

Sachrechnen mit digitalen Medien im Förderschwerpunkt Lernen

Konzeption und Erprobung einer Tablet App zum Verstehen von Textaufgaben

Christina Bierbrauer

Dissertation

zur Erlangung des Grades
der Doktorin der Naturwissenschaftslehre
der Fakultät für Mathematik und Informatik
der Universität des Saarlandes

Saarbrücken, 2021

Tag des Kolloquiums: 13.07.2021

Dekan der Fakultät: Prof. Dr. Thomas Schuster

Prüfungsausschuss:	Vorsitzender:	Prof. Dr. Mark Groves
	Berichterstatte(r)innen:	Prof. Dr. Silke Ladel
		Prof. i.R. Dr. Renate Rasch
		Prof. Dr. Melanie Platz
Akademischer Mitarbeiter:	Dr. Andreas Buchheit	

Kurzzusammenfassung

Das Bearbeiten mathematischer Textaufgaben ist ein anspruchsvoller Prozess, der insbesondere für Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen herausfordernd ist. Das Verstehen der Aufgabe stellt häufig eine Problemstelle dar, die Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse des Modellierungskreislaufs hat. Digitale Medien können mathematische Lehr- und Lernprozesse begünstigen. Basierend auf der Cognitive Load Theory bieten digitale Medien Möglichkeiten kognitive Belastungen beim Bearbeiten von Textaufgaben zu verringern. Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurde unter Einbezug verschiedener Fachdisziplinen eine Tablet App konzipiert, die das Verstehen von Textaufgaben begünstigen soll, wodurch positive Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse entstehen können. Die App beinhaltet Hilfen, die die kognitiven Belastungen während des Verstehens verringern, sodass der Fokus auf das Bearbeiten des mathematischen Modells gelegt werden kann. Die App wurde in leitfadengestützten Einzelinterviews mit Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen erprobt. Die Daten wurden nach der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet und mit der Analysesoftware MAXQDA analysiert. Aus den Untersuchungsergebnissen werden Gestaltungsprinzipien zur Konzeption und Bewertung digitaler Anwendungen zum Verstehen mathematischer Textaufgaben formuliert.

Abstract

Solving word problems is a complex process that is especially challenging for students with special needs learning. Understanding the word problem is often a hurdle which affects subsequent processes of the process of modeling. Digital media can support mathematical teaching and learning processes. Based on the cognitive load theory, digital media offer possibilities to reduce cognitive loads when working on word problems. Within the course of this research project, a tablet app was designed which is intended to facilitate the understanding of word problems. The design of the app is based on a number of specialist disciplines. The app offers tools which reduce the cognitive load when trying to understand the word problem, so that students can focus on dealing with the mathematical model. The app was tested in guided individual interviews with pupils with special needs learning. The collected data was evaluated as a qualitative content analysis with the analysis software MAXQDA. Design principles for the conception and evaluation of digital applications which intend to facilitate the understanding of word problems could be formulated by the findings.

Danksagung

Ich danke vielen lieben Menschen für die Unterstützung bei der Entstehung dieser Arbeit.

Zunächst bedanke ich mich bei meiner Doktormutter Prof. Dr. Silke Ladel, die mich in den letzten Jahren begleitet und unterstützt hat. Ein Dank gilt Prof. Dr. Renate Rasch, die mich schon zu Studienzeiten für die Mathematikdidaktik begeistert hat. Vielen Dank außerdem an Prof. Dr. Melanie Platz, die mich in der letzten Phasen besonders unterstützt hat.

Ich bedanke mich herzlich bei allen Kolleginnen und Kollegen des Lehrstuhls für Didaktik der Primarstufe - Schwerpunkt Mathematik für die tolle Zusammenarbeit.

Nicht zuletzt bedanke ich mich bei meiner Familie, besonders bei Peter, und bei meinen Freunden für die Unterstützung während der Zeit meiner Promotion.

Für meine Mama.

Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung	2
Abstract	3
Danksagung	4
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	12
Abkürzungsverzeichnis	13
1. Problemstellung und Aufbau der Arbeit	14
2. Textaufgaben im Sachrechnenunterricht des Förderschwerpunkts Lernen	17
2.1 Sachrechnen	17
2.1.1 Begriffsbestimmung Sachrechnen	17
2.1.2 Aufgabentypen im Sachrechnen	18
2.2 Textaufgaben als Aufgabentyp des Sachrechnens	20
2.2.1 Begriffsbestimmung Textaufgaben	20
2.2.2 Klassifizierung von Textaufgaben	21
2.2.3 Prozess beim Bearbeiten von Textaufgaben	25
2.2.4 Anforderungen beim Bearbeiten von Textaufgaben	29
2.2.5 Fehler beim Bearbeiten von Textaufgaben	34
2.2.6 Hilfen beim Bearbeiten von Textaufgaben	35
2.3 Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen	38
2.3.1 Zentrale Aspekte des Förderschwerpunkts Lernen	38
2.3.2 Sachrechnen in den Lehrplänen	42
2.3.3 Besondere Anforderungen beim Bearbeiten von Textaufgaben	43
2.3.4 Gestaltung des Sachrechnenunterrichts	45
2.3.5 Wissenschaftliche Forschungen	49
2.4 Grundlegende Erkenntnisse des Kapitels für die Untersuchung	51

3. Digitale Medien zur Unterstützung bei Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen	53
3.1 Digitale Medien in Schule und Unterricht	53
3.1.1 Digitale Medien in der Lebenswelt von Kindern und Jugendlichen	53
3.1.2 Digitale Medien in der Schule	55
3.1.3 Digitale Medien im Mathematikunterricht	60
3.2 Bearbeiten von Textaufgaben mit digitalen Medien	64
3.2.1 Digitale Anwendungen zum Mathematiklernen	64
3.2.2 Potenziale digitaler Medien für das Bearbeiten von Textaufgaben	66
3.2.3 Analyse digitaler Anwendungen zum Bearbeiten von Textaufgaben	73
3.3 Digitale Medien im Förderschwerpunkt Lernen	82
3.3.1 Digitale Medien zur schulischen Förderung im Förderschwerpunkt Lernen	82
3.3.2 Curriculare Vorgaben zu digitalen Medien im Mathematikunterricht	85
3.3.3 Potenziale digitaler Medien im Förderschwerpunkt Lernen	87
3.4 Grundlegende Erkenntnisse des Kapitels für die Untersuchung	89
4. Konzeption der Tablet App Textaufgaben Verstehen	91
4.1 Ziele	91
4.2 Gestaltung und Funktionen	93
4.2.1 Start und Aufgabenauswahl	93
4.2.2 Textaufgabe und Hilfen	95
4.3 Einbezug relevanter Fachdisziplinen	99
4.3.1 Mathematikdidaktik	100
4.3.2 Förderschwerpunkt Lernen	101
4.3.3 Mediendidaktik	102
4.4 Analyse nach dem ACAT-Review-Guide	103
4.5 Grundlegende Erkenntnisse des Kapitels für die Untersuchung	106
5. Untersuchung	107
5.1 Ziele	107

5.2 Forschungsfragen	108
5.3 Datenerhebung	110
5.3.1 Forschungsansatz und Forschungsmethodik.....	110
5.3.2 Stichprobe	111
5.3.3 Datenerhebung mittels leitfadengestützter Interviews.....	114
5.3.4 Analyse der Textaufgaben	118
5.4 Datenauswertung	121
5.4.1 Qualitative Inhaltsanalyse	121
5.4.2 Transkription.....	126
5.4.3 Kategoriensystem und Kodierung	128
5.4.4 Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA	130
5.5 Gütekriterien qualitativer Forschung der vorliegenden Untersuchung	131
6. Untersuchungsergebnisse	134
6.1 Nutzungsweisen der App Textaufgaben Verstehen.....	135
6.1.1 Tipps zur Texterschließung	135
6.1.2 Ton	138
6.1.3 Video	141
6.1.4 Muttersprache	144
6.2 Zusammenhänge zwischen den Nutzungsweisen der App Textaufgaben Verstehen und den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs.....	146
6.2.1 Nutzungsweisen und Verstehen.....	147
6.2.2 Nutzungsweisen und nachfolgende Teilprozesse	151
6.3 Einschätzung der App Textaufgaben Verstehen	156
6.3.1 Subjektive Einschätzungen zu den Tipps zur Texterschließung	156
6.3.2 Subjektive Einschätzungen zum Ton	159
6.3.3 Subjektive Einschätzungen zum Video	162
6.3.4 Subjektive Einschätzungen zur Muttersprache	164

6.4 Typenbildung	166
6.4.1 Vorgehensweise der Typenbildung	167
6.4.2 Beschreibungen der Typen	168
7. Diskussion und Generierung von Gestaltungsprinzipien	179
7.1 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse	179
7.1.1 Tipps zur Texterschließung	179
7.1.2 Ton	180
7.1.3 Video	183
7.1.4 multiple Repräsentationen	186
7.1.5 Muttersprache	187
7.2 Gestaltungsprinzipien digitaler Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben	188
7.3 Weiterentwicklung der App Textaufgaben Verstehen	190
8. Resümee	195
8.1 Methodische Reflexion und Grenzen der Untersuchung	195
8.2 Konsequenzen für Forschung und Unterricht	197
8.2.1 Konsequenzen für die didaktische Forschung	197
8.2.2 Konsequenzen für den Mathematikunterricht	199
8.3 Schlussbemerkung	201
Literaturverzeichnis	203

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Lösungen zu einer Textaufgabe	14
Abbildung 1.2: Aufbau der Forschungsarbeit	16
Abbildung 2.1: Niveaustufen additiver Simplexe nach Fricke.....	22
Abbildung 2.2: Classification of Word Problems nach Fennema et al.	23
Abbildung 2.3: Illustrations of Problem Types nach Riley und Greeno	24
Abbildung 2.4: Schematic diagram of the process of modeling nach Verschaffel et al.	26
Abbildung 2.5: Modellierungskreislauf nach Verschaffel et al.	26
Abbildung 2.6: Textaufgabe im Modellierungskreislauf	27
Abbildung 2.7: Schematisierung verschiedener Repräsentationsformen	29
Abbildung 2.8: Anforderungen beim Bearbeiten mathematischer Textaufgaben	30
Abbildung 2.9: Zwei-Säulen-Modell des Leseverstehens.....	32
Abbildung 2.10: Schülerinnen und Schüler nach Förderschwerpunkten.....	41
Abbildung 3.1: Nutzung von Tablet und Smartphone durch Kinder und Jugendliche ..	55
Abbildung 3.2: Ausstattung der Schulen mit digitalen Geräten	55
Abbildung 3.3: Einsatz digitaler Geräte im Unterricht.....	56
Abbildung 3.4: Einsatz von Apps im Unterricht	57
Abbildung 3.5: Nutzung digitaler Geräte im Unterricht	58
Abbildung 3.6: Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen zu digitalen Themen	59
Abbildung 3.7: Spannungsverhältnis digitaler Medien im Mathematikunterricht	63
Abbildung 3.8: Modell der externen Repräsentationsformen	70
Abbildung 3.9: ACAT-Modell	74
Abbildung 3.10: App Bedtime Math	75
Abbildung 3.11: App Känguru Mathe.....	77
Abbildung 3.12: App Lernerfolg Grundschule Mathe.....	78
Abbildung 3.13: App Drill Math Word Problem	80
Abbildung 3.14: Budenberg-Lernsoftware	81
Abbildung 4.1: Unterstützung des Verstehens durch die App Textaufgaben Verstehen	93
Abbildung 4.2: Start der App Textaufgaben Verstehen	94
Abbildung 4.3: Aufgabenauswahl der App Textaufgaben Verstehen	94
Abbildung 4.4: Aufgaben der App Textaufgaben Verstehen	95
Abbildung 4.5: Ton der App Textaufgaben Verstehen	97

Abbildung 4.6: Video der App Textaufgaben Verstehen	98
Abbildung 4.7: Muttersprache türkisch der App Textaufgaben Verstehen	99
Abbildung 4.8: Bezugsdisziplinen digitaler Anwendungen zum Mathematiklernen im Förderschwerpunkt Lernen.....	100
Abbildung 4.9: ACAT-Modell, Objekt.....	104
Abbildung 4.10: ACAT-Modell, Artefakt.....	104
Abbildung 4.11: ACAT-Modell, Subjekt	104
Abbildung 4.12: ACAT-Modell, Regeln	105
Abbildung 4.13: ACAT-Modell, Gruppe	105
Abbildung 5.1: Textaufgaben des Vortests.....	113
Abbildung 5.2: Draufsicht der Untersuchungssituation.....	115
Abbildung 5.3: Textaufgabe 1.....	118
Abbildung 5.4: Textaufgabe 2.....	119
Abbildung 5.5: Textaufgabe 3.....	119
Abbildung 5.6: Textaufgabe 4.....	120
Abbildung 5.7: Ablaufmodell der qualitativen Inhaltsanalyse	122
Abbildung 5.8: Phasenmodell zum Verhältnis qualitativer und quantitativer Analyse	123
Abbildung 5.9: Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung	124
Abbildung 5.10: Ablaufmodell der typisierenden Strukturierung.....	125
Abbildung 6.1: Dokument-Portraits - Keine Hilfe der App	169
Abbildung 6.2: Dokument-Portraits - Einmalig eine Hilfe der App	171
Abbildung 6.3: Dokument-Portraits - Eine oder mehrere Hilfen der App nacheinander zu Beginn der Bearbeitung.....	172
Abbildung 6.4: Dokument-Portraits - Mehrere Hilfen der App nacheinander	174
Abbildung 6.5: Dokument-Portraits - Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander.....	176
Abbildung 7.1: Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben.....	189
Abbildung 7.2: Weiterentwicklung des Tipps 1 zur Texterschließung der App Textaufgaben Verstehen	190
Abbildung 7.3: Weiterentwicklung des Tipps 2 zur Texterschließung der App Textaufgaben Verstehen	191
Abbildung 7.4: Weiterentwicklung des Tipps 3 zur Texterschließung der App Textaufgaben Verstehen	192

Abbildung 7.5: Weiterentwicklung Aufgabenauswahl der App Textaufgaben

Verstehen	194
-----------------	-----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6.1: Auswahl der Tipps zur Texterschließung.....	136
Tabelle 6.2: Reaktion nach Auswahl des Tipps 1 zur Texterschließung	137
Tabelle 6.3: Reaktion nach Auswahl des Tipps 2 zur Texterschließung	137
Tabelle 6.4: Reaktion nach Auswahl des Tipps 3 zur Texterschließung	137
Tabelle 6.5: Auswahl des Tons	138
Tabelle 6.6: Reaktion nach Auswahl des Tons	139
Tabelle 6.7: Auswahl des Videos	141
Tabelle 6.8: Reaktion nach Auswahl des Videos	142
Tabelle 6.9: Verstehen der Textaufgabe im Zusammenhang mit den Nutzungsweisen der App	148
Tabelle 6.10: Aufbau des Situationsmodells im Zusammenhang mit den Nutzungsweisen der App	148
Tabelle 6.11: Verstehen der Textaufgabe und Aufbau des Situationsmodells im Zusammenhang mit der Auswahl des Tons	150
Tabelle 6.12: Verstehen der Textaufgabe und Aufbau des Situationsmodells im Zusammenhang mit der Auswahl des Videos	150
Tabelle 6.13: Verstehen der Textaufgabe und Aufbau des Situationsmodells der SuS mit nichtdeutscher Muttersprache	151
Tabelle 6.14: Beweggründe für die Auswahl der Tipps zur Texterschließung	156
Tabelle 6.15: Beweggründe für die Auswahl des Tons	160
Tabelle 6.16: Beweggründe für die Auswahl des Videos	162

Abkürzungsverzeichnis

ACAT	Artefact Centric Activity Theory
App	Applikation
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d. h.	das heißt
ebd.	ebenda
E-I-S	enaktiv – ikonisch – symbolisch
et al.	et alii
etc.	et cetera
f.	folgende
ff.	fortfolgende
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
I	Interviewerin
ICLIS	International Computer and Information Literacy Studie
KIM	Kinder, Internet, Medien
KMK	Kultusministerkonferenz
o. J.	ohne Jahr
PISA	Programme for International Student Assessment
s.	siehe
S.	Seite
S1, S2 ...	Schüler 1/ Schülerin 1, Schüler 2/ Schülerin 2 ...
sog.	sogenannt
u. a.	unter anderem
z. B.	zum Beispiel

1. Problemstellung und Aufbau der Arbeit

Tom hat einige Sticker.
Dann gibt er Anna 16 Sticker.
Jetzt hat Tom 37 Sticker.

F: Wie viele Sticker hat Tom jetzt?
R: $37 - 16 = 21$
A: Tom hat jetzt 21 Sticker.

$37 + 16 = 63$
Tom hat 63 Sticker

Lösung einer Schülerin
(9 Jahre, Förderbedarf Lernen, Klasse 3)

$20 - 16 = 4$
4 Sticker hat Tom

Lösung eines Schülers
(11 Jahre, Förderbedarf Lernen, Lernstufe 5)

Lösung einer Schülerin
(11 Jahre, Förderbedarf Lernen, Klasse 5)

Abbildung 1.1: Lösungen zu einer Textaufgabe
(Quelle: Schülerdokumente Vortest)

Fehlerhafte Lösungen von Textaufgaben wie diese sind keine Ausnahmen (s. Abbildung 1.1). Solche oder ähnliche Schwierigkeiten entstehen, wenn zwischen den Anforderungen zum Bearbeiten der Textaufgabe und den Kompetenzen der Aufgabenlösern eine Lücke existiert (Franke & Ruwisch, 2010).

Für Schülerinnen und Schüler ist die Bewältigung von Sachaufgaben häufig ein problematischer Bereich des Mathematikunterrichts (Scherer & Moser Opitz, 2010). Auch für Lehrpersonen ist die Gestaltung des Sachrechnenunterrichts komplex. Dennoch sind Sachaufgaben insbesondere aufgrund ihrer Lebensnähe und Lebensbedeutung wesentlich im Mathematikunterricht (Häsel-Weide, 2012). Neben diversen Aufgabentypen gehören auch Textaufgaben zum Sachrechnen. Das Bearbeiten von Textaufgaben ist ein anspruchsvoller Prozess (ebd.). Die Lernenden durchlaufen beim Bearbeiten von Textaufgaben als mathematisches Modellieren umfangreiche Teilprozesse, die viele Kompetenzen aus den Bereichen Sprache, Sache und Mathematik erfordern (Franke & Ruwisch, 2010; Häsel-Weide, 2012). Bei der Betrachtung von Problemstellen während des Bearbeitungsprozesses ist insbesondere der Bereich Sprache einzubeziehen. Laut der Pisa-Studie 2018 zeigen viele Schülerinnen und Schüler, überwiegend an nicht gymnasialen Schulformen, Defizite im Bereich der Lesekompetenz (Reiss et al., 2019). Das Lösen von mathematischen Textaufgaben setzt Leseverstehen voraus. Erst wenn der Kern der Textaufgabe verstanden wird, kann diese gelöst werden (Rink, 2014a). Das Verstehen der Textaufgabe ist dementsprechend für das Bearbeiten eine zentrale Voraussetzung. Wie gut die Lernenden mathematische Textaufgaben bewältigen, wird

stark vom Verstehen der Textaufgabe beeinflusst (Cummins et al., 1988). Insbesondere für Kinder mit Förderbedarf Lernen ist das Bearbeiten von Textaufgaben herausfordernd. Da diese Schülerschaft oft im eigenen sprachlichen Ausdruck und Verständnis beeinträchtigt ist (Häsel-Weide, 2012), treten häufig beim Verstehen der Textaufgabe und dem anschließendem Aufbau des Situationsmodells sowie dem nachfolgenden Bearbeitungsprozess Schwierigkeiten auf. Die Digitalisierung ist omnipräsent. Digitale Medien erhalten eine immer wichtigere Bedeutung zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen. So beinhalten sie großes Potenzial für das Lehren und Lernen von mathematischen Inhalten (Ladel, 2018b). Die Möglichkeiten des Einsatzes digitaler Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe sind mannigfaltig (Ladel, 2020). Weiterhin ist der Forschungs- und Entwicklungsbedarf in diesem Bereich sehr hoch (ebd.). Die Kombination der Forschungsmaterie Sachrechnen mit digitalen Medien sowie der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen ist in der mathematikdidaktischen Forschung kaum zu finden. So gilt es durch wissenschaftliche Forschungsarbeiten Forschungslücken im Bereich des Sachrechnens mit digitalen Medien mit Kindern mit Förderbedarf Lernen zu schließen. Einen Beitrag hierzu soll die vorliegende Forschungsarbeit leisten. Allgemein wird thematisiert welche Möglichkeiten digitale Medien bereitstellen, um das Bearbeiten von Textaufgaben von Kindern mit Förderbedarf Lernen zu unterstützen. Der Schwerpunkt liegt insbesondere auf dem Verstehen der Textaufgabe und dem sich daran anschließenden Aufbau eines Situationsmodells. Das Forschungsvorhaben fokussiert zum einen die Konzeption einer digitalen Anwendung zur Unterstützung des Verstehens von Textaufgaben und zum anderen die Erprobung dieser Anwendung.

Die Forschungsarbeit gliedert sich in drei Hauptteile, die sich in Kapitel untergliedern lassen: Theoretische Grundlagen, Konzeption der Tablet App, Erprobung der Tablet App. Das erste Kapitel und das letzte Kapitel umrahmen die Arbeit (s. Abbildung 1.2). Im Anschluss an die *Problemstellung und den Aufbau der Arbeit* (Kapitel 1) werden zunächst theoretische Grundlagen, die für die vorliegende Untersuchung bedeutsam sind, aufgeführt. Dabei wird im Kapitel *Textaufgaben im Sachrechnenunterricht des Förderschwerpunkts Lernen* (Kapitel 2) auf Textaufgaben als Aufgabentyp des Sachrechnens eingegangen sowie das Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen dargestellt. Anschließend wird im Kapitel *Digitale Medien zur Unterstützung bei Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen* (Kapitel 3) die Bedeutung digitaler Medien für mathematische Lehr- und Lernprozessen allgemein sowie speziell für das Bearbeiten von Textaufgaben thematisiert. Zudem werden besondere Möglichkeiten digitaler Medien im Förderschwer-

punkt Lernen dargestellt. Aus den theoretischen Grundlagen lassen sich Schlussfolgerungen für die Konzeption digitaler Anwendungen zur Unterstützung des Verstehens von Textaufgaben ziehen. Die *Konzeption der Tablet App Textaufgaben Verstehen* wird unter Einbezug verschiedener Fachdisziplinen in Kapitel 4 vorgestellt. Daran anschließend wird die App mit Schülerinnen und Schülern des Förderschwerpunkts Lernen erprobt. Die Forschungsfragen, die Forschungsmethodik sowie die Datenerhebung und die Datenauswertung werden ausführlich in Kapitel 5 *Untersuchung* beschrieben. Die *Ergebnisse der Untersuchung* (Kapitel 6) werden dann detailliert dargestellt. Die *Diskussion* der zentralen Ergebnisse sowie die *Generierung von Gestaltungsprinzipien* für digitale Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben schließen sich an (Kapitel 7). Zudem wird die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* anhand dieser Gestaltungsprinzipien weiterentwickelt. Abschließend werden im Resümee das methodische Vorgehen diskutiert, Konsequenzen für die Unterrichtspraxis sowie die Forschung aufgeführt und eine Schlussbemerkung formuliert (Kapitel 8). Ausgewählte Teilerkenntnisse der vorliegenden Arbeit wurden ausschnittshaft in kurzen Artikeln veröffentlicht (Bierbrauer, 2016b; Bierbrauer, 2017; Bierbrauer, 2018; Bierbrauer 2020a, Bierbrauer, 2021b).

Kapitel 1 Problemstellung und Aufbau der Arbeit	
Theoretische Grundlagen	Kapitel 2 Textaufgaben im Sachrechnenunterricht des Förderschwerpunkts Lernen Kapitel 3 Digitale Medien zur Unterstützung bei Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen
Konzeption der Tablet App	Kapitel 4 Konzeption der Tablet App Textaufgaben Verstehen
Erprobung der Tablet App	Kapitel 5 Untersuchung Kapitel 6 Untersuchungsergebnisse Kapitel 7 Diskussion und Generierung von Gestaltungsprinzipien
Kapitel 8 Resümee	

Abbildung 1.2: Aufbau der Forschungsarbeit
(Quelle: eigene Darstellung)

2. Textaufgaben im Sachrechnenunterricht des Förderschwerpunkts Lernen

Der Mathematikunterricht trägt zur Entfaltung grundlegender Bildung bei und schafft die Grundlage für mathematische Anforderungen des täglichen Lebens (KMK, 2005). Wie in den Bildungsstandards formuliert, geht der Beitrag des Unterrichtsfachs Mathematik zur Bildung über rein innermathematische Zusammenhänge hinaus. Hierbei ist Sachrechnen der Teilbereich des Mathematikunterrichts, welcher eine Brücke zwischen der Mathematik und der Umwelt zieht (Häsel-Weide, 2016).

Der Fokus dieses Kapitels liegt auf dem Aspekt Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen. Zunächst wird die mathematikdidaktische Auseinandersetzung mit dem Bereich Sachrechnen allgemein thematisiert (s. Kapitel 2.1). Da der Aufgabentyp Textaufgaben für das vorliegende Forschungsprojekt von zentraler Bedeutung ist, werden Textaufgaben anschließend fokussiert (s. Kapitel 2.2). Dann werden für die Arbeit relevante Aspekte des Förderschwerpunkts Lernen allgemein thematisiert und die Thematik Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen betrachtet (s. Kapitel 2.3). In der Fachliteratur wird das Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen selten thematisiert. Da bei Kindern mit Förderbedarf Lernen von einer zeitlich verzögerten Entwicklung ausgegangen wird, die über die gleichen qualitativen Entwicklungsstufen erfolgt wie bei der Schülerschaft ohne Förderbedarf (Heimlich, 2016; Wember, 1986), können die Erkenntnisse mit Grundschulkindern ohne Förderbedarf Lernen in ihrer Tendenz auf entsprechend entwickelte Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen übertragen werden. Dementsprechend beziehen sich die theoretischen Grundlagen teilweise auf Erkenntnisse zum Sachrechnen mit Schülerinnen und Schülern ohne besonderen Förderbedarf.

2.1 Sachrechnen

2.1.1 Begriffsbestimmung Sachrechnen

Sachrechnen ist neben Arithmetik und Geometrie einer der zentralen Bereiche des Mathematikunterrichts der Primarstufe (Franke, 2003). Zum Terminus Sachrechnen existieren in der mathematikdidaktischen Fachliteratur verschiedene Begriffsbestimmungen (Greefrath, 2010; Hohn, 2012). Wesentlich für das Sachrechnen ist die Auseinandersetzung mit Sachaufgaben, die einen Bezug zur Lebenswirklichkeit haben, wobei zur Lösung der Aufgaben die Anwendung von Mathematik von Bedeutung ist (Franke & Ruw-

isch, 2010; Spiegel & Selter, 2006). Die wechselseitige Übersetzung zwischen Mathematik und realen Situationen aus der Umwelt soll zur Umwelterschließung beitragen (Bongartz & Verboom, 2007). Im Laufe vieler Jahrzehnte hat sich das Verständnis des Sachrechnens verändert. Die Schwerpunktsetzung auf den Sachkontext oder die Mathematik variiert in der historischen Entwicklung. Traditionell lag der Fokus beim Sachrechnen auf dem Rechnen. Die Anwendung und das Üben mathematischer Kenntnisse, insbesondere der Grundrechenarten, standen im Mittelpunkt, wohingegen der Sachinhalt von geringer Relevanz war (Franke & Ruwisch, 2010). Im Laufe der Zeit hat sich dieses Verständnis gewandelt. Beim heutigen Verständnis des Sachrechnens wird der Fokus gleichermaßen auf die Sache und das Rechnen gelegt. Neben der Anwendung von Mathematik dient das Sachrechnen der Umwelterschließung mit mathematischen Mitteln (ebd.). Sachrechnen umfasst neben dem Rechnen vielfältige Tätigkeiten wie Messen, Zählen, Schätzen, Vergleichen, Bauen und Zeichnen oder Daten sammeln und darstellen. Auch das Rechnen mit Größen ist seit jeher ein zentraler Bereich des Sachrechnens. Sachrechnen wird in den Bildungsstandards im Fach Mathematik der Primarstufe der KMK nicht als eigener Inhaltsbereich dargestellt. Vielmehr ist das Sachrechnen in den inhaltsbezogenen Kompetenzen Zahlen und Operationen, Raum und Form, Muster und Strukturen, Größen und Messen, Daten, Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit integriert (KMK, 2005). Zudem finden Aspekte des Sachrechnens ihre Verknüpfung in den allgemeinen mathematischen Kompetenzen Darstellen von Mathematik, Argumentieren, Problemlösen, Kommunizieren und Modellieren.

2.1.2 Aufgabentypen im Sachrechnen

Beim Sachrechnen ist die Auseinandersetzung mit Sachaufgaben wesentlich. Neben der Auseinandersetzung mit einem mathematischen Problem erfordern Sachaufgaben die Verarbeitung von Sachinformationen (Franke & Ruwisch, 2010). Innerhalb des Sachrechnens hat sich eine Fülle von unterschiedlichen Aufgabentypen herausgebildet (Fresemann, 2014; Hohn, 2012; Schneeberger, 2009). Die Aufgabentypen unterscheiden sich beispielsweise in der Gewichtung von Sachkontext und Mathematik, der Zielsetzung im Unterricht sowie den Anforderungen an den Aufgabenlösenden (Franke, 2003; Rasch, 2016). Neben anderen Einteilungen hat sich traditionell die Unterscheidung von Sachaufgabentypen in eingekleidete Aufgaben, Textaufgaben und Sachprobleme etabliert (Greefrath et al., 2013). Diese Aufgabentypen unterscheiden sich vorrangig im Hinblick auf den Fokus des Sachproblems. Bei eingekleideten Aufgaben werden Rechenfertigkeiten angewendet und geübt, wobei der Sachkontext unbedeutend ist. Nach dieser

Einteilung fördern Textaufgaben mathematische Fähigkeiten, wobei die Sache prinzipiell austauschbar ist und die Realität vereinfacht dargestellt ist. Demgegenüber fördern Sachprobleme die Umwelterschließung mit Hilfe der Mathematik. In der Fachliteratur werden weitere Einteilungen der Aufgabentypen vorgestellt wie beispielsweise Sachbilder, eingekleidete Aufgaben, Textaufgaben und Denkaufgaben, Rechengeschichten, Sachprobleme, sachstrukturiertes Üben, Sachtexte und Projekte (Krauthausen, 2018) oder Routineaufgaben, offene Rechengeschichten, authentische Sachaufgaben, Fermi-Aufgaben, Kapitänsaufgaben und Problemaufgaben (Rasch, 2019). Die Einteilungen und Beschreibungen der Aufgabentypen sind teilweise uneinheitlich, unpräzise und widersprüchlich (Schneeberger, 2009). Teilweise werden gleiche Begriffe unterschiedlich genutzt oder verschiedene Aufgabentypen synonym verwendet (Hohn, 2012). Die Übergänge zwischen einzelnen Aufgabentypen sind fließend. Im Unterricht treten die Aufgabentypen meist nicht in Reinform auf (Freeseemann, 2014). In allen Schuljahren sollten unterschiedliche Sachaufgaben genutzt werden, um den Kindern einen breiten Zugang zum Sachrechnen zu ermöglichen (Häsel, 2001).

Franke und Ruwisch (2010) nehmen keine Einteilung in Sachaufgabentypen vor, sondern führen Analyse Kriterien auf, wodurch Aufgaben eingeordnet und für den schulischen Einsatz ausgewählt werden können. Demnach lassen sich Aufgaben im Sachrechnenunterricht nach der beschriebenen Situation, nach der Präsentationsform und nach dem mathematischen Inhalt kategorisieren. Im Hinblick auf die beschriebene Situation werden Sachaufgaben mit und ohne Alltagsbezug unterschieden. Sachaufgaben mit Alltagsbezug thematisieren den Kindern bekannte und teilweise reale Situationen, wohingegen Sachaufgaben ohne Alltagsbezug überwiegend fiktive Situationskontexte behandeln. Darüber hinaus werden im Wesentlichen vier Präsentationsformen unterschieden: Sachrechnen in Echtsituationen, Sachrechnen mit authentischen Mathematisierungen, Sachaufgaben in Bildern sowie Sachaufgaben in Textform. Sachrechnen in Echtsituationen beinhaltet, dass reale Themen aus der Umgebung der Kinder zur mathematischen Auseinandersetzung genutzt werden, wie z. B. das Schulfest. Beim Sachrechnen mit authentischen Mathematisierungen werden beispielsweise Werbeprospekte, Speisekarten oder Fahrpläne einbezogen. Bei der Präsentation von Sachaufgaben in Bildern ist der Sachkontext reduziert und es sind keine eindeutigen Aufgaben enthalten. Aufgaben in Textform sind Texte mit einer mathematikdidaktischen Zielsetzung. Entsprechend den inhaltsbezogenen mathematischen Kompetenzbereichen der Bildungsstandards der KMK können Sachaufgaben nach dem mathematischen Inhalt analysiert werden (KMK, 2005): Sachaufgaben mit geometrischem Inhalt (Raum und Form), Sachaufgaben zu

funktionalen Zusammenhängen (Muster und Strukturen), Sachaufgaben zum situationsadäquaten Umgang mit Größen (Größen und Messen), Sachaufgaben mit stochastischem Inhalt (Daten, Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit) und Sachaufgaben mit arithmetischem Inhalt (Zahlen und Operationen) (Franke & Ruwisch, 2010).

2.2 Textaufgaben als Aufgabentyp des Sachrechnens

2.2.1 Begriffsbestimmung Textaufgaben

Seit dem 16. Jahrhundert sind Textaufgaben fester Bestandteil des Mathematikunterrichts (Reusser, 1997). „Textaufgaben bilden den Schwerpunkt des traditionellen Sachrechnens“ (Krauthausen, 2018, S. 134) und werden als charakteristische Aufgabentypen des Sachrechnens angesehen (Franke & Ruwisch, 2010). Für den Terminus Textaufgaben existiert in der mathematikdidaktischen Fachliteratur, ähnlich wie bei anderen Aufgabentypen, keine allgemeingültige Begriffsbestimmung (ebd.). Um für die vorliegende Arbeit ein eindeutiges Verständnis von Textaufgaben herauszuarbeiten, werden nachfolgend diverse Begriffsbestimmungen aufgeführt. In verschiedenen Publikationen wird der Begriff Textaufgaben als übergeordneter Begriff für verschiedene Aufgabentypen verwendet (Ott, 2016). Textaufgaben sind nach diesem Verständnis Aufgaben, die in Textform dargeboten werden und gegen Aufgaben ohne Text abgegrenzt werden. Verbreiteter ist das Verständnis von Textaufgaben als eine von mehreren Aufgabentypen im Sachrechnen. Bei der traditionellen Einteilung von Sachaufgaben in eingekleidete Aufgaben, Textaufgaben und Sachaufgaben ist allen Aufgaben die Präsentation als Text gemeinsam, wobei die Gewichtung von Sache und Mathematik sowie die Zielsetzungen variieren (Greefrath et al., 2013). Textaufgaben sind nach Greefrath et al. (2013, 24) Aufgaben in Textform, bei denen die Sache prinzipiell austauschbar ist und die Realität vereinfacht abgebildet wird. Auch Schipper (2019, S. 242) beschreibt Textaufgaben als „In Textform dargestellte Aufgaben, bei denen die Sache weitgehend bedeutungslos und austauschbar ist. Die Vielfältigkeit und Komplexität der Sache in der Realität werden bei derart konstruierten Aufgaben nicht berücksichtigt“. Von Krauthausen und Scherer (2014, S. 85) bzw. Krauthausen (2018, S. 134) wird der Aufgabentyp Textaufgaben ebenfalls beschrieben als „Aufgaben in Textform, wobei die Sache nach wie vor nebensächlich und daher austauschbar ist“. Nach Rasch (2019, S. 10) wird der Terminus Textaufgaben verwendet, „wenn der mathematische Zusammenhang im Vordergrund steht

und die Sache selbst austauschbar ist“. Franke und Ruwisch (2010, S. 61) charakterisieren Textaufgaben als „Texte mit einer didaktischen, auf die Mathematik orientierten Zielsetzung“. Nach Werner (2009, S. 65) werden bei Textaufgaben mathematische Sachverhalte versprachlicht dargestellt. Kühl und Mahn (2009, S. 6) verstehen unter diesem Aufgabentyp „konstruierte Aufgaben, deren Inhalt für die Schüler oft bedeutungslos und austauschbar ist“. Verschaffel, Greer und de Corte stellen in der englischsprachigen Literatur eine ausführliche Definition von Textaufgaben (word problems) vor:

„Word problems can be defined as verbal descriptions of problem situations wherein one or more questions are raised the answer to which can be obtained by the application of mathematical operations to numerical data available in the problem statement. In their most typical form, word problems take the form of brief texts describing the essentials of some situation wherein some quantities are explicitly given and others are not“ (Verschaffel et al., 2000, S. ix).

