Illi, 1995, siehe Abschnitt 2.2.2). Mit der daraus entstandenen Initiative wurde 1991 länderübergreifend der Grundstein für das Projekt einer Bewegten Schule gelegt (vgl. Illi, 1995). Aus dieser gesundheitsbildenden Perspektive entstand dabei die erste Idee, den Belastungen durch das Sitzen im Unterricht mit „Bewegung als Unterrichtsprinzip“ zu begegnen (Illi & Zahner, 1999, S. 408). So bildet das bewegte Lernen ein festes Thema innerhalb der Diskussion um die Bewegte Schule in der Sportwissenschaft und kann als ein Bestandteil des bewegten Unterrichts angesehen werden (Beckmann & Riegel, 2017; Laging et al., 2010; C. Müller & Ziermann, 2014). Ausgehend von einer zunächst gesundheitlich orientierten Perspektive zeigt sich durch sportwissenschaftliche Arbeiten und in Forschungen verschiedener Bezugsdisziplinen, dass weitaus mehr Argumente für die Integration von mehr Bewegung in den Schulalltag sprechen, wie es das folgende Zitat andeutet (Blech, 2006, S. 137):

„Bewegung ist keineswegs eine nützliche Zugabe, um die Gesundheit zu

verbessern. Vielmehr ist sie die Voraussetzung, die das normale Funktionieren des Menschen erst ermöglicht.“

So zeigt das Ergebnis einer Metastudie auf der Grundlage von insgesamt 59 Studien von Fedewa und Ahn (2011) zu den Auswirkungen körperlicher Aktivität und Fitness auf kognitive Leistungen insgesamt positive und signifikante Wirkungen durch körperliche Aktivität allgemein und im Besonderen durch Bewegungen im Ausdauerbereich. Ausgehend von diesem grundsätzlichen Zusammenhang von Bewegung und Kognition finden sich vielfältige Studien zu speziell eingesetzten Bewegungseinheiten während des Schultages bspw. in Form von Bewegungspausen. Im deutschsprachigen Raum gibt es entsprechende Studien bis dato noch eher vereinzelt, wobei sie grundlegend positive Effekte auf die Konzentration und Aufmerksamkeit der Schüler*innen verzeichnen können (Dordel & Breithecker, 2003; C. Müller & Petzold, 2003; Wamser & Leyk, 2003). Allerdings werden solche Ergebnisse von anderen Autoren aus forschungsmethodischer Perspektive durchaus kritisch betrachtet (Fessler, 2007; Fleig, 2008). Mahar (2011) hingegen fasst in einem Überblicksartikel verschiedene Studien zu Bewegungsinterventionen im Schulalltag zusammen und kommt dabei zu dem Ergebnis, dass sich die Aufmerksamkeit von Lernenden durch die Integration von Bewegung in den Schulalltag verbessern lässt.

Neben den zuvor geschilderten Interventionsstudien liegen mittlerweile mithilfe von bildgebenden Verfahren diverse Studien aus der Hirnforschung vor, die ebenfalls einen Bezug zwischen Lernen und Bewegung herstellen. Demnach erhöhen sportliche Aktivitäten nicht nur die Konzentration verschiedener Botenstoffe im Gehirn, sondern beeinflussen auch die Gedächtnisleistung, das Lernvermögen sowie die Emotionen (vgl. Abschnitt 2.3). In gleicher Weise können verschiedene Studien belegen, dass Bewegung die Neubildung und Vernetzung von Nervenzellen und somit die Struktur und Funktionsweise des Gehirns unterstützt (Walk, 2011). Auch Forschungen zu exekutiven Funktionen verdeutlichen die Wirkung von Bewegung auf das Lernen und eröffnen so ein neues interdisziplinäres Forschungsfeld. Den exekutiven Funktionen als kognitive Kontrollprozesse für das menschliche Verhalten in nicht-routinierten Situationen wird eine große Bedeutung in Bezug auf die Lernleistung von Schüler*innen zugeschrieben. So kommt Walk (2011, S. 28f.) zu der Aussage, dass „gut ausgebildete exekutive Funktionen die Basis erfolgreichen Lernens“ darstellen. Verschiedene Studien widmen sich dem Zusammenhang von exekutiven Funktionen und körperlicher Leistungsfähigkeit und kommen dabei zu dem Schluss, dass exekutive Funktionen neben dem natürlichen Reifeprozess durch kognitive und physische Trainings gefördert werden können (vgl. u.a. Stögglhner, 2012). Die Wirkung derartiger Trainings ist zugleich abhängig von den individuellen Unterschieden der Proband*innen und darüber hinaus speziell im schulischen Kontext von den anschließenden Inhalten (Hollmann et al., 2003; Reinhardt, 2009; B. Winter et al., 2007). Darüber hinaus konnten korrelati-

ve Beziehungen zwischen den Ausprägungen der exekutiven Funktionen und Rechenleistungen nachgewiesen werden (Boriss, 2015), sodass aus neuropsychologischer Perspektive gerade den exekutiven Funktionen eine bedeutende Rolle bei der Lösung von Rechnungen zugeschrieben wird.¹

Neuere Forschungen zeigen demgemäß, dass neben weiterhin bestehenden medizinisch-gesundheitswissenschaftlichen Begründungen, wie sie den Ursprung der Bewegten Schule gelegt haben, verstärkt auch Argumente aus der entwicklungs- und lerntheoretischen Perspektive angeführt werden können (Thiel et al., 2002, 2013). Diese Argumentationslinie betont grundsätzlich die Relevanz der Bewegung für die kindliche Entwicklung und das Lernen und wird mittlerweile differenziert in der wissenschaftlichen und praktischen Literatur dargestellt (vgl. Thiel et al., 2002). Mit dieser verstärkten Perspektive auf das Lernen wird deutlich, dass die Konzepte der Bewegten Schule bis in den Unterricht wirken und dabei „einen essenziellen Kernpunkt der bewegten Schulkonzepte“ (Laging et al., 2010, S. 163) darstellen. Die zuvor dargestellten Studien lassen bezogen auf den Unterricht schließen, dass Lernphasen gezielt durch Bewegungseinheiten unterbrochen werden sollten, um durch die Bewegung sowohl für den Kopf als auch für den Körper einen Ausgleich zu schaffen und die Lernbereitschaft wieder zu erhöhen. Dies stellt nach Laging und Kolleg*innen (2010) jedoch nur eine Möglichkeit dar, um Bewegung in den Unterricht zu integrieren. Sie bezeichnen diese Form als Lernen *mit* Bewegung und definieren dazu eine strukturierende Funktion von Bewegung, indem die Bewegung einen Wechsel zwischen Anspannung und Entspannung ermöglicht. Diese Form der Bewegung kann automatisch durch die Wahl offener Unterrichtsmethoden erfolgen, indem sich die Schüler*innen z.B. während ihrer Arbeit frei im Raum bewegen können oder durch die Lehrkraft aktiv instruiert werden, indem Bewegungspausen zur Aktivierung oder Entspannung rhythmisierend in den Unterrichtsverlauf eingebaut werden. Jedoch erst, wenn Bewegung „darüber hinaus direkt in die Inszenierungsform des Unterrichts eingebunden“ wird, spricht man in der fachlichen Diskussion von bewegtem Lernen (Laging et al., 2010, S. 164). Grob zusammengefasst lassen sich dazu die folgenden terminologisch-konzeptuellen Charakterisierungen zu bewegtem Lernen anführen (siehe im Detail Abschnitt 2.2.5): So nehmen Hildebrandt-Stramann und Kolleg*innen (2017, S. 24) die Unterscheidung in „Lernen mit Bewegung“ und „Lernen durch Bewegung“ vor und beziehen sich dabei auf Baur-Fettah (2007). Laging und Kolleg*innen (2010, S. 163f.) hingegen nutzen die Bezeichnung Lernen *mit* Bewegung bereits für die rhythmisierende Form von Bewegung im Unterricht und unterscheiden folglich das bewegte Lernen in Lernen *in* Bewegung und Lernen *durch* Bewegung. Unabhängig der begrifflichen Unterschiede besteht jedoch der Konsens zum bewegten Lernen, dass Bewegung auf zeitlicher Ebene „lernbegleitend“ („Lernen *in* Bewegung“ nach Laging et al., 2010) sowie auf inhaltlicher Ebene

¹Dies gilt jedoch nur für Rechnungen, die nicht ausschließlich auf der Grundlage automatisierter Prozesse gelöst werden (Boriss, 2015; Stöglehner, 2012).