Wie die Begriffsbestimmungen zeigen, hat sich die Auffassung von Textaufgaben in den letzten Jahrzehnten kaum verändert. In nahezu allen Beschreibungen werden Textaufgaben als Aufgaben in Textform bezeichnet. Einige Beschreibungen stellen neben dem versprachlichten mathematischen Inhalt den bedeutungslosen und austauschbaren Sachinhalt in den Mittelpunkt. Das der vorliegenden Arbeit zugrunde liegende Verständnis von Textaufgaben greift vorangegangene Aspekte auf: *Textaufgaben sind Sachaufgaben in Textform mit einer auf die Mathematik orientierten Zielsetzung, bei denen der Sachkontext sinnreich, aber austauschbar ist.*

2.2.2 Klassifizierung von Textaufgaben

In der mathematikdidaktischen Literatur finden sich unterschiedliche Einteilungen von Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt. Da Textaufgaben zur Addition und Subtraktion für das vorliegende Forschungsprojekt zentral sind, werden diese nachfolgend genauer beleuchtet. Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt lassen sich hinsichtlich der arithmetischen Struktur, d. h. der Grundrechenart, dem gesuchten Aufgabenglied (Startwert, Veränderung, Endwert) sowie der Anzahl der notwendigen Rechenschritte analysieren (Franke & Ruwisch 2010). Zum Lösen von Simplexaufgaben ist ein Rechenschritt notwendig, zwei Größen sind gegeben und eine dritte lässt sich daraus berechnen. Mehrfachsimplexe sind Aufgaben, die mehrere unabhängige Simplexe enthalten. Komplexaufgaben enthalten mehrere zusammenhängende Simplexe. Hinsichtlich der semantischen Struktur werden Aufgaben mit additiver semantischer Struktur (Addition und Subtraktion) sowie multiplikativer semantischer Struktur (Multiplikation und Division) unterschieden. Im Hinblick auf die syntaktische Struktur können beispielsweise die Komple-

xität und die Länge der Sätze, die Komplexität der genutzten Begriffe oder die Reihenfolge der Angaben im Text, die zum Rechnen benötigt werden, untersucht werden. Textaufgaben sind vom Schwierigkeitsgrad nicht identisch, manche sind einfacher zu lösen als andere (Cummins et al. 1988). Fricke (1987) ordnet Textaufgaben nach dem Schwierigkeitsgrad. Seine Niveaustufen basieren auf dem Grundmodell zu den Rechenoperationen, d. h. auf der Vorstellung, dass zu einer Menge von Gegenständen einige hinzukommen oder weggenommen werden. Die Aufgaben werden komplexer je weiter sich diese von dem Grundmodell entfernen. Zudem werden semantische Aspekte zur Einteilung der Niveaustufen berücksichtigt. Eine Sachsituation ist mehr dynamisch oder statisch. Dynamische Situationen stellen eine Veränderung dar und bei statischen Situationen werden Vergleiche angestellt. Statische Situationen sind in der Regel schwieriger zu interpretieren als dynamische Situationen. Fricke unterscheidet zwischen additiven und multiplikativen Simplexen. Multiplikative Simplexe kategorisieren Aufgaben zur Multiplikation und Division. Die additiven Simplexe, die Aufgaben zur Addition und Subtraktion umfassen, unterteilen sich in fünf Niveaustufen (s. Abbildung 2.1).

Niveau 0
Aufgaben, die dem Grundmodell entsprechen
Niveau 1
andere Sachsituation, weist nicht mehr so deutlich auf das Grundmodell hin/ das dynamische Grundmodell bleibt erhalten, der Hinweis ist weniger deutlich
Niveau 2
Umkehraufgaben müssen genutzt werden, dynamischer Prozesscharakter bleibt erhalten
Niveau 3
statische Vergleiche, dynamischer Prozess wird verlassen
Niveau 4
Ausgleichen und Vergleichen; Die erworbenen Grundmodelle müssen erweitert werden

Abbildung 2.1: Niveaustufen additiver Simplexe nach Fricke
(Quelle: in Anlehnung an Fricke, 1987, S. 36ff.)

Fennema et al. (1993) präsentieren auch eine Einteilung von Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt zur Addition und Subtraktion. Zur Einteilung der Aufgaben werden die Rechenoperation (Addition oder Subtraktion), das gesuchte Aufgabenglied (Startwert, Veränderung, Endwert) und semantische Aspekte (eher dynamische oder statische Situation) berücksichtigt (s. Abbildung 2.2).

Classification of Word Problems

Subtype examples			
Problem type	Result unknown	Change unknown	Start unknown
Join	1. Connie had 5 marbles. Jim gave her 8 more marbles. How many does Connie have altogether?	2. Connie has 5 marbles. How many more marbles does she need to have 13 marbles altogether?	3. Connie had some marbles. Jim gave her 5 more marbles. Now she has 13 marbles. How many marbles did Connie have to start with?
Separate	4. Connie had 13 marbles. She gave 5 marbles to Jim. How many marbles does she have left?	5. Connie had 13 marbles. She gave some to Jim. Now she has 5 marbles left. How many marbles did Connie give to Jim?	6. Connie had some marbles. She gave 5 to Jim. Now she has 8 marbles left. How many marbles did Connie have to start with?
Part-part-whole	7. Connie had 5 red marbles and 8 blue marbles. How many marbles does she have?	8. Connie has 13 marbles. Five are red and the rest are blue. How many blue marbles does Connie have?	
Compare	9. Connie has 13 marbles. Jim has 5 marbles. How many more marbles does Connie have than Jim?	10. Jim has 5 marbles. Connie has 8 more than Jim. How many marbles does Connie have?	11. Connie has 13 marbles. She has 5 more marbles than Jim. How many marbles does Jim have?

Abbildung 2.2: Classification of Word Problems nach Fennema et al.
(Quelle: in Anlehnung an Fennema et al., 1993, S. 558)

Riley und Greeno (1988) unterscheiden Textaufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad, die sich drei übergeordneten Aufgabenarten zuordnen lassen: Kombinationsaufgaben, Austauschaufgaben und Vergleichsaufgaben (s. Abbildung 2.3). Unter Berücksichtigung des gesuchten Aufgabenglieds sowie struktureller und semantischer Aspekte sind die Textaufgaben nach dem Schwierigkeitsgrad geordnet. Aufgaben, die einen Vergleich von Mengen beinhalten, sind die schwierigsten Grundtypen. Kombinationsaufgaben und Austauschaufgaben werden besser gelöst als Vergleichsaufgaben (Riley et al., 1983; Stern, 1998). Diese Erkenntnis wird mit der semantischen Struktur begründet. Austauschaufgaben zeigen einen dynamischen Charakter, wodurch die zugrunde liegende Rechenoperation gut widergespiegelt wird (Rasch, 2009b). Das Gegenüberstellen von Größen in Vergleichsaufgaben gibt keinen deutlichen Hinweis auf die entsprechende Rechenoperation (ebd.). Die Zahlen müssen bezüglich ihres relationalen Aspektes verarbeitet werden. Das bei Schülerinnen und Schülern häufig ausgeprägte Kardinalzahlverständnis kann bei Aufgaben, in denen Mengen verändert, ausgeglichen oder kombiniert werden, angewendet werden, jedoch nicht bei Vergleichsaufgaben (Stern, 1998). Darüber hinaus werden Aufgaben mit unbekannter Startmenge schlechter gelöst als Aufgaben, bei denen die Endmenge gesucht ist (Schneeberger, 2009). Die von Riley und Greeno konzipierte Typologie von Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt

wird in vielen Untersuchungen genutzt (z. B. Carpenter & Moser, 1984; de Corte et al., 1985; Radatz et al., 1996; Rasch 2009b; Stern, 1993; Stern, 1998; Thevenot, 2010).

<u>Illustrations of Problem Types</u>		
Combine 1 (combination unknown) Joe has 3 marbles. Tom has 5 marbles. How many marbles do they have altogether?	Change 1 (result unknown) Joe had 3 marbles. Then Tom gave him 5 marbles. How many marbles does Joe have now?	Compare 1 (difference unknown) Joe has 5 marbles. Tom has 8 marbles. How many marbles does Tom have more than Joe?
Combine 2 (combination unknown) Joe and Tom have some marbles. Joe has 3 marbles. Tom has 5 marbles. How many marbles do they have altogether?	Change 2 (result unknown) Joe had 8 marbles. Then he gave 5 marbles to Tom. How many marbles does Joe have now?	Compare 2 (difference unknown) Joe has 8 marbles. Tom has 3 marbles. How many marbles does Tom have less than Joe?
Combine 3 (subset unknown) Joe has 3 marbles. Tom has some marbles. They have 8 marbles altogether. How many marbles does Tom have?	Change 3 (change unknown) Joe had 3 marbles. Then Tom gave him some marbles. Now Joe has 8 marbles. How many marbles did Tom give him?	Compare 3 (compared quantity unknown) Joe has 3 marbles. Tom has 5 more marbles than Joe. How many marbles does Tom have?
Combine 4 (subset unknown) Joe has some marbles. Tom has 5 marbles. They have 8 marbles altogether. How many marbles does Joe have?	Change 4 (change unknown) Joe had 8 marbles. Then he gave some marbles to Tom. Now Joe has 3 marbles. How many marbles did he give to Tom?	Compare 4 (compared quantity unknown) Joe has 8 marbles. Tom has 5 marbles less than Joe. How many marbles does Joe have?
Combine 5 (subset unknown) Joe and Tom have 8 marbles altogether. Joe has 3 marbles. How many marbles does Tom have?	Change 5 (start unknown) Joe had some marbles. Then Tom gave him 5 marbles. Now Joe has 8 marbles. How many marbles did Joe have in the beginning?	Compare 5 (referent unknown) Joe has 8 marbles. He has 5 more marbles than Tom. How many marbles does Tom have?
Combine 6 (subset unknown) Joe and Tom have 8 marbles altogether. Joe has some marbles. Tom has 5 marbles. How many marbles does Joe have?	Change 6 (start unknown) Joe had some marbles. Then he gave 5 marbles to Tom. Now Joe has 3 marbles. How many marbles did Joe have in the beginning?	Compare 6 (referent unknown) Joe has 3 marbles. He has 5 marbles less than Tom. How many marbles does Tom have?

Abbildung 2.3: Illustrations of Problem Types nach Riley und Greeno
(Quelle: Riley & Greeno, 1988, S. 53f.)

Rasch (2016) unterscheidet zwischen einfachen und problemhaltigen Textaufgaben. Einfache Textaufgaben oder Routineaufgaben bilden Grundmodelle des Rechnens ab. Ein bekannter Lösungsweg kann reproduziert werden. Im Gegensatz zu Routineaufgaben kennzeichnen sich problemhaltige Textaufgaben dadurch, dass mathematische Strukturen zugrunde liegen, die vom Grundmodell abweichende Anforderungen stellen und weniger bekannte Aufgabenmuster und Lösungsgewohnheiten abbilden. Die Aufgabenlösenden müssen Denkbarrieren überwinden und Transformationsleistung anwenden. Obwohl einfache Textaufgaben (Routineaufgaben) im Hinblick auf den Einsatz im Unterricht häufig kritisiert werden, eignen sich diese besonders für Forschungszwecke (Hohn, 2012). Oft fokussieren wissenschaftliche Arbeiten dementsprechend einfache Textaufgaben (z. B. Carpenter & Moser, 1984; Cummins, 1991; Thevenot, 2010).

Die Textaufgaben, die in die vorliegende Untersuchung einbezogen werden, werden in Kapitel 5.3.4 detailliert analysiert.

2.2.3 Prozess beim Bearbeiten von Textaufgaben

Franke und Ruwisch beschreiben das Lösen von Sachaufgaben aus mathematikdidaktischer Sicht als mathematisches Modellieren (Franke & Ruwisch, 2010). In der Mathematikdidaktik wird diskutiert, ob auch Textaufgaben als mathematische Modellierungsaufgaben betrachtet werden können (Hohn, 2012). Nach Greefrath et al. (2013) wird beim Bearbeiten von Textaufgaben wegen des fehlenden Realitätsbezugs und der Vereinfachung kein eigenständiges mathematisches Modell erstellt. Sie schlussfolgern: „Von einer eigenständigen Erstellung eines mathematischen Modells kann auf Grund des fehlenden echten Realitätsbezugs und der vorgegebenen Vereinfachungen nicht wirklich gesprochen werden“ (ebd., S. 24). Auch Galbraith (2007) betrachtet Textaufgaben nicht als mathematische Modellierungsaufgaben. Er sieht Gemeinsamkeiten zwischen Text- und Modellierungsaufgaben, jedoch fehlen bei Textaufgaben häufig die Sinnhaftigkeit und der echte Realitätsbezug. Demgegenüber handelt es sich nach Verschaffel et al. (2000) bei Textaufgaben um Übungen mathematischen Modellierens: „Even the simplest word problem can be viewed as a modeling exercise“ (ebd., S. 134). In Anlehnung an Verschaffel et al. werden in der vorliegenden Arbeit einfache Textaufgaben als Modellierungsaufgaben gesehen. Zur erfolgreichen Lösung muss der Modellierungskreislauf durchlaufen werden.

In der Fachliteratur existieren unterschiedliche Modelle, die den Bearbeitungsprozess von Textaufgaben als Sachaufgaben in Textform darstellen (Hohn, 2012). Der Modellierungsprozess wird in Abhängigkeit der Autoren in verschiedene Teilprozesse unterteilt, die Überschneidungen, aber auch Unterschiede aufweisen (z. B. Blum, 1985; Blum & Leiß, 2005; Müller & Wittmann, 1984; Reusser, 1992; Schupp, 1988; Verschaffel et al., 2000). Obwohl die unterschiedlichen Modelle unterschiedliche Schwerpunkte erkennen lassen, die sich auf die Ausdifferenzierung der Teilprozesse beziehen, stimmen sie in einem Aspekt überein: „Ausnahmslos alle Modelle beschreiben das Verstehen des Aufgabentextes als ersten Schritt im Modellierungsprozess“ (Walter & Rink, 2020, S. 235). Verschaffel et al. (2000, S. xi) veranschaulichen im *schematic diagram of the process of modeling* Teilprozesse, die beim Bearbeiten von Textaufgaben durchlaufen werden (s. Abbildung 2.4). Dabei beziehen sich die rechten Felder auf mathematische Aspekte und die linken Felder auf Zusammenhänge mit der realen Umwelt.

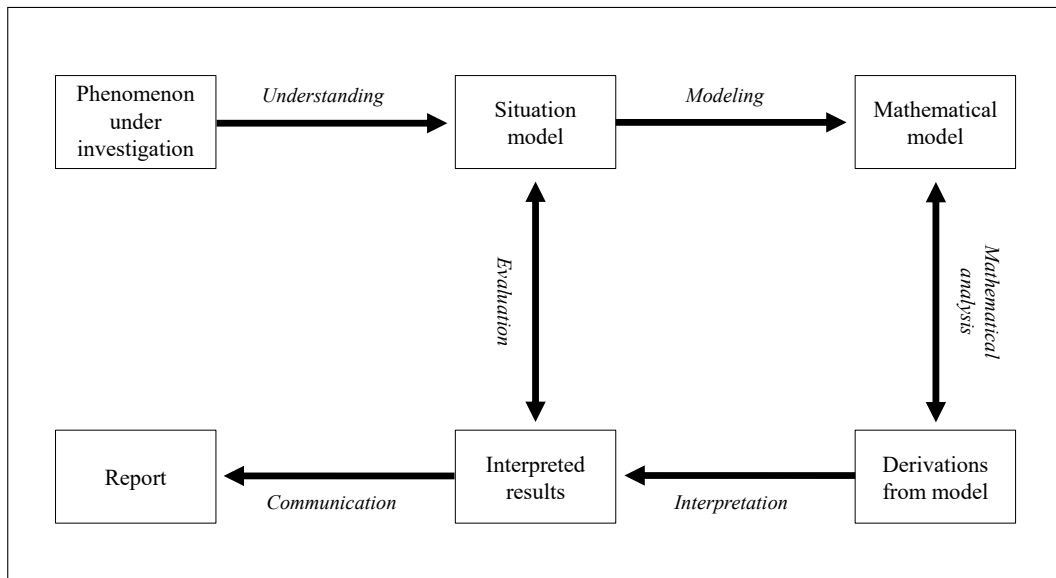


Abbildung 2.4: Schematic diagram of the process of modeling nach Verschaffel et al.
(Quelle: Verschaffel et al., 2000, S. xii)

Walter und Rink (2020) sowie Rellensmann (2019) übersetzen den Modellierungskreislauf nach Verschaffel et al. (2000) in die deutsche Sprache (s. Abbildung 2.5).

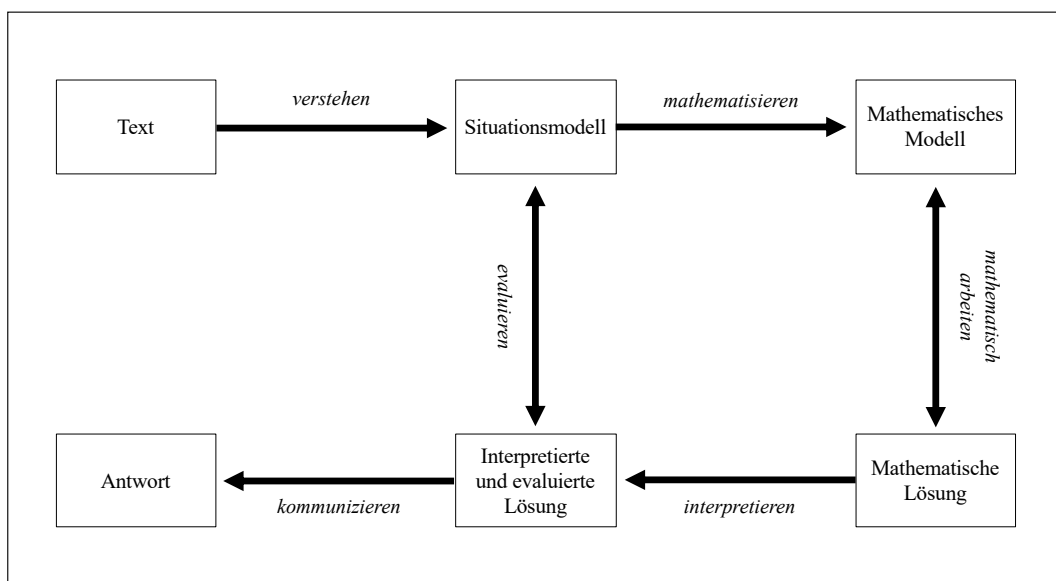


Abbildung 2.5: Modellierungskreislauf nach Verschaffel et al.
(Quellen: in Anlehnung an Walter & Rink, 2020, S. 235; Rellensmann, 2019, S. 9)

Der Modellierungskreislauf beginnt nachdem die Textaufgabe präsentiert wird. Zunächst müssen die sprachlichen Informationen aus der Textaufgabe dekodiert und verstanden werden (verstehen). Das Verstehen einer Textaufgabe ist komplex (Renkl & Stern,

1994). Erst wenn der Text verstanden ist und die der Aufgabe zugrunde liegende Situation erfasst ist, kann durch Vereinfachen und Strukturieren das Situationsmodell aufgebaut werden (Rink, 2014a). Hierfür ist bedeutsam, dass lösungsrelevante von lösungsirrelevanten Informationen getrennt werden. Nach dem Aufbau des Situationsmodells erfolgt der Übergang zum mathematischen Modell (mathematisieren). Hierzu werden die für das Lösen der Aufgabe notwendigen Informationen herausgefiltert und in die mathematische Sprache übersetzt, wobei meist eine mathematische Rechenaufgabe gebildet wird. Dann wird unter Verwendung mathematischer Rechenverfahren die Rechenaufgabe gelöst (mathematisch arbeiten). Die mathematische Lösung wird anschließend in Bezug auf die Realsituation interpretiert (interpretieren), in Beziehung zur Ausgangssituation gesetzt und unter Rückbezug auf das Situationsmodell auf Plausibilität geprüft (evaluieren). Abschließend wird die interpretierte und evaluierte Lösung dargelegt (kommunizieren). Da einfache Textaufgaben als Modellierungsaufgaben angesehen werden, werden die beschriebenen Prozesse des Modellierungskreislaufs auch beim Bearbeiten dieser Aufgaben durchlaufen. Beispielhaft wird in Abbildung 2.6 der Modellierungskreislauf einer einfachen Textaufgabe dargestellt.

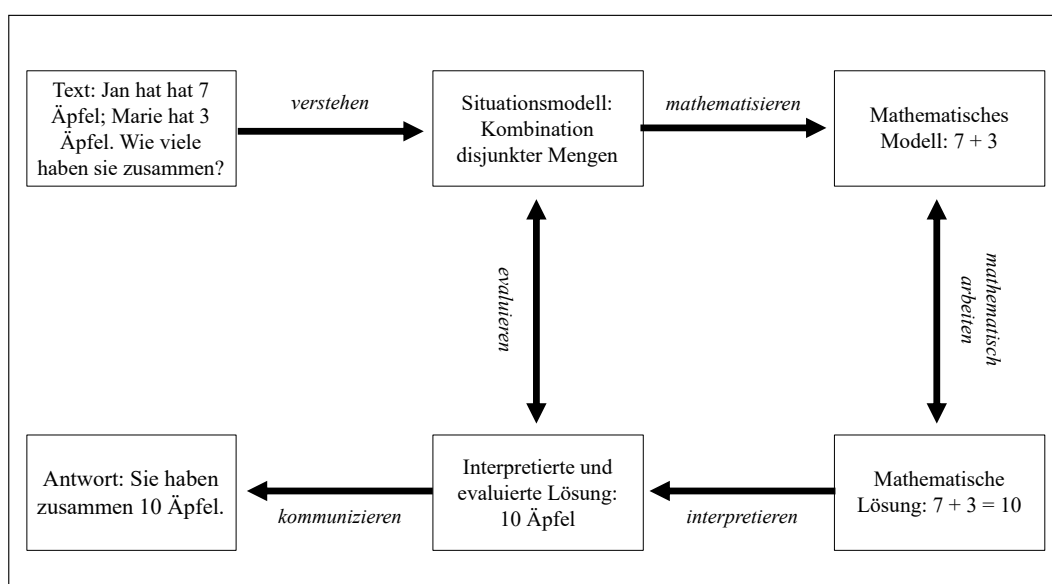


Abbildung 2.6: Textaufgabe im Modellierungskreislauf
(Quelle: in Anlehnung an Verschaffel et al., 2000, S. 134)

Der Modellierungskreislauf stellt das Bearbeiten von Textaufgaben idealisiert dar. Hierdurch können Lehrpersonen und Wissenschaftler Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Textaufgaben genauer verorten und darauf basierend passende Hilfen anbieten. Beim

Bearbeiten von Aufgaben lassen sich die einzelnen Teilprozesse nicht streng voneinander trennen, sondern gehen meist fließend ineinander über. Der Kreislauf wird nicht immer vollständig und chronologisch durchlaufen. Teilweise werden einzelne Teilprozesse übersprungen, zwischen den Teilprozessen gewechselt oder es kommt zum Rückwärtsarbeiten. Alle Teilprozesse des Modellierungskreislaufs können für Lernende kognitive Hürden darstellen. Beim Betrachten des Modellierungskreislaufs wird deutlich, dass nachfolgende Teilprozesse des Kreislaufes nur bewältigt werden, wenn die Prozesse davor bewältigt wurden. Insbesondere dem ersten Teilprozess, dem Verstehen der Aufgabe mit dem Aufbau eines Situationsmodells, kommt eine wesentliche Bedeutung zu, da dieser Auswirkungen auf den gesamten nachfolgenden Bearbeitungsprozess hat.

Beim Bearbeiten von Textaufgaben können verschiedene Repräsentationen genutzt werden:

„We consider a representation of an object or an event that stands for something else. Text on paper describing something, sculptures or pictures of something are examples of objects that have a representational function [...]. As a representation stands for something else, it refers to it and thus adopts the function of a sign, too.“ (Schnotz et al., 2010, S. 18f.)

Repräsentationsformen lassen sich beispielsweise unterscheiden in interne und externe Repräsentationen sowie deskriptionale und depiktionale Repräsentationen. Innere Prozesse oder innere Vorstellungen gelten als interne Repräsentationen. Interne Repräsentationen sind nach außen nicht sichtbar, sondern können nur über Externalisierung erschlossen werden (Hohn, 2012). Externe Repräsentationen sind beobachtbare Strukturen, wie Wörter, Diagramme, Skizzen oder Rechnungen. Externe Repräsentationen können in selbstgenerierte und fremdgenerierte Repräsentationen unterteilt werden (ebd.). Externe Repräsentationen können kognitive Prozesse des Arbeitsgedächtnisses entlasten (ebd.). Beim Bearbeiten von Textaufgaben können Lernende in der Primarstufe verschiedene externe Repräsentationen wie Zeichnungen, Tabellen, Rechnungen, Fragen oder Antworten nutzen (Schnotz et al., 2010). Häufig erstellen Grundschulkinder von sich aus keine externen Repräsentationen (Reuter, 2016). Sowohl interne als auch externe Repräsentationen lassen sich in deskriptionale (beschreibende) und depiktionale (bildliche) Repräsentationen unterteilen (Schnotz, 2006; Schnotz, 2014). Beispiele für deskriptionale Repräsentationen sind nonverbal-symbolische und verbal-symbolische Darstellungen wie Rechnungen oder Formeln oder Beschreibungen in mündlicher oder schriftlicher Sprache. Nonverbal-symbolische Repräsentationen können mit verbal-symbolischen Repräsentationen kombiniert werden, z. B. bei einem Antwortsatz zu einer Textaufgabe (Hohn, 2012). Zu den depiktionalen Repräsentationen gehören ikonische Darstellungen wie Zeichnungen, Diagramme, Tabellen oder Skizzen. Das Erstellen einer

Zeichnung initiiert beispielsweise eine systematische Problemanalyse sowie Abstraktionsprozesse (Sturm, 2017), wodurch die Lösungsfindung unterstützt wird. Während des Bearbeitens von Textaufgaben können die Aufgabenlösenden Repräsentationsformen generieren. Hierzu zählen beispielsweise das Verfassen einer Rechenaufgabe (extern deskriptional), das Erstellen einer Zeichnung (extern depiktional), das Lösen von Rechnungen im Kopf (intern deskriptional) oder das Vorstellen von Bildern im Kopf (intern depiktional) (Hohn, 2012). Die Verwendung angemessener Repräsentationsformen sollte systematisch erfolgen und reflektiert werden (Sturm, 2017). Die Kombination unterschiedlicher Repräsentationsformen wird als multiple Repräsentationen benannt (Hohn, 2012). Hohn fasst die beschriebenen Repräsentationsformen mit den Kombinationsmöglichkeiten in einem Vier-Felder-Schema zusammen (s. Abbildung 2.7).

	Depiktional	Deskriptional
Extern		
Intern		

Abbildung 2.7: Schematisierung verschiedener Repräsentationsformen
(Quelle: Hohn, 2012, S. 36)

2.2.4 Anforderungen beim Bearbeiten von Textaufgaben

„Seit eh und je bilden das Sachrechnen und das Arbeiten mit Größen die Themen der Grundschulmathematik mit den größten Lehr-Lernschwierigkeiten und damit verbunden den negativsten Erfahrungen und Assoziationen auf Seiten der Schüler“ (Radatz & Schipper, 1983, S. 123). Diese Aussage hat an Aktualität nicht verloren. Das Sachrechnen wird sowohl für Lehrkräfte als auch für Lernende als schwieriger Anforderungsbereich des Mathematikunterrichts beschrieben (Häsel, 2001; Scherer & Moser Opitz, 2010). Das Bearbeiten von Sachaufgaben gehört nicht zu den beliebtesten Aktivitäten im Mathematikunterricht (Rasch, 2019). Mit dem Aufgabentyp Textaufgaben haben Lernende Schwierigkeiten (Cummins et al., 1988; Hasemann & Stern, 2002). So werden Textaufgaben mit gleicher arithmetischer Struktur wie Rechenaufgaben um bis zu 30 % fehlerhafter gelöst (Reusser, 1997). Der Modellierungskreislauf verdeutlicht, dass das

Bearbeiten von Textaufgaben ein komplexer kognitiver Prozess ist, der vielfältige Kompetenzen erfordert. Da Textaufgaben sprachliche, mathematische und kontextbezogene Komponenten aufweisen (Ott, 2016), spielen beim Bearbeiten der Aufgaben vielfältige Lern- und Entwicklungsvoraussetzungen aus den Bereichen Sprache, Sachkontext und Mathematik eine Rolle (s. Abbildung 2.8). Diese Voraussetzungen sind individuell sehr unterschiedlich (Rasch, 2009a). Schwierigkeitssteigernde Faktoren einer Textaufgabe können sich auf Anforderungen aus den Bereichen Sprache, Sachkontext und Mathematik beziehen.

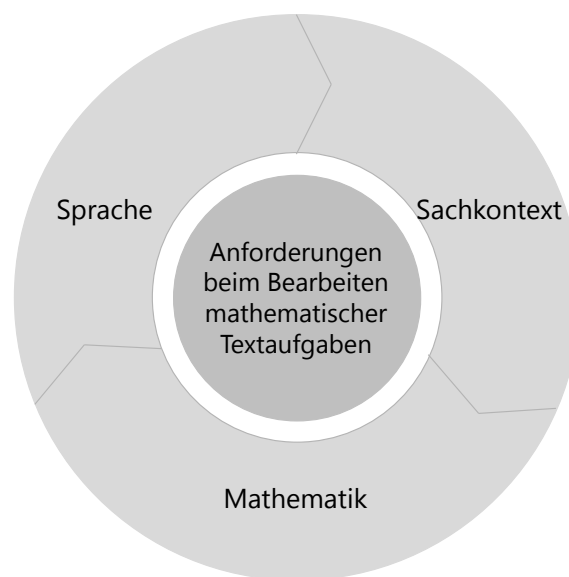


Abbildung 2.8: Anforderungen beim Bearbeiten mathematischer Textaufgaben
(Quelle: eigene Darstellung)

2.2.4.1 Sprache

Die Relevanz der Sprache für die Schulmathematik und insbesondere für das Sachrechnen ist nicht zu unterschätzen. Beim Bearbeiten von Textaufgaben sind sprachliche Faktoren bedeutsam (Rink, 2014a). Erste Grundvoraussetzungen zum Bearbeiten von Textaufgaben sind das Verständnis der deutschen Sprache als Unterrichtssprache. Der Text muss zunächst erlesen werden (Häsel-Weide, 2016). Um die Informationen und den Kontext sinnentnehmend zu erfassen, ist ausreichendes Leseverstehen notwendig. Ohne dieses wird der Zugang zum Problem der Aufgabe nicht geschaffen (Rink, 2014a). Die Bedeutung der verwendeten Begriffe (Wortschatz), die Satzstrukturen und die Formulierungen müssen den Aufgabenlösenden bekannt sein oder sich aus dem Kontext erschließen lassen (Häsel-Weide, 2016; Rink, 2014a). Die sprachlichen Anforderungen

beim Bearbeiten einer Textaufgabe können eine Hürde darstellen, insbesondere für Lernende, deren Erstsprache nicht Deutsch ist (Scherer & Moser Opitz, 2010). Schwierigkeiten können auf Wort-, Satz- und Textebene entstehen. Die Formulierung einer Textaufgabe hat einen entscheidenden Einfluss auf die Aufgabenschwierigkeit und beeinflusst die Lösungswahrscheinlichkeit (Häsel-Weide, 2007). Eine veränderte sprachliche Fassung kann ein anderes Lösungsmodell nahelegen. Der Einfluss von Schlüsselwörtern bei der Formulierung von Textaufgaben ist bedeutender als die Wirkung einzelner Formulierungen (ebd.). Durch die Orientierung an Schlüsselwörtern werden die Zahlen aus der Aufgabe mit der durch das Schlüsselwort nahegelegten Rechenoperation verknüpft. Die Orientierung an Schlüsselwörtern führt häufig zur richtigen mathematischen Lösung. Weitere sprachlich-syntaktische Faktoren, die den Schwierigkeitsgrad beeinflussen, sind beispielsweise direkte oder indirekte Angaben der notwendigen Daten, die Reihenfolge der Angaben im Text (lösungskonform oder lösungsdeform) oder die Komplexität des Textes (einfache oder komplexe Satzstrukturen, einfacher oder komplexer Wortschatz, Länge des Textes...) (Schilcher & Madlindl, 2012). Zudem erschwert der mathematische Fachwortschatz das Lösen der Textaufgabe.

Nach Krauthausen und Scherer (2014) liegen Hauptschwierigkeiten während des Bearbeitungsprozesses von Textaufgaben u. a. im Verständnis der Textsprache sowie in der angemessenen Interpretation und Entnahme wichtiger Textinfos. Der erste Teilprozess des Modellierungskreislaufs ist eng mit dem verstehenden Umgang mit Texten, einer Kompetenz aus dem Deutschunterricht, verknüpft. Auf den Bereich Leseverstehen wird, aufgrund der Bedeutung für die vorliegende Untersuchung, detaillierter eingegangen. Studien zeigen, dass die allgemeine Lesekompetenz ein wichtiger Prädiktor für die Bewältigung von Textaufgaben darstellt (Bos et al., 2012; Knoche & Lind, 2004; Paetsch et al., 2016). Leseverstehen wird als Bereich der Lesekompetenz angesehen, welcher sich aus weiteren Bereichen zusammensetzt (Hußmann et al., 2017; s. Abbildung 2.9). In vielen Lebensbereichen wird verstehendes Lesen vorausgesetzt. Verstehendes Lesen ist eine Grundvoraussetzung für das berufliche und das gesellschaftliche Leben und für jeden Menschen von grundlegender Bedeutung (Steck, 2013). Die komplexe Fähigkeit des Leseverstehens ist für den Erfolg in der schulischen Laufbahn und für die individuelle Bildung mitverantwortlich (ebd.). Verstehend lesen zu können ist Grundlage für das Lernen in allen Unterrichtsfächern (Chudaske, 2012; Steck, 2013) und ist auch für das Unterrichtsfach Mathematik wesentlich (Fegert et al., 2012). Leseverstehen ist das Resultat eines vielschichtigen kognitiven Prozesses (Steck, 2013). Drei Elemente sind beteiligt, um einen Text zu verstehen: „Der *Leser*, der den Leseverstehensprozess

durchführt und überwacht, der *Text*, der gelesen und verstanden werden muss, der *Kontext*, in dem gelesen wird“ (Steck, 2013, S. 22f.). Im Leseverstehensprozess übernimmt der Leser eine aktive Rolle. Unterschiede in der Textgestaltung beziehen sich auf äußere Merkmale von Texten sowie auf die inhaltliche Gestaltung. Inhalt, Aufbau, Sprache und Textsorte lassen sich als objektiv feststellbare Merkmale charakterisieren. Steck stellt im Zwei-Säulen-Modell des Leseverstehens wesentliche Aspekte des Leseverstehens dar (s. Abbildung 2.9). Voraussetzungen sind zunächst kognitive Fähigkeiten, die sich auf die Aufmerksamkeit, das Gedächtnis, den Wortschatz und analytische Kompetenzen beziehen. Basale Lesefertigkeiten beziehen sich auf das Rekodieren und Dekodieren während des Lesens. Die Leseintention beinhaltet die zielorientierte Einstellung beim Lesen. Die Motivation und das Interesse den Inhalt des Textes zu verstehen sind wichtig für die kognitive Anstrengungsbereitschaft beim Leseverstehen. Basiskompetenzen sind Prozesse, die bei geübten Lesern überwiegend automatisiert ablaufen (Steck, 2013). Dazu gehören die Imaginationsfähigkeit, die Kombinationsfähigkeit, das Weltwissen, das Sprachwissen und das Wissen über den Aufbau und die Struktur von Texten sowie die Überwachung des eigenen Verstehensprozesses (s. Abbildung 2.9). Zudem unterstützen Lesestrategien den Leseverstehensprozess. Unterschieden wird zwischen kognitiven Primärstrategien und metakognitiven Stützstrategien. Die aufgeführten Aspekte geben Ansatzpunkte zur Unterstützung des Leseverstehens.

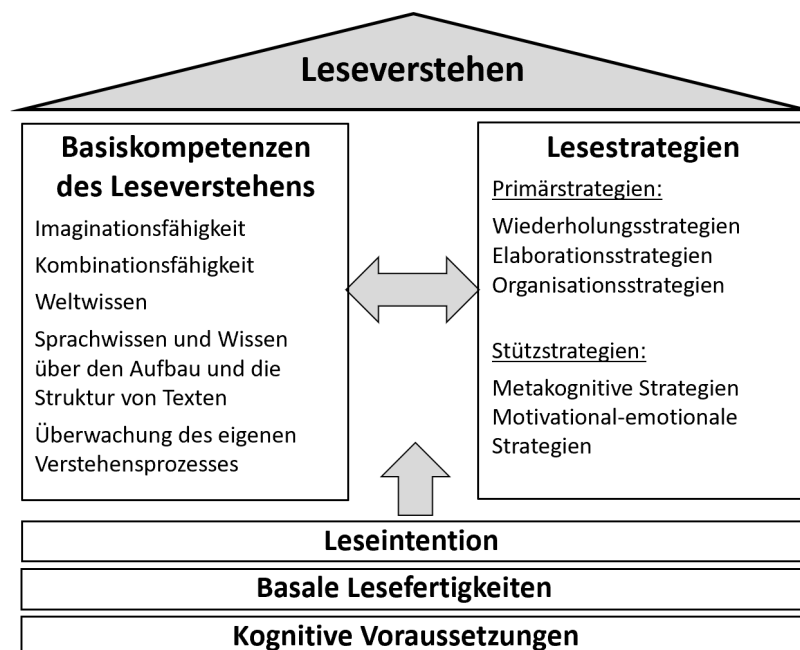


Abbildung 2.9: Zwei-Säulen-Modell des Leseverstehens
(Quelle: in Anlehnung an Steck, 2013, S. 82)

Das verstehende Lesen der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen ist vergleichsweise schlechter als das von Regelschülern (Graham & Bellert, 2008). Diese Verständnisprobleme haben unterschiedliche Ursachen und fußen auf Schwierigkeiten „bei der Worterkennung, beim richtigen Anwenden von Hintergrundwissen, beim Dekodieren sowie durch einen begrenzten Wortschatz, eine unterentwickelte Leseflüssigkeit und eine unstrategische Herangehensweise an den Text, wozu die Verwendung ineffizienter Strategien und ein mangelndes Wissen über Textstrukturen gehört (ebd., S 258). Solche Beeinträchtigungen bedingen sich oft gegenseitig und können zu schwerwiegenden Problemen des Leseverstehens führen.