„lernalerschließend“ („Lernen *durch* Bewegung“ nach Laging et al., 2010) mit dem Lernprozess verbunden werden kann.

Dabei lassen erst einige wenige Studien eine positive Wirkung von bewegtem Lernen im Kontext von Mathematik vermuten. Empirische Ergebnisse liegen für die lernbegleitende Funktion (Lernen *in* Bewegung) als „Bewegtes Sitzen“ vor. In den verschiedenen Studien der Forschungsgruppe um Henz lösten Testpersonen bspw. mathematische Aufgaben, während sie über einen speziellen Hocker² („Bewegtes Sitzen“) eine Stimulierung des motorischen Systems erfuhren (Deyer et al., 2015; Henz et al., 2015; Henz & Schöllhorn, 2016; Henz et al., 2014; John et al., 2016). Dabei zeigten sich zum einen positive Effekte auf die mathematischen Leistungen und zum anderen Unterschiede in Bezug auf die Effekte zu mathematischen Inhalten (Henz et al., 2014), den Expertisegrad der Testpersonen (Henz et al., 2015) und die Art der Bewegung (Henz et al., 2016). So belegen die Studien, dass visuell-räumlich zu verarbeitende mathematische Inhalte und körperlich-motorische Bewegungen kognitiv vergleichbare Prozesse anregen und auf diese Weise eine motorische Aktivierung die kognitive Verarbeitung von mathematischen Inhalten unterstützen kann (vgl. Henz et al., 2016).

Auch für die lernalerschließende Funktion von Bewegung liegen erste, jedoch nicht repräsentative Ergebnisse für die Mathematik vor. So konnten Dackermann et al. (2016) in ihren Studien mit verschiedenen Ansätzen zu Bewegungen mit dem ganzen Körper durch den Raum vergleichbare Wirksamkeiten sowie größere Lerneffekte auf die numerischen Kompetenzen herausarbeiten, wobei sich die Überführungen der entwickelten Trainings in die Praxis nach eigener Aussage der Autoren nicht als einfach erweisen. Der fehlende unterrichtspraktische Bezug konnte durch eine Studie im Feld von Bayer et al. (2018b) aufgegriffen werden. Angelegt als eine Interventionsstudie mit einer sechsstündigen Unterrichtsreihe mit Bewegungsspielen zur Multiplikation wurden Grundvorstellungen zur Multiplikation im Pre-Post-Design erfasst und eine starke positive Wirkung für leistungsschwächere Kinder herausgearbeitet. Darüber hinaus wurde die ungeteilte Teilhabe aller Schüler*innen unabhängig ihrer motorischen oder auch mathematischen Voraussetzungen als positiv beurteilt (vgl. Bayer et al., 2018b).

Bezogen auf das fachliche Lernen und die Förderung von Grundvorstellung zu mathematischen Begriffen lassen sich durch erste Studien lernförderliche Wirkungen erkennen. Während die Erkenntnislage im Kontext mathematischer Inhalte noch unzureichend ist, liegen für das Fremdsprachenlernen umfassende Erkenntnisse vor (vgl. Abschnitt 2.2.7.3). Bereits seit den 1980er-Jahren finden sich verschiedene Studien mit dem Fokus auf Bewegungen zu Inhalten als Gesten und szenisches Lernen im Kontext des Fremdsprachenlernens (für

²Der Hocker ist über mehrere Ebenen mit Kippgelenken ausgestattet, sodass die auf dem Hocker sitzende Person dauerhaft durch die Anspannung der Muskulatur die Haltung kontrollieren muss.