2.2.4.2 Sachkontext

Um sich in die beschriebene Sachsituation der Textaufgabe einzudenken und diese richtig zu deuten, ist ausreichendes Wissen über die Sache notwendig (Häsel-Weide, 2016). Je nach Sachkontext ist spezifisches Hintergrundwissen oder allgemeines Weltwissen notwendig. Die Vertrautheit mit dem Sachkontext erschwert oder erleichtert das Bearbeiten einer Textaufgabe (Häsel-Weide, 2007; Scherer & Moser Opitz, 2010). Bedeutsam ist, dass die Kinder den Kontext ernst nehmen, sich in die Sachsituation eindenken und Interesse gegenüber dem Sachkontext zeigen. Schwierigkeiten können entstehen, wenn die Sache missachtet wird (Scherer, 2016). Wenn die Situation nicht durchdacht wird, werden primär die in der Aufgabe vorkommenden Zahlen verarbeitet und mechanisch verrechnet (Häsel-Weide, 2007). Die Aufgabenlösenden bearbeiten in diesen Fall die Aufgaben ohne ein Modell im Kopf aufzubauen. Die Unterscheidung in Typen von Textaufgaben basiert u. a. auf der internen Semantik und nicht auf der externen Semantik im Sinn einer Rahmenhandlung (Kieran, 2006) und ist somit mathematisch geleitet (Ott, 2016). Wie in Kapitel 2.2.2 lassen sich Textaufgaben im Hinblick auf die Dynamik der Situation in Aufgaben mit eher dynamischer oder statischer Sachsituation unterteilen. Aufgaben mit dynamischem Kontext sind einfacher zu lösen als Textaufgaben mit eher statischem Kontext. Zu den sachlich-semantisch beeinflussenden Faktoren zählen auch Aspekte wie die Bekanntheit der Wörter und Formulierungen, der Realitätsbezug der Aufgabe oder die Angabe irrelevanter Informationen (Franke & Ruwisch, 2010).

2.2.4.3 Mathematik

Beim Sachrechnen geht es nicht ausschließlich um die symbolische Notation eines Zahlsatzes (Scherer & Moser Opitz, 2010) oder um die mechanische Anwendung einer Rechentechnik. Um die Sachsituation in ein mathematisches Modell zu übersetzen, werden die Angaben im Text auf notwendige mathematische Angaben reduziert (Häsel-

Weide, 2016). Ein mathematisches Gleichungssystem wird aufgestellt, wobei das Erkennen der benötigten Rechenoperation zentral ist. Das Lösen der Rechenaufgabe erfordert sicheres Rechnen mit den geforderten Rechenoperationen im entsprechenden Zahlenraum. Die mathematische Lösung ist abschließend angemessen zu interpretieren und zu evaluieren. Der Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe wird auch von der mathematischen Struktur bestimmt. Komplexaufgaben mit ihrer verzweigten Struktur sind schwerer zu lösen als Simplexaufgaben, bei denen ein Rechenschritt durchgeführt wird (Häsel-Weide, 2007). Die Rechenoperationen, der Rechenaufwand (d. h. die Komplexität der Algorithmen) oder die Größe der Zahlen haben Einfluss auf die Lösung (Franke & Ruwisch, 2010). Neben der Notation einer Rechenaufgabe unterstützen auch andere Repräsentationen das Bearbeiten der Textaufgabe. Obwohl vielfältige Faktoren Einfluss auf die Bearbeitung von Sachaufgaben haben, wird beim Bearbeiten dieser Aufgaben deutlich, ob und wie Kinder mathematische Zusammenhänge verstehen und mit mathematischen Beziehungen umgehen (Hasemann & Gasteiger, 2014).

2.2.5 Fehler beim Bearbeiten von Textaufgaben

„Fehler sind ein Indiz dafür, dass zwischen den Anforderungen der Aufgabe und der Kompetenz des Kindes als Aufgabenlösendem eine Lücke besteht“ (Franke & Ruwisch, 2010, S. 80). Generell stellen Fehler eine Chance zum Lernen dar. Die Analyse von Fehlern ist für Lernende als auch für Lehrkräfte sinnreich. Die Lehrpersonen können so die Denkwege der Kinder nachvollziehen. Hieraus ergeben sich Anknüpfungspunkte für die Aufgabenauswahl und Gestaltung des Unterrichts. Die Schülerinnen und Schüler lernen durch das erneute Nachdenken eigene Fehler zu erkennen (ebd.). Nachfolgend werden Fehlerursachen beim Lösen von Sachaufgaben aufgezeigt, die sich auf Textaufgaben als Sachaufgaben in Textform übertragen lassen. Die Fehlerursache Orientierung an Oberflächenmerkmalen lässt sich in drei Gruppen unterteilen (ebd.): Orientierung an den Zahlen und dem vermuteten Rechenaufwand, Orientierung an Signalwörtern, Orientierung am unterrichtlichen Kontext. Bei der Orientierung an den Zahlen und dem vermuteten Rechenaufwand werden die Zahlen aus dem Text willkürlich verknüpft. Bei der Orientierung an Signalwörtern werden typische Formulierungen als Hinweis auf bestimmte Rechenoperationen gedeutet. Verben wie weggeben, abschneiden, wegfliegen oder Adjektive wie weniger oder kürzer werden als Subtraktion gedeutet. Demgegenüber werden Verben wie dazukommen, sammeln, erhöhen oder Adjektive wie mehr, schwerer, länger als Addition interpretiert. Fehler durch Orientierung am unterrichtlichen Kontext entstehen, weil das Lösungsverhalten entscheidend durch den Unterricht und die

Erfahrungen mit Aufgaben im Mathematikunterricht geprägt ist. Die Kinder wenden beispielsweise die aktuellen arithmetischen Inhalte des Unterrichts konsequent beim Lösen von Textaufgaben an. Darüber hinaus lassen sich Fehlerursachen den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs zuordnen. Fehler beim Aufbau eines Situationsmodells entstehen, wenn das Überführen des Sachproblems in ein Situationsmodell nicht gelingt. Gründe hierfür können sein, dass der Text aufgrund der Informationsdichte anders interpretiert wird, die zeitliche Abfolge der Handlung abweichend verstanden wird oder die dargestellte Situation nicht mit einer Handlungsvorstellung verbunden wird. Fehler beim Überführen ins mathematische Modell entstehen beispielsweise durch die Fokussierung auf syntaktische Merkmale und dem schrittweisen Übersetzen des Textes, durch die Orientierung an Signalwörtern oder durch Lesefehler. Zu den Fehlern beim Umsetzen des mathematischen Modells gehören allgemeine Rechenfehler, die teilweise auf Lücken im Bereich Arithmetik zurückzuführen sind oder das Vermeiden von Rechenaufgaben, die nicht berechnet werden können. Auch in den letzten Phasen des Modellierungskreislaufs können Fehler auftreten. Diese werden als Fehler bei der Deutung und Validierung der mathematischen Lösung bezeichnet. Darüber hinaus sind Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Sachaufgaben nicht ausschließlich von dem individuellen Vorgehen der Kinder abhängig. Fehler entstehen auch in Abhängigkeit vom unterrichtlichen Kontext (ebd.). So lassen sich Fehler teilweise darauf zurückführen, wie die Aufgaben thematisiert, bearbeitet und reflektiert werden oder welche Aufgabentypen im Sachrechenunterricht einbezogen werden.

2.2.6 Hilfen beim Bearbeiten von Textaufgaben

Beim Bearbeiten von Sachaufgaben gibt es keine Abfolge von Lehrschritten, die immer wieder zielführend abgearbeitet werden kann (Bongartz & Verboom 2007). Dafür ist der Prozess zu komplex und die Aufgaben zu unterschiedlich. Bearbeitungshilfen können aber den Bearbeitungsprozess von Textaufgaben unterstützen (ebd.). Sachrechenkompetenz umfasst auch die Kompetenz der Lernenden Aufgaben unter Nutzung von unterstützenden Hilfen zielgerichtet zu bearbeiten (ebd.). Bearbeitungshilfen können in Abhängigkeit der individuellen Lernvoraussetzungen gezielt von der Lehrperson bereitgestellt oder in Erinnerung gerufen werden. Um diese Hilfen sinnvoll anzuwenden, ist es notwendig zunächst den Umgang damit zu lernen und einzuüben. Da der Fokus der vorliegenden Arbeit auf dem ersten Teilprozess des Modellierungskreislaufs liegt, werden nachfolgend Hilfen thematisiert, die insbesondere das Verstehen der Textaufgabe

unterstützen und den Aufbau des Situationsmodells begünstigen und entsprechend positive Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse des Modellierungskreislaufs haben.

2.2.6.1 Strategien zur Texterschließung

Verschiedene Texterschließungsstrategien, die der Leser während des Lesens anwendet, können beim Verstehen des Textes unterstützen. Nachfolgend werden Texterschließungsstrategien, die durch weitere Strategien ergänzt werden können, präsentiert. Das mehrmalige Lesen des Textes ist eine Strategie, wobei jeder Durchgang ein anderes Ziel haben kann (Erichson 1993). Durch das orientierende Lesen lässt sich ein Überblick verschaffen. Beim genauen Lesen werden Beziehungen zwischen den Angaben erfasst. Wesentliche Informationen werden beim selektiven Lesen herausgepickt. Das worterschließende Lesen dient dem Entschlüsseln der Bedeutungen einzelner Begriffe und kann in Verbindung mit Nachfragen oder Nachschlagen stattfinden. Beim kritischen Lesen lassen sich Widersprüche aufdecken. Das rückversichernde Lesen dient dem Vergewissern, dass der Text richtig erfasst wurde. Für die Texterschließung ist wesentlich zwischen relevanten und irrelevanten Informationen zu unterscheiden. Durch das Markieren, Unterstreichen oder Herausschreiben wichtiger Informationen des Textes werden bedeutsame Begriffe und Zahlen fokussiert und der Text auf das Wesentliche reduziert (Bongartz & Verboom, 2007). Unwesentliche Angaben im Text können durchgestrichen werden. Eine weitere Möglichkeit das Verstehen zu unterstützen ist, dass die Lernenden nach dem Durchlesen der Textaufgabe den Text in ihren eigenen Worten nach erzählen (Bongartz & Verboom, 2007; Scherer & Moser Opitz, 2010). So werden Informationen eher mit dem eigenen Wissen verknüpft (Bongartz & Verboom, 2007). Dies gibt einen Überblick, ob der Text grundsätzlich verstanden wurde. Der Umgang mit den aufgeführten Strategien ist ein Lernprozess. Geeignete Hilfen müssen zunächst von der Lehrperson bereitgestellt bzw. vorgegeben und angewendet werden. Die Vermittlung solcher Strategien im Förderschwerpunkt Lernen ist herausfordernd. Der Schülerschaft fällt es schwer, Lesestrategien aktiv und angemessen zu nutzen (Graham & Bellert, 2008).

2.2.6.2 Auditive Präsentation

Rink (2014a, 71) sowie Rink und Walter (2019, 990) präsentieren mit der auditiven Präsentation der Textaufgabe eine Hilfe, die vor allem Lernende mit Schwierigkeiten beim Lesen unterstützt den Sinn der Aufgabe zu erfassen. Mit Hilfe digitaler Medien wird der Text der Aufgabe als verbal-symbolische Repräsentation auditiv zugänglich gemacht. Schwierigkeiten der Aufgabenlösenden in Bezug auf basale Lesefertigkeiten können so

unterstützt werden. Die Übertragung der Schriftsprache in die gesprochene Sprache stellt einen intramodalen Transfer auf der verbal-symbolischen Repräsentationsebene dar. In ersten Erprobungen haben sich Hinweise ergeben, dass die Vorlesefunktion als auditive Unterstützung Kinder unterstützt den Sinn einer Aufgabe zu erfassen (Rink, 2014a) und eine förderliche Wirkung auf den Aufbau des Situationsmodells haben kann (Rink & Walter, 2019).

2.2.6.3 Intermodaler Transfer

Der intermodale Transfer, d. h. die Übertragung zwischen den Repräsentationsebenen enaktiv, ikonisch und symbolisch, ist bedeutsam für das Lernen mathematischer Inhalte. Zur Ausdifferenzierung des Situationsmodells kann die Situation der Textaufgabe als Rollenspiel (enaktiv) nachgespielt werden (Bongartz & Verboom, 2007; Scherer & Moser Opitz, 2010). Szenische Darstellungen eignen sich, um textspezifischen Schwierigkeiten zu begegnen. Durch die szenische Darstellung einer Sachsituation wird die Situation erlebt und verinnerlicht (Lorenz & Radatz, 1993). Verschiedene grafische Bearbeitungshilfen wie Skizzen, Zeichnungen, Diagramme, Pfeilbilder, Strichlisten oder Tabellen bieten für viele Kinder eine Unterstützung (Franke & Ruwisch, 2010). Grafische Bearbeitungshilfen können selbstständig erstellt oder fremdgeneriert vorgegeben werden. Radatz und Schipper (1983, 135) machen den Vorschlag, Sachsituationen in Situationsbildern oder Bildergeschichten zu präsentieren. Die im Text beschriebenen Zusammenhänge werden somit als ikonische Repräsentation dargestellt. Diese Präsentationsform begünstigt das Ausschalten textspezifischer Schwierigkeiten. Auch die Visualisierung durch Videos als ikonische Repräsentation eignet sich um textspezifischen Schwierigkeiten entgegenzuwirken (Rink, 2014a). Rink und Walter (2019) präsentieren eine digitale Anwendung, die Sachaufgaben als Animation ikonisch darstellt. Diese Animation ist eine Simulation der in der Aufgabe dargestellten Situation. Erste Ergebnisse geben Hinweise auf positive Auswirkungen der Animation auf den Aufbau des Situationsmodells.

2.2.6.4 Sprache

Beim Bearbeiten von Textaufgaben sind sprachliche Faktoren bedeutsam (Rink, 2014a). Unterstützungen im Hinblick auf die Sprache zu geben sind beispielsweise Aufgabenvariationen, die der Vereinfachung des Textes dienen, wie das Wegstreichen von irrelevanten Informationen, das Unterstreichen wesentlicher Informationen, das Umformulieren der Aufgabe mit angepasstem Wortschatz, das Umstellen des Textes oder die Reduzierung der Komplexität der Sätze (Franke & Ruwisch, 2010). Für Kinder mit nicht-

deutscher Muttersprache stellt die sprachliche Gestaltung einer Textaufgabe eine besondere Hürde dar (Benholz & Lipkowski, 2010; Scherer & Moser Opitz, 2010). Erste Grundvoraussetzungen zum Verstehen der Textaufgaben sind das Verständnis der Sprache. Als sprachliche Hilfe kann den Kindern mit nichtdeutscher Muttersprache die Textaufgabe in ihre Muttersprache übersetzt werden.

2.3 Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen

2.3.1 Zentrale Aspekte des Förderschwerpunkts Lernen

2.3.1.1 Begriffsbestimmung und Merkmale

In der Fachliteratur werden unterschiedliche Begrifflichkeiten wie Lernbehinderung, Lernbeeinträchtigung, Lernschwäche oder sonderpädagogischer Förderbedarf Lernen verwendet. Bis heute existiert kein allgemein akzeptierter Terminus mit Definition zur Beschreibung der Personengruppe (Werning & Lütje-Klose, 2016). In der Sonderpädagogik hat sich die Formulierung *Sonderpädagogischer Förderbedarf* eingebürgert, die auch von der KMK genutzt wird. Die besondere Förderung wird dabei als Grundlage für die Begriffsbildung genutzt (Schröder, 2005). Neben den sonderpädagogischen Förderschwerpunkten Sprache, geistige Entwicklung, körperliche und motorische Entwicklung, emotionale und soziale Entwicklung, Sehen und Hören existiert der Förderschwerpunkt Lernen (KMK 2020, XIII). In Anlehnung an die KMK wird in der vorliegenden Arbeit der Terminus Förderbedarf Lernen verwendet, womit „Schülerinnen und Schüler mit (...) umfassenden Schwierigkeiten im schulischen Lernen“ (KMK, 2019, S. 5) einbezogen werden. Es wird von einer Multikausalität des Förderbedarfs ausgegangen. Umfangreiche und andauernde Schwierigkeiten beim schulischen Lernen können als Folge von diversen Einflussfaktoren entstehen, wie beispielsweise Familie und soziale Lage, Schule und Unterricht, kognitive Kompetenzen oder genetische Faktoren (Kretschmann, 2007). Kinder mit Förderbedarf Lernen zeigen, im Gegensatz zu einer partiellen Lernstörung, die sich auf das Zurückbleiben in einem Lernbereich bezieht, eine generalisierte Lernstörung (ebd.). Die Schülerinnen und Schüler zeigen länger andauernde Formen des Zurückbleibens in diversen Unterrichtsfächern und weisen überwiegend einen unterdurchschnittlichen Intelligenzquotienten von unter 85 auf (Heimlich, 2009). Häufig zeigen sie erst Unterstützungsbedarf, wenn sie mit institutionalisierten Lernanforderungen in Kindertageseinrichtungen oder Schulen konfrontiert werden (KMK, 2019). Die Schülerschaft

hat in besonderem Maße Probleme beim Lernen des Lesens, des Schreibens und des Rechnens und auch beim Lernen des Lernens (ebd.). Außerhalb des schulischen Settings fällt diese Gruppe nicht unbedingt als Menschen mit Beeinträchtigungen auf. Oft zeigt die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen als sekundäre Beeinträchtigungen Entwicklungsbedarfe in anderen Bereichen, wie der Sprache oder der sozial-emotionalen Entwicklung. Die Schülergruppe mit Förderbedarf Lernen unterscheidet sich in verschiedener Weise, sodass es nicht das typische Kind mit Förderbedarf gibt. Die *Empfehlungen zur schulischen Bildung, Beratung und Unterstützung von Kindern und Jugendlichen im sonderpädagogischen Schwerpunkt Lernen* der KMK aus dem Jahr 2019 legen bundesweite Standards fest. Wenn Schülerinnen und Schüler, trotz der Ausschöpfung aller pädagogischen und unterrichtsfachlichen Unterstützung, die Lernziele der Regelschule über eine längere Zeitspanne nicht oder kaum erreichen, kann nach länderspezifischen Vorgaben der Förderbedarf Lernen geprüft werden. Diagnostisch sind die Kinder, die grundsätzlich den Anforderungen der allgemeinen Schule gerecht werden könnten, abzugrenzen (KMK, 2019).

2.3.1.2 Diagnostik und Förderung

Grünke und Grosche (2014) fassen Merkmale der für die Empfehlung eines sonderpädagogischen Förderbedarfs Lernen zusammen. Demnach ist der Förderbedarf anzuerkennen, wenn die Lern- und Leistungsrückstände folgende Kriterien erfüllen:

- „- sie betragen mindestens zwei bis drei Schuljahre;
- sie betreffen mehrere Unterrichtsfächer (v. a. Deutsch und Mathematik);
- sie persistieren über mehrere Jahre;
- sie sind nicht Folge eines unzureichenden Lernangebots, sondern stehen im Zusammenhang mit Defiziten in der allgemeinen Intelligenz (der IQ liegt zwischen der ersten und der dritten negativen Standardabweichung, also bei den meisten Tests zwischen 55 und 85);
- sie können nicht auf eine Sinnesschädigung zurückgeführt werden“ (ebd., S. 78).

Schülerinnen und Schüler mit diagnostiziertem sonderpädagogischem Förderbedarf Lernen erfüllen nicht immer all diese Kriterien. Die Merkmale können in unterschiedlicher Kombination und Erscheinungsform auftreten. Eine umfassende Diagnostik dient als Grundlage für die Anerkennung eines sonderpädagogischen Förderbedarfs Lernen (Feststellungsdiagnostik) und für die Planung individueller Förderung (Förderdiagnostik) (KMK, 2019). Hierfür ist eine Zusammenarbeit verschiedener Akteure erforderlich, wie Lehrpersonen aus dem allgemeinpädagogischen und sonderpädagogischen Bereich, verschiedene Fachpersonen (Psychologen, Physiotherapeuten, Ergotherapeuten...), Eltern sowie anderen Bezugspersonen und der Lernenden selbst. In einer Person-Umfeld-Analyse schließt die sonderpädagogische Diagnostik verschiedene Faktoren ein. Der

bisherige schulische Bildungsweg, das Lernumfeld, das Lern- und Leistungsverhalten sowie verschiedene Entwicklungsbereiche, wie Kognition, Sensorik, Motorik, Sprache, Emotionalität und Sozialkompetenz werden erfasst. Dies schließt die Erhebung von für die Entwicklung förderlichen Faktoren sowie die bisherigen individuellen Unterstützungsmaßnahmen ein. Im Rahmen der Diagnostik werden sowohl standardisierte als auch nicht standardisierte Testverfahren verwendet. Der Bedarf an sonderpädagogischen Bildungs-, Beratungs- und Unterstützungsangeboten ist kein dauerhafter Status, sondern regelmäßig zu überprüfen. Im Förderschwerpunkt Lernen gibt die KMK eine umfassende Förderung vor, die auf einer individuellen Förderdiagnostik basiert:

„Eine Förderung von Schülerinnen und Schülern mit Beeinträchtigungen im schulischen Lernen, in der Leistung sowie im Lernverhalten setzt die Bereitstellung von anregenden Erfahrungsräumen voraus. Sie schafft strukturierte Lernsituationen, in denen vor allem elementare Bereiche der Lernentwicklung wie Motorik, Wahrnehmung, Kognition, sprachliche Kommunikation, Emotionalität und Interaktion beachtet werden. Diese müssen geeignet sein, Interesse zu wecken, individuelle Lernwege zu erschließen, Aneignungsweisen aufzubauen, um die Aufnahme, Verarbeitung und handelnde Durchdringung von Bildungsinhalten zu ermöglichen und über die Vermittlung von Lernerfolgen das Selbstvertrauen der Kinder und Jugendlichen zu stärken.“ (KMK 2020, S. 124)

2.3.1.3 Anzahl und Unterrichtung der Schülerinnen und Schüler

Nach Angaben der KMK wurden im Jahr 2018 insgesamt 556317 Schülerinnen und Schüler mit sonderpädagogischem Förderbedarf in Deutschland unterrichtet. An der Gesamtheit der Schülerschaft liegt der Anteil der Schülerschaft mit sonderpädagogischem Förderbedarf in allen Förderschwerpunkten in Deutschland bei 7,39 % (ebd.). Davon entfällt der größte Anteil mit 34,6 % auf den Förderschwerpunkt Lernen und 65,4 % auf andere Förderschwerpunkte (s. Abbildung 2.10). Neben dem Förderschwerpunkt Lernen sind die Förderschwerpunkte geistige Entwicklung, Sprache und sozial-emotionale Entwicklung am häufigsten vertreten. Im Vergleich zur gesamten Schülerschaft haben 2,61 % Förderbedarf Lernen. Die UN-Behindertenrechtskonvention, welche 2008 in Kraft trat, verpflichtet die Länder zur Umsetzung eines inklusiven Bildungssystems auf allen Ebenen. Dies beinhaltet, dass allen Schülerinnen und Schülern der Zugang zu einem inklusiven Bildungssystem gewährt wird. Die Umsetzung des gemeinsamen Unterrichts, in dem die Lernenden individuell nach ihren Möglichkeiten gefordert und gefördert werden, ist für alle Beteiligten herausfordernd. Von der gesamten Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen besuchen im Jahr 2018 bundesweit 55,77 % eine allgemeine Schule (ebd.). 44,23 % werden an Förderschulen unterrichtet. Von allen sonderpädagogisch geförderten Schülerinnen und Schülern der unterschiedlichen Förderschwerpunkte, die an

allgemeinen Schulen unterrichtet werden, sind 45,6 % dem Förderschwerpunkt Lernen zugeordnet (ebd.).

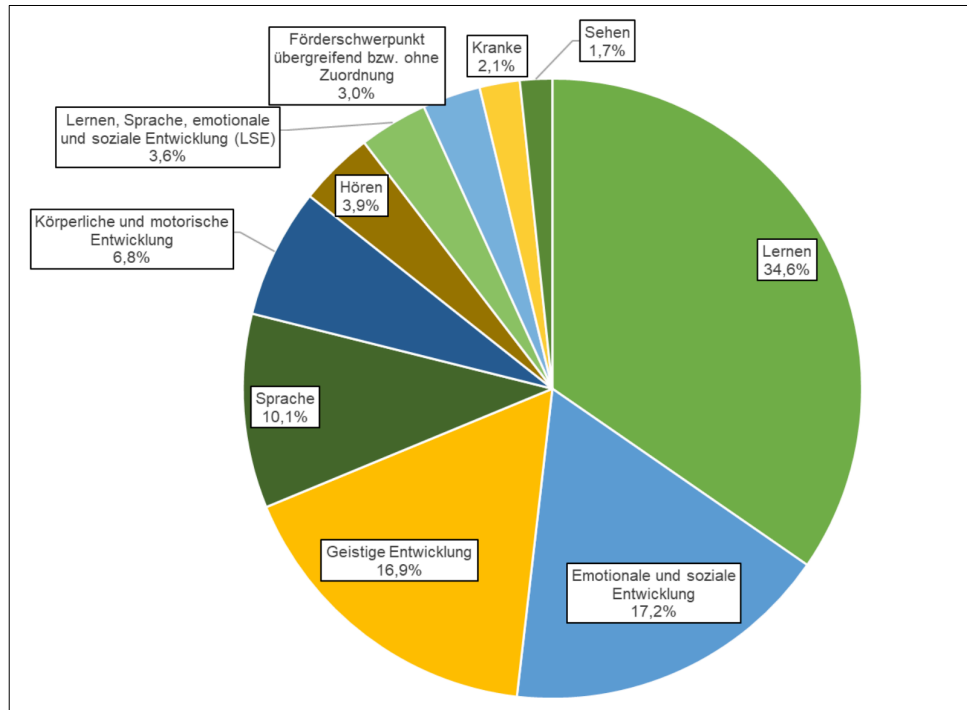


Abbildung 2.10: Schülerinnen und Schüler nach Förderschwerpunkten
(Quelle: KMK, 2020, S. XV)

Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen bedürfen eines Unterrichts, der sich an didaktischen Unterrichtsprinzipien des Förderschwerpunkts Lernen orientiert. Nachfolgend werden ausgewählte didaktische Prinzipien für den Unterricht im Förderschwerpunkt Lernen dargestellt.

- Individualisierung: Der Unterricht berücksichtigt die unterschiedlichen Voraussetzungen der Lernenden, um daran anknüpfend eine individuelle Lernentwicklung zu ermöglichen (Schröder, 2005; Werning & Lütje-Klose, 2016).
- Gemeinsamer Lerngegenstand: Die Herstellung von Gemeinsamkeiten der Kinder untereinander und der Lehrperson durch das Arbeiten am gemeinsamen Gegenstand ist wesentlich (Werning & Lütje-Klose, 2016).
- Offenheit: Offener Unterricht geht von den Lernenden aus, berücksichtigt die Verschiedenheit der Einzelnen und bietet sich in heterogenen Lerngruppen an (ebd.).
- Strukturierung: In jedem Unterricht, auch in offenen Unterrichtsformen, ist die Strukturierung ein zentrales Element im Unterricht des Förderschwerpunkts Lernen (ebd.).

Diese Strukturierung bezieht sich auf verschiedene Aspekte wie z. B. zeitliche Strukturierung, räumliche Strukturierung, Strukturierung der Arbeitsmaterialien oder kommunikative Strukturierung durch Gesprächs- und Spielrituale.

- Regeln und Rituale: Regeln sowie Rituale geben Struktur und Sicherheit. Sie tragen zu einer angenehmen Lernatmosphäre bei (ebd.).
- Aktiv und handelndes Lernen: Die Lernenden beschäftigen sich geistig aktiv mit konkreten Problemstellungen und finden Lösungen durch zielgerichtetes Handeln (Wember, 2016). Für die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen ist die Handlungsorientierung beim Lernen von wesentlicher Bedeutung (Werning & Lütje-Klose, 2016).
- Praktischer Problembezug: Der Unterricht entwickelt seine Anforderungen an inhaltlich sinnvollen Problemstellungen, welche die Schülergruppe aus der eigenen Lebenspraxis versteht (Wember, 2016).
- Sprache des Schülers: Unterrichtliche Problemstellungen werden anfangs in der Sprache der Lernenden formuliert und anschließend fachsprachlich behandelt (ebd.).
- Entwicklungsgemäße Sequenzierung von Unterrichtsinhalten und Lehrzielen: Lerninhalte werden in Abhängigkeit des individuellen Entwicklungsstands der Schülerschaft angeboten (ebd.), immer wieder aufgegriffen und auf einem erhöhten Anforderungsniveau bearbeitet (Werning & Lütje-Klose, 2016).
- Lernen mit allen Sinnen: Lernen ist multisensorisch zu gestalten, d. h. unterschiedliche Sinnesmodalitäten sind einzubeziehen (Heimlich, 2007).
- Schrittweise Verinnerlichung: Fachliche Inhalte werden schrittweise verinnerlicht. Durch konkrete Handlungen sollen über ikonische Vorstellungen sprachlich oder abstrakt-symbolische Vorstellungen entwickelt werden (Wember, 2016).
- Sozialkooperative Erarbeitung: Probleme werden von den Lernenden möglichst selbstständig durch gemeinsames Experimentieren und Diskutieren in Partnerarbeit und Gruppenarbeit bearbeitet (ebd.).
- Operative Übung: Gelernte Verfahren werden in verschiedenen Aufgaben gesichert und mit bekannten Operationen in Verbindung gebracht (ebd.)

2.3.2 Sachrechnen in den Lehrplänen

Prinzipiell orientiert sich die schulische Bildung der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen an den Zielen und fachlichen Inhalten der allgemeinen Schule (KMK, 2019). Demzufolge ist das Sachrechnen in den Mathematikunterricht mit der Schülergruppe mit Förderbedarf Lernen zu integrieren. Verbindliche Lerninhalte für verschiedene Förder-

schwerpunkte werden von den Bundesländern in entsprechenden Lehrplänen aufgeführt. Die Lehrpläne im Förderschwerpunkt Lernen orientieren sich an den Bildungsstandards der KMK und werden unter Berücksichtigung der Bedarfe des Förderschwerpunkts Lernen geschrieben. Eine fundierte mathematische Grundbildung ist für diese Schülerschaft wesentlich (Löser, 2013). Zu der mathematischen Grundbildung gehört der Bereich Sachrechnen. Aufgrund der Lebensnähe und der Lebensbedeutung sollte das Sachrechnen wesentlicher Inhalt im Mathematikunterricht des Förderschwerpunkts Lernen sein (Häsel-Weide, 2016; Scherer & Moser Opitz, 2010; Schroeder, 2015). Im Mathematikunterricht im Förderschwerpunkt Lernen werden arithmetische Lernziele häufig verstärkt in den Mittelpunkt gerückt und dem Sachrechnen kommt keine große Bedeutung zu (Häsel-Weide, 2007; Schroeder, 2015). Der Bereich Sachrechnen ist in den Lehrplänen der Bundesländer unterschiedlich verankert. In einigen Lehrplänen für das Unterrichtsfach Mathematik wird das Sachrechnen als eigenständiger, übergeordneter Inhaltsbereich aufgeführt (z. B. Saarland, Rheinland-Pfalz, Mecklenburg-Vorpommern). In anderen Bundesländern hingegen durchzieht das Sachrechnen andere Inhaltsbereiche oder ist anderen Inhaltsbereichen untergeordnet, wie z. B. Zahlen und Operationen, Mengen und Zahlen, Größen und Messen oder Geometrie (z. B. Baden-Württemberg, Bayern, Berlin, Brandenburg, Hessen). Größtenteils wird der Themenbereich Sachrechnen in den Lehrplänen des Förderschwerpunkts Lernen nicht eigenständig aufgeführt, sondern vielmehr werden Kompetenzen des Sachrechnens unter anderen Inhaltsbereichen erwähnt. Der Fokus der Lehrpläne liegt auf dem Bereich Arithmetik.

2.3.3 Besondere Anforderungen beim Bearbeiten von Textaufgaben

Wissenschaftliche Publikationen zu mathematikspezifischen Merkmalen von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen finden sich kaum (Walter, 2016). Intelligenz ist eine wesentliche kognitive Voraussetzung für das Lösen von Textaufgaben (Renkl & Stern, 1994). Die kognitiven Voraussetzungen machen einen großen Teil der interindividuellen Unterschiede beim Lösen von Textaufgaben aus (ebd.). Das Bearbeiten dieser Aufgaben hängt stärker von den kognitiven Eingangsvoraussetzungen ab als das Bearbeiten von arithmetischen Rechenaufgaben. Bei arithmetischen Aufgaben werden Intelligenzdefizite eher durch Übung ausgeglichen. Insbesondere leistungsschwache Kinder haben Schwierigkeiten beim Verstehen und Lösen von Textaufgaben (Koch, 2008). Für die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen, die in der Regel über eine unterdurchschnittliche Intelligenz verfügt, ist das Bearbeiten von Textaufgaben herausfordernd. Ne-

ben mathematischen Fähigkeiten werden kontextbezogene und sprachliche Kompetenzen benötigt, über die sie ggf. nicht verfügen (Häsel-Weide, 2016). Die Schülergruppe im Förderschwerpunkt Lernen hat beim Sachrechnen ähnliche Herausforderungen wie Kinder ohne Förderbedarf zu bewältigen. Die Schwierigkeiten sind jedoch umfassender, langandauernder und schwerwiegender.

2.3.3.1 Sprache

Die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen weist häufig Beeinträchtigungen im sprachlichen Bereich auf (Häsel-Weide, 2016; Noll, 2020; Scherer, 2016). Häufig sind sie in ihrem Ausdruck mit Sprache und ihrem Verständnis von Sprache eingeschränkt. Sie haben oft enorme Probleme beim Erwerb der funktionalen Lesekompetenz (Wember, 2016). Das verstehende Lesen stellt oft für die Schülerinnen und Schüler im Förderschwerpunkt Lernen eine Hürde dar (Graham & Bellert, 2008; Noll, 2020). Die Probleme beruhen auf unterschiedlichen Ursachen wie fehlendes Nutzen von Hintergrundwissen, Schwierigkeiten beim Dekodieren und bei der Worterkennung, einem eingeschränkten Wortschatz, keine Verwendung von Strategien oder mangelnde kognitive Fertigkeiten (Graham & Bellert, 2008). Diese Schwierigkeiten lassen sich als ein Mangel an Teilwissen und Fertigkeiten beschreiben, die ein wirkungsvolles Leseverstehen ausmachen. Es ist herausfordernd für diese Schülerschaft während des Lesens Texterschließungsstrategien auf individuelle Weise effizient anzuwenden (ebd.). Scherer (1999) zeigt Unterrichtsbeispiele, die Lernende mit Förderbedarf Lernen aufgrund sprachlicher und nicht rechnerischer Defizite nicht bewältigen können. Sprachbedingte Probleme beim Bearbeiten von Textaufgaben sind bei sprachlich schwachen Lernenden, wie im Förderschwerpunkt Lernen, weitreichend (Wilhelm, 2016). Der Einfluss der sprachlichen Gestaltung von Textaufgaben ist für diese Schülergruppe besonders hoch (Häsel-Weide, 2016). Insbesondere für Kinder mit nichtdeutscher Muttersprache stellt die sprachliche Gestaltung einer Textaufgabe eine besondere Hürde dar (Benholz & Lipkowski, 2010; Scherer & Moser Opitz, 2010). Lernende mit Schwierigkeiten beim Verstehen von Textaufgaben orientieren sich häufig an Schlüsselwörtern. Sie suchen nach scheinbaren Vereinfachungen, wie typische Begriffe oder Formulierungen, die Hinweise auf die zu verwendende Rechenoperation geben sollen, ohne dabei den Kontext der Aufgabe vollständig zu verstehen (Franke & Ruwisch, 2010).

2.3.3.2 Sachkontext

In der Regel haben die Lernenden im Förderschwerpunkt Lernen kein mit der Schülerschaft ohne Förderbedarf Lernen vergleichbares Allgemeinwissen aufgebaut (Häsel,

2001). Bei der Schülergruppe im Förderschwerpunkt Lernen hat die Vertrautheit mit dem Kontext Einfluss auf die Lösungswahrscheinlichkeit einer Aufgabe (Häsel-Weide, 2016). Sie lösen Aufgaben mit gleicher mathematischer Struktur signifikant besser, wenn ein vertrauter Sachkontext thematisiert wird (Häsel, 2001). Das Bearbeiten von Sachaufgaben wird erschwert, wenn der Kontext unbekannt ist. Das Bearbeiten von Aufgaben mit irrelevanten Informationen bereitet verstärkt Schwierigkeiten (Freeseemann, 2014).