einen Überblick siehe Arndt und Sambanis, 2017), sodass Macedonia (2014) einen insgesamt umfassenden Forschungsstand betont. So stellt sich in den Untersuchungen als relevant heraus, dass wenn die Gesten stimmig auf den Inhalt abgestimmt werden, es im Gehirn in den Bereichen zu einer Aktivierung kommt, in denen Bewegungen geplant werden (Arndt & Sambanis, 2017, vgl. Abschnitt 2.3.1). Darauf aufbauend finden sich auch erste Studien zu Gesten im Kontext mathematischer Erkenntnisprozesse (u.a. Huth, 2013; Krause, 2015; Salle & Krause, 2016). Dabei werden Gesten von Salle und Krause (2016) mit Bezug auf McNeill (1992) als „sprachbegleitende, idiosynkratische, spontane Bewegungen der Hände und Arme“ (Salle & Krause, 2016, S. 828) übersetzt und darüber hinaus von Handlungen abgegrenzt (siehe Abschnitt 2.3.3.1). Die Untersuchung ist dabei auf die Möglichkeiten ausgerichtet, durch Gesten Grundvorstellungen zu funktionalen Zusammenhängen analysieren zu können, und versuchte unter anderem zu klären, inwieweit Gesten Grundvorstellungen ausdrücken können. Folglich stellt sich die Frage, inwieweit auch Gesten als eine Form des bewegten Lernens verstanden werden können oder inwieweit eine Abgrenzung notwendig ist.

Zusammenfassend zeigt sich, dass das bewegte Lernen im Kontext von Mathematik nicht eindeutig definiert ist, aber konzeptuelle Zugänge aus der Sportwissenschaft vorliegen. Darüber hinaus sind die Erkenntnisse für eine Aussage über die Wirkung des bewegten Lernens von Mathematik besonders bezogen auf die lernerschließende Funktion nicht ausreichend. Darüber hinaus betonen Hildebrandt-Stramann et al. (2017) mit Bezug auf Fessler (2007), dass sich die Erkenntnisse zum bewegten Lernen zu wenig auf empirische Ergebnisse stützen, sondern vielmehr von einer theoretischen und anthropologischen Grundannahme ausgehen. Daraus lässt sich schließen, dass es der aktuellen Forschungslage an direkten Wirkungszusammenhängen von bewegtem Lernen auf die Lernleistungen im Allgemeinen und somit auch im Kontext des fachlichen Lernens in verschiedenen Unterrichtsfächern fehlt. Während die strukturierende und lernbegleitende Funktion von Bewegung verstärkt in den Zuständigkeitsbereich der Erziehungswissenschaft, Psychologie und auch Gehirnforschung durch den Einfluss auf die kognitiven Leistungen zu verorten ist, zeigt sich bei der lernerschließenden Funktion durch den direkten Bezug zum Inhalt eine deutliche Notwendigkeit der Beteiligung durch die Fachdidaktiken. Somit fordern Bayer et al. (2018b, S. 301) für die Mathematikdidaktik „weiterführende Forschung zur Evaluation des Lernens durch Bewegung im Mathematikunterricht“.

Entsprechende Desiderate ergeben sich auch in Bezug auf die Umsetzung in der Praxis, wie eine Studie zum Stellenwert von Bewegung, Spiel und Sport in der Ganztagschule zeigt (Hildebrandt-Stramann, 2014a). In diesem Fall fand das Lernen *mit* Bewegung durchaus häufig Berücksichtigung im Schulalltag, während das Lernen *durch* Bewegung nur wenig Anwendung fand. So formulieren Hildebrandt-Stramann et al. (2017) diesbezüglich die Problemlage weiter aus und weisen darauf hin, dass die in den letzten Jahrzehnten deutlich gestiegene

Anzahl an praktischen Beispielen und Aufgabensammlungen nicht der Themenerschließung im Sinne der verschiedenen Fachdidaktiken Rechnung tragen können. Die Notwendigkeit der Erweiterung des Diskurses in die Fachdidaktik spitzt sich somit weiter zu und fordert neben der empirischen Belegung aus dem Fach heraus auch eine Legitimation des methodischen Ansatzes des bewegten Lernens innerhalb der Fachdidaktik sowie eine Orientierung über Inhalte, die sich in Bewegung umsetzen lassen. Demnach stellt sich die Frage, wie sich das lernerschließende Bewegen fachdidaktisch einordnen und inwieweit sich dieses methodische Prinzip zu bereits bestehenden didaktischen Konzepten in Bezug setzen lässt, was den Hauptfokus der vorliegenden Arbeit bestimmt.

1.2. Ziele und wissenschaftliche Fragestellungen

Aus der in Kapitel 1.1 dargelegten Problemlage ergeben sich für die vorliegende Arbeit zwei Hauptziele:

Das **erste Hauptziel** der Arbeit besteht darin, auf Basis theoretisch-analytischer Untersuchungen ein begründetes, differenziertes Begriffsverständnis zu bewegtem Lernen im Mathematikunterricht aus ganzheitlicher und interdisziplinär geprägter Perspektive zu entwickeln.

Um dieses Ziel im Rahmen der Arbeit zu erreichen, ist es notwendig, Antworten auf die folgenden Fragen zu finden:

1. Welche Erkenntnisse, Ansätze, Positionen und Meinungen gibt es zum bewegten Lernen in anderen Disziplinen wie der Sportwissenschaft, Kognitionspsychologie, Neurowissenschaft, Entwicklungsforschung, Pädagogik? Handelt es sich um abgesicherte Ergebnisse, Ansätze, Positionen und Meinungen?
2. Welche Erkenntnisse, Ansätze, Positionen und Meinungen gibt es im mathematikdidaktischen Kontext zum bewegten Lernen? Handelt es sich um abgesicherte Ergebnisse, Ansätze, Positionen und Meinungen?
3. Welche allgemeinen Orientierungen gibt die Mathematikdidaktik für die Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen und insbesondere Lernarrangements?
4. Welche allgemeinen Orientierungen gibt es in anderen Disziplinen wie der Sportwissenschaft usw. speziell mit dem Fokus auf bewegtes Lernen?
5. Wie lassen sich die Perspektiven zu einem begründeten und differenzierten Begriffsverständnis gegenüber bewegtem Lernen im Kontext von Mathematik verbinden?

Über die theoretisch-analytische Untersuchung hinaus ergibt sich aus der Problemlage die Notwendigkeit von empirischen Untersuchungen und somit ein weiteres Ziel für diese Arbeit:

Das **zweite Hauptziel** der Arbeit besteht darin, – anknüpfend an das gemäß dem ersten Hauptziel theoretisch-analytisch begründete Begriffsverständnis – empirisch zu erkunden, welchen Beitrag bewegtes Lernen für das Lernen von Mathematik aus einer erkenntnistheoretischen Perspektive hat.

Damit ergibt sich die Notwendigkeit, die folgenden Fragen zu beantworten:

1. Wie gestalten sich individuelle Bearbeitungsprozesse von Kindern im Kontext des Bewegten Lernens von Mathematik im Sinne einer erkenntnistheoretischen Perspektive?
2. Welche Aussagen lassen sich darüber treffen, ob Bewegtes Lernen für bestimmte Gruppen von Kindern besonders wirkungsvoll ist? (z.B. leistungsschwächere Kinder, mathematisch interessierte Kinder, Kinder mit Zuwanderungsgeschichte u.s.w.)
3. Welche Aussagen lassen sich zu Bearbeitungstypen machen?

Anknüpfend an die beiden Hauptzielstellungen besteht ein **weiteres Ziel** darin, praktische Konsequenzen für die Gestaltung des Mathematikunterrichts, die Lehrer*innenbildung und für die individuelle Förderung über den Unterrichts- und Schulkontext hinaus abzuleiten.