2.3.3.3 Mathematik

Der Einfluss häufig mangelnder Rechenfertigkeiten bei Kindern im Förderschwerpunkt Lernen zeigt sich auch beim Sachrechnen (Häsel, 2001). Die Rechenkompetenzen beeinflussen wesentlich die Bewältigung von Textaufgaben (Rasch, 2009b). Die hohe Fehlerquote im Bereich Sachrechnen liegt dementsprechend auch in den zur Lösung der Sachaufgabe fehlenden arithmetischen Kompetenzen begründet (Häsel-Weide, 2016). Die Schülerschaft weist ein geringer entwickeltes Verständnis mathematischen Vokabulars auf als Schülerinnen und Schüler ohne Lernschwierigkeiten. Das Verständnis des mathematischen Vokabulars ist für die Übertragung einer realen Situation in die mathematische Sprache zentral (Cawley et al., 2001). Aufgrund der Defizite im Bereich Sprache und Arithmetik verarbeiten Kindern mit Förderbedarf Lernen die gegebenen Zahlen tendenziell häufiger mechanisch (Scherer, 2016). Die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen hat oft Schwierigkeiten mit der Notation des Lösungswegs. Die Rechenaufgabe wird teilweise schrittweise aus der Aufgabe abgeleitet oder es wird lediglich die mathematische Lösung der Aufgabe aufgeschrieben (Häsel-Weide, 2016). Nicht zuletzt zeigen die Kinder beim Lösen mehrschrittiger Aufgaben enorme Schwierigkeiten (Freeseemann, 2014).

2.3.4 Gestaltung des Sachrechnenunterrichts

Die Gestaltung des Mathematikunterrichts im Förderschwerpunkt Lernen basiert auf den mathematikdidaktischen Prinzipien, die auch für den Unterricht mit Regelschülern gelten. Diese mathematikdidaktischen Prinzipien werden mit den didaktischen Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen verknüpft. Im Zuge der schulischen Inklusion besucht die Schülerschaft mit sonderpädagogischem Förderbedarf Lernen zunehmend Regelschulen, wodurch das Heterogenitätsspektrum an Regelschulen stark erweitert wird. Im Mathematikunterricht in inklusiven Settings sind folglich besondere Überlegungen anzustellen, sodass alle Lernenden auf verschiedenen Leistungsniveaus am gemeinsamen

Gegenstand arbeiten (Werning & Lütje-Klose, 2016). Das Sachrechnen ist für Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen prinzipiell ähnlich herausfordernd wie für Lernende ohne Förderbedarf Lernen. Die Herausforderungen sind jedoch umfassender, langandauernder und schwerwiegender. Häsel-Weide (2016) stellt didaktische und methodische Ideen vor, wie Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen dazu angeregt werden, sich erfolgreich mit Aufgaben im Sachrechnenunterricht auseinanderzusetzen. Auch Scherer und Moser Opitz (2010) führen grundsätzliche Aspekte für eine gute Sachrechnenpraxis auf, die sich teilweise auf den Förderschwerpunkt Lernen übertragen lassen. Nachfolgend werden Prinzipien für die Gestaltung des Sachrechnenunterrichts im Förderschwerpunkt Lernen aufgeführt.

- Lebensweltbezug

Im Förderschwerpunkt Lernen kommt dem Lebensweltbezug, also dem Sachkontext beim Sachrechnen eine bedeutende Rolle zu (Häsel-Weide, 2016). Generell ist im Unterricht die Thematisierung des Kontextes der Aufgabe wichtig (Scherer, 2016). Bedeutungsvolle, an den Interessen der Kinder orientierte und bekannte Sachkontexte vermeiden, dass diese Schülerinnen und Schüler an der Sache scheitern (Häsel-Weide, 2016). Kontexte für Sachaufgaben sollten aus dem Erfahrungsbereich der Kinder entnommen werden, wobei auch neue Sachkontexte erschlossen werden können (Scherer & Moser Opitz, 2010). Sachrechnen lässt sich fächerübergreifend gestalten, wobei Sachkontexte aus anderen Fächern aufgegriffen werden (Häsel-Weide, 2016).

- Alternativen zur schriftlichen Präsentation der Aufgaben

Im Sachrechnenunterricht im Förderschwerpunkt Lernen sollen unterschiedliche Aufgabentypen des Sachrechnens einbezogen werden. Dies führt zur Erweiterung der Alltagstauglichkeit der entwickelten Sachrechnenkompetenz und bietet erweiterte Möglichkeiten zur Anknüpfung an die Lebenswelt (ebd.). In Schulbüchern für den Förderschwerpunkt Lernen sind in den ersten Klassenstufen wenig Sachaufgaben und in höheren Klassenstufen überwiegend eingekleidete Aufgaben und Textaufgaben zu finden (Häsel-Weide 2007). Allmählich finden sich aber unterschiedliche Aufgabentypen auch in den Schulbüchern für den Förderschulbereich (Häsel-Weide, 2016). In den unteren Klassenstufen können Sachaufgaben in Textform problematisch sein (Häsel-Weide, 2007). Aufgrund des noch andauernden Leselernprozesses sind Alternativen zur schriftlichen Präsentation von Aufgaben und Lösungen zu finden. Eine gute Option zu Beginn des Sachrechnens ist das Nutzen von Bildaufgaben (z. B. Zeichnungen, Fotos, Bilder).

- Reduzierung des arithmetischen Niveaus

Zum Lösen von Sachaufgaben sind neben Sachrechnenkompetenz auch Kenntnisse aus anderen mathematischen Bereichen notwendig, weshalb sogenannte mathematische Basisfertigkeiten berücksichtigt werden müssen (Scherer & Moser Opitz, 2010). Da Kinder mit Förderbedarf Lernen Schwierigkeiten mit dem arithmetischen Rechnen zeigen, ist das arithmetische Anforderungsniveau der Aufgabe gering zu halten, sodass sich die Kinder auf die Bewältigung der anderen Anforderungen fokussieren (Häsel-Weide, 2016). Diese Reduzierung des mathematischen Anforderungsniveaus führt dazu, dass weniger authentische Sachaufgaben einbezogen werden können, denn das arithmetische Niveau wird bei authentischen Aufgaben schnell überschritten. Beim Bearbeiten der Aufgaben können Kinder Material nutzen, welches beim Rechnen unterstützt.

- Notation zum Unterrichtsthema machen

Da Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen häufig Schwierigkeiten mit der Notation des Lösungsweges haben, ist eine angemessene Notation der Lösung im Unterricht zu thematisieren. So können Rechenaufgaben gedeutet werden und Schreibweisen für die Notation der Aufgaben gemeinsam entwickelt werden (ebd.). Bedeutsam ist, dass die Mathematisierung des Kontextes im Mittelpunkt steht und der Fokus nicht ausschließlich auf dem richtigen Ergebnis liegt (Häsel, 2001).

- Differenzierung

Aufgrund der komplexen Anforderungen beim Sachrechnen kommt der Differenzierung der Aufgaben eine zentrale Bedeutung zu (Häsel-Weide, 2016). Variationsmöglichkeiten lassen sich nutzen, um Schwierigkeiten individuell zu begegnen (Häsel-Weide, 2007). Bei der qualitativen Differenzierung werden zum gleichen Inhalt Aufgaben mit unterschiedlichem Anforderungsniveau präsentiert. Bei der quantitativen Differenzierung wird der Umfang der Aufgaben angepasst (Nührenbörger & Verboom, 2005). Beim Sachrechnen lassen sich unter Berücksichtigung der individuellen Voraussetzungen in den Bereichen Sprache, Sachkontext und Mathematik Differenzierungsmaßnahmen ableiten. Möglichkeiten zur Aufgabenvariation, die den Bereich Sprache betreffen, sind beispielsweise das Wegstreichen irrelevanter Informationen im Text, das Unterstreichen wesentlicher Informationen, das Umformulieren der Aufgabe mit angepasstem Wortschatz, das Umstellen des Textes, die Reduzierung der Komplexität der Sätze, die Übersetzung des Textes in die Muttersprache (Franke & Ruwisch, 2010), die Veränderung der Schriftgröße oder Schriftart oder die Kennzeichnung der Silben (Bierbrauer, 2016a). Weitere Differenzierungsmaßnahmen einer

Textaufgabe, die die Mathematik betreffen, sind beispielsweise das Verändern von Zahlen und Größenangaben, Zusatz-Fragen oder Aufgaben, die Bereitstellung von Bearbeitungshilfen, das Bereitstellen von Material oder die Präsentation der Aufgabe in anderen Repräsentationsformen (ebd.). Die Variation des Kontextes der Aufgabe stellt eine Differenzierung des Sachkontextes dar. Allgemeine Differenzierungsmöglichkeiten wie die Modifizierung der Zeit, die Anzahl der Aufgaben oder die Hilfestellungen durch die Lehrperson lassen sich auch im Sachrechenunterricht nutzen (Häsel-Weide, 2007).

- Offenheit

Der Sachrechenunterricht ist möglichst offen zu gestalten. Diese Öffnung kann sich auf unterschiedliche Ebenen beziehen: Offenheit der Aufgabenstellung, Offenheit der Lösungsformen, Offenheit der Unterrichtsorganisation. Geöffnete oder offene Aufgaben bieten gute Möglichkeiten zur Differenzierung und Individualisierung, da die Aufgaben von den Aufgabenlösenden auf einem selbst bestimmten Anforderungsniveau bearbeitet werden können (Häsel-Weide, 2016; Scherer & Moser Opitz, 2010). Kinder mit Förderbedarf Lernen gehen mit offenen Sachaufgaben sinnvoll um (Häsel, 2001). Abhängig von den Lern- und Entwicklungsvoraussetzungen werden offene Aufgaben von den Schülerinnen und Schülern entsprechend ihrem individuellen Niveau bearbeitet. Dementsprechend sind offene Sachaufgaben im Mathematikunterricht des Förderschwerpunkts Lernen einzubeziehen. Offene Lehr- und Lernformen, die differenziertes Lernen ermöglichen und die Eigenaktivität der Aufgabenlösenden fördern, sind beim Umgang mit Textaufgaben zu nutzen (Rasch, 2009b). Offene Aufgaben lassen sich in unterschiedlichen Sozialformen, wie Einzelarbeit, Partnerarbeit oder Gruppenarbeit bearbeiten. Wittmann (2010) verweist auf das soziale Lernen. Durch unterschiedliche Zugänge kann im sozialen Austausch die Auseinandersetzung mit einer Sachaufgabe angeregt werden.

- Intermodaler Transfer

Im Sachrechenunterricht im Förderschwerpunkt Lernen sind unterschiedliche Repräsentationsformen zu berücksichtigen und miteinander zu verknüpfen: enaktiv, ikonisch, symbolisch (Scherer & Moser Opitz, 2010). Sachaufgaben können in unterschiedlichen Darstellungen präsentiert und bearbeitet werden. Beispielsweise lassen sich Textaufgaben als verbal-symbolische Repräsentation in andere Darstellungen übertragen. Die Textaufgabe kann zusätzlich als Bildaufgabe oder Videoaufgabe präsentiert werden (ikonisch). Während des Bearbeitungsprozesses können die Lernenden die Situation nachspielen oder mit Materialien legen (enaktiv), Skizzen oder

Zeichnungen anfertigen (ikonisch), Rechenaufgaben als nonverbal-symbolische Darstellung oder Frage- und Antwortsätze als verbal-symbolische Darstellungen formulieren. Beim Bearbeiten von Textaufgaben wird sich häufig auf die symbolische Repräsentationsform fokussiert und enaktive und ikonische Repräsentationsformen werden vernachlässigt (ebd.). Ein fundiertes Aufgabenverständnis zeichnet sich dadurch aus flexibel zwischen verschiedenen Repräsentationsebenen wechseln zu können.

- Positive Einstellungen

Aufgrund der komplexen Anforderungen oder den Misserfolgserlebnissen im Umgang mit Sachaufgaben besteht bei vielen Lernenden eine ablehnende Haltung gegenüber dem Sachrechnen (ebd.). Dementsprechend ist es im Förderschwerpunkt Lernen zentral negative Einstellungen zu verhindern oder aufzubrechen. Zur Förderung der sachrechnerischen Kompetenzen im Förderschwerpunkt Lernen sind stets motivationale Aspekte an den Aufgaben und ein echtes Interesse bedeutsam. So werden auch Lerneffekte außerhalb des Mathematikunterrichts erzielt.

2.3.5 Wissenschaftliche Forschungen

In der mathematikdidaktischen Forschung nimmt das Sachrechnen einen Randbereich ein (Häsel-Weide, 2016). Dies lässt sich u. a. mit den vielfältigen beeinflussenden Faktoren begründen, die das genaue Ausfindigmachen der schwierigkeitsrelevanten Merkmale im Sachrechnen und der sich daraus ergebenden Optimierungsmöglichkeiten erschweren. Interdisziplinäre Forschungen zum Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen sind selten zu finden (ebd.). Die meisten Forschungsergebnisse zum Sachrechnen basieren auf Untersuchungen mit Grundschulkindern. Da davon ausgegangen werden kann, dass die kognitive Entwicklung von Kindern im Förderschwerpunkt Lernen zeitlich verzögert verläuft, aber über die gleichen qualitativen Stufen (Wember, 1986), lassen sich die Ergebnisse aus Untersuchungen mit der Schülerschaft ohne Förderbedarf Lernen zumindest in ihrer Tendenz auf entsprechend entwickelte Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen übertragen. Nachfolgend werden für die Arbeit relevante Untersuchungen mit folgenden Schwerpunkten zusammenfassend dargestellt: Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen, Verstehen von Textaufgaben, Sachrechnen mit digitalen Medien.

Im Rahmen ihrer Dissertation hat sich Häsel (2001) mit Sachaufgaben im Mathematikunterricht der *Schule für Lernbehinderte* beschäftigt. Ziel der quantitativen und qualitativen Untersuchung (Mixed-Methods) war, Aufschluss über das Lösen von Sachaufgaben der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen zu gewinnen, wobei der Einfluss von

Art und Grad des Kontextbezugs sowie des Grads der Offenheit der Aufgabenstellung im Fokus standen. Kontextgebundene Aufgaben werden schlechter gelöst als Aufgaben ohne Kontextbezug. Die Untersuchungspersonen schätzen Aufgaben ohne Kontextbezug eher leicht und Aufgaben mit Kontextbezug eher schwer ein. Das Lösen von Sachaufgaben wird erschwert, wenn die beschriebenen Kontexte den Aufgabenlösenden unbekannt sind. Sachaufgaben mit größerer Offenheit schätzen die Kinder leichter ein. Durch offene Sachaufgaben lernen die Kinder häufig in der Zone der nächsten Entwicklung. Sowohl bekannte Kontexte als auch offenere Aufgabenstellungen sind jedoch kein Garant für das erfolgreiche Bearbeiten der Aufgabenstellungen.

Renkl und Stern (1994, S. 32) untersuchten „die Varianz beim Lösen von Textaufgaben durch Unterschiede in der fluiden Intelligenz und dem Vorwissen einerseits und der Zugehörigkeit zu einer Schulklasse andererseits“. Die Daten wurden im Rahmen einer Längsschnittstudie mit Kindern im Grundschulalter erhoben und quantitativ ausgewertet. Intelligenz und Vorwissen sind wesentliche kognitive Voraussetzungen für das Lösen von Textaufgaben (ebd.). Die kognitiven Voraussetzungen machen einen großen Teil der interindividuellen Unterschiede beim Lösen der Aufgaben aus. Die Leistung im Lösen komplexer Textaufgaben steht signifikant höher mit der Intelligenz in Verbindung als die Leistung bei einfachen Aufgaben. Der Faktor Intelligenz beim Lösen von Textaufgaben geht über den Einfluss des Vorwissens hinaus. Da die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen überwiegend eine unterdurchschnittliche Intelligenz aufweist, lässt sich rückschließen, dass sie besondere Schwierigkeiten beim Bearbeiten von Textaufgaben hat.

Cummins et al. (1988) untersuchten in der quantitativen Untersuchung mit Erstklässlern den Verstehensprozess von Textaufgaben. Das Verstehen von Textaufgaben ist stark von der sprachlichen Gestaltung des Textes abhängig. Gute Sprachkenntnisse wirken sich vorteilhaft auf das Lösen von Textaufgaben aus. Mathematische Aufgaben werden schlechter gelöst, wenn diese als Textaufgabe präsentiert werden als wenn diese als Rechenaufgabe präsentiert werden. Die Qualität des Verstehens einer Textaufgabe hat großen Einfluss auf die angemessene Lösung der Aufgabe.

Rink und Walter (2019; 2020) beschäftigen sich mit Unterstützungsmöglichkeiten digitaler Medien zur Texterschließung bei problemhaltigen Sachaufgaben. Im Rahmen dieses Projektes wurde eine App konzipiert, die drei Repräsentationen einer problemhaltigen Sachaufgabe darstellt: Text (schriftlich-symbolisch), Ton (verbal-symbolisch), Animation (ikonisch). Im Fokus der Untersuchung steht, welche Einflüsse multiple Repräsentatio-

nen auf den Aufbau des Situationsmodells zu problemhaltigen Sachaufgaben bei Kindern mit Leseschwierigkeiten haben (Rink & Walter, 2019). Schülerinnen und Schüler, die auf Grundlage einer Voruntersuchung als leseschwach eingeschätzt wurden, wurden in die Untersuchung einbezogen. Die Ergebnisse der Erprobungen deuten darauf hin, dass die Aufgabendarstellung mittels multipler Repräsentationen die Generierung des Situationsmodells begünstigt (Walter & Rink, 2020). Zudem zeigen die Erprobungen, dass die auditive Präsentation der Textaufgabe und Animationen zu problemhaltigen Textaufgaben sich förderlich auf das Erfassen des Sinns der Aufgabe und den Aufbau des Situationsmodells auswirken können (Rink & Walter, 2019).

2.4 Grundlegende Erkenntnisse des Kapitels für die Untersuchung

Sachrechnen ist ein wesentlicher Bereich des Mathematikunterrichts und trägt zum Auf- und Ausbau einer Vielzahl an inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen bei. Innerhalb des Sachrechnens wird eine Fülle von unterschiedlichen Aufgabentypen genutzt. Textaufgaben sind bedeutsamer und traditioneller Bestandteil des Mathematikunterrichts und werden als charakteristische Aufgabentypen des Sachrechnens angesehen (Franke & Ruwisch, 2010). Das der vorliegenden Arbeit zugrunde liegende Verständnis von Textaufgaben beschreibt diese als *Sachaufgaben in Textform mit sinnreichem, aber austauschbarem Sachkontext und einer auf die Mathematik orientierten Zielsetzung*. Der Förderschwerpunkt Lernen befasst sich mit dem Lernen und Lehren von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen. Diese Schülerschaft zeigt eine generalisierte Beeinträchtigung beim Lernen. Die Schülergruppe mit Förderbedarf Lernen ist im Vergleich zu anderen Förderschwerpunkten am größten. Da die Lehrpläne im Förderschwerpunkt Lernen sich an den Bildungsstandards der allgemeinen Schule orientieren, ist der Bereich des Sachrechnens im Mathematikunterricht zu integrieren. Bei der Gestaltung des Sachrechnenunterrichts sind sowohl mathematikdidaktische Prinzipien als auch didaktische Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen zu berücksichtigen. In Anlehnung an Verschaffel et al. werden in der vorliegenden Arbeit einfache Textaufgaben als Modellierungsaufgaben aufgefasst (Verschaffel et al., 2000). Das Bearbeiten von Textaufgaben ist ein komplexer Prozess, da die Aufgabenlösenden vielfältige Teilprozesse bewältigen müssen. Das Lösen von Textaufgaben beinhaltet einen Wechsel von komplexen sprachlichen, sachbezogenen und mathematischen Prozessen. Schwierigkeiten entstehen während des Bearbeitungsprozesses, wenn zwischen den Anforderungen, die Textaufgaben stellen und den Kompetenzen der Aufgabenlösenden eine Lücke besteht. Für

die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen sind das Sachrechnen und der Umgang mit Textaufgaben besonders anspruchsvoll. Die angemessene Lösung von Textaufgaben ist vom Verstehen, dem ersten Teilprozess des Modellierungskreislaufs, abhängig. Das Verstehen der Textaufgabe stellt für die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen oft eine Problemstelle dar, die Auswirkungen auf alle nachfolgenden Teilprozesse des Modellierungskreislaufs mit sich bringt. Verschiedene Hilfen können das Verstehen von Textaufgaben unterstützen, wie Strategien zur Texterschließung, die ikonische Darstellung der Textaufgabe als Video oder die auditive Präsentation des Textes. Darüber hinaus scheint die Präsentation der Textaufgabe in der Muttersprache Lernende mit nichtdeutscher Muttersprache beim Verstehen des Textes zu unterstützen. Forschungen zur interdisziplinären Forschungsmaterie Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen ist kaum zu finden. Die vorliegende Arbeit setzt den Fokus auf diesen Forschungsschwerpunkt und leistet einen Beitrag dazu Forschungslücken zu schließen.

3. Digitale Medien zur Unterstützung bei Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen

Digitale Medien nehmen eine zunehmende Bedeutung in allen Lebensbereichen ein, so auch im Bildungsbereich. Sie „beinhalten großes Potenzial zur Unterstützung mathematischer Lehr- und Lernprozesse“ (Ladel, 2018b, S. 67). Die Bandbreite an Angeboten digitaler Medien für den Mathematikunterricht ist enorm (Barzel & Schreiber, 2017). Im vorangegangenen Kapitel wurde dargelegt, dass das Bearbeiten von Textaufgaben, insbesondere das Verstehen von Textaufgaben und damit der Aufbau des Situationsmodells für Schülerinnen und Schüler im Förderschwerpunkt Lernen eine besondere Herausforderung darstellt. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll mögliche Potenziale digitaler Medien, die das Verstehen von Textaufgaben unterstützen, zu identifizieren und zu nutzen.

In diesem Kapitel wird die Bedeutung digitaler Medien in Schule und Unterricht zunächst allgemein und dann spezifisch im Hinblick auf das Mathematiklernen dargestellt (s. Kapitel 3.1). Anschließend werden digitale Anwendungen zum Mathematiklernen kategorisiert, Potenziale digitaler Medien, die das Bearbeiten von Textaufgaben unterstützen, herausgestellt und verfügbare Apps zum Bearbeiten von Textaufgaben analysiert (s. Kapitel 3.2). Beleuchtet wird zudem die Bedeutung digitaler Medien im Förderschwerpunkt Lernen, insbesondere für das Mathematiklernen (s. Kapitel 3.3). In diesem Zusammenhang werden Potenziale digitaler Medien für das Lehren und Lernen der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen im Mathematikunterricht abgeleitet.

3.1 Digitale Medien in Schule und Unterricht

3.1.1 Digitale Medien in der Lebenswelt von Kindern und Jugendlichen

Digitale Medien sind in nahezu allen gesellschaftlichen Lebensbereichen und in unterschiedlicher Intensität in allen Altersstufen bedeutsam (Zierer, 2018). In der Literatur finden sich teilweise heterogene Beschreibungen zu digitalen Medien und ihren Funktionen (Meschenmoser, 2012). Termini wie Neue Technologien, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Digitale Medien oder Neue Medien werden teilweise synonym, aber auch unterschiedlich verwendet. Es gibt keine einheitlichen Begriffsbestimmungen. In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff *digitale Medien* verwendet zur Be-

schreibung von „technische(n) Geräte(n) zur Darstellung von digital gespeicherten Inhalten“ (Rauh, 2012, S. 39). In Anlehnung an Rauh wird mit dieser Begriffsbestimmung verdeutlicht, dass nicht die ausgewählte Hardware, sondern die entsprechende Software wesentlich ist. Die zunehmende Digitalisierung verändert den privaten sowie beruflichen Alltag des Menschen (BMBF, 2016; KMK, 2017). Alltag, Freizeit oder Schule werden durch Medien mitbestimmt und gestaltet. Chancen bieten digitale Medien durch erweiterte Möglichkeiten im Hinblick auf den Zugriff auf Informationen, gesellschaftliche und demokratische Teilhabe, Kommunikation, Identitätsbildung oder Partizipation (Ebel, 2017; Schaumburg, 2017). Sie eröffnen zudem Chancen für formelles und informelles Lernen (Schaumburg, 2017). Die Digitalisierung wirft neue Fragestellungen auf und birgt auch Risiken, wie z. B. der Schutz der Privatsphäre oder die verstärkte Konfrontation mit problematischen Inhalten (ebd.; KMK, 2017). Darüber hinaus können durch exzessive und unkontrollierte Nutzung digitaler Medien negative Begleiterscheinungen entstehen bis hin zu einem übersteigerten Verlangen nach diesen, z. B. Computerspiel- oder Internetsucht. Zudem können ungleiche Zugangsmöglichkeiten und Nutzungsweisen den Ausschluss sozial benachteiligter Gruppen verstärken (ebd.; Ebel, 2017).

Die KIM-Studie 2018 zeigt, dass Kinder und Jugendliche heutzutage in Haushalten leben, in denen digitale Medien zur Grundausstattung gehören (mpfs, 2019). Im Jahr 2018 besitzen fast alle Familien mit sechs- bis 13-jährigen Kindern Fernseher, Internetzugang sowie Smartphone. Die Mehrheit der Haushalte ist zudem im Besitz von Radio, Computer/Laptop, Spielekonsolen, TV-Geräten, CD-Player und Digitalkamera. Viele Kinder und Jugendliche besitzen eigene digitale Geräte (Bitkom Research, 2019a). Kinder im Alter von sechs bis neun Jahren besitzen überwiegend Tablets. Ab einem Alter von 10 Jahren besitzen die meisten Kinder und Jugendlichen (75 %) ein Smartphone. Der Anteil der Kinder und Jugendlichen, die ein eigenes Smartphone, einen eigenen Computer und bzw. oder einen eigenen Fernseher haben, steigt im Alter von sechs Jahren bis 18 Jahren stetig an. Demgegenüber nimmt der Anteil der Jugendlichen mit eigenem Tablet von 13 Jahren bis 18 Jahren ab. Tablets werden vergleichsweise stärker von jüngeren Kindern genutzt und Smartphones von nahezu allen Jugendlichen (Bitkom Research, 2019a; s. Abbildung 3.1). Ca. 78 % der Kinder im Alter von sechs bis sieben Jahren gebrauchen zumindest ab und zu ein Tablet. Jedes zweite Kind in diesem Alter nutzt ein Smartphone. 81 % der 8 bis 9-Jährigen verwenden wenigstens ab und zu ein Tablet. Bei Jugendlichen zwischen 16 und 18 Jahren nutzen noch 53 % einen Tablet-Computer, aber 97 % ein Smartphone.

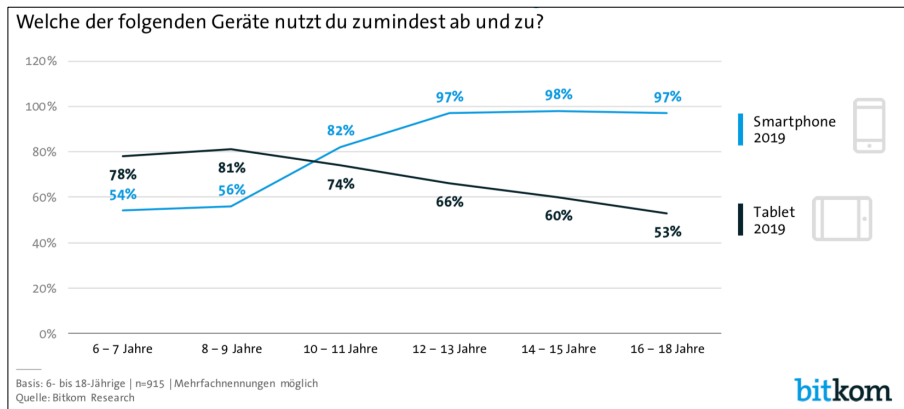


Abbildung 3.1: Nutzung von Tablet und Smartphone durch Kinder und Jugendliche
(Quelle: Bitkom Research, 2019a, S. 2)

Die Darstellungen verdeutlichen, dass digitale Medien in der Lebenswelt von Kindern und Jugendlichen fester Bestandteil sind.

3.1.2 Digitale Medien in der Schule

3.1.2.1 Zur Ausstattung digitaler Medien an Schulen in Deutschland

Mehr als die Hälfte der Schulen in Deutschland verfügen laut der Bitkom Research von 2019 über Beamer, Whiteboards, Notebooks und stationären Computern (Bitkom Research, 2019b; s. Abbildung 3.2). Whiteboards und stationäre Computer finden sich meist in speziellen Fachräumen oder Computerräumen. Beamer und Notebooks sind meist als Einzelgeräte verfügbar. Etwa ein Drittel der deutschen Schulen ist mit Tablets ausgestattet. Dies sind überwiegend Einzelgeräte. 6 % der Schulen verfügen über einen mobilen Klassensatz an Tablets.

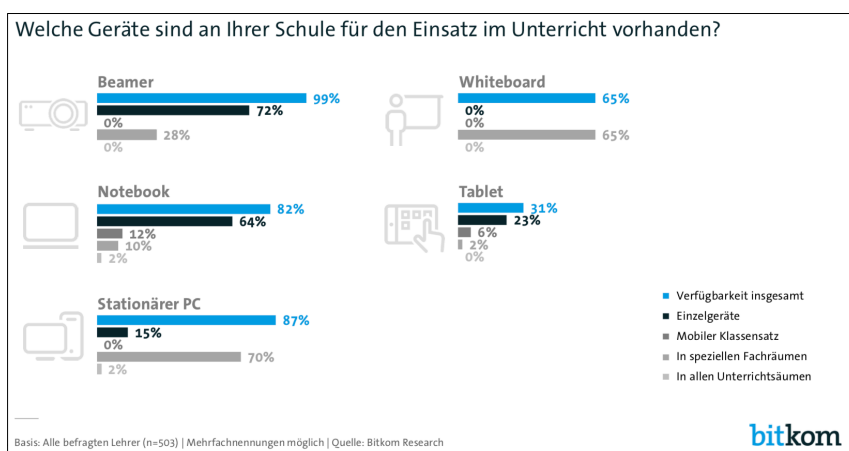


Abbildung 3.2: Ausstattung der Schulen mit digitalen Geräten
(Quelle: Bitkom Research, 2019b, S. 2)

Lehrpersonen bewerten die Geschwindigkeit der Internetverbindungen, die Aktualität der Endgeräte, die Aktualität der Software, die Wartung der Endgeräte sowie die technischen Voraussetzungen an den Schulen in Deutschland insgesamt mit befriedigend (Bitkom Research, 2019b). Die Anzahl der Endgeräte in Bezug auf die Schülerzahl bewerten Lehrpersonen mit ausreichend. Nach der internationalen Schulleistungsstudie ICLIS aus dem Jahr 2018, die mit Achtklässlerinnen und Achtklässlern durchgeführt wurde, haben sich die Bedingungen für das Lernen mit digitalen Medien seit 2013 wenig geändert. Deutschland liegt im Hinblick auf die Ausstattung digitaler Medien im Unterricht international im mittleren Bereich. Die Schülerschaft ist schlechter mit mobilen Endgeräten als mit stationären Computern ausgestattet.

3.1.2.2 Zum Einsatz und zur Nutzung digitaler Medien an Schulen in Deutschland

Die Ausstattung mit digitalen Medien an den Schulen sagt noch nichts über deren Einsatz und Nutzung im Unterricht aus, sondern stellt zunächst eine erste Voraussetzung dafür dar. Der Einsatz digitaler Medien geht von den Lehrpersonen aus, die bestimmte Medien für den Unterricht auswählen. Genutzt werden digitale Medien von den Lehrenden und den Lernenden. Mit dem Terminus Einsatz wird für die Lernenden eher ein passiver Zugang und mit Nutzung eher ein aktiver Zugang beschrieben (Ladel, 2017a). Der sinnvolle Einsatz und die sinnvolle Nutzung digitaler Medien sind stets personenabhängig, kontextabhängig und anwendungsabhängig (ebd.).

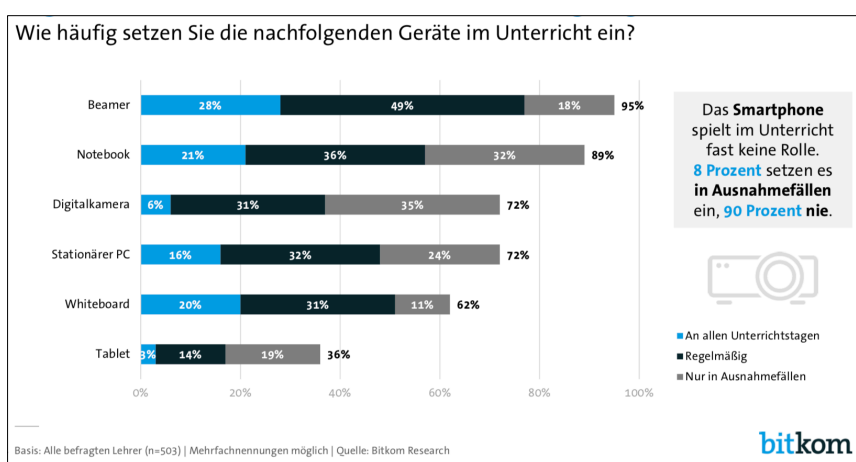


Abbildung 3.3: Einsatz digitaler Geräte im Unterricht
(Quelle: Bitkom Research, 2019b, S. 3)

Laut der Bitkom Research aus dem Jahr 2019 geben Lehrpersonen an, dass am häufigsten der Beamer und am seltensten Tablets an jedem Unterrichtstag einbezogen werden (ebd.; s. Abbildung 3.3). Zumindest regelmäßig werden von der Hälfte der Lehrkräfte

Beamer, Notebooks und Whiteboards im Unterricht eingesetzt. Diese Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass digitale Geräte im Unterricht häufig als digitale Tafeln genutzt werden. Stationäre Computer, Tablets und Digitalkameras werden von weniger als der Hälfte der befragten Lehrpersonen mindestens regelmäßig im Unterricht eingesetzt. Die Mehrzahl der Lehrpersonen setzt Apps nie im Unterricht ein (s. Abbildung 3.4; Bitkom Research 2019b). Etwa jede fünfte Lehrkraft verwendet Apps in verschiedenen Unterrichtsfächern. 27 % der Lehrpersonen, die Apps im Unterricht einsetzen, verwenden die mathematische Anwendung Geogebra. Dies ist eine Dynamische-Geometrie-Software, die sich zur Darstellung von geometrischen Inhalten, aber auch zur Darstellung von anderen mathematischen Inhalten eignet.

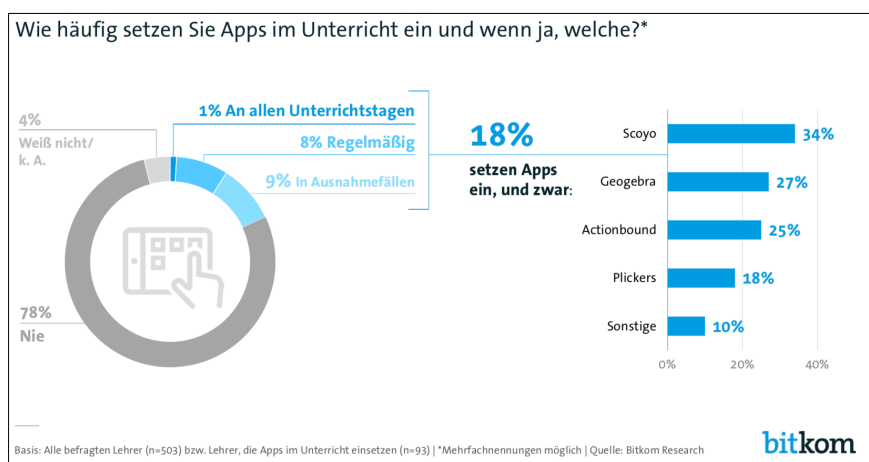


Abbildung 3.4: Einsatz von Apps im Unterricht
(Quelle: Bitkom Research, 2019b, S. 5)

Im Hinblick auf die Gerätenutzung im Unterricht zeigt die KIM-Studie von 2018, dass weiterhin primär der klassische Computer genutzt wird. Etwa ein Drittel der Sechs- bis 13-jährigen nutzen den Computer mindestens einmal wöchentlich im Unterricht (s. Abbildung 3.5). Mobile Geräte, wie Handys oder Smartphones sowie Notebooks (16 %) oder Laptops (15 %), werden im Unterricht seltener genutzt. Mindestens einmal pro Woche verwendet etwa jeder zehnte Lernende (11 %) ein Whiteboard im Unterricht. Tablets werden von 8 % der Schülerinnen und Schüler mindestens einmal wöchentlich genutzt. Die Nutzung der digitalen Geräte im Unterricht variiert nach Alter. Je älter die Lernenden sind, desto häufiger verwenden sie digitale Geräte. Mit zunehmendem Alter nimmt die Computernutzung in der Schule bedeutend zu. So nutzen 7 % der Sechs- bis Sieben-jährigen und 55 % der 12- bis 13-jährigen in der Schule den Computer. Im Vergleich zu anderen digitalen Geräten werden am seltensten Tablets im Unterricht genutzt. Nach

den Ergebnissen der ICLIS Studie 2018 liegt Deutschland im internationalen Vergleich im Hinblick auf die Nutzungshäufigkeit digitaler Medien im Unterricht im mittleren Bereich.