1.3. Forschungsmethodische Anlage

Aufgrund der unzureichenden Erkenntnislage zu den Wirkungszusammenhängen beim Lernen von Mathematik *durch* Bewegung zeichnen sich die Untersuchungen durch einen explorativen Charakter aus. Entsprechend der Zielstellungen gilt es in einem iterativen Prozess die Erkenntnisse aus den theoretisch-analytischen Untersuchungen mit den empirischen Ergebnissen zu verknüpfen und auf dieser Grundlage eine ganzheitliche Betrachtung der Untersuchungsgegenstände – Begriffsverständnis zum bewegten Lernen im Kontext von Mathematik und die Erkundung des Beitrages bewegten Lernens für das Lernen von Mathematik – zu ermöglichen. Das Untersuchungsdesign zeichnet sich folglich durch einen hypothesengenerierenden Charakter aus. Folgende theoretische Positionen gelten als Ausgangspunkt für die forschungsmethodische Anlage:

1. **Ganzheitlichkeit** – Mit der Arbeit wird der Anspruch auf eine ganzheitliche Perspektive erhoben. Diese bezieht sich nicht nur auf die empirische Erhebung, welches sich durch den interdisziplinären Zugang sowie die ganzheitliche Betrachtung der Schüler*innen widerspiegelt, sondern darüber hinaus auch auf den fachlichen Inhalt sowie die unterrichtspraktische Umsetzung der Intervention. Mit dem Anspruch der Ganzheitlichkeit gilt es folglich darum, einen größeren mathematischen Inhaltsbereich durch ein offenes Konzept didaktisch zu realisieren und nicht der Förderung einer separat

betrachteten mathematischen Kompetenz durch ein gezieltes Training zu begegnen. Die Ganzheitlichkeit zeigt sich somit durch eine gewisse Breite in der empirischen, inhaltlichen und didaktischen Umsetzung, die nicht fälschlicherweise mit einer Vollständigkeit verstanden werden darf. Auf der Grundlage der geringen Forschungslage und dem daraus hervorgehenden explorativen Charakter der Anlage gilt es aus der ganzheitlichen Perspektive Hypothesen zu generieren, um somit einen ersten Zugang zu diesem noch unzureichend bearbeiteten Forschungsfeld zu erhalten. Diese Ganzheitlichkeit wird als eine Notwendigkeit angesehen, um das bewegte Lernen als didaktischen Zugang für den Mathematikunterricht evaluieren und unterrichtspraktische Empfehlungen geben zu können.

2. **Entwicklungs- und lernpsychologische Perspektive:** Trotz der ganzheitlichen und somit interdisziplinär geprägten Perspektive wird mit dieser Arbeit der fachdidaktische Zugang über die Mathematik gewählt. Dies bedeutet, dass zur Begründung von Bewegung im Schulalltag die entwicklungs- und lernpsychologische Perspektive (Thiel et al., 2013) in der Vordergrund tritt (vgl. Abschnitt 2.2.4). Mit dieser Perspektive gilt es die Bewegung als Möglichkeit zur Förderung mathematischer Kompetenzen zu betrachten. Folglich distanziert sich diese Arbeit im Rahmen der empirischen Erhebung von den medizinisch-gesundheitlichen sowie schulprogrammatischen Begründungsmustern, sodass die Wirkungen des bewegten Lernens auf den motorischen Apparat der Schüler*innen oder die Veränderungen des Schulkonzeptes nicht im Erkenntnisinteresse dieser Arbeit liegen. Aus der ganzheitlichen Perspektive sind die körperlichen wie motorischen Voraussetzungen der Schüler*innen zwar grundlegend für die mathematischen Lernprozesse von Bedeutung (vgl. Abschnitt 2.5.1), um eventuelle Überforderungen im motorischen System erkennen zu können (siehe u.a. John et al., 2016, siehe auch Kapitel 2.3), jedoch werden diese eher als Bedingungen bzw. Voraussetzungen für den Lernprozess und nicht als Ziel der Förderung durch das bewegte Lernen betrachtet. Daraus ergibt sich eine weitere Grundpositionierung:
3. **Die Ziele und Berechtigung des methodischen Zugangs werden durch das Fach bestimmt:** Durch die entwicklungs- und lernpsychologische Perspektive und dem fachdidaktischen Zugang gilt es die mathematischen Lernprozesse durch das bewegte Lernen zu fördern. Folglich stellt die Bewegung aus anthropologischer Perspektive einen natürlichen Zugang zum Erreichen der fachlichen Ziele dar. Dies bedeutet, dass die methodische Gestaltung im Sinne des bewegten Lernens durch den Inhalt und die didaktischen Voraussetzungen bestimmt wird und lediglich eine Berechtigung zur Umsetzung erhalten, wenn es sich dieser Zugang fachdidaktisch begründen lässt. Damit wird die Auffassung vertreten, dass Bewegung im Unterricht „Kein ‚Allheilmittel‘ ist, sondern [nur] gezielt eingesetzt viel Positives be-