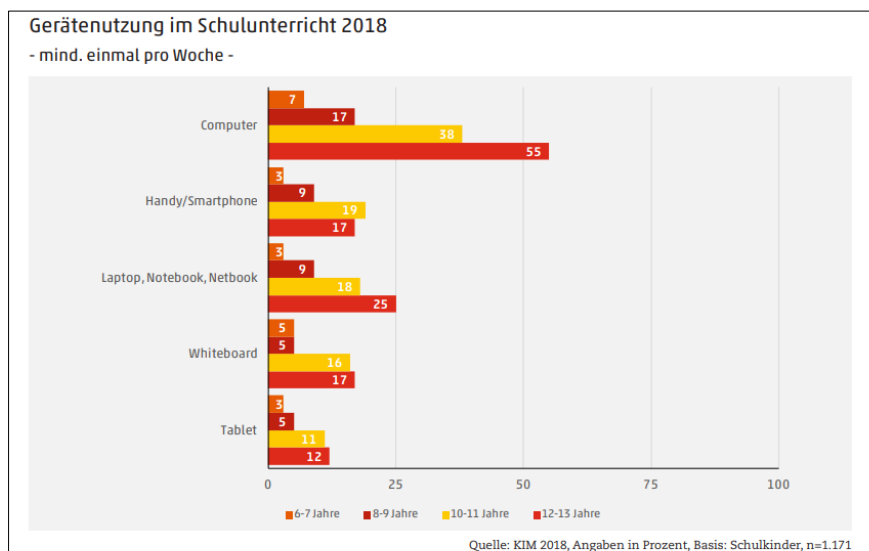


Abbildung 3.5: Nutzung digitaler Geräte im Unterricht
(Quelle: mpfs, 2019, S. 51)

Im Jahr 2018 werden digitale Medien im Unterricht überwiegend zum Schreiben von Texten eingesetzt, gefolgt von der Nutzung des Internets als Rechercheinstrument (24 %) und dem Gebrauch von Lernprogrammen (23 %). 18 % der Schülerinnen und Schüler lernen wöchentlich mit einem Anwendungsprogramm, 14 % kommunizieren im Unterricht, 13 % schauen einen Film oder ein Video zu einem Unterrichtsinhalt und 11 % nutzen digitale Geräte im Unterricht zur Bildbearbeitung (mpfs, 2019).

3.1.2.3 Sichtweisen der Lehrpersonen zu digitalen Medien in der Schule

Bei Lehrkräften zeigen sich verschiedene Einstellungen zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht (Bitkom Research, 2019b). Beispielsweise stimmen die Lehrpersonen überwiegend zu, dass sich der Einsatz digitaler Medien motivierend auf Schülerinnen und Schüler auswirkt sowie Inhalte und Zusammenhänge mit digitalen Medien besser veranschaulicht und vermittelt werden können. Negative Auswirkungen werden hingegen beispielsweise auf die Schreibfertigkeiten der Lernenden befürchtet. Mehr als die Hälfte der Lehrpersonen würde gerne häufiger digitale Medien im Unterricht einsetzen (ebd.). Zumeist fehlen aber digitale Geräte in der Schule. Die meisten Lehrpersonen setzen Notebooks im Unterricht nicht ein, obwohl sie diese gerne verwenden würden. 44 % der Lehrpersonen würden gerne Tablets im Unterricht einsetzen. Vergleichsweise würden die

wenigsten Lehrpersonen (5 %) gerne Smartphones im Unterricht einsetzen. Laut Angaben der Lehrkräfte stehen nicht ausreichend digitale Lernmaterialien zur Verfügung, diese sind nicht leicht auffindbar und qualitativ verbesserungsfähig. Zudem fehlt es an Hilfe bei Technologiefragen (ebd.). Von Seiten der Lehrpersonen besteht ein großes Interesse an Fortbildung und Weiterbildungsangeboten zum Themenfeld digitale Medien im Unterricht (s. Abbildung 3.6; Bitkom Research, 2019b). In der Fortbildung von Lehrkräften sowie in der Lehramtsausbildung besteht großer Handlungsbedarf im Hinblick auf Angebote zu digitalen Themen sowie explizit zum Einsatz digitaler Medien im Unterricht.

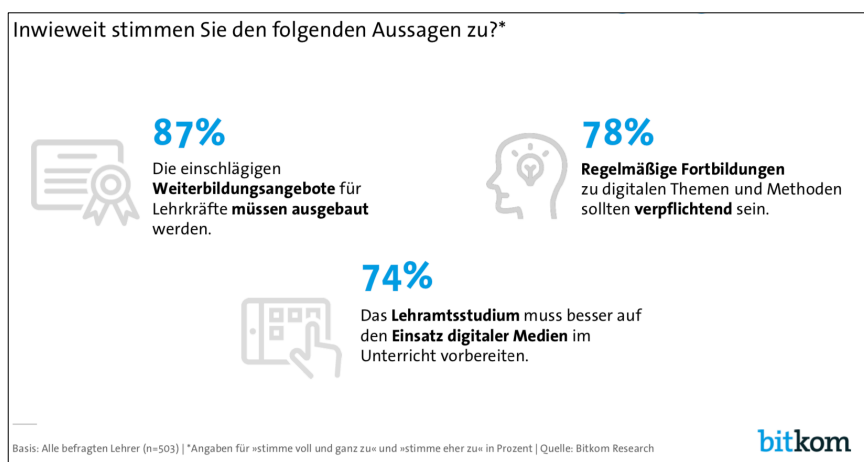


Abbildung 3.6: Aus- und Weiterbildung von Lehrpersonen zu digitalen Themen
(Quelle: Bitkom Research, 2019b, S. 13)

Die Statistiken zeigen, dass die Ausstattung, der Einsatz und die Nutzung digitaler Medien im Unterricht weiterhin auszubauen sind. Im Hinblick auf die Entwicklung des Einsatzes und der Nutzung digitaler Medien in den letzten Jahrzehnten in allen Unterrichtsfächern und für alle Klassenstufen sowie Schulformen merken Heinen und Kerres (2017, S. 129) an, dass sich „der Akzent verschiebt von der Frage, ob Schule sich dem Thema Digitalisierung stellen soll und digitale Medien für sich nutzen möchte, hin zu der Frage, wie Schule die Anforderungen einer Gesellschaft im digitalen Wandel aufgreift und gestaltet“.

3.1.3 Digitale Medien im Mathematikunterricht

3.1.3.1 Bildungspolitische Vorgaben

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF, 2016) fordert und fördert mit der *Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft* die digitale Bildung in unterschiedlichen Fächern und fächerübergreifend. In der Bildungsoffensive heißt es:

- „• Alle Lernenden nutzen kompetent digitale Medien und sind in der Lage, selbstbestimmt und verantwortungsbewusst an der digital geprägten Welt teilzuhaben.
- Alle Bildungsteilnehmer nutzen digitale Medien selbstverständlich auch zu Bildungszwecken.
- Beruflich relevante digitale Kompetenzen werden im Rahmen der Aus-, Fort- und Weiterbildung erworben und kontinuierlich aufgefrischt.
- Alle Lehrkräfte verfügen über digitale Kompetenzen und können diese vermitteln.
- Digitale Bildungsangebote werden laufend aktualisiert. [...]
- Die Qualität digitaler Bildungsangebote ist sichergestellt und für die Nutzer leicht nachzuvollziehen, z. B. durch entsprechende Qualitätssiegel oder Signets“ (ebd., S. 12).

Diese Ziele sind hochgesteckt, aber berechtigt. In den digitalen Ausbau der Schulen werden umfangreiche Fördergelder investiert.

Auch die Strategie der KMK *Bildung in der digitalen Welt* unterstützt die digitale Bildung an allen allgemeinbildenden Schulen. Die KMK beschreibt Potenziale durch den Einsatz digitaler Medien in der Schule: „Digitale Bildungsmedien können mit diesen Potentialen einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Lernergebnisse leisten, Bildungsqualität erhöhen sowie Dialog, Verbreitung von Wissen und Kompetenzentwicklung fördern“ (KMK, 2017, S. 32). In der Strategie werden zwei Ziele gesetzt:

- „1. Die Länder beziehen in ihren Lehr- und Bildungsplänen sowie Rahmenplänen, beginnend mit der Primarschule, die Kompetenzen ein, die für eine aktive, selbstbestimmte Teilhabe in einer digitalen Welt erforderlich sind. Dies wird nicht über ein eigenes Curriculum für ein eigenes Fach umgesetzt, sondern wird integrativer Teil der Fachcurricula aller Fächer. [...]
2. Bei der Gestaltung von Lehr- und Lernprozessen werden digitale Lernumgebungen entsprechend curricularer Vorgaben dem Primat des Pädagogischen folgend systematisch eingesetzt. Durch eine an die neu zur Verfügung stehenden Möglichkeiten angepasste Unterrichtsgestaltung werden die Individualisierungsmöglichkeit und die Übernahme von Eigenverantwortung bei den Lernprozessen gestärkt.“ (ebd., S. 12)

Diese bildungspolitischen Vorgaben fordern das Lernen mit und über digitale Medien in der schulischen Bildung bereits ab der Primarstufe. Die verbindlichen Kompetenzen zum Lernen mit digitalen Medien der KMK sind sehr allgemein und überwiegend fachunspezifisch formuliert. Diese fachunabhängigen Kompetenzen sind in unterschiedlichen Fächern zu erwerben. Die Bundesländer haben in ihren Lehr-, Bildungs- oder Rahmenplänen Kompetenzen für eine selbstbestimmte und aktive Teilhabe in der digitalen Welt

einzu beziehen (ebd.). Die Forderungen der Bildungspolitik zur Implementierung von digitalen Medien beruht auch auf den Befunden internationaler Vergleichsuntersuchungen (ICLIS, ZIMSS, PISA), welche überdurchschnittliche Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern asiatischer Länder zeigen, in denen der Einsatz digitaler Medien verbreitet ist (Walter, 2018).

Der *DigitalPakt Schule 2019 bis 2024* knüpft an die *Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft* des BMBF und an die Strategie der KMK *Bildung in der digitalen Welt an* (BMBF 2019). Der DigitalPakt, der zwischen der Bundesrepublik Deutschland und den Bundesländern vereinbart wurde, zielt darauf ab zwischen 2019 und 2024 Gelder für den Auf- und Ausbau der digitalen Infrastruktur des Bildungsstandorts Deutschland bereitzustellen.

„Zweck der Finanzhilfen ist es, trägerneutral lernförderliche und belastbare, interoperable digitale technische Infrastrukturen sowie Lehr-Lern-Infrastrukturen zu etablieren sowie vorhandene Strukturen zu optimieren. Die Finanzhilfen dienen der Förderung von Investitionen der Länder und Gemeinden (Gemeindeverbände) in die kommunale Infrastruktur allgemeinbildender Schulen und beruflicher Schulen in öffentlicher Trägerschaft sowie in die Infrastruktur ihnen nach dem Recht der Länder gleichwertiger Schulen in freier Trägerschaft.“ (BMBF 2019, o. S.)

3.1.3.2 Mathematikdidaktische Forschung

In der Mathematikdidaktik wird über Möglichkeiten und Grenzen digitaler Medien im Mathematikunterricht diskutiert. Wie in anderen Unterrichtsfächern auch, sind digitale Medien nicht per se lernwirksam oder anderen Medien überlegen (Schaumburg, 2017). Der Einbezug des Erkenntnisstands der Mathematikdidaktik als Wissenschaft für das Lehren und Lernen von Mathematik ist bei der Frage nach dem Einsatz und der Nutzung digitaler Medien für mathematische Lehr- und Lernprozesse zwingend erforderlich (Krauthausen, 2012). Unter Berücksichtigung fachlicher und fachdidaktischer Prinzipien sind Konzepte für den sinnvollen Einsatz digitaler Medien beim Mathematiklernen zu entwickeln. Das Lernen mit digitalen Medien ersetzt das analoge Lernen keineswegs. Vielmehr gilt es, digitale und analoge Medien sinnvoll miteinander zu kombinieren. Die jeweiligen Potenziale sind zu eruieren und sinnvoll miteinander zu verknüpfen (Ladel, 2017a). Dabei kann von analogen zu digitalen Medien übergegangen werden oder im Sinne des Duo of Artefact können die Medien beim Erwerb mathematischer Kompetenzen sinnvoll miteinander verknüpft werden (Ladel, 2018a; Ladel, 2018b).

Forschungsprojekte zum Lernen und Lehren mathematischer Inhalte mit digitalen Medien in der Primarstufe lassen sich entlang dreier Forschungslinien systematisieren: Bedingungsforschung, Entwicklungsforschung oder Wirkungsforschung (Walter, 2018

März). Bei der Bedingungsforschung wird der Mittelpunkt auf Nutzungsweisen und Lösungsstrategien von Lernenden bei der Verwendung von digitalen Medien gelegt (z. B. Ladel, 2009; Ladel & Kortenkamp, 2014; Sinclair & Heyd-Metzuyanim, 2014; Steffen & Grüßing, 2019; Thompson, 1992; Urff, 2014, Walter, 2018, Schulz & Walter, 2018). Bei der Wirkungsforschung wird die Lernstandserfassung mit und ohne digitale Medien in vergleichende Settings (z. B. Peltenburg et al., 2009; Rink & Walter, 2019) oder auch die Verwendung digitaler und analoger Medien als Interventionsstudie (z. B. Moyer-Packenham et al., 2015; Paek et al., 2013) in den Fokus gestellt. Die Entwicklungsforschung bezieht sich auf die Entwicklung von Software (z. B. Ladel, 2009; Ladel & Kortenkamp, 2014; Rink & Walter, 2019; Schulz & Walter, 2018; Urff, 2014, Urff, 2020, Winzen, 2020) oder auch auf die Entwicklung unterrichtlicher Konzepte mit digitalen Medien (Birklein, 2020; Ladel et al., 2018). Obwohl sich in den letzten Jahren in der mathematikdidaktischen Forschung einiges bewegt, besteht weiterhin Forschungsbedarf.

3.1.3.3 Unterrichtliche Realität

Die Ausstattung mit sowie der Einsatz und die Nutzung digitaler Medien im Unterricht variieren erheblich. Die Gründe für die Unterschiede an den einzelnen Schulen sind abhängig von unterschiedlichen Akteuren, wie den Ländern, der kommunalen Ebene und den Einzelschulen (Ebel, 2017). Digitale Medien werden nicht flächendeckend im Unterricht genutzt (Bitkom Research, 2019b). Die meisten Lehrpersonen würden diese gerne öfter im Unterricht einbeziehen (ebd.). Von vielen Lehrkräften wird beispielsweise ein Mangel an hochwertigen digitalen Lernmaterialien oder fehlende technische Unterstützung beklagt. In der Fort- und Weiterbildung von Lehrkräften sowie in der Lehramtsausbildung besteht großer Handlungsbedarf im Hinblick auf den Einbezug digitaler Medien im Unterricht (ebd.). Dieses Thema ist dementsprechend in die Lehrerbildung, vom Studium über das Referendariat bis zur berufsbegleitenden Professionalisierung, einzubeziehen (Barzel & Schreiber, 2017). Die Digitalisierung bringt große Herausforderungen mit sich und eröffnet gleichzeitig Chancen für einen guten Mathematikunterricht (Ladel, 2019). Die Möglichkeiten des Einsatzes digitaler Medien im Mathematikunterricht sind vielfältig. Dabei ist zu beachten, dass das primäre Ziel stets die Förderung mathematischer Kompetenzen ist (Ladel, 2018b) und durch digitale Medien ein weiteres Medium als Alternative unter vielen zur Verfügung steht. (Ladel, 2019). Der reine Einsatz digitaler Medien sagt noch nichts über die Qualität des Unterrichts aus und führt nicht von selbst zu besserem Unterricht. Die Verwendung des Mediums ist aus der Perspektive der Mathematikdidaktik zu begründen. Dieses Prinzip fasst Krauthausen (2012, 52) unter dem

Aspekt Primat der Fachdidaktik zusammen. Die fachlichen und fachdidaktischen Kompetenzen der Lehrperson spielen beim Einsatz digitaler Medien eine entscheidende Rolle (Ladel, 2018b). Um den Einsatz digitaler Medien im (Mathematik-)Unterricht zu realisieren, sind zusammenfassend folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Ausstattung mit digitalen Medien an der Schule sowie technische Unterstützung
- hochwertige digitale Anwendungen zum Mathematiklehren und Mathematiklernen
- sinnvolle mathematikdidaktische Unterrichtskonzepte
- fachlich und fachdidaktisch qualifizierte Lehrkräfte

3.1.3.4 Spannungsverhältnis digitaler Medien im Mathematikunterricht

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Bildungspolitik den Einsatz digitaler Medien im Unterricht massiv fordert und fördert. Um diese Vorgaben sinnvoll im Mathematikunterricht zu realisieren, sind weitere mathematikdidaktische Forschungserkenntnisse notwendig. Die Mathematikdidaktik beschäftigt sich zunehmend mit dem Lernen und Lehren von mathematischen Inhalten mit digitalen Medien. Allerdings besteht hier weiterhin Forschungsbedarf. Voraussetzungen für den Einsatz und die Nutzung digitaler Medien im Mathematikunterricht sind zunächst die entsprechende Ausstattung mit digitalen Geräten, die Entwicklung didaktisch hochwertiger Unterrichtskonzepte und qualitativ hochwertiger digitaler Anwendungen, aber auch qualifizierte Lehrpersonen. Die Ausführungen zeigen, dass aktuell ein Missverhältnis zwischen bildungspolitischen Vorgaben, mathematikdidaktischen Erkenntnissen sowie der unterrichtlichen Realität zum Einsatz digitaler Medien beim Mathematiklernen und Mathematiklehren besteht (s. Abbildung 3.7). Dieses Spannungsverhältnis ist zukünftig in Einklang zu bringen.

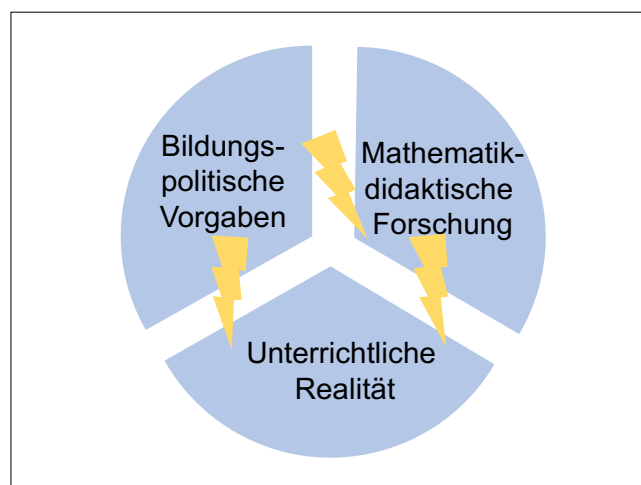


Abbildung 3.7: Spannungsverhältnis digitaler Medien im Mathematikunterricht
(Quelle: eigene Darstellung)

3.2 Bearbeiten von Textaufgaben mit digitalen Medien

3.2.1 Digitale Anwendungen zum Mathematiklernen

Im Internet finden sich vielfältige digitale Anwendungen zum Mathematiklernen und Mathematiklehren. Das Angebot an digitalen Anwendungen ist immens und wächst stetig. Im zweiten Quartal 2019 war die Anzahl der Apps im Google Play Store am größten (2.461.161 Apps) (Statista, 2020). Der Apple App Store hat im genannten Zeitraum das zweitgrößte Angebot an Apps (1.960.633 Apps) und der Amazon Appstore verfügt über das drittgrößte Angebot (478.990 Apps). Für die unterschiedlichen Betriebssysteme existiert ein großes und stetig wachsendes Angebot an digitalen Anwendungen für den Bildungsbereich. So existiert auch ein vielfältiges Angebot zum Lehren und Lernen von mathematischen Inhalten. Tablet Apps sind im Gegensatz zu umfassenden Lernprogrammen am Computer überwiegend spezifischer und zielgerichteter (Ladel, 2017b). Um Möglichkeiten und Grenzen für das Mathematiklernen ausfindig zu machen, müssen die Art und die Qualität der Apps differenziert betrachtet werden (Krauthausen, 2012). Apps zum Mathematiklernen lassen sich unter Berücksichtigung unterschiedlicher Aspekte in Kategorien einteilen. Nachfolgend wird eine Möglichkeit zur Einteilung digitaler Anwendungen zum Mathematiklernen für Schülerinnen und Schüler an Grundschulen und Förderschulen präsentiert.

- Denk-, Knobel- und Strategiespiele

Häufig zeigen Denk-, Knobel- und Strategiespiele einen spielerischen Charakter und bieten Möglichkeiten inhaltsbezogene und prozessbezogene mathematische Kompetenzen zu fördern (Krauthausen, 2012). Die mathematikdidaktischen Potenziale sind zunächst ausfindig zu machen. Beispiele: Tangram, River Crossing, Schiebepuzzles, Memories, Sudoku etc.

- Virtuelle Arbeitsmittel

Bekannte real-gegenständliche Arbeitsmittel aus dem Mathematikunterricht werden strukturähnlich als virtuelle Arbeitsmittel abgebildet (ebd.). In der Regel stellen virtuelle Arbeitsmittel eine Erweiterung der physischen Arbeitsmittel dar, indem Möglichkeiten des digitalen Mediums genutzt werden. Wesentlich ist, dass virtuelle Arbeitsmittel nicht physische Arbeitsmittel ablösen, sondern diese ergänzen (Ladel, 2018b). Die Arbeitsmittel unterstützen den Aufbau inhaltsbezogener Kompetenzen. Passende Aufgabenstellungen und nötige Impulse werden von den Lehrpersonen zur Verfügung gestellt. Beispiele: Stellenwerttafel, Geoboard, Zwanzigerfeld, Hunderterfeld, virtueller Rechenrahmen, Number Rack etc.

- Werkzeugsoftware

Digitale Anwendungen besitzen Werkzeugcharakter, wenn sie Funktionen beinhalten, um mathematische Lösungsprozesse zu unterstützen (Urff, 2014). Diese Anwendungen lassen sich in unterschiedlichen Kontexten einsetzen, wobei der Fokus überwiegend auf einem mathematischen Inhaltsbereich liegt. Beispiele: Bauwas, Tinker-Plots, Geogebra, Diagramm Generator etc.

- Digitale Übungs- und Trainingsprogramme

Für das Automatisieren bereits verstandener mathematischer Inhalte eignen sich besonders digitale Übungs- und Trainingsprogramme (Drill and Practice Programme) (Urff, 2014; Krauthausen, 2012; Schaumburg, 2017). Dieser Ansatz zielt auf das Abrufen von Wissen ab und unterstützt nicht den Verständnisaufbau. Häufig werden Übungsaufgaben abgebildet und die Lernenden tragen das Ergebnis ein. Zwischen den einzelnen Aufgaben besteht kein mathematischer Zusammenhang. Entdeckungen sind kaum möglich und Analogien und Strategien können kaum genutzt oder gar entwickelt werden. Die Lernenden erhalten nach der Lösung sofortiges Feedback zur Aufgabe. Die Rückmeldung erfolgt durch eine Anzeige, ob die Lösung der Aufgabe richtig oder falsch ist. Häufig wird nach mehrfacher falscher Eingabe einer Lösung die richtige Antwort vorgegeben und eine neue Aufgabe gestellt. Die Mathematik wird vermeintlich kindgerecht verpackt, indem bunte Grafiken und Soundeffekte genutzt werden. Oftmals finden in solchen Programmen die fachdidaktischen Qualitätsstandards wenig Berücksichtigung (Krauthausen, 2012). Das automatisierende Üben lässt sich mit solchen Anwendungen trainieren. Beispiele: Fingerzahlen, Einmaleins, Stellenwerte üben, Blitzrechnen 1 - 4, etc.

- Apps als Aufgabenformate

Diese Anwendungen präsentieren bekannte Aufgabenformate aus dem Mathematikunterricht digital. Dabei werden Potenziale digitaler Medien genutzt, wie z. B. die synchrone Präsentation verschiedener Darstellungen. Es bedarf konkreter Aufgabenstellungen oder Aufträge durch die Lehrperson. Die Kombination digitaler und analoger Formate scheint dabei sinnvoll, sodass die Möglichkeiten beider Darbietungen ausgeschöpft werden (Ladel, 2016b; Ladel, 2018a). Beispiele: Rechendreieck, Rechentablett, etc.

- Seiteneinsteiger-Apps

Darüber hinaus bieten digitale Anwendungen, die nicht explizit für den Mathematikunterricht entwickelt sind, durchaus sinnvolle Anwendungsmöglichkeiten. Beispielsweise zum Dokumentieren und Speichern von Lösungswegen und Ergebnissen oder

zur Kommunikation über Mathematik. Die Apps unterstützen insbesondere den Aufbau prozessbezogener mathematischer Kompetenzen. Sie bedürfen einer fachdidaktischen Aufbereitung für den Mathematikunterricht (Krauthausen, 2012). Beispiele: Book Creator, Explain Everything, StopMotionStudio, BedtimeMath, etc.

Die Fachdidaktiken sind sich mittlerweile ihrer Verantwortung bewusst und kümmern sich, dass digitale Anwendungen den fachdidaktischen Anforderungen genügen und sinnvoll genutzt werden (Ladel, 2019). Nichtsdestotrotz ist die Forschungslage zum Lehren und Lernen mit digitalen Anwendungen weiterhin auszubauen. Nach wie vor wird von Vertretern der Fachdidaktik kritisiert, dass das Primat der Fachdidaktik bei digitalen Anwendungen zum Mathematiklernen häufig vernachlässigt wird und viele Anwendungen mathematikdidaktische Mängel aufweisen (Krauthausen, 2012; Urff, 2014; Walter, 2018). Hieraus kann ein Dilemma abgeleitet werden. Einerseits wird gefordert, dass digitale Medien im Mathematikunterricht sinnvoll und didaktisch reflektiert einzusetzen und zu nutzen sind. Andererseits fehlt es aber an fachdidaktischen Konzepten sowie Fort- und Weiterbildungen, die Lehrkräfte befähigen fachdidaktisch hochwertige Anwendungen aus der Masse des Angebots auszuwählen. Digitale Anwendungen werden zumeist von Softwareentwicklern programmiert, die mathematikdidaktischen Potenziale kaum einbeziehen. Zur Überwindung des beschriebenen Dilemmas wäre die Entwicklung eines Kriterienkatalogs mit konkreten Gestaltungsprinzipien hilfreich. Diese Gestaltungsprinzipien sollten auf mathematikdidaktischen Forschungserkenntnissen fußen und könnten zur Konzeption sowie zur Analyse digitaler Anwendungen herangezogen werden.

3.2.2 Potenziale digitaler Medien für das Bearbeiten von Textaufgaben

Die theoriegeleiteten Erkenntnisse sowie die Schulpraxis zeigen, dass digitale Medien zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen Möglichkeiten bieten (Ebel, 2017). Jedoch ergeben sich für das Unterrichtsfach Deutsch oder Sachunterricht andere Möglichkeiten als für das Fach Mathematik. In Anlehnung an Walter (2018) werden in der vorliegenden Arbeit Potenziale digitaler Medien für das Mathematiklernen als sich positiv auswirkende Gestaltungsaspekte verstanden, die bei einem adäquaten Einsatz des Mediums eine Unterstützung beim Mathematiklernen darstellen. Stellvertretend für die Gesamtheit digitaler Medien werden unterrichtsorganisatorische und mathematikdidaktische Potenziale vorrangig von Tablets aufgeführt. Insbesondere werden mathematikdi-

daktische Potenziale beschrieben, die eine Unterstützung beim Verstehen von Textaufgaben bieten und dementsprechend positive Auswirkungen auf nachfolgende Bearbeitungsprozesse des Modellierungskreislaufs haben können.

3.2.2.1 Unterrichtsorganisatorische Potenziale

Unterrichtsorganisatorische Potenziale digitaler Medien werden in der Individualisierung des Lernens und in der Differenzierung von Lerninhalten in heterogenen Gruppen gesehen (Bonow et al., 2019). Der Zugang zu individuellen Zusatz- und Übungsmaterialien ist vereinfacht. Digitale Medien können eine Fülle von Informationen und Aufgaben, ausgehend von den Lerninteressen und Neigungen der Lernenden, schnell und einfach bereitstellen und übersichtlich strukturieren (KMK, 2017). Darüber hinaus können individuelle Rückmeldesysteme den Lernenden Informationen zum Lernstand geben (ebd.). Das digitale Material bietet den Vorteil der leichten Organisation im Unterricht (Ladel, 2018a). So kann beispielsweise das Material einfach bereitgestellt und weggeräumt werden und die Arbeitsfläche ist mobil. Zudem ist ein unterrichtsorganisatorischer Vorteil die prinzipiell unbegrenzte Verfügbarkeit an Materialien, wie z. B. digitale Plättchen (Walter, 2018). Speziell für Tablets ergeben sich unterrichtsorganisatorische Potenziale aus deren technischen Charakteristika (Bonow et al., 2019). Aufgrund des geringen Gewichts, der relativ kleinen und handlichen Größe und dem effizienten Energiemanagement sind Tablets mobil und flexibel nutzbar (Welling, 2017). Das Tablet bietet Möglichkeiten, die dem Arbeiten mit und von Kindern entgegenkommen (Krauthausen, 2012; Ladel, 2017b). Die Handhabung von Tablets wird als simpel beschrieben (Aufenanger & Bastian, 2017; Krauthausen, 2012). Kindern kommt die einfache Gestenkommunikation zu Gute (Welling, 2017). Vorteilhaft ist die leicht bedienbare Touchscreen-Technologie von Tablets (Aufenanger & Bastian, 2017), wodurch Kinder mit ihren Fingern tätig werden (Kortenkamp & Dohrmann, 2010). Somit entfallen Probleme mit der Handhabung der Computermouse bei Lernenden, deren Hand-Auge-Koordination noch nicht gänzlich ausgeprägt ist (Ladel, 2017b). Zudem ist das Tablet durch die Kamera, das Mikrofon sowie die Sensoren in Kombination mit entsprechenden Anwendungen ein Multifunktionsgerät für unterschiedlichste Lernkontexte (Welling, 2017).

3.2.2.2 Mathematikdidaktische Potenziale

Die unterrichtsorganisatorischen Möglichkeiten, die sich überwiegend auf andere Unterrichtsfächer übertragen lassen, sind nicht ausreichend, um den Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht zu legitimieren. Dafür bedarf es Potenziale, die explizit mathe-

mathematische Lehr- und Lernprozesse fördern. Nachfolgend werden zunächst vorrangig mathematikdidaktische Potenziale digitaler Medien, die insbesondere das Verstehen von Textaufgaben unterstützen können, aufgeführt. Anschließend werden weitere Potenziale zum Mathematiklernen dargestellt. Stellvertretend für andere digitale Medien werden Möglichkeiten von Tablets in den Fokus gesetzt, die sich überwiegend auf andere digitale Medien übertragen lassen. Die folgenden Potenziale stellen erst bei einem adäquaten mathematikdidaktischen Einsatz des Mediums eine Unterstützung dar.

- Kognitive Entlastung

Grundlegend für die vorliegende Untersuchung ist die Cognitive Load Theory (Chandler & Sweller, 1991; Sweller et al., 1998; Sweller, 2005; Paas & Sweller, 2014). Im Sinne der Cognitive Load Theory ist Lernen mit einer kognitiven Belastung verbunden. Die Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses sind eingeschränkt, sodass während des Lernens nicht alle Informationen im Arbeitsgedächtnis erhalten bleiben können. Anspruchsvolle Prozesse benötigen viel Kapazität. Die Cognitive Load Theory unterscheidet zwischen drei Arten der kognitiven Belastung, welche als Load beschrieben werden. Die intrinsische kognitive Belastung (Intrinsic Load) ist die kognitive Beanspruchung, die sich aus dem Lerninhalt ergibt (Sweller et al., 1998). Mit erhöhter Komplexität des Lernmaterials wächst für die Lernenden die intrinsische Belastung. Überwiegend sind mathematische Lerninhalte untereinander vernetzt und folglich ist die intrinsische Belastung ausgeprägt. Die extrinsische kognitive Belastung (Extraneous Load) beschreibt eine kognitive Belastung, die sich nicht direkt aus dem zu lernenden Inhalt, sondern aus der Gestaltung des Lernmaterials ergibt (ebd.). Bei der Konzeption von digitalen Lernprogrammen ist die extrinsische Belastung durch die Gestaltung des Lernmaterials gering zu halten, sodass die Kapazitäten für lernrelevante Prozesse frei sind. Die extrinsische Belastung sollte soweit wie möglich reduziert werden. Die lernbezogene kognitive Belastung (Germane Load) beinhaltet den Aufwand das Lernmaterial zu erfassen und zu verstehen. Diese kognitiven Ressourcen werden zur Aktivierung vorhandener und zum Aufbau neuer Schemata, die für den Wissenserwerb notwendig sind, gebraucht (ebd.). Aus der Summe der Belastungen aller Loads setzt sich die Gesamtbelastung des Arbeitsgedächtnisses zusammen (Paas & Sweller, 2014). Im Lernprozess ist das Zusammenspiel der einzelnen Loads wesentlich. Übersteigt die Gesamtbelastung die vorhandene Kapazität, dann tritt eine kognitive Überlastung, sog. Cognitive Overload, ein. Bei einer Überschreitung der zur Verfügung stehenden Ressourcen treten Verstehensprobleme und Speicherungsprobleme auf.

Die lernhinderliche extrinsische kognitive Belastung sollte reduziert werden, wodurch mehr kognitive Ressourcen für die anderen Loads zur Verfügung stehen. Dies ist bei der Gestaltung von Lernmaterialien zu beachten. Eine Reduzierung der kognitiven Belastung kann durch eine Übernahme von Aktivitäten durch das digitale Medium stattfinden, sodass mehr Kapazitäten im Arbeitsgedächtnis für den zu lernenden Inhalt geschaffen werden. Eine solche kognitive Entlastung durch die Computertechnologie wird mit dem Begriff *computational offloading* beschrieben (Rogers, 2012; Rogers & Brignull, 2003; Scaife & Rogers, 1996) und meint „the extent to which different external representations reduce the amount of cognitive effort required to solve informationally equivalent problems“ (Scaife & Rogers, 1996, S. 188). Im Zusammenhang mit der Cognitive Load Theory scheint die Chance der Entlastung des Arbeitsgedächtnisses durch ein computational offloading vielversprechend (Sweller, 2005). Unterschiedliche Möglichkeiten kognitiver Entlastungen beim Mathematiklernen gelingen mit Hilfe digitaler Medien (Barzel et al., 2005; Ladel, 2016a; Weigand & Weth, 2002; Walter, 2018). Beim Bearbeiten mathematischer Textaufgaben entstehen zahlreiche kognitive Belastungen. Schon der erste Teilprozess des Modellierungskreislaufs, das Verstehen der Situation, bereitet vielen Kindern Schwierigkeiten (Ladel, 2016a). Diese Belastungen können bewirken, dass die Aufgabenlösenden zu viele Ressourcen für das Verstehen verwenden und den Fokus nicht auf das Bearbeiten eines mathematischen Modells legen. Kritisch ist anzumerken, dass die Cognitive Load Theory eindimensional vor allem kognitive Verarbeitungsprozesse betrachtet und das Gedächtnis als zentrale Einflussgröße des Lernens in den Mittelpunkt stellt. Einflüsse anderer Aspekte wie Motivation, Lerninteresse, Kontextbedingungen oder Emotionen auf das Lernen mit Multimedia bleiben unbeachtet. Nichtsdestotrotz wurde mit der Cognitive Load Theory ein weitverbreiteter und akzeptierter theoretischer Ansatz zum multimedialen Lernen entwickelt. Dieser Ansatz der Vermeidung unnötiger, lernhinderlicher kognitiver Belastungen bei der Gestaltung von Multimedia ist theoretisch gut begründet und empirisch durch Untersuchungen abgesichert (Urff, 2014). Möglichkeiten der kognitiven Entlastung beim Verstehen von Textaufgaben durch digitale Medien werden nachfolgend dargestellt.

- Multiple externe Repräsentationen

Der Psychologe Bruner (1974) führt drei Repräsentationsformen von Lerninhalten auf, die beim Mathematiklernen eine zentrale Rolle spielen: enaktiv, ikonisch und symbolisch. Auch digitale Medien bieten Möglichkeiten mathematische Inhalte auf

diesen drei Ebenen darzustellen. Multiple Repräsentationen bilden mehrere Repräsentationen des gleichen mathematischen Objekts ab. Ladel (2009, 59) verdeutlicht in dem *Modell der externen Repräsentationen*, dass die Lernumgebung Computer alle Repräsentationsformen vereinigen kann (s. Abbildung 3.8). Die Lernumgebung Computer ist in der Abbildung grau gekennzeichnet, wodurch visualisiert wird, dass alle Repräsentationsebenen vereinigt werden können. Diese Multirepräsentationsfähigkeit ist auch für andere digitale Geräte anzunehmen.

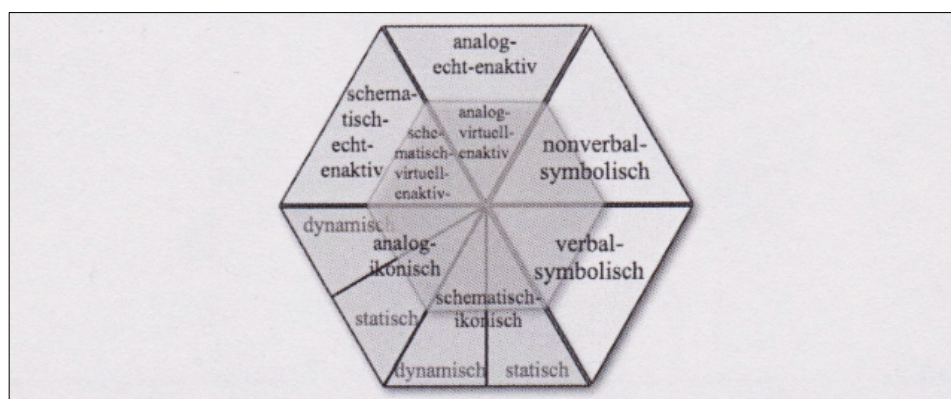


Abbildung 3.8: Modell der externen Repräsentationsformen
(Quelle: Ladel, 2009, S. 59)

Mathematische Inhalte können mit digitalen Medien verbal-symbolisch sowie nonverbal-symbolisch präsentiert werden (Ladel, 2009). Verbal-symbolische Repräsentationen sind z. B. Textaufgaben in Schriftsprache, die auch auditiv über den Lautsprecher wiedergegeben werden können. Hierdurch wird der Zugang über eine weitere Sinnesmodalität hergestellt. Der Wechsel zwischen Schriftsprache und gesprochener Sprache stellt einen intramodalen Transfer auf der verbal-symbolischen Repräsentationsebene dar. Nach Ladel (2009) sind schriftliche Elemente bei Software für den Anfangsunterricht aufgrund der möglicherweise noch nicht ausgebildeten Lesekompetenz der Lernenden grundsätzlich auditiv zu unterstützen. Aufgrund des häufig mangelnden Leseverstehens der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen (s. Kapitel 2.3) kann angenommen werden, dass auch im Förderschwerpunkt Lernen die auditive Unterstützung schriftlicher Inhalte förderlich ist. Als ikonische Darstellung können digitale Medien Darstellungen dynamisch oder statisch analog-ikonisch sowie dynamisch oder statisch schematisch-ikonisch abbilden (ebd.). Dynamische Bilder können mit Printmedien als Bildabfolge dargestellt werden, sodass Anfangszustand, Handlung und Endzustand abgebildet werden. Mit digitalen Medien können bewegte

dynamische Bilder als Video dargestellt werden (s. Kapitel 3.2.2). Ladel (2009) erweitert in dem Modell die externen Repräsentationsformen um eine virtuell-enaktive Komponente. Demnach ermöglichen digitale Medien analog-virtuell-enaktive sowie schematisch-virtuell-enaktive Repräsentationen (ebd.). Virtuell-enaktiv bedeutet, dass die Handlung der Objekte am Computer simuliert wird.

Zusammenfassend sind verschiedene Repräsentationsformen durch digitale Technologien schnell und übersichtlich zugänglich und können individuell ausgewählt werden. Der Wechsel von Darstellungen sollte vom Lernenden gesteuert erfolgen (ebd.). Multiple externe Repräsentationen lassen sich nicht ausschließlich mit digitalen Medien erzeugen. Auch in Schulbüchern oder auf Arbeitsblättern finden sich Aufgaben mit mehreren Repräsentationen zu einem mathematischen Objekt (Ladel, 2012).

- Verknüpfung externer Repräsentationen

Digitale Medien bieten Möglichkeiten multiple externe Repräsentationen synchron und miteinander vernetzt darzustellen (Schmidt-Thieme & Weigand, 2015; Ainsworth, 2006; Ladel, 2009). Die Veränderung einer enaktiven, ikonischen oder symbolischen Darstellung führt dabei automatisch und gleichzeitig zur Veränderung der anderen Darstellung. Das synchrone Darstellen sowie das Verknüpfen der Bruner'schen Darstellungen ist als Alleinstellungsmerkmal digitaler Medien anzusehen (Rauh, 2012). Ladel (2009) benennt die automatische Verknüpfung verschiedener Repräsentationen als multiple equivalent linked representations (MELRs). Die synchrone Verlinkung von multiplen äquivalenten Repräsentationen unterstützt den mathematischen Lernprozess (Ainsworth, 2006; Clements & Sarama, 2009; Goodwin & Highfield, 2013; Laakmann, 2013; Ladel, 2009; Urff, 2014). Diese automatische Übersetzung beinhaltet eine Reduzierung der kognitiven Belastung durch ein computational offloading (Scaife & Rogers, 1996). Da dem intermodalen Transfer beim Lernen eine zentrale Bedeutung zukommt, sollte die automatisierte Übersetzung während des Lernprozesses von den Lernenden bewusst ausgewählt werden können (Ainsworth, 1999).

- Auditive Präsentation

Mit digitalen Medien lässt sich eine auditive Unterstützung realisieren (Rink, 2014a; Rink, 2014b; Rink & Walter, 2019). Schriftlich dargebotene Inhalte werden auditiv zugänglich gemacht. Der Zugang zu Lerninhalten wird so über eine weitere Sinnesmodalität geschaffen. Textbasierte Informationen einer Textaufgabe können so in gesprochener Sprache als verbal-symbolische Repräsentationsform präsentiert wer-

den. In ersten Erprobungen haben sich Hinweise ergeben, dass die auditive Unterstützung bei Textaufgaben eine förderliche Wirkung auf das Erfassen des Sinns der Aufgabe und den Aufbau des Situationsmodells haben kann (Rink, 2014a; Rink & Walter, 2019). Die auditive Unterstützung hilft insbesondere Lernenden mit Schwierigkeiten beim Lesen mathematische Aufgaben zu verstehen, da das Lesen der Textaufgabe als extrinsische Belastung während der Aufgabenbearbeitung minimiert wird. Auch andere Inhalte wie Arbeitsanweisungen oder lernförderliche Hinweise lassen sich auditiv zugänglich machen. Ohne digitale Medien können Inhalte während des Lernens auch auditiv durch andere Personen wie Lehrpersonen, Eltern oder anderen Kindern erfolgen. Tonaufnahmen wirken der Darstellungsflüchtigkeit der gesprochenen Sprache als verbal-symbolische Repräsentation entgegen (Eilerts, 2018; Huhmann, 2020).

- Präsentation durch Videos

Mit digitalen Medien können Videos zu mathematischen Inhalten präsentiert und auch erstellt werden. Die Lernenden können sich diese während des Lernens anschauen oder auch selbst Videos zu ihren mathematischen Lern- und Bearbeitungsprozessen erstellen. Videos eignen sich, um der Darstellungsflüchtigkeit von Handlungen, wie beispielweise szenischen Darstellungen zu Textaufgaben oder dem Legen der Situation mit Material entgegenzuwirken (Eilerts, 2018; Huhmann, 2020). Die visuelle Präsentation einer Textaufgabe als bewegte Bilder entspricht einer ikonischen Darstellung und unterstützt somit den intermodalen Transfer der Aufgabe. In ersten Erprobungen mit Animationen zu problemhaltigen Textaufgaben ergeben sich Hinweise, dass Animationen den Aufbau des Situationsmodells beim Bearbeiten der Textaufgaben unterstützen können (Rink & Walter, 2019).

- Weitere Potenziale für das Mathematiklernen

In der Literatur werden weitere Potenziale digitaler Medien für das Mathematiklernen aufgeführt, die für das Verstehen der Textaufgabe keine besondere Relevanz haben. Digitale Medien bieten Möglichkeiten Objekte zu strukturieren. Eine *Strukturierung* von Objekten z. B. im Sinne der Kraft der Fünf (Krauthausen, 1995) kann entweder auf Anfrage, also auf Knopfdruck, sowie automatisch durch die Software stattfinden. So können Objekte quasi-simultan erfasst werden (Ladel, 2017b). Solche Strukturierungshilfen unterstützen insbesondere beim Bearbeiten arithmetischer Aufgaben (Ladel & Kortenkamp 2009; Walter, 2018). Durch die Touch-Technologie von Tablets entfällt die Mittlerfunktion der Maus (Dohrmann 2016; Ladel, 2016a). Die Kinder han-

deln mit dem Finger auf dem Bildschirm und operieren so mit Objekten (Ladel & Korten­kamp, 2012). Zudem eröffnet die *Multi-Touch-Technologie* erweiterte Möglich­keiten für das Lehren und Lernen mathematischer Inhalte (Ladel & Korten­kamp, 2012; Ladel, 2016b; Ladel, 2017b; Sinclair & Heyd-Metzuyanim, 2014). Diese Technologie wirkt sich positiv auf die Förderung inhaltsbezogener sowie prozessbezogener ma­thematischer Kompetenzen aus (Ladel, 2016b). Dies bietet besondere Möglichkeiten für die enaktive Phase mathematischer Lernprozesse (ebd.). Die Multi-Touch-Tech­nologie von Tablets ermöglicht durch das Berühren des Bildschirms mit mehreren Fingern das Tablet zu bedienen, da mehrere Berührungspunkte gleichzeitig erfasst werden. Insbesondere für die Erfassung und Darstellung von Anzahlen stellt dies ein Potenzial dar. Anzahlen lassen sich nicht nur sequenziell, sondern simultan darstel­len. Durch die Multi-Touch-Technologie wird ermöglicht, dass mehrere Kinder gleich­zeitig an einem Gerät interagieren und gemeinsam in Partner- oder Kleingruppenar­beit an einem Lerngegenstand arbeiten (Dohrmann, 2016; Korten­kamp & Dohrmann, 2010). Dies lässt sich gut durch Multi-Touch-Tische realisieren (Ladel, 2016b). Ein weiteres Potenzial ist die *Passung zwischen Handlung und mentaler Operation*, was vor allem für den Arithmetikunterricht und die Arbeit mit virtuellen Arbeitsmitteln be­deutsam ist (Sarama & Clements, 2006; Walter, 2018). „Das Handeln an einem digi­talen Medium kann näher an einer angestrebten mentalen Operation orientiert sein, als es bei einer physisch vergleichbaren Entsprechung realisierbar ist“ (ebd., S. 31). Die dynamische Darstellung mathematischer Grundoperationen kann den Aufbau mentaler Vorstellungen der Operationen unterstützen. Ob Handlungen an analogen oder digitalen Materialien vollzogen werden, ist von der mathematischen Zielsetzung abhängig zu machen. Zudem bieten digitale Medien verschiedene Möglichkeiten der *Darstellungsflüchtigkeit* entgegen zu wirken (Eilerts, 2018; Huhmann, 2020). Digitale Anwendungen können ein sofortiges *Feedback* an die Lernenden abgeben (Ladel, 2018a). Insbesondere informative Rückmeldungen zu mathematischen Aufgaben be­gleiten die Bearbeitung von Fehlern konstruktiv (Schulz & Walter 2018).

3.2.3 Analyse digitaler Anwendungen zum Bearbeiten von Textaufgaben

Obwohl die Anzahl an digitalen Anwendungen insgesamt rasant wächst, gestaltet sich die Suche nach Apps zum Bearbeiten von Textaufgaben im AppStore und im PlayStore schwierig und wenig ergiebig. Nachfolgend werden ausgewählte Applikationen zum Be­arbeiten von Textaufgaben beschrieben, auf mathematikdidaktische Potenziale digitaler Medien zum Verstehen von Textaufgaben geprüft (s. Kapitel 3.2.2) sowie mit Hilfe des

ACAT-Review-Guide analysiert. Bei Tablet Apps, die mehrere Übungsformate beinhalten, werden ausschließlich Textaufgaben analysiert.

Etzold, Kortenkamp und Ladel (2018, 91) präsentieren mit dem ACAT-Review-Guide eine Möglichkeit zur theoriegebundenen Analyse von Apps für den Einsatz im Mathematikunterricht. Als theoretische Basis für dieses Beurteilungsschema dient die Tätigkeitstheorie, speziell das ACAT-Modell (Artefact Centric Activity Theory) (s. Abbildung 3.9) (Ladel & Kortenkamp, 2014).

„Dieses beschreibt das Beziehungsgefüge zwischen einem **Subjekt** (in der Regel eine Schülerin oder ein Schüler), einem **Objekt** (dem mathematischen Unterrichtsinhalt), dem vermittelnden **Artefakt** (in diesem Fall einer App, über die sich die Schülerin oder der Schüler mit dem mathematischen Inhalt auseinandersetzt) sowie **Regeln** (die vom mathematischen Objekt ausgehend beschreiben, wie sich die App verhalten soll) und dem Einfluss der **Gruppe** (also der gesamten Klassensituation im Unterricht).“ (Etzold et al., 2018, S. 91)

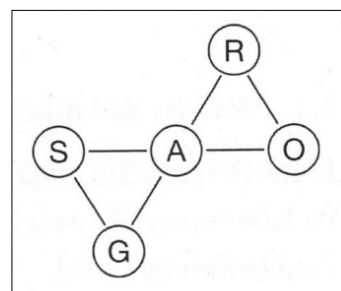


Abbildung 3.9: ACAT-Modell
(Quelle: Etzold et al., 2018, S. 91)

Der ACAT-Review-Guide beinhaltet fünf Leitfragen (Etzold et al., 2018):

- Was ist das mathematische Objekt der App?
- Wie interagieren Schülerinnen und Schüler mithilfe der App mit dem mathematischen Objekt?
- Wie entwickelt sich die Interaktion?
- Ist die App für die Vermittlung des mathematischen Objekts geeignet?
- Wie kann die App in der Klassensituation verwendet werden?

3.2.3.1 Bedtime Math



Die App *Bedtime Math* von Bedtime Math Foundation verfolgt das Ziel, mathematische Inhalte vor dem Schlafengehen, alternativ zur klassischen Gute-nachtgeschichte und ohne konkreten curricularen Bezug, im Alltag der Kinder zu integrieren. Das Altersspektrum dieser Seiteneinsteiger App umfasst drei Gruppen: Wee Ones, Little Ones, Big Kids. Das Kernstück ist das Math Problem of the Day. Hier erscheint ein Text mit einem Bild, der zu dem Sachinhalt des Textes passt, aber zum Beantworten der nachfolgenden Fragen nicht erforderlich ist (s. Abbildung 3.10). Zu dem Text werden Fragen mit unterschiedlichem Anforderungsniveau für die drei Altersgruppen gestellt. Manchmal wird eine Spezialaufgabe (The Sky's the Limit) mit besonderem Anforderungsniveau aufgeführt. Die Texte und die dazugehörigen Fragen werden je nach vorheriger Auswahl in den Sprachen Englisch oder Spanisch präsentiert. Über Explore wer-

den alle bisherigen Tagesaufgaben angezeigt, die auf Basis ihrer thematischen Einbettungen, ihres Erscheinungsdatums oder Titels sortiert werden können. Über die Funktion Surprise wird eine zufällige Aufgabe aus den bereits verfügbaren Tagesaufgaben angezeigt. Alle Aufgaben bieten eine Musterlösung zur Kontrolle der eigenen Überlegungen an. Die App fördert verschiedene prozessbezogene sowie inhaltsbezogene Kompetenzen. Durch die Präsentation der Aufgabe als Text und einem zum Kontext passenden Bild werden multiple externe Repräsentationen verwendet. Diese Repräsentationen sind nicht verknüpft und lassen sich identisch auch ohne digitale Medien darstellen. Ein schneller Wechsel zwischen den Sprachen Englisch und Spanisch sowie den Aufgaben und Anforderungsniveaus ist möglich. Kognitive Entlastungen während des Bearbeitens der Aufgabe durch das digitale Medium sind kaum zu erkennen.



Abbildung 3.10: App Bedtime Math
(Quelle: Screenshots der Tablet App Bedtime Math)

Das mathematische Objekt der App sind Sachtexte zu denen spezifische mathematische Fragestellungen präsentiert werden. Zum Beantworten der Fragen wird Sachrechnenkompetenz in verschiedener Hinsicht gefordert und gefördert. Die Interaktion zwischen Benutzer und App beschränkt sich auf die Präsentation der Aufgaben und deren Lösungen. Den Lernenden wird der Alltagsbezug der Mathematik verdeutlicht, der sich

in den verschiedensten Rahmenhandlungen zeigt. Als eine primäre Tätigkeit der App ist das Lesen des Textes zu nennen. Die konkreten Handlungen und Überlegungen werden vorrangig im Kopf durchgeführt, wobei dies die Zuhilfenahme von Papier und Stift nicht ausschließt. Die Verwendung der App im Kontext Schule ist zwar nicht vom Anbieter intendiert, aber leicht zu ermöglichen, so beispielsweise in Form einer Tages- oder Wochenaufgabe. Bezüglich der Sozialform sind hierbei Bearbeitungen in Einzel-, Partner- oder Gruppenarbeit denkbar. Eine Differenzierung ist durch die Unterteilung in Altersstufen und die Bereitstellung verschiedener Sprachen gegeben.

3.2.3.2 Känguru Mathe



Die App *Känguru Mathe* für iOS und Android Geräte enthält Aufgaben für die Klassenstufen 3 bis 10 und ist dem internationalen Mathematikwettbewerb Känguru der Mathematik zugehörig. An dem Wettbewerb nehmen Schülerinnen und Schüler unterschiedlichen Alters aus diversen Ländern freiwillig teil. Die App stellt einige der Aufgaben aus den Vorjahren des Wettbewerbs zur Verfügung. Die Aufgabenstellungen sind für verschiedene Klassenstufen konzipiert: 3.-4. Klasse, 5.-6. Klasse, 7.-8. Klasse und 9.-10. Klasse. Unter anderem werden Textaufgaben und Text-Bildaufgaben präsentiert. Die Aufgaben folgen einem Multiple-Choice-Schema, sodass aus fünf Antwortmöglichkeiten die richtige Antwort auszuwählen ist (s. Abbildung 3.11). Die Aufgaben lassen sich im Übungsmodus sowie Testmodus bearbeiten. Der Übungsmodus liefert im Anschluss an die Beantwortung jeder Aufgabenstellung die korrekte Lösung. Bei falscher Antwort wird der Lösungsweg schriftlich dargestellt. Die Aufgaben des Testmodus entstammen dem Übungslevel. Der Testmodus zeigt nach Abschluss aller Aufgaben die Anzahl der richtig und falsch gelösten Aufgaben. Die App beinhaltet Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt, mit geometrischem Inhalt und Textaufgaben zum situationsadäquaten Umgang mit Größen. Die allgemeinen Kompetenzen, die beim Bearbeiten der Textaufgabe gefördert und gefordert werden, sind in erster Linie das Problemlösen und Modellieren. Im Hinblick auf die genutzten mathematikdidaktischen Potenziale der App lässt sich feststellen, dass multiple externe Repräsentationen genutzt werden. Die Aufgaben werden überwiegend in Textform, aber auch in Kombination von Text und Bild präsentiert. Das Bild ist dabei für die Lösung der Aufgabe erforderlich. Ein schneller Wechsel zwischen verschiedenen Klassenstufen sowie den Aufgaben ist möglich.

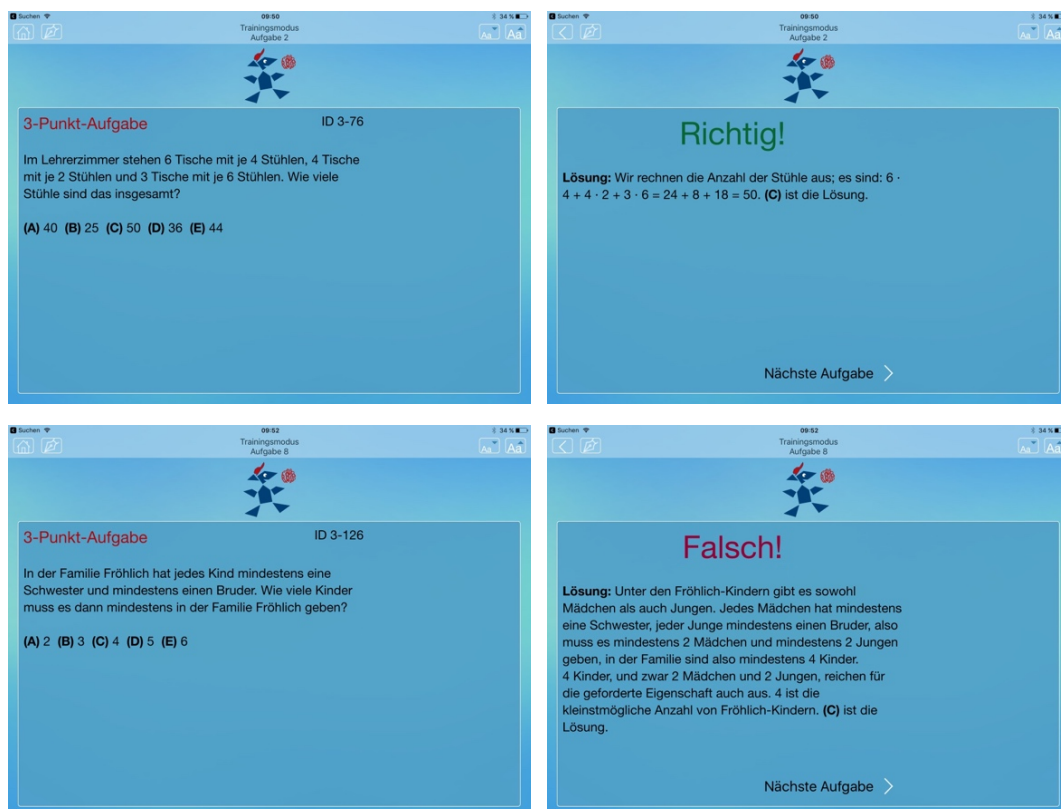


Abbildung 3.11: App Känguru Mathe
(Quelle: Screenshots der Tablet App Känguru Mathe)

Die Interaktion des Benutzers mit der App beschränkt sich auf die Auswahl der richtigen Lösung im Multiple-Choice-Format. Die App präsentiert die mathematischen Objekte als Text oder Bild-Textaufgabe. Sie bietet keine Unterstützung während des Bearbeitungsprozesses, sondern fokussiert mit den Übungsaufgaben und Testaufgaben die richtige Lösung der Aufgaben. Die schriftsprachliche Präsentation der Textaufgabe setzt Leseverständnis zum Bearbeiten der Aufgaben voraus. Der unterrichtliche Einsatz der App ist in Form von Einzelarbeit, Partnerarbeit oder in Kleingruppen denkbar. Die App nimmt eine Differenzierung im Hinblick auf die Klassenstufe und die Sprache vor.

3.2.3.3 Lernerfolg Grundschule Mathe



Die App *Lernerfolg Grundschule Mathe* von Tivola Publishing beinhaltet mathematische Übungsaufgaben für Lernende im Grundschulalter. Die Benutzer können individuelle Profile anlegen. Vier zentrale Modi differenzieren zwischen Aufgaben für die Klassenstufen 1 bis 4. Die Modi enthalten Level zu verschiedenen mathematischen Bereichen sowie Bonusspiele oder Knobelaufgaben. Zusätzlich steht der Modus Konzentration mit diversen Aufgabenformaten zur Verfügung. Die Arbeitsaufträge der

ersten beiden Klassenstufen werden durch den kleinen Vampir Freddy als Identifikationsfigur vorgelesen. Die App ist in deutscher Sprache verfügbar. Ausschließlich der Modus der Klassenstufe 4 beinhaltet ein Sachrechnen-Level. Dieses Level heißt Rechnen mit Größen und Sachaufgaben und beinhaltet Textaufgaben zum situationsadäquaten Umgang mit Größen. Die Anwendung bietet die Möglichkeit, dass die Lernenden individuell Hilfe auswählen. Als Hilfe werden die Arbeitsschritte in Schriftsprache präsentiert (s. Abbildung 3.12). Die Aufgaben des Sachrechnen-Levels werden als Text, teilweise mit Bild, präsentiert. Für die Lösung werden darüber hinaus Tabellen angezeigt. Die externen Repräsentationen sind nicht verknüpft. Eine kognitive Entlastung durch das digitale Medium ist kaum zu erkennen. Die Tabelle unterstützt den Lösungsprozess, aber lässt sich identisch in Papierform darbieten. Ein Wechsel zwischen den Textaufgaben ist möglich.

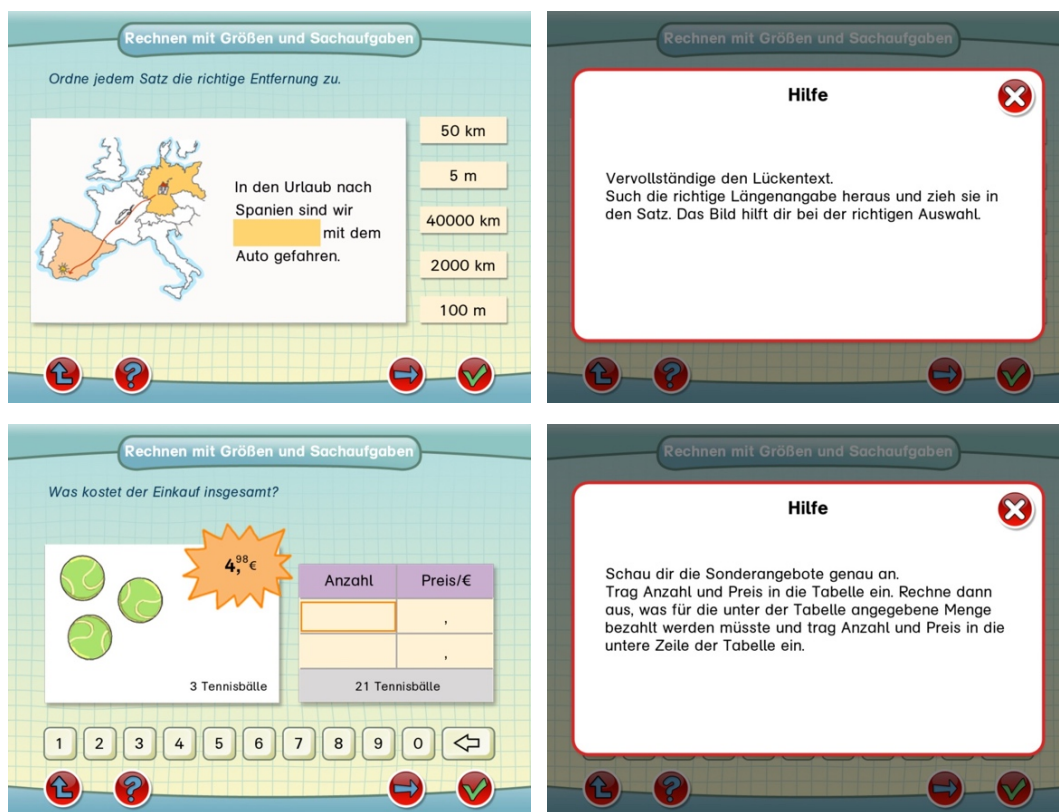


Abbildung 3.12: App Lernerfolg Grundschule Mathe
(Quelle: Screenshots der Tablet App Lernerfolg Grundschule Mathe)

Die mathematischen Objekte des Sachrechnen-Levels der Klassenstufe 4 sind Aufgaben zum situationsadäquaten Umgang mit Größen, die sich auf die Größenbereiche Längen sowie Geldwerte beschränken. Die Interaktion bei diesem Level für Viertklässler

sieht zum Thema Längen das Ausfüllen von Lückentexten mit Hilfe vorgegebener Antworten vor. Die Antwortoptionen enthalten potenzielle Längenangaben, die zur im Text beschriebenen Sachsituation passen. Zum Text wird ein Bild zum entsprechenden Sachkontext präsentiert, das zum Lösen der Aufgabe nicht erforderlich ist. Aufgaben zum Größenbereich Geld sind proportionale Zuordnungen, die mit Hilfe von Tabellen berechnet werden. Die App bietet keine individuell auswählbaren Hilfen während des Bearbeitungsprozesses. Der schulische Einsatz der App ist primär in Einzelarbeit denkbar, so dass jeder Lernende sein eigenes Profil anlegt und sich beispielsweise während Freiarbeitsphasen mit den Aufgaben auseinandersetzt. Die App ist zu Übungszwecken zu verwenden.

3.2.3.4 Drill Math Word Problems



Die App *Drill Math Word Problems* von Power Math Apps LLC beinhaltet mathematische Übungsaufgaben zu verschiedenen Bereichen. Im Übungsteil (Practice) können die Bereiche Numbers, Addition, Subtraction, Sentences, Algebra, Geometry, Time und Money ausgewählt werden. Im Modus Play werden Aufgaben aus allen Bereichen gestellt. In diesem Modus lässt sich die App durch Einstellen des Schwierigkeitsniveaus und das Aktivieren oder Deaktivieren verschiedener Themengebiete differenzieren. Die Anwendung ist ausschließlich in englischer Sprache verfügbar und enthält einfache Textaufgaben zu den Grundrechenarten Addition und Subtraktion. Die Aufgabenstellungen sind stets schriftlich formuliert. Die Textaufgaben bestehen aus wenigen kurzen Sätzen, wobei einzelne Wörter durch eine entsprechende kleine Abbildung im Text ersetzt werden. Zur Lösung stehen vier mögliche Antworten im Multiple-Choice-Format zur Verfügung, von denen die korrekte Antwort auszuwählen ist (s. Abbildung 3.13). Nach der Auswahl einer Lösung zur Textaufgabe wird automatisch die nächste Aufgabe angezeigt. Die mathematischen Anforderungen sind vor allem den Klassenstufen 1 und 2 zuzuordnen.

Als mathematisches Objekt steht das Lösen von einfachen Textaufgaben zu den Grundrechenarten Addition und Subtraktion im Zahlenraum bis 20 im Fokus. Die Interaktion des Benutzers mit der App beschränkt sich auf die Auswahl der korrekten Lösung über den Bildschirm. Die primäre Tätigkeit des Nutzers beim Bearbeiten der Textaufgaben ist das Lesen des Textes mit der Frage. Die Lösungsmöglichkeiten bestehen meist aus Zahlen. Die korrekte Lösung wählen die Nutzer der App durch Tippen auf dem Touchscreen aus. Die App beinhaltet die Möglichkeit handschriftlich durch das Schreiben mit einem Finger auf dem Tablet Notizen zu machen. Während des Bearbeitungsprozesses

der Textaufgaben können keine individuellen Hilfen ausgewählt werden. Die App eignet sich vorrangig zur Nutzung in Einzelarbeit. Durch die Differenzierungsmöglichkeiten können Variationen vorgenommen werden. Eine wichtige Voraussetzung zur Bearbeitung der Aufgaben stellt neben den spezifischen Anforderungen des mathematischen Inhalts das Leseverständnis des Lernenden dar.



Abbildung 3.13: App Drill Math Word Problem
(Quelle: Screenshots der Tablet App Drill Math Word Problem)

3.2.3.5 Budenberg-Lernsoftware

Die Budenberg-Lernsoftware (<https://www.budenberg.de/wb/>) ist für den Bereich Förderschulen entwickelt und wird häufig im Förderschwerpunkt Lernen eingesetzt. Die Lernsoftware wurde ursprünglich von Günter Schleisiek, der bis 2003 Leiter der Schule am Budenberg-Förderschule mit den Förderschwerpunkt Lernen war, konzipiert. Sie beinhaltet Übungsprogramme zu den Unterrichtsfächern Mathematik, Deutsch, Sachunterricht und Englisch. Die Programmpakete gibt es für die Lernstufen 1 bis 6, d. h. für die Unterstufe und die Mittelstufe im Förderschwerpunkt Lernen. Die Software war traditionell für das Arbeiten am Computer konzipiert. Neuerdings (letzter Stand der Aktualisierung 5/2019) verfügt diese auch über eine Touch-Bedienung und kann auf Windows-Tablets genutzt werden. Für das Unterrichtsfach Mathematik bietet die Lernsoftware Programme zu verschiedenen mathematischen Inhalten. Ein Förderprogramm der Stufe 2 heißt Textaufgaben. Gleich zu Beginn des Programms erscheint der Hinweis

„Das Programm setzt gutes Leseverständnis voraus“. Das Programm unterstützt dementsprechend nicht das Verstehen der Textaufgabe. Die Textaufgabe wird im oberen Bildschirmausschnitt präsentiert. Hierzu werden Teilaufgaben gestellt, die sich überwiegend auf die Auswahl einer passenden Frage, die Auswahl von Schlüsselwörtern im Text sowie die Auswahl der Rechenoperationen und der Rechenaufgabe beschränken (s. Abbildung 3.14). Die Textaufgabe sowie alle zu bearbeitenden Aufgaben werden ausschließlich in symbolischer Darstellung schriftsprachlich präsentiert. Andere Repräsentationsformen werden nicht verwendet. Die Darbietung der Aufgaben sowie die Anwendungsoptionen sind reizreduziert. Der Wechsel zu einer anderen Aufgabe erfolgt automatisch, sobald die vorherige Aufgabe angemessen bearbeitet wurde.



Abbildung 3.14: Budenberg-Lernsoftware
(Quelle: Screenshots der Budenberg Lernsoftware)

Als mathematisches Objekt des Förderprogramms Textaufgaben stehen die Textaufgabe sowie die Teilaufgaben dazu im Fokus. Die Aufgabenlösenden entscheiden sich zwischen Auswahlmöglichkeiten für eine Antwort. Wenn eine richtige Antwort ausgewählt wird, erscheint die nächste Teilaufgabe. Wenn eine falsche Auswahlmöglichkeit gewählt wird, erscheint am Bildschirmrand ein Blitzlicht und eine andere Möglichkeit ist

zu wählen. Nach dem Bearbeiten eines Aufgabenblocks erhalten die Kinder eine quantitative Rückmeldung, wie viel Prozent der Aufgaben korrekt gelöst wurden. Die Ergebnisse der Aufgaben werden gespeichert. Die Lehrperson hat die Möglichkeit abschließend ein Ergebnisprotokoll auszudrucken, das Auskunft über das bearbeitete Programm mit Datum und Bearbeitungsdauer sowie die Anzahl der Fehler gibt. Diverse Aspekte der Sachrechnenkompetenz können durch das Programm ausgebaut werden, wobei verschiedene Teilprozesse des Modellierungskreislaufs fokussiert werden.

3.2.3.6 Zusammenfassung

Abschließend werden zu den analysierten digitalen Anwendungen zum Bearbeiten von Textaufgaben zusammenfassende Aussagen getroffen. So beschränken sich die Repräsentationsformen der Textaufgabe überwiegend auf die symbolische Ebene, indem der Text schriftsprachlich präsentiert wird. Teilweise wird zu dem Text ein Bild präsentiert, das zum Sachinhalt der Aufgabe passt, aber zum Bearbeiten der Aufgabe überwiegend nicht erforderlich ist. Solche symbolischen und ikonischen Darstellungen lassen sich auch mit nicht digitalen Medien präsentieren. Die auditive Präsentation oder die visuelle Präsentation durch Videos werden in den Anwendungen nicht genutzt. Eine Verknüpfung der Repräsentationen ist nicht erkennbar. Die Apps beinhalten eine Vielzahl an Aufgaben zu unterschiedlichen Anforderungsniveaus, die selten in verschiedenen Sprachen abgebildet werden. Zwischen den Aufgaben, den Anforderungsniveaus oder den Sprachen kann schnell gewechselt werden. Kognitive Entlastungen der Lernenden während des Bearbeitungsprozesses der Textaufgaben werden durch die digitalen Anwendungen kaum gegeben. Die analysierten Anwendungen zum Bearbeiten von Textaufgaben enthalten überwiegend Merkmale von Übungs- und Trainingsprogrammen. Sie zielen überwiegend nicht auf die Unterstützung des Bearbeitungsprozesses ab, sondern auf die richtige Lösung der Aufgabe. Diverse Lern- und Entwicklungsvoraussetzungen zum Bearbeiten der Textaufgaben werden vorausgesetzt. Individuell auswählbare Hilfen zur Unterstützung des Verstehens der Texte und zum Aufbau des Situationsmodells beinhalten die Apps nicht.

3.3 Digitale Medien im Förderschwerpunkt Lernen

3.3.1 Digitale Medien zur schulischen Förderung im Förderschwerpunkt Lernen

Für Menschen mit Beeinträchtigungen erweisen sich digitale Medien als vielseitiges Hilfsmittel und tragen dazu bei, dass deren gesellschaftliche Teilhabe erleichtert wird

(Zentel, 2016). In den *Übereinkommen der Vereinten Nationen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen* (UN-Behindertenrechtskonvention) verpflichten sich die Vertragsstaaten zur Entwicklung von und zur Forschung über digitale Technologien, die Menschen mit Behinderung in verschiedensten Hinsichten unterstützen, sowie zur Förderung der Verfügbarkeit und Nutzung digitaler Medien (Beauftragte der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen, 2017). Seit einigen Jahrzehnten beschäftigt sich die Sonderpädagogik mit digitalen Medien zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen im Unterricht (Zentel, 2016) (z. B. Bonfranchi, 1992; Schwier 2009). Diesbezüglich besteht weiterhin Forschungsbedarf. Die Einsatzmöglichkeiten digitaler Medien in der Sonderpädagogik sind vielfältig. Für unterschiedliche Formen der Beeinträchtigungen ergeben sich verschiedene Potenziale: „So vielfältig und unterschiedlich die Kinder mit sonderpädagogischem Förderbedarf sind - so vielfältig fallen auch die Angebote und Möglichkeiten des Einsatzes der neuen Technologien aus“ (Mastenbroek, 2008, S. 11). Der Einsatz digitaler Medien im Bereich der Sonderpädagogik umfasst nach Mastenbroek drei Ziele: „Erweiterung der Lernmöglichkeiten; mehr Unabhängigkeit sowie gesellschaftliche Teilhabe; Eingliederung auf dem Arbeitsmarkt“ (ebd., S. 14). In der schulischen Sonderpädagogik lassen sich zwei Formen des Einsatzes digitaler Medien in der schulischen Sonderpädagogik differenzieren (ebd.): digitale Medien als prothetisches Hilfsmittel und digitale Medien zur pädagogischen Förderung. Prothetische Hilfsmittel helfen Auswirkungen der Beeinträchtigungen auf das schulische Lernen auszugleichen. Sie unterstützen insbesondere Kinder und Jugendliche mit Sinnesbeeinträchtigungen und Körperbeeinträchtigungen bei der Alltagsbewältigung. Diese Hilfsmittel ermöglichen im Hinblick auf Kommunikation, Mobilität und Informationsgewinnung erweiterte Handlungs- und Zugangsmöglichkeiten. Beispielsweise werden blinden Kindern und Jugendlichen Informationen mit Hilfe von Screenreadern oder Sprachausgaben auditiv zugänglich gemacht. Kinder und Jugendliche, die die Lautsprache nicht einsetzen können, können sich mit Hilfe von Sprachcomputern, sogenannten Talkern, differenziert mitteilen. Zunächst wurde in der Sonderpädagogik die Computertechnologie überwiegend als prothetisches Hilfsmittel eingesetzt. Nach und nach verbreitete sich das Bewusstsein für weitere Einsatzmöglichkeiten. So sind digitale Medien als Mittel der pädagogischen Förderung auch im Unterricht der Schülerschaft mit Förderbedarfen zur Unterstützung von Lehr- und Lernprozessen bedeutsam. Digitale Medien werden in allen sonderpädagogischen Förderschwerpunkten einbezogen, um Lernenden neue Erfahrungsmöglichkeiten und erweiterte Bildungsmöglichkeiten zu eröffnen (ebd.). Zur Förde-

rung von Schülerinnen und Schülern mit unterschiedlichen Förderbedarfen gibt es verschiedene Programme. Zu erwähnen ist, dass die Digitalisierung Menschen mit Beeinträchtigungen in zwei Gruppen trennen kann (Zentel, 2016): Einerseits in die Gruppe, die durch digitale Medien in der gesellschaftlichen Teilhabe unterstützt wird. Andererseits in die Gruppe, die durch digitale Medien verstärkt beeinträchtigt wird, da sie zunehmend mit Problemen konfrontiert werden. Im Umgang mit digitalen Medien, auch im Hinblick auf das Berufsleben, werden Schlüsselqualifikationen gefordert, welche die Möglichkeiten der Personengruppe im Förderschwerpunkt Lernen oder geistige Entwicklung oft übersteigen (ebd.). Um entsprechende Risiken für diese Schülergruppe im Umgang mit digitalen Medien zu minimieren, sind entsprechende Schlüsselqualifikationen zu fördern.

Vereinzelt finden sich Untersuchungen zu digitalen Medien im Mathematikunterricht der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen, wie nachfolgende ausgewählte Beispiele zeigen. Bonfranchi beschrieb bereits im Jahr 1992, Potenziale des Computereinsatzes für den Unterricht der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen (Bonfranchi, 1992). Walter et al. (1999) überprüften in einer Untersuchung empirisch mit Förderschülern der Klassenstufe 3 wie groß und stabil der Lerngewinn mit computergestützten Trainingsprogrammen im Vergleich zur Arbeit mit herkömmlichen Materialien ist. Dabei steht die Automatisierung arithmetischer Grundoperationen im Fokus. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen ähnliche Leistungszuwächse der beiden Gruppen. Demnach ist das Üben am Computer hinsichtlich der Automatisierung arithmetischer Grundoperationen der traditionellen Fördermethodik nicht überlegen (Walter et al., 1999). Urff (2014) untersuchte Möglichkeiten und Wirkungen von Lernsoftware auf das mathematische Lernen von Kindern mit erhöhtem Förderbedarf. Er beschreibt, dass Kinder mit Förderbedarf Lernen nicht vorrangig Übungsaufgaben abarbeiten sollen. Vielmehr ist das wesentliche Ziel digitaler und analoger Medien, die Eigenkonstruktion der Lernenden zu fordern und die Bildung effektiver mentaler Modelle zu unterstützen (ebd.). Dementsprechend sind für die Schülerschaft mit Förderbedarf Trainings- und Übungssoftware nicht besonders geeignet. In der qualitativen Studie zeigt Urff (2014, S. 320), „dass diese Kinder durch die Nutzung von Übungsprogrammen schematische Strategien vertiefen und kaum Möglichkeiten erhalten, Schwierigkeiten zu überwinden und ihr Verständnis weiter zu entwickeln“. Untersuchungen mit digitalen Medien beim Sachrechnen im Förderschwerpunkt Lernen lassen sich nicht finden.

3.3.2 Curriculare Vorgaben zu digitalen Medien im Mathematikunterricht

In diesem Kapitel werden verschiedene Lehrpläne der Bundesländer für die Unterrichtung der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen hinsichtlich der Hinweise zum Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht untersucht. Dabei werden überblicksartig zentrale Erkenntnisse aufgeführt. Nachfolgend schließt der Terminus Lehrplan die unterschiedlichen Begrifflichkeiten der Bundesländer wie Rahmenpläne oder Bildungspläne mit ein.

Prinzipiell orientiert sich der Unterricht im Förderschwerpunkt Lernen an den Lerninhalten der allgemeinen Schule (s. Kapitel 2.3). Die Lehrpläne für die Unterrichtung der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen, die von den Bundesländern verfasst und veröffentlicht werden, orientieren sich an den Bildungsstandards der KMK. Die KMK macht keine konkreten Vorschläge zum Einsatz digitaler Medien in spezifischen Unterrichtsfächern. Stets sind digitale Medien aber „entsprechend curricularer Vorgaben dem Primat des Pädagogischen folgend systematisch“ (KMK, 2017, S. 12) einzusetzen. Im *Bildungsplan Förderschule* von Baden-Württemberg wird die Thematik digitale Medien zum Lernen nutzen im Unterricht allgemein aufgeführt (Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2008). In diesem Bildungsplan werden digitale Medien als Standard in der Förderschule angesehen, aber kaum konkrete Hinweise zum Einsatz im Unterrichtsfach Mathematik gegeben. Im *Lehrplan Schule zur Lernförderung* des Bundeslandes Sachsen wird Medienkompetenz als überfachliches Ziel, der adäquate Umgang mit digitalen Medien als allgemeine Kompetenz sowie die Förderung selbstständigen Lernens durch die Nutzung Neuer Medien im Mathematiklehrplan beschrieben (Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport, 2005). Im *Thüringer Lehrplan für den Bildungsgang zur Lernförderung* wird die Entwicklung eines Kurses Medienkunde thematisiert, der auf die allgemeine Nutzung moderner und traditioneller Medien abzielt (Thüringer Kultusministerium, 2001a, b, c). Im *Lehrplan Sonderpädagogische Förderung* des Bundeslandes Schleswig-Holstein wird unter dem Aspekt Methodenkompetenz allgemein aufgeführt, dass die Schülerschaft neuere Informationstechnologien nutzen soll. Der Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht taucht nicht explizit auf. Ähnlich ist es im *Rahmenplan der allgemeinen Förderschule* des Bundeslandes Mecklenburg-Vorpommern. Allgemein wird geschrieben, dass u. a. neue Technologien das Lernen der Schülerinnen und Schüler im Förderschwerpunkt Lernen unterstützen (Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur Mecklenburg Vorpommern, o. J.). Jedoch wird der Einsatz digitaler Medien im Bereich Mathematik nicht explizit genannt. Im niedersächsischen *Plan zum Förderschwerpunkt Lernen* im Fachbereich Mathematik heißt es, dass

„Elektronische Werkzeuge und Medien (...) das mathematische Arbeiten [erweitern], indem sie spezifische Möglichkeiten zum Lösen mathematischer Probleme, zur Gewinnung mathematischer Erkenntnisse und zur Darstellung mathematischer Sachverhalte bieten“ (Niedersächsisches Kultusministerium, 2008, S. 7). Im hessischen *Lehrplan Mathematik, Schule für Lernhilfe* (2009) finden sich Hinweise, dass die Medienerziehung im Mathematikunterricht zu berücksichtigen ist. Im Rahmenplan der Bundesländer Berlin und Brandenburg, der im Jahr 2015 veröffentlicht wurde, scheint der Einbezug von digitalen Medien im Mathematikunterricht vergleichsweise verstärkt Berücksichtigung zu finden. Demnach ist Medienkompetenz auch im Unterrichtsfach Mathematik zu fördern (Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Wissenschaft Berlin & Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg, 2015). Dabei sind diverse Medien für das Lernen und Anwenden von Mathematik im Unterricht zu nutzen (ebd.). Für Lernende im Förderschwerpunkt Lernen werden in Sachsen-Anhalt in Anlehnung an die Lehrpläne der Regelschulen schuleigene Lehrpläne und individuelle Lernpläne konzipiert (Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt, o. J.). Hier ist der Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht von den einzelnen Schulen abhängig.

In einigen der aufgeführten Lehrpläne finden sich explizite Angaben zu digitalen Medien, die im Mathematikunterricht einzusetzen sind. So wird vielfach aufgeführt, dass die Schülerinnen und Schüler den Taschenrechner als technisches Element der Mathematik nutzen und im Mathematikunterricht zum adäquaten Umgang und angemessenen Einsatz des Taschenrechners befähigt werden (z. B. Hessisches Kultusministerium, 2009; Ministerium für Bildung und Kultur Saarland, 2007; Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2008; Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport, 2005a; Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Wissenschaft Berlin & Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg, 2015; Thüringer Kultusministerium, 2001c; Thüringer Kultusministerium, 2001b; Thüringer Kultusministerium, 2001a). Im Lehrplan des Bundeslandes Sachsen wird darauf hingewiesen, dass der Taschenrechner insbesondere beim Lösen von Sachaufgaben und als Kontrollinstrument als Rechenhilfsmittel genutzt wird (Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport, 2005a). Darüber hinaus wird vielfach der Computer als digitales Medium des Mathematikunterrichts im Förderschwerpunkt Lernen aufgeführt. Es geht u. a. um den angemessenen Umgang mit dem Computer (Thüringer Kultusministerium, 2001c; Thüringer Kultusministerium, 2001b; Thüringer Kultusministerium, 2001a). Zudem wird die Nutzung des Computers als digitales Medium im Mathematikunterricht zum entdeckenden Lernen, zum Üben und zur Differenzierung genannt (Ministerium für Bildung und Kultur

Saarland, 2007; Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport, 2005a). Des Weiteren sind Werkzeugprogramme des Computers wie Tabellenkalkulation zu nutzen (Ministerium für Bildung und Kultur Saarland, 2007; Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg, 2008). Im *Rahmenlehrplan* der Bundesländer Berlin und Brandenburg (2015) wird aufgeführt, dass die Lernenden eine Geometriesoftware als technisches Element der Mathematik nutzen. Der Einsatz der Digitaluhr im Rahmen des Größenbereichs Zeit wird in nahezu jedem Lehrplan beschrieben. Weitere digitale Geräte zum Mathematiklernen oder Empfehlungen für digitale Anwendungen im Mathematikunterricht werden in den Lehrplänen nicht genannt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in den Lehrplänen des Förderschwerpunkts Lernen, die überwiegend vor mehr als einem Jahrzehnt veröffentlicht wurden, insgesamt wenig konkrete Hinweise zum Einsatz digitaler Medien im Mathematikunterricht gegeben werden. Einzelne digitale Medien wie Taschenrechner, Computer oder Digitaluhr finden seit Jahren Berücksichtigung in den Lehrplänen. Auffallend ist, dass im neueren *Rahmenlehrplan* der Bundesländer Berlin und Brandenburg aus dem Jahr 2015, vermehrt konkrete Hinweise auf den Einbezug digitaler Medien im Mathematikunterricht zu finden sind. Antworten auf die Frage, wie der Einsatz im Mathematikunterricht im Förderschwerpunkt Lernen erfolgen soll, bleibt in den Lehrplänen zumeist offen. Wesentlich ist, dass digitale Medien im Mathematikunterricht des Förderschwerpunkts Lernen, vorrangig im Sinne des Primats der Fachdidaktik unter Berücksichtigung mathematikdidaktischer Prinzipien sowie didaktischer Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen eingesetzt und genutzt werden. Zukünftig ist es notwendig die Bildungsstandards und Lehrpläne für das Unterrichtsfach Mathematik u. a. im Hinblick auf den Einbezug digitaler Medien zu überarbeiten.

3.3.3 Potenziale digitaler Medien im Förderschwerpunkt Lernen

Die in Kapitel 3.2.2 beschriebenen unterrichtsorganisatorischen sowie mathematikdidaktischen Potenziale digitaler Medien gelten auch für den Mathematikunterricht im Förderschwerpunkt Lernen. Für das (Mathematik-)Lernen der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen beinhalten digitale Medien spezifische Potenziale, die sich teilweise auf andere Förderschwerpunkte übertragen lassen und nachfolgend dargestellt werden.

- Einfachheit und Konstanz

Die Bedienung digitaler Medien ist immer einfacher und zunehmend gleichbleibend geworden, was der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen entgegenkommt. Standards von Betriebssystemen oder Programmen sind nicht immer neu zu erlernen.

Interaktionselemente und Aktionen sind überwiegend konstant und können für verschiedene Systeme und Services genutzt werden (Miesenberger et al., 2012). Der Bereich der visuomotorischen Koordination ist für den Umgang mit der Computermouse als Eingabeinstrument wesentlich (Ladel, 2016b). Am Computer muss zwischen Hand, Auge und Mauszeiger koordiniert werden. Im Vergleich zu stationären Computern ist die Bedienung von Tablets oder Smartphones mit direkten Eingabemöglichkeiten über berührungssensible Oberflächen einfacher. Durch die Touch-Technologie entfallen komplizierte Transferleistungen durch die Bedienung mit Maus und Tastatur.

- Alternative Zugänge durch Multimedialität

Im Förderschwerpunkt Lernen ist es vielfach notwendig alternative Lernwege für Lernende zu finden und Inhalte in verschiedenen Darstellungen zu präsentieren. Erwartungen an digitale Medien in der sonderpädagogischen Lernförderung liegen auch in der Multimedialität (Rauh, 2007). Multimediale Medien bieten alternative Zugangsmöglichkeiten zu Lerninhalten (Ebel, 2017; Miesenberger et al., 2012). Die multimediale Darbietung von Inhalten trägt den diversen Bedürfnissen von Menschen mit Beeinträchtigungen Rechnung (Zentel, 2016). Durch multimediale Darstellungen von Informationen werden Verstehensprozesse unterstützt, da Informationen, die doppelt kodiert werden, einfacher zu erfassen sind.

- Zeit- und Ortsunabhängigkeit

Im Unterschied zum traditionellen Unterricht, der zu einer Zeit an einem Ort stattfindet, sind Informationen digitaler Medien unabhängig von Zeit und Ort zugänglich (Zentel, 2016). Digitale Medien können unabhängig von Stundenplan und Klassenraum außerunterrichtlich genutzt werden zum Üben, zur Vorbereitung oder zur Wiederholung von Lerninhalten (Miesenberger et al., 2012). Chronisch oder längerfristig kranken Schülerinnen und Schülern kann so beispielsweise ein Zugang zu Unterrichtsinhalten ermöglicht werden. Die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen benötigt auch außerhalb des schulischen Lernens, also bei der Bewältigung des Alltags, individuelle Unterstützung. Insbesondere Smartphones und Tablets eröffnen Möglichkeiten zur Unterstützung der Personengruppe mit besonderem Förderbedarf an jedem Ort und zu jeder Zeit (Zentel, 2016). Beispielsweise kann das Smartphone eingesetzt werden, um einen Weg zu navigieren oder die Preise von Lebensmitteln beim Einkaufen zu addieren. Handelsübliche universelle Geräte dienen dabei als spe-

zifisches Hilfsmittel, ohne dass dabei ein Sonderstatus oder eine Stigmatisierung vor-
dergründig sind. Digitale Medien können so zur Selbstbestimmung und Unabhängig-
keit beitragen.

- Differenzierung und Individualisierung im Unterricht

Aufgrund der Heterogenität der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen sind die Individualisierung des Lernens und Differenzierungsmaßnahmen während der Lern-
prozesse wesentlich. Potenziale digitaler Medien für das schulische Lernen und Leh-
ren liegen auch in den Möglichkeiten für die Individualisierung und die Differenzierung
der Lerninhalte (Ebel, 2017). Digitale Medien lassen sich gezielt in individuelle För-
dermaßnahmen einbinden. Allerdings beinhaltet die Bereitstellung von digitalen Me-
dien nicht per se eine Differenzierung für heterogene Schülergruppen. Teilweise be-
stehen Erwartungen an digitale Medien, dass diese sich automatisch an die individu-
ellen Lernstände und Lernbedürfnisse der Schülerinnen und Schüler anpassen und
entsprechend eine adäquate Differenzierung der Lerninhalte vornehmen. Eine ange-
messene Differenzierung gelingt jedoch nicht durch das Medium, sondern vorab und
begleitend durch die professionell ausgebildete Lehrkraft (Krauthausen, 2012).

3.4 Grundlegende Erkenntnisse des Kapitels für die Untersuchung

In nahezu allen Lebensbereichen ist eine zunehmende Digitalisierung zu beobachten.
Digitale Medien sind auch in der Lebenswelt von Kindern und Jugendlichen omnipräsent.
Im schulischen Alltag kommt dem Lehren und Lernen mit und über digitale Medien eine
wachsende Bedeutung zu. Die vorliegende Arbeit fokussiert sich darauf wie digitale
Technologien Lehr- und Lernprozesse beim Mathematiklernen im Förderschwerpunkt
Lernen unterstützen können. Digitale Medien bieten Potenziale, d. h. sich positiv auswir-
kende Gestaltungsaspekte, die bei einem angemessenen Einsatz des Mediums eine
Unterstützung mathematischer Lehr- und Lernprozessen darstellen. Digitale Medien bie-
ten unterrichtsbezogene und mathematikdidaktische Potenziale, die auch beim Sach-
rechnen ausgeschöpft werden können. Auf dem Markt existiert ein vielfältiges Angebot
an digitalen Anwendungen zur Unterstützung mathematischer Lernprozesse, bei denen
mathematikdidaktische Aspekte nicht immer Berücksichtigung finden. Digitale Anwen-
dungen zum Bearbeiten von Textaufgaben, die kognitive Belastungen der Lernenden
während des Bearbeitungsprozesses reduzieren, existieren kaum. Die Apps zielen we-

nig auf die Unterstützung des Bearbeitungsprozesses ab, sondern auf die richtige Lösung der Aufgabe. Individuell auswählbare Hilfen zur Unterstützung des Bearbeitungsprozesses, insbesondere zum Verstehen des Textes und zum Aufbau des Situationsmodells, beinhalten die Apps nicht. Basierend auf der Cognitive Load Theory nach Sweller und Kollegen bieten digitale Medien Möglichkeiten kognitive Belastung beim Verstehen von Textaufgaben zu verringern, wodurch positive Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse des Modellierungskreislaufs erzielt werden können. Die vorliegende Arbeit stellt Möglichkeiten zur Unterstützung des Verstehens von Textaufgaben durch digitale Technologien in den Mittelpunkt. Der Einsatz digitaler Medien erweitert die Bildungsmöglichkeiten für Schülerinnen und Schüler mit besonderem Förderbedarf. Die Forschung beschäftigt sich seit mehreren Jahrzehnten, wenn auch nicht sehr intensiv, mit dem Einsatz digitaler Medien in der Sonderpädagogik. Forschungsbedarf besteht im Hinblick auf den Einbezug digitaler Medien im Förderschwerpunkt Lernen zur Unterstützung bei Lehr- und Lernprozessen. Demnach sind Forschungsaufgaben der Sonderpädagogik auch die Konzeption und Analyse von Software für Lernende mit Förderbedarf. In den Lehrplänen der Bundesländer finden sich kaum konkrete Hinweise zum Einbezug digitaler Medien im Mathematikunterricht des Förderschwerpunkts Lernen. Hier werden auch keine Möglichkeiten des Einsatzes von Tablets oder Tablet Apps im Mathematikunterricht des Förderschwerpunkts Lernen aufgezeigt. Digitale Medien beinhalten für das Lernen und Lehren im Förderschwerpunkt Lernen Potenziale, die auch für das Mathematiklernen nützlich sind. Bedeutsam ist, dass digitale Medien beim Mathematiklernen unter Einbezug mathematikdidaktischer Potenziale eingesetzt werden.

4. Konzeption der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*

Wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, bieten digitale Medien Möglichkeiten mathematische Lernprozesse zu unterstützen (van den Heuvel-Panhuizen & Peltenburg, 2011). Basierend auf der dargestellten Problemlage wurde unter Einbezug relevanter Fachdisziplinen die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* konzipiert, die insbesondere beim Verstehen der Aufgabe helfen soll, wodurch auch positive Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse des Modellierungskreislaufs erzielt werden sollen. Die App wurde auf Grundlage dieser Konzeption von einer studentischen Hilfskraft der Informatik der Universität des Saarlandes programmiert. Nachfolgend werden die Ziele (s. Kapitel 4.1) sowie Gestaltung und Funktionen der Tablet App beschrieben (s. Kapitel 4.2). Zudem werden Entscheidungen zur Gestaltung der Anwendung unter Einbezug der Fachdisziplinen Mathematikdidaktik, Mediendidaktik sowie der Didaktik des Förderschwerpunkts Lernen erläutert (s. Kapitel 4.3). Darüber hinaus wird eine Analyse der digitalen Anwendung nach dem ACAT-Review-Guide vorgenommen (Etzold et al., 2018) (s. Kapitel 4.4).

4.1 Ziele

Allgemeines Ziel der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* ist die Unterstützung des Verstehensprozesses während des Bearbeitens mathematischer Textaufgaben. Insbesondere soll die Bewältigung des ersten Teilprozesses des Modellierungskreislaufs, das Verstehen der Textaufgabe mit anschließendem Aufbau des Situationsmodells, begünstigt werden. Dadurch können positive Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse entstehen. Wenn die Aufgabenlösenden aus unterschiedlichsten Gründen Schwierigkeiten mit dem Verstehen der Aufgabe haben, werden hierfür viele Ressourcen benötigt. Nach der Cognitive Load Theory beinhaltet die App *Textaufgaben Verstehen* Hilfen, die darauf abzielen die kognitive Belastung während des ersten Teilprozesses zu reduzieren, indem Tätigkeiten, die dem Verstehen der Aufgabe dienen, an das digitale Medium ausgelagert werden. Die zentrale Gemeinsamkeit der Hilfen ist, dass diese das Verstehen der Textaufgabe unterstützen (s. Abbildung 4.1). Jedoch ist die Art der Hilfe unterschiedlich. Die Hilfen der App (s. Kapitel 4.2.2) lassen sich den übergeordneten Aspekten Strategien zur Texterschließung, auditive Präsentation, intermodaler Transfer und Sprache zuordnen.

- Strategien zur Texterschließung

Texterschließungsstrategien, die der Leser während des Lesens anwendet, können beim Verstehen eines Textes unterstützen. Das Leseverstehen der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen ist häufig schlechter, weil ihnen das strategische Lesen Probleme bereitet und es ihnen schwerfällt, das Verstehen während des Lesens zu kontrollieren (Graham & Bellert, 2008). Es ist herausfordernd für diese Schülerschaft während des Lesens Texterschließungsstrategien auf flexible und angemessene Weise aktiv und effizient anzuwenden (ebd.). Geeignete Strategien zur Texterschließung einer Textaufgabe, welche die App als Tipps beinhaltet, leiten die Aufgabenlösenden zur strategischen Texterschließung an. Langfristig sollten die Texterschließungsstrategien verinnerlicht und während der Bearbeitung anderer Textaufgaben angewendet werden.

- **Auditive Präsentation**

In ersten Erprobungen haben sich Hinweise ergeben, dass die auditive Unterstützung bei Textaufgaben eine förderliche Wirkung auf das Erfassen des Sinns einer Textaufgabe und den Aufbau des Situationsmodells haben kann (Rink, 2014a; Rink & Walter, 2019). Mit der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* kann die Textaufgabe als verbal-symbolische Repräsentationsform in gesprochener Sprache über den Lautsprecher wiedergegeben werden. Textbasierte Informationen werden während der Aufgabebearbeitung so auditiv zugänglich gemacht. Durch die auditive Präsentation wird der Zugang über die Sinnesmodalität Hören hergestellt. Die Übertragung der Schriftsprache in die gesprochene Sprache stellt einen intramodalen Transfer innerhalb der verbal-symbolischen Repräsentationsform dar. Schwierigkeiten der Aufgabenlösenden in Bezug auf basale Lesefertigkeiten werden so unterstützt.

- **Intermodaler Transfer**

Der intermodale Transfer unterstützt mathematische Lernprozesse (s. Kapitel 2.2.6; 2.3.4; 3.2.2). Es ergeben sich Hinweise, dass Animationen zu problemhaltigen Textaufgaben den Aufbau des Situationsmodells beim Bearbeiten der Textaufgaben unterstützen können (Rink & Walter, 2019). Die App *Textaufgaben Verstehen* bietet die Möglichkeit der visuellen Unterstützung durch Videos als ikonische Darstellung der mathematischen Textaufgabe und unterstützt somit den intermodalen Transfer der Aufgabe von der symbolischen Repräsentation zur ikonischen Repräsentation.

- **Sprache**

Die sprachlichen Anforderungen beim Verstehen einer Textaufgabe können eine besondere Hürde darstellen, vor allem für Schülerinnen und Schüler, deren Muttersprache nicht Deutsch ist (Scherer & Moser Opitz, 2010). Eine erste Grundvoraussetzung

zum Bearbeiten von Textaufgaben ist das Verständnis der entsprechenden Sprache. Teilweise verstehen die Lernenden die Textaufgabe nicht, weil ihr Wortschatz der deutschen Sprache eingeschränkt ist. Dies kann zu Belastungen führen, sodass die Lernenden zu viele Ressourcen für das Verstehen verwenden. In diesem Fall ist eine Möglichkeit zur Aufgabenvariation, die der Vereinfachung des Textes dient, die Übersetzung des Textes in die Muttersprache.

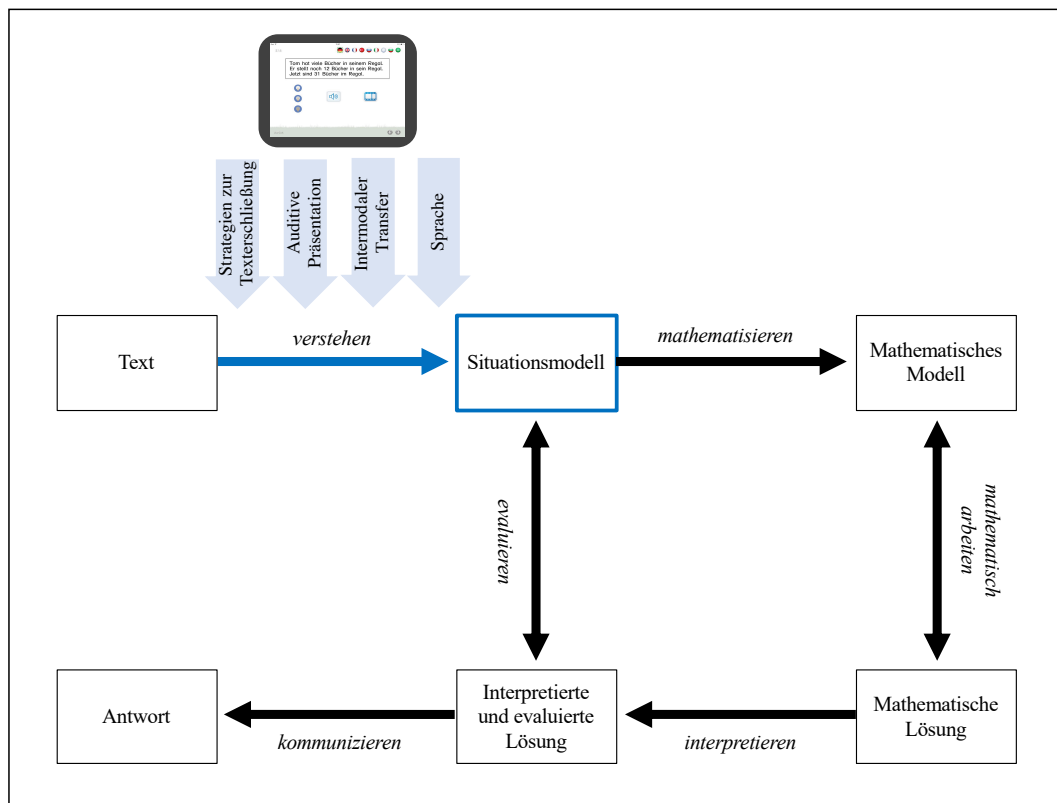


Abbildung 4.1: Unterstützung des Verstehens durch die App Textaufgaben Verstehen
(Quellen: eigene Darstellung in Anlehnung an Walter & Rink, 2020, S. 235; Rellensmann, 2019, S. 9)

4.2 Gestaltung und Funktionen

4.2.1 Start und Aufgabenauswahl

Nach dem Öffnen der digitalen Anwendung erscheint eine Startseite mit dem Schriftzug *Textaufgaben Verstehen* im Zentrum (s. Abbildung 4.2). Durch Berühren des Schriftzugs mit den Fingern erscheint die Aufgabenauswahlseite. Über die Leiste am unteren Bildschirmrand besteht die Möglichkeit über *Credits* zu Autor- und Herstellerangaben zu wechseln oder über *Daten aktualisieren* eine Aktualisierung der Aufgaben vorzunehmen.



Abbildung 4.2: Start der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

Auf der Aufgabenauswahlseite erscheinen quadratische Felder, die mit Zahlen gekennzeichnet sind (s. Abbildung 4.3). Durch Berühren eines Feldes öffnet sich die entsprechende Aufgabe. Über *Zurück* in der Leiste am unteren Bildschirmrand gelangt man zum Startbildschirm.

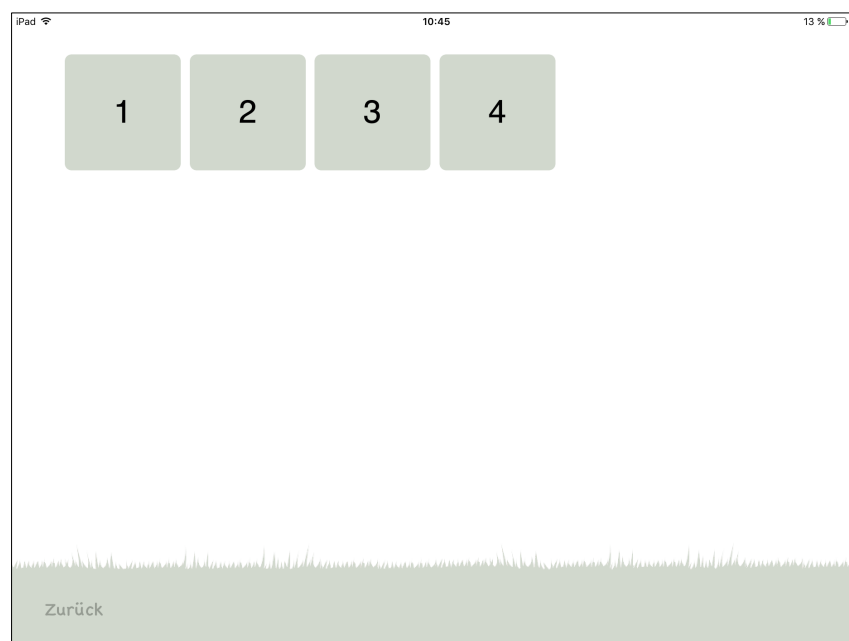


Abbildung 4.3: Aufgabenauswahl der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

4.2.2 Textaufgabe und Hilfen

Der Bildschirm der Aufgabenseite unterteilt sich in den Kennzeichnungsbereich am oberen Bildschirmrand, den Lernbereich im Zentrum des Bildschirms sowie den Steuerungsbereich am unteren Bildschirmrand (s. Abbildung 4.4). Der Kennzeichnungsbereich informiert mit Hilfe der Nummerierung über die aktuelle Nummer der Aufgabe. Diese visuelle Information über den Bearbeitungsstand unterstützt ein zielorientiertes und effektives Arbeiten der Kinder (Ladel, 2009). Zudem ist im Kennzeichnungsbereich die ausgewählte Sprache ersichtlich. Im Lernbereich werden die Textaufgabe in Textform sowie die Schaltflächen zur Auswahl der Tipps, des Tons und des Videos präsentiert. Über den Steuerungsbereich in der unteren Leiste kann zur Aufgabenauswahlseite sowie durch Auswählen der Pfeiltasten kann zur vorherigen oder zur nachfolgenden Aufgabe gewechselt werden. Die Steuerelemente sind überwiegend in waagerechter Linie angeordnet, was der Leserichtung entspricht. Bei der Positionierung der Schaltflächen und Steuerungselemente wurde berücksichtigt, dass das Absuchen visueller Elemente im westlichen Kulturkreis in der Regel entsprechend der Leserichtung am oberen linken Teil des Bildes beginnt. Die Gestaltung des Bildschirms ist gleichbleibend. Die Icons sind bei allen Aufgaben räumlich konstant positioniert.

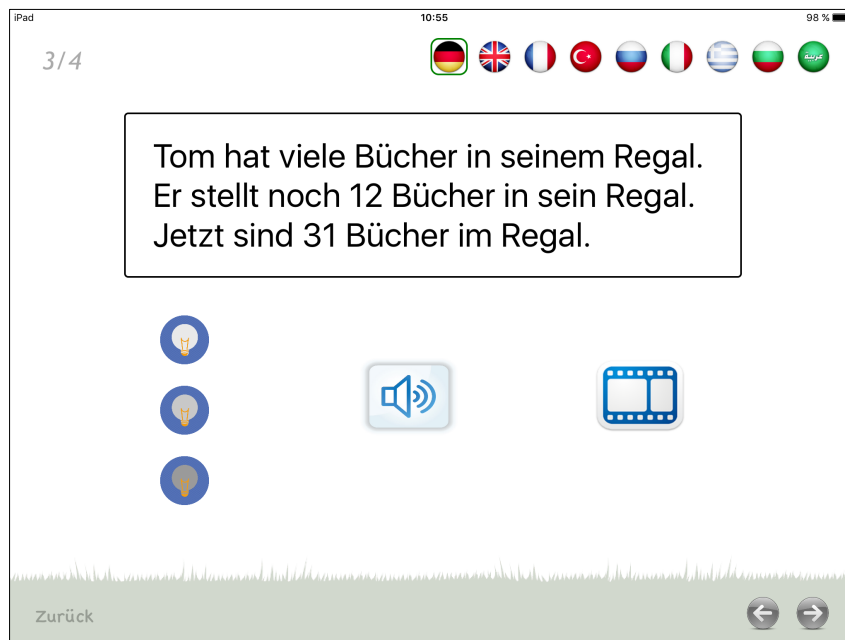


Abbildung 4.4: Aufgaben der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

Zentral in der oberen Hälfte des Bildschirms wird die Textaufgabe als Text (verbal-symbolisch) präsentiert (s. Abbildung 4.4). Der Text ist durch einen Rahmen hervorgehoben.

Als Schriftart wird eine einfache Druckschrift genutzt. Da die Druckschrift zum Erlernen des Erstschreibens und Erstlesens verwendet wird, ist sie den Kindern bekannt. Um den Fokus auf die inhaltliche Auseinandersetzung mit der Textaufgabe aufrechtzuerhalten, ist die Gestaltung der App optisch übersichtlich, reizreduzierend und ablenkungsarm. Die Farbgestaltung ist dezent und es werden keine Gimmicks verwendet. Die App wird über Touch-Bedienung mit den Fingern gesteuert. Die Hilfen der App sind unabhängig voneinander auswählbar und können individuell und beliebig oft ausgewählt werden. Die App beinhaltet folgende Hilfen, die vorrangig darauf abzielen, die kognitive Belastung beim Verstehen der Textaufgabe zu verringern und den Aufbau des Situationsmodells zu unterstützen:

- Tipps zur Texterschließung

Links unter dem Text sind vertikal untereinander drei Glühbirnen angeordnet. Jede der Glühbirnen beinhaltet als Tipp eine Strategie zur Texterschließung (s. Kapitel 2.2.6). Die Tipps zur Texterschließung sollen die Kinder zur strategischen Texterschließung anleiten. Aufgrund der häufig mangelnden Lesekompetenz im Förderschwerpunkt Lernen (s. Kapitel 2.2.4) sowie dem besseren Lernerfolg durch gesprochene Sprache (s. Kapitel 4.3) werden die Tipps zur Texterschließung nach dem Auswählen der entsprechenden Schaltfläche als verbal-symbolische Repräsentation auditiv präsentiert. Sie sind als Aufforderung im Imperativ formuliert. Der erste Tipp ‚Lies den Text dreimal‘ geht auf die Strategie „Mehrmales Lesen des Textes“ zurück (Erichson, 1993). Das wiederholte Lesen unterstützt das Verstehen des Textes, wobei jeder Durchgang vordergründig ein anderes Ziel haben kann. Der zweite Tipp zur Texterschließung ‚Schreibe wichtige Informationen aus dem Text‘ zielt darauf ab, während des Lesens oder nach dem Lesen wesentliche Informationen zu markieren (Bongartz & Verboom, 2007). So werden relevante Informationen für die Bearbeitung der Aufgabe entnommen und der Text auf das Wesentliche reduziert. Der letzte Tipp ‚Erzähle den Text in deinen eigenen Worten‘ geht auf die Strategie Nacherzählen zurück (ebd.). Diese kompetenzorientierte Strategie wird nach dem Lesen angewendet und zielt darauf ab, dass der verstandene Inhalt der Textaufgabe verbal-symbolisch mit eigenen Worten in der Sprache des Verstehens zusammenfassend wiedergegeben wird.

- Ton

In der Mitte unter der Textaufgabe befindet sich die Schaltfläche, auf der ein Lautsprecher abgebildet ist. Die Tablet App bietet als auditive Unterstützung die Möglich-

keit des Anhörens der Textaufgabe. Die auditive Präsentation soll externen Belastungen entgegenwirken, die insbesondere mit dem verstehenden Lesen des Textes zusammenhängen. Nach der Auswahl der Schaltfläche wird die Textaufgabe vorgelesen. Um eine Überlastung durch Anregung der visuellen und auditiven Eingangskanäle zu vermeiden (Mayer, 2021), erscheint während des Anhörens der Textaufgabe ein schwarzes Feld. Die Aufmerksamkeit wird somit auf den auditiven Sinneskanal gelenkt. Die Tonaufnahme kann jederzeit von den Aufgabenlösenden gestoppt, pausiert, vorgespult, zurückgespult sowie weiter angehört werden (s. Abbildung 4.5).

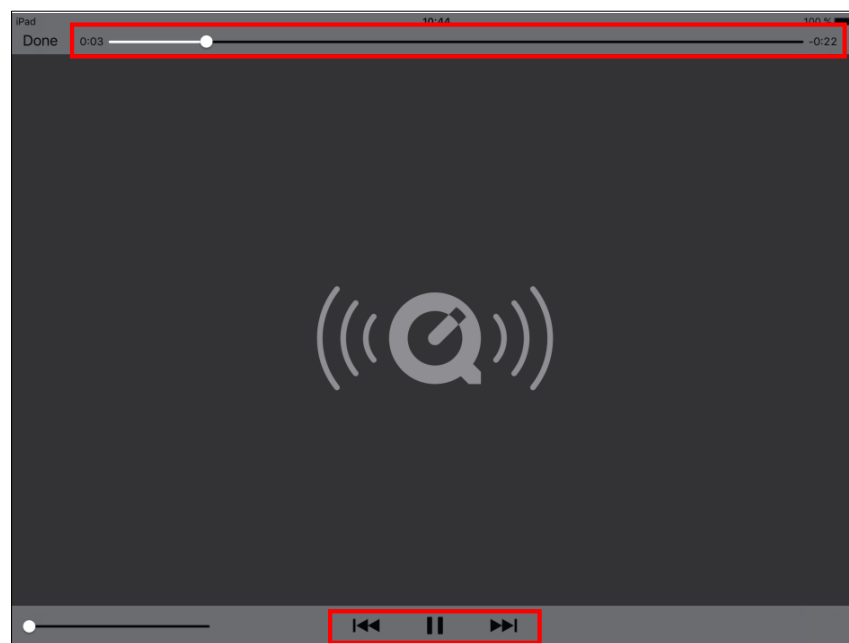


Abbildung 4.5: Ton der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

- Video

Als Hilfe zum intermodalen Transfer von der symbolischen zur ikonischen Darstellung beinhaltet die App ein Video als dynamische analog-ikonische Darstellung der Sachsituation der Textaufgabe. Durch Auswählen der Schaltfläche Video, welche sich rechts unterhalb des Textes befindet, kann ein kurzes Video zur Sachsituation der Textaufgabe angeschaut werden. Wie die Textaufgabe wird das Video über den visuellen Sinneskanal der Aufgabenlösenden aufgenommen (gleiche Modalität), jedoch nicht als Text, sondern in Form bewegter Bilder (unterschiedliche Kodalität) präsentiert. Die Videos sind einfach und ohne ablenkende Elemente gestaltet und enthalten keine Hinweise auf den mathematischen Lösungsweg oder die mathematische

Lösung. Um eine Überlastung durch Anregung der visuellen und auditiven Eingangskanäle zu vermeiden, sind die Videos ohne Ton gestaltet (Mayer, 2021). Die Wiedergabe der Videoaufnahme kann pausiert, vorgespult, zurückgespult sowie weiter angehört werden (s. Abbildung 4.6).



Abbildung 4.6: Video der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

- Muttersprache

Als sprachliche Unterstützung können Kinder mit nichtdeutscher Muttersprache mit der App ihre Muttersprache auswählen: englisch, französisch, türkisch, russisch, italienisch, griechisch, bulgarisch, arabisch. Im oberen rechten Bild befinden sich Symbole unterschiedlicher Nationalflaggen, welche die entsprechende Landessprache repräsentieren. Durch das Auswählen einer Flagge werden alle schriftsprachlich und mündlich dargebotenen Inhalte in der ausgewählten Sprache präsentiert (s. Abbildung 4.7). So können sprachliche Inhalte in der entsprechenden Sprache gelesen oder angehört werden.

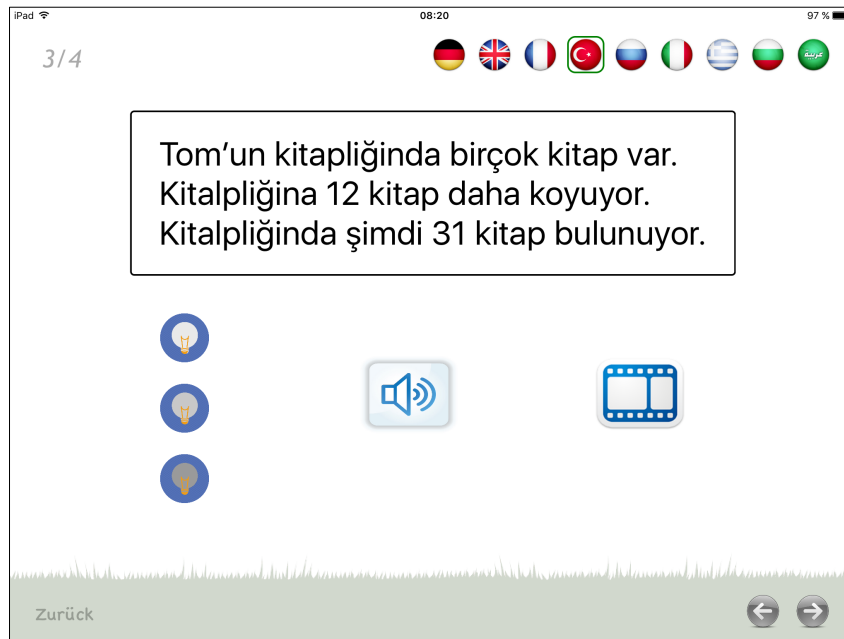


Abbildung 4.7: Muttersprache türkisch der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

Die Lösungsschritte der Textaufgabe können die Lernenden auf einem Blatt dokumentieren. So können individuelle Bearbeitungswege und Dokumentationsformen gewählt werden. Ein Feedback durch die App erhalten die Aufgabenlösenden nicht. Urff (2014) stellt in einer Untersuchung mit Kindern mit Förderbedarf heraus, dass Rückmeldungen maßgeblich den Lern- und Interaktionsprozess zwischen Lernenden und Computerprogrammen bestimmen. So können Rückmeldefunktionen der Software genutzt werden, um Lösungen durchzuprobieren, wobei kein adäquates Verständnis entwickelt wird. Zudem beeinflussen Rückmeldungen die emotionale Befindlichkeit der Lernenden. Kinder mit hohem Unterstützungsbedarf reagieren aufgrund ihres oft geringen Selbstvertrauens in die eigenen Fähigkeiten besonders sensibel auf Ergebnissrückmeldungen. Aufgabenlösende mit anhaltenden Schwierigkeiten und nach mehrmaligen negativen Rückmeldungen beendeten oder wechselten die Aufgabe häufig frühzeitig.

4.3 Einbezug relevanter Fachdisziplinen

Bei der Konzeption digitaler Anwendungen zum Mathematiklernen im Förderschwerpunkt Lernen sind verschiedene Fachdisziplinen einzuschließen. Im Sinne des Primat der Didaktik steht die Mathematik und ihre Didaktik im Mittelpunkt (Krauthausen, 2012). Zunächst wird aus Sicht des Lernens und Lehrens von Mathematik gedacht. Zudem sind besondere Aspekte der Zielgruppe bei der Konzeption der Anwendung einzubeziehen.

Da die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen im Rahmen der Untersuchung fokussiert wird, werden fachrichtungsspezifische Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen einbezogen. Darüber hinaus sind mediendidaktische Potenziale digitaler Medien bei der Konzeption digitaler Anwendungen zu berücksichtigen. Designentscheidungen der App werden demzufolge nachfolgend mit mathematikdidaktischen Potenzialen, didaktischen Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen sowie Prinzipien zur Gestaltung des multimedialen Lernens begründet (s. Abbildung 4.8).

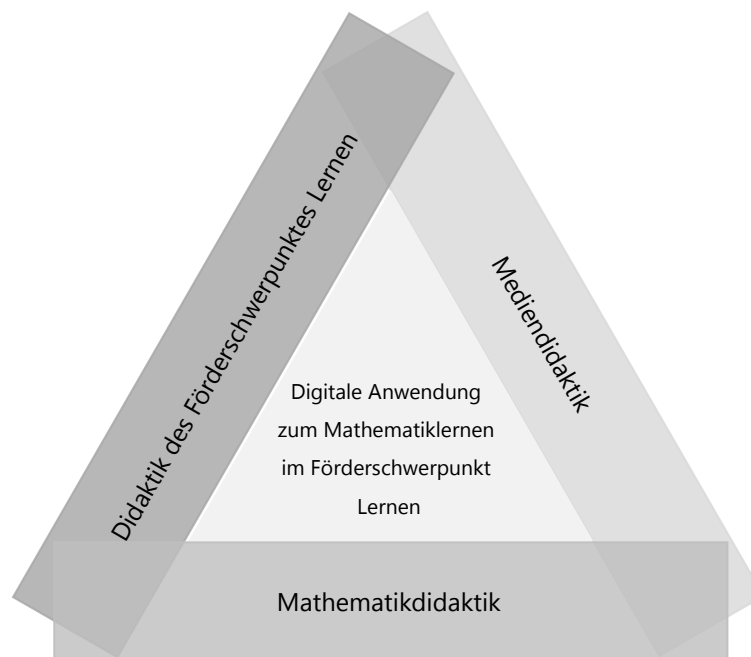


Abbildung 4.8: Bezugsdisziplinen digitaler Anwendungen zum Mathematiklernen im Förderschwerpunkt Lernen
(Quelle: eigene Darstellung)

4.3.1 Mathematikdidaktik

Bei der Konzeption der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* fanden mathematikdidaktische Potenziale Berücksichtigung (s. Kapitel 3.2.2). Alle Hilfen der App zielen auf eine *kognitive Entlastung* während des Verstehens der Textaufgabe ab. Verschiedene Repräsentationsformen zur Darstellung mathematischer Sachverhalte sind förderlich für das Verstehen mathematischer Zusammenhänge und können auch mit digitalen Medien dargestellt werden (Ladel, 2009). Die Tablet App präsentiert *multiple externe Repräsentationen* der Textaufgabe. Die Anwendung beinhaltet die Funktion, dass die Textaufgabe jederzeit als *auditive Präsentation* verbal-symbolisch über den Lautsprecher wiederge-

geben werden kann. Als dynamische analog-ikonische Darstellung wird die Sachsituation der Textaufgabe als *Video* präsentiert. Im Video wird die Sachsituation einfach und authentisch dargestellt. Um Schwierigkeiten der Kinder zu vermeiden, sollte die Positionierung der externen Repräsentationen auf dem Bildschirm gleich bleiben (ebd.). Aus diesem Grund ist bei der App *Textaufgaben Verstehen* die Anordnung der Schaltflächen zu den unterschiedlichen Repräsentationsformen räumlich konstant. Die App stellt identische Inhalte in verschiedenen Repräsentationsformen dar, denn es ist individuell von den Lernenden abhängig, welche Informationen redundant sind und welche nicht (ebd.). Je nach Bedarf können die Lernenden selbstgesteuert zwischen den Repräsentationsformen der Textaufgabe wechseln, indem sie die entsprechende Schaltfläche der App auswählen (ebd.). So entscheiden die Kinder, wann welche Repräsentationsform genutzt wird. Durch einen automatischen Wechsel der Repräsentationsformen durch die Software würde diese Entscheidungsfreiheit und Verantwortung genommen werden.

4.3.2 Förderschwerpunkt Lernen

Da in der vorliegenden Untersuchung die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen im Fokus steht, werden bei der Konzeption der App *Textaufgaben Verstehen* didaktische Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen berücksichtigt (s. Kapitel 2.3). Entsprechend des Prinzips *Strukturierung* ist die Oberfläche der Anwendung übersichtlich und räumlich konstant strukturiert sowie ablenkungsarm gestaltet (Werning & Lütje-Klose, 2016). Neben der Textaufgabe sind unterschiedliche Schaltflächen zu sehen, die individuell ausgewählt werden können. Die Textaufgaben sowie die Tipps zur Texterschließung werden in Anlehnung an das curriculare Prinzip *Sprache des Schülers* in einfacher Sprache mit alltäglichem Wortschatz und simpler Syntax formuliert (Wember, 2016). Zudem werden die Textaufgaben in einfacher Druckschrift, übersichtlicher Gliederung und in der Muttersprache der Lernenden dargeboten. Die Darstellung der Textaufgabe als Tonaufnahme, als Video und in der Muttersprache kann die geistige aktive Auseinandersetzung mit dem konkreten Problem der Textaufgabe unterstützen (*aktives Lernen*) (ebd.). Die Tipps zur Texterschließung geben Anleitung zu zielgerichteten Tätigkeiten, die das Verstehen der Aufgabe unterstützen (*handelndes Lernen*) (ebd.). Im Sinne der *Individualisierung* (Schröder, 2005; Werning & Lütje-Klose, 2016) und *Entwicklungsgemäße Sequenzierung von Unterrichtsinhalten und Lehrzielen* (Wember, 2016) sind alle Hilfen jederzeit von den Lernenden auswählbar. Die beliebige Wiederholbarkeit der Hilfen begünstigt den individuellen Bearbeitungsprozess. Die App bietet Möglichkeiten Sachrechnenkompetenz angepasst an individuellen Lernständen zu entwickeln. Eng verknüpft

damit ist das Prinzip *Zielorientierung* (Heimlich, 2007). Im Sinne des Prinzips *Lernen mit allen Sinnen* ist die digitale Anwendung multisensorisch ausgelegt (Heimlich, 2007). Da neben dem Sinneskanal Sehen der Sinneskanal Hören angesprochen wird, werden Inhalte über unterschiedliche Modalitäten präsentiert. Zudem werden unterschiedliche Kodierungsformen der Textaufgabe, wie gesprochene Sprache, geschriebener Text oder Video genutzt. Durch die multimediale Darbietung werden unterschiedliche Zugangswege zur Aufgabe geschaffen (Ebel, 2017; Miesenberger et al., 2012; Rauh, 2007). Die App *Textaufgaben Verstehen* beinhaltet diverse Textaufgaben. Durch das Bearbeiten verschiedener Textaufgaben wird der Umgang mit variierenden Textaufgaben gefördert, was dem methodischen Prinzip *Operative Übung* entspricht (Wember, 2016).

4.3.3 Mediendidaktik

Mayer (2005, 2009, 2014, 2021) formuliert Gestaltungsprinzipien zum Aufbau von multimedialen Lernmaterialien, die auf seiner Theorie des multimedialen Lernens basieren und kognitive Belastungen reduzieren. Von diesen Prinzipien profitiert besonders die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen: „Design effects are stronger for low-knowledge learners than for high knowledge learners, and for high-spatial learners rather than for low-spatial learners“ (Mayer, 2001, S. 161). Prinzipien, die bei der Konzeption der App berücksichtigt wurden, werden nachfolgend aufgeführt. Überflüssige Informationen können sich nach dem *coherence principle* störend auf das Lernen auswirken und zu einer Hemmung des Lerneffekts führen: „People learn better when extraneous material is excluded rather than included“ (ebd., S. 143). Die App präsentiert ausschließlich Informationen, die für die Bearbeitung der Textaufgabe relevant sind. Aufgabenirrelevante Wörter, Soundeffekte oder Bilder beinhaltet die Anwendung nicht. Nach dem *multimedia principle* erzeugt die Darstellung von Texten (symbolische Darstellung) und dazugehörigen Bildern (ikonische Darstellung) ein tieferes Verständnis als die Präsentation der Aufgabe ausschließlich als Text: „People learn better from words and pictures than from words alone“ (ebd., S. 117). Dementsprechend wird die Textaufgabe auch in Form von bewegten Bildern als Video präsentiert. Die Verarbeitung und Speicherung von Informationen wird durch die kombinierte Darbietung von Informationen über unterschiedliche Sinnesmodalitäten begünstigt (Schaumburg, 2017). Das *generative activity principle* besagt „People learn better when they are guided in carrying out generative learning activities during learning“ (Mayer, 2021, S. 370). In Anlehnung daran sollen die Lernenden durch die Tipps zur Texterschließung, die in Imperativform formuliert sind, an das Ausführen von Strategien zur Texterschließung angeleitet werden. Nach dem *modality*

principle sollen der auditive sowie der visuelle Sinneskanal zur Informationsverarbeitung angesprochen werden, da die Präsentation von Bildern und geschriebenem Text den visuellen Sinneskanal überlasten kann (ebd., 2021). Dementsprechend werden unterschiedliche visuelle Inhalte, wie der geschriebene Text und das Video, nicht gleichzeitig präsentiert. Die gleichzeitige Aufnahme von visuellen und auditiven Komponenten beansprucht viele Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses. Um eine Überlastung der visuellen und auditiven Eingangskanäle zu vermeiden, bietet die App *Textaufgaben Verstehen* Inhalte entweder visuell oder auditiv. Das *voice principle* fordert, dass bei digitalen Lernanwendungen menschliche Stimmen besser von den Lernenden angenommen werden und computergenerierten Stimmen vorzuziehen sind: „People learn better from multimedia presentations when words are spoken in an appealing human voice“ (Mayer, 2021, S. 322). Dementsprechend werden in der App *Textaufgaben Verstehen* Tonaufnahmen einer authentischen menschlichen Stimme verwendet. Das *personalization principle* besagt „People learn better from multimedia presentations when words are in a conversational style rather than a formal style“ (ebd., 305). In Anlehnung an dieses Prinzip werden ein einfacher Sprachstil und keine komplexen Formulierungen der Textaufgaben verwendet. Die Tipps zur Texterschließung werden im Imperativ als Aufforderung formuliert und sprechen die Kinder direkt mit *Du* an. Nach dem *segmenting principle* wird ein gutes Verständnis erzielt, wenn multimediale Informationen schrittweise individuell präsentiert werden und die Lernenden die Aufgaben in ihrem eigenen Lerntempo bearbeiten können: „People learn better when a multimedia message is presented in user-paced segments rather than as a continuous unit“ (ebd., 247). Die App präsentiert jede Textaufgabe einzeln und beinhaltet Hilfen, die von den Lernenden individuell und mehrfach ausgewählt werden können. Die Darstellung verschiedener Repräsentationsebenen der Textaufgabe erfolgt nicht gleichzeitig, sondern die Auswahl der Repräsentationsformen erfolgt gesteuert durch die Aufgabenlösenden. Die Lernenden haben stets genügend Zeit zur Bearbeitung der Aufgaben.

4.4 Analyse nach dem ACAT-Review-Guide

Mit dem ACAT-Review-Guide präsentieren Etzold, Kortenkamp und Ladel (2018) einen Leitfaden, welcher es ermöglicht digitale Anwendungen für den Mathematikunterricht strukturiert zu analysieren (s. Kapitel 3.2.3). Theoretische Grundlage hierfür ist das ACAT-Modell. Die App *Textaufgaben Verstehen* wird nachfolgend anhand Leitfaden des

ACAT-Review-Guides analysiert. Ergänzungen zu einigen Fragen ergeben sich durch die Untersuchung.

1. Was ist das mathematische Objekt der App?

Das mathematische Objekt der App *Textaufgaben Verstehen* sind mathematische Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt. Die App legt den Fokus auf die Unterstützung beim Verstehen der Textaufgaben, wodurch insbesondere der Aufbau des Situationsmodells und ggf. nachfolgende Prozesse des Modellierungskreislaufs begünstigt werden sollen. Die digitale Anwendung präsentiert verschiedene Hilfen, die das Verstehen der Textaufgabe unterstützen sollen: Tipps zur Texterschließung, Ton, Video, Muttersprache.

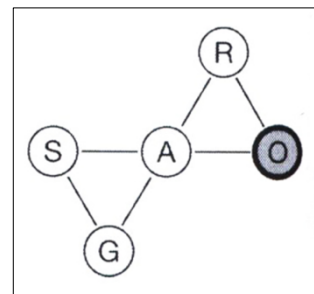


Abbildung 4.9: ACAT-Modell, Objekt (Quelle: Etzold et al., 2018, S. 92)

2. Wie interagieren Schülerinnen und Schüler mithilfe der App mit dem mathematischen Objekt?

Nach dem Öffnen der App besteht die Möglichkeit zwischen verschiedenen Textaufgaben zu wählen. Nach Auswahl einer Aufgabe, wird automatisch die Textaufgabe im Zentrum des Bildschirms in deutscher Sprache präsentiert. Die Hilfen zum Verstehen der Textaufgabe können von den Aufgabelösenden individuell ausgewählt oder nicht ausgewählt werden. Durch das Berühren der entsprechenden Schaltflächen können die Strategien zur Texterschließung angehört werden. Das Anhören der Textaufgabe als auditive Präsentation und die analog-ikonische Darstellung der mathematischen Textaufgabe als Video können ebenfalls von den Lernenden durch Touchieren der entsprechenden Schaltflächen gestartet werden. Die Präsentation der Aufgabe in einer anderen Sprache gelingt durch das Berühren der entsprechenden Flagge.

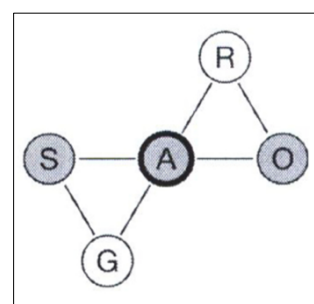


Abbildung 4.10: ACAT-Modell, Artefakt (Quelle: Etzold et al., 2018, S. 93)

3. Wie entwickelt sich die Interaktion?

Die Lernenden vollziehen im Umgang mit der App Tätigkeiten, die allgemein auf das Bearbeiten der präsentierten Textaufgabe und dabei insbesondere auf das Verstehen der Textaufgabe abzielen. Die Anwendung bietet Hilfen, die das Subjekt beim Verstehen der schriftsprachlich präsentierten Aufgabe unterstützen. Die Hilfen können individuell

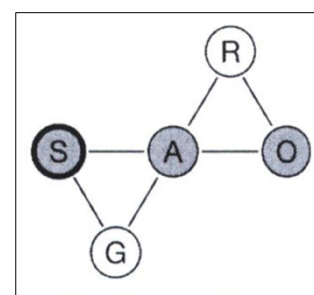


Abbildung 4.11: ACAT-Modell, Subjekt (Quelle: Etzold et al., 2018, S. 92)

auch mehrfach ausgewählt werden. Durch die Hilfen werden den Subjekten Möglichkeiten zur Unterstützung des Bearbeitungsprozesses der Textaufgabe präsentiert, die sie beim Bearbeiten anderer Textaufgaben selbstständig nutzen können. Bspw. können die Schülerinnen und Schüler die Strategien zur Texterschließung verinnerlichen und beim Bearbeiten anderer Textaufgaben anwenden. Oder die Lernenden versuchen, in Anlehnung an das Video, beim Bearbeiten anderer Textaufgaben mentale Bilder im Gedächtnis hervorzurufen.

4. Ist die App für die Vermittlung des mathematischen Objekts geeignet?

Die App soll das Bearbeiten von Textaufgaben unterstützen, insbesondere das Verstehen von Textaufgaben, und scheint somit nützlich zur Förderung der Sachrechnenkompetenz. Die Schülerinnen und Schüler sollen ihre Fähigkeiten zum Bearbeiten von Textaufgaben anwenden und erweitern. Bedeutsam ist es, diese Fähigkeiten ab der Primarstufe auszubilden und stets zu erweitern, da hierdurch Grundlagen für die Bewältigung von Aufgaben in der zukünftigen schulischen Laufbahn, in der beruflichen Bildung und im Alltag gelegt werden. Die App eröffnet neue Möglichkeiten beim Aufbau der Sachrechnenkompetenz. Sie nutzt Potenziale digitaler Medien. Bei der Konzeption der App wurden mathematikdidaktische Potenziale, mediendidaktische Prinzipien sowie didaktische Prinzipien des Förderschwerpunkts Lernen berücksichtigt (s. Kapitel 4.3).

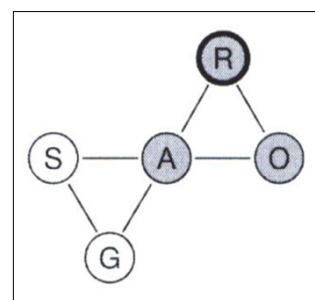


Abbildung 4.12: ACAT-Modell, Regeln (Quelle: Etzold et al., 2018, S. 95)

5. Wie kann die App in der Klassensituation verwendet werden?

Für den Einsatz der digitalen Anwendung im Mathematikunterricht ergeben sich diverse Möglichkeiten. Die App eignet sich z. B. für Übungssequenzen in Einzelarbeit, kann aber je nach Zielsetzung auch in anderen Unterrichtsphasen eingesetzt werden. Aufgrund der auditiven Inhalte ist es erforderlich, dass in Einzelarbeit Kopfhörer für die Tablets zur Verfügung stehen. Die App ermöglicht ein individuelles Arbeiten. Die Differenzierung ergibt sich daraus, dass die Nutzer Hilfen in Abhängigkeit ihrer Voraussetzungen zielgerichtet auswählen können. Zudem bietet die App die Möglichkeit Textaufgaben mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad einzufügen. Dementsprechend kann die App in einer Lerngruppe mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen in verschiedenen Klassenstufen eingesetzt werden. Im Klassenverband können Diskussionen über die Textaufgaben

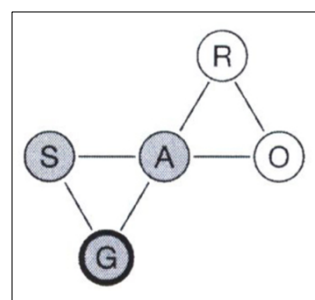


Abbildung 4.13: ACAT-Modell, Gruppe (Quelle: Etzold et al., 2018, S. 95)

geführt werden. Beim Einsatz der App im Klassenverband kann es für die Lehrkraft problematisch sein, auf die einzelnen Schülerinnen und Schüler einzugehen. Im Nachhinein ist kaum nachzuvollziehen, wie die Kinder die Aufgaben bearbeitet haben und welche Hilfen genutzt wurden.

4.5 Grundlegende Erkenntnisse des Kapitels für die Untersuchung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* konzipiert. Ziel ist es, den Bearbeitungsprozess von Textaufgaben zu unterstützen und explizit die kognitive Belastung beim Verstehen von Textaufgaben zu verringern. Die App beinhaltet neben der schriftsprachlichen Präsentation einer Textaufgabe Hilfen, die insbesondere die Bewältigung der ersten Phase des Modellierungskreislaufs, das Verstehen der Textaufgaben und den Aufbau des Situationsmodells unterstützen, wodurch positive Auswirkungen auf nachfolgende Teilprozesse entstehen können. Bei der Konzeption der digitalen Anwendungen *Textaufgaben Verstehen* wurden die Fachdisziplinen Mathematikdidaktik, Didaktik des Förderschwerpunkts Lernen sowie Mediendidaktik einbezogen.

5. Untersuchung

Im Rahmen einer empirischen Untersuchung wird die konzipierte Tablet App *Textaufgaben Verstehen* mit Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen erprobt. Im vorliegenden Kapitel werden zunächst die Ziele der Untersuchung dargelegt (s. Kapitel 5.1), die Forschungsfragen konkretisiert (s. Kapitel 5.2), die eine qualitative Forschungsmethode nahelegen. Im Anschluss werden Aspekte der Datenerhebung (s. Kapitel 5.3) sowie Methoden der Datenauswertung beschrieben (s. Kapitel 5.4). Abschließend werden Gütekriterien qualitativer Forschung thematisiert (s. Kapitel 5.5).

5.1 Ziele

Ausgangspunkt für die Untersuchung ist der Bereich Sachrechnen. In der Mathematikdidaktik werden immer wieder die besonderen Herausforderungen beim Bearbeiten von Textaufgaben herausgestellt (s. Kapitel 2). Das Bearbeiten von Textaufgaben stellt insbesondere für Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen eine enorme Herausforderung dar. Die Bewältigung des ersten Teilprozesses des Modellierungskreislaufs nach Verschaffel et al. (2000), das Verstehen, hat Auswirkungen auf alle nachfolgenden Prozesse. Bezüglich des Einsatzes digitaler Medien beim Sachrechnen finden sich kaum empirische Befunde (s. Kapitel 3). Dies gilt auch für das Bearbeiten von Textaufgaben. Mit der vorliegenden Studie werden Erkenntnisse angestrebt, die Möglichkeiten digitaler Anwendungen insbesondere zur Unterstützung des Verstehens von Textaufgaben, aufzeigen. Nach der Konzeption der App *Textaufgaben Verstehen* (s. Kapitel 4) schloss sich die Erprobung dieser an. Zielsetzung dabei war es, die Nutzung der Hilfen der Tablet App durch Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen zu analysieren. Zudem wurden Zusammenhänge zwischen der Nutzung der Hilfen und dem Bearbeitungsprozess von Textaufgaben herausgestellt. Darüber hinaus wurden die Beweggründe zur Auswahl der Hilfen sowie die subjektiven Bewertungen des aufgabenspezifischen Nutzens der Hilfen thematisiert. Das vorliegende Forschungsprojekt lässt sich den Forschungsrichtungen Entwicklungsforschung (Konzeption der Software) und Bedingungs-forschung (Nutzungsweisen bei der Verwendung digitaler Medien) zuordnen.

5.2 Forschungsfragen

Die Forschungsfragen werden im Hinblick auf Forschungslücken formuliert (Döring & Bortz, 2016). „Die Beantwortung von Forschungsfragen trägt zur Erkundung eines Sachverhalts sowie zur Generierung neuer Theorien bei“ (ebd., S. 146). Ausgehend von der Problemlage, dem aktuellen Forschungsstand und dem Ziel der vorliegenden Untersuchung leiten sich drei leitende Forschungsfragen ab, die durch untergeordnete Fragen ergänzt werden.

Forschungsfrage 1 (F 1):

Wie werden die Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?

Die erste leitende Forschungsfrage stellt die Nutzung der Hilfen der Tablet App, die das Verstehen der Textaufgabe unterstützen, in den Mittelpunkt. Zudem wird die Untersuchungsgruppe auf Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen festgelegt. Im Hinblick auf die Nutzung der Hilfen werden folgende Aspekte fokussiert: Häufigkeit der Auswahl der Hilfen, Kombination der Auswahl der Hilfen, Zeitpunkt der Auswahl der Hilfen, Reaktion nach Auswahl der Hilfen, ggf. besondere Auffälligkeiten. Durch die systematische Beschreibung der Nutzungsweisen wird die Grundlage für das Herausstellen von Zusammenhängen zwischen den Nutzungsweisen und weiteren Aspekten (F 2, F 3) gelegt. Die erste Forschungsfrage untergliedert sich in vier untergeordnete Fragen:

- Forschungsfrage 1.1 (F 1.1):
Wie werden die Tipps zur Texterschließung der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?
- Forschungsfrage 1.2 (F 1.2):
Wie wird der Ton zur Textaufgabe durch die App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?
- Forschungsfrage 1.3 (F 1.3)
Wie wird das Video zur Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?
- Forschungsfrage 1.4 (F 1.4)
Wie wird die Muttersprache der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache und Förderbedarf Lernen genutzt?

Forschungsfrage 2 (F 2):

Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen und den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs?

Die zweite leitende Forschungsfrage stellt Zusammenhänge zwischen der Nutzung der Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* (s. F 1) und den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs in den Mittelpunkt. Unter dem Aspekt Teilprozesse des Modellierungskreislaufs werden folgende Faktoren betrachtet: Lösung der einzelnen Teilprozesse des Modellierungskreislaufs, Korrektheit der gesamten Lösung, genutzte Repräsentationsformen während der Teilprozesse. Die untergeordneten Forschungsfragen fokussieren unterschiedliche Teilprozesse des Modellierungskreislaufs.

- Forschungsfrage 2.1 (F 2.1):

Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen und dem Teilprozess verstehen?

- Forschungsfrage 2.2 (F 2.2):

Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen und den Teilprozessen mathematisieren, mathematisch arbeiten, interpretieren, evaluieren und kommunizieren?

Forschungsfrage 3 (F 3):

Wie werden die Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen eingeschätzt?

Die dritte leitende Forschungsfrage stellt die Beweggründe zur Auswahl der Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen sowie deren subjektive Bewertung des aufgabenspezifischen Nutzens dieser Hilfen in den Fokus. Hieraus ergeben sich Hinweise, inwiefern die Hilfen von Lernenden als wirksam empfunden werden. Die dritte Forschungsfrage untergliedert sich in vier untergeordnete Forschungsfragen:

- Forschungsfrage 3.1 (F 3.1):

Wie wird die Wahl der Tipps zur Texterschließung der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?

- Forschungsfrage 3.2 (F 3.2):
Wie wird die Wahl des Tons zur Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?
- Forschungsfrage 3.3 (F 3.3):
Wie wird die Wahl des Videos zur Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?
- Forschungsfrage 3.4 (F 3.4):
Wie wird die Wahl der Muttersprache der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache und Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?

5.3 Datenerhebung

5.3.1 Forschungsansatz und Forschungsmethodik

Wie alle anderen Fachbereiche unterliegt die mathematikdidaktische Forschung Qualitätskriterien empirischer Forschung. Dies bezieht sich auf methodische, inhaltliche und wissenschaftstheoretische Aspekte (Brunner, 2015). In der empirischen Forschung werden qualitative und quantitative sowie eine Kombination qualitativer und quantitativer Methoden (Mixed-Methods) unterschieden. Eichler und Wittmann (2004) empfehlen qualitative Forschungsmethoden zur Forschung mit digitalen Lernmedien:

„Für ein differenziertes Verstehen von Lernprozessen und -effekten multimedialer Lernumgebungen sowie von individuellen Sinnzuschreibungen sind allein qualitative Methoden aussichtsreich. Nur sie besitzen das Potenzial, die Bedeutung von Konstruktionsprinzipien für multimediale Lernumgebung und insbesondere von einzelnen Elementen einer Lernumgebung für das individuelle Arbeiten zu erschließen“ (ebd., S. 87).

Die vorliegende Untersuchung lässt sich dem qualitativen Forschungsansatz zuordnen. Die Erhebung und Auswertung qualitativer Daten ist zumeist aufwendig (Akremi, 2014). Die qualitative Forschungsausrichtung ergibt sich aus den Forschungsfragen, die allgemein darauf abzielen die Nutzung der Hilfen der Tablet App von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen sowie die Auswirkungen der Hilfen auf den Bearbeitungsprozess zu erforschen. Die Planung der Untersuchung erfolgte auf Grundlage der Forschungsfragen. Zur Auswahl der Untersuchungspersonen wurde mit Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen ein Vortest durchgeführt (s. Kapitel 5.3.2). Es wurden leitfadengestützte Einzelinterviews geführt (s. Kapitel 5.3.3). Während der Interviews

lernten die Kinder zunächst die Funktionen der App kennen und bearbeiteten anschließend Textaufgaben mit der App. Nach der Durchführung der Interviews schloss sich die Aufbereitung sowie die Analyse des Datenmaterials an (s. Kapitel 5.4). Als zentrale Methode wird die Qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) genutzt. Zunächst wurden die Videos in Anlehnung an das Gesprächsanalytische Transkriptionssystem GAT 2 (Selting et al., 2009) transkribiert. Zur Kodierung des Datenmaterials wird die Analysesoftware MAXQDA verwendet. Der Ablauf der Untersuchung wird in den nachfolgenden Kapiteln detailliert erläutert. Das Vorgehen der Untersuchung ist der Laborforschung zuzuordnen. Die Untersuchungsbedingungen waren kontrolliert. Die Untersuchungspersonen wurden in einem vorbereiteten separaten Raum und einem Interviewleitfaden interviewt. Als Querschnittstudie wurden durch die Einzelinterviews Momentaufnahmen erhoben (Akremi, 2014) und keine Entwicklungen herausgestellt. Um eine angemessene Konzentrationsspanne der Schülerinnen und Schüler zu begünstigen, wurde mit jeder Untersuchungsperson innerhalb zwei aufeinanderfolgender Wochen zwei kurze Interviews geführt. Im Rahmen der Untersuchung wurden halbstrukturierte Einzelinterviews durchgeführt, die zu den qualitativen Interviews zählen (Döring & Bortz, 2016). Mit Hilfe von Videoaufzeichnungen wurden die Einzelinterviews aufgenommen. So konnten die gesamten Prozesse der Aufgabenbearbeitung später detailliert analysiert werden. Im Anschluss wurde das Datenmaterial nach festgelegten Regeln transkribiert. Nach der Methode der Qualitativen Inhaltsanalyse wurden die qualitativen Daten ausgewertet und mit der Software MAXQDA analysiert.

5.3.2 Stichprobe

Die Stichprobe ist wesentlich für die Ergebnisse der Untersuchung und bestimmt deren Gültigkeit und Reichweite (Lamnek, 2005). Dementsprechend ist