wirken kann.“ (Jansen & Richter, 2016, S. 9)

4. **Notwendigkeit spezieller Settings zur Umsetzung:** Um die zuvor geschilderten Grundpositionen umsetzen zu können, müssen spezielle Rahmenbedingungen geschaffen werden. Diese beziehen sich zum einen auf die inhaltlichen und unterrichtspraktischen Aspekte sowie zum anderen auch auf die empirische Umsetzung. Um den Beitrag des bewegten Lernens für das Lernen von Mathematik ausgehend von den zuvor geschilderten Grundpositionen erfassen zu können, müssen demnach zunächst Lernumgebungen entwickelt werden, die einen mathematischen Inhalt ganzheitlich aufgreifen und darüber hinaus die Bewegung zum Erreichen der mathematischen Ziele fachdidaktisch begründen können. Um dann wiederum den Beitrag des Bewegten Lernens im Rahmen dieser Lernumgebungen herausstellen zu können, müssen Rahmenbedingungen geschaffen werden, die eine unterrichtsnahen Setting und zugleich eine empirische Auswertung ermöglichen.

Ausgehend von diesen Grundpositionen und den zuvor vorgestellten Zielen ergibt sich für meine Untersuchungen das folgende Vorgehen: Die Beantwortung der ersten Forschungsfrage und die damit verbundene Erarbeitung eines Begriffsverständnisses bedarf einer umfangreichen Literaturanalyse zu Erkenntnissen aus verschiedenen Bezugsdisziplinen. Da es sich bei der Verbindung von Lernen und Bewegung bereits um ein interdisziplinäres Forschungsfeld handelt, sind die Erkenntnisse aus mathematikdidaktischer, sportwissenschaftlicher und kognitionspsychologisch-neurowissenschaftlicher sowie allgemein pädagogisch-didaktischer und entwicklungsbezogener Perspektive für das Begriffsverständnis von Relevanz. Dazu gilt es, die vorwiegend aus der Sportwissenschaft vorliegenden theoretischen Grundlagen mit konzeptionellen Ansätzen der Mathematikdidaktik begründet in Beziehung zu setzen und darüber hinaus mit Erkenntnissen aus den weiteren Disziplinen zu stützen.

Gemäß der zweiten Zielstellung wird das im Rahmen der ersten Zielstellung erarbeitete Begriffsverständnis in einem iterativen Prozess mit den empirischen Untersuchungen verknüpft. Dazu werden auf der Grundlage des Begriffsverständnisses zunächst *bewegte Lernumgebungen* konzipiert, die ausgehend von einer mathematikdidaktischen Begründung das bewegte Lernen als Methode der Lerner-schließung nutzen. Darüber wird ein Konzept für ein *Lehr-Lern-Labor* entwickelt, in denen Schüler*innen durch bewegtes Lernen in ihrem mathematischen Lernprozess gefördert werden. Sowohl die bewegten Lernumgebungen als Interventionen im Rahmen der Förderung als auch das Lehr-Lern-Labor als Rahmenbedingungen für die Erhebung bilden die Grundlagen für die qualitativen empirischen Untersuchungen in Form von Einzelfallstudien.

Durch den geringen Kenntnisstand über Lernprozesse *durch* Bewegung im Kontext von Mathematik wurde der Forschungsansatz der Fallstudien gewählt. Mit dem Ziel, einen „Einblick in das Zusammenwirken einer Vielzahl von Faktoren“ (Fuchs-Heinritz et al., 2011, S. 161) während des Lernprozesses *durch* Bewe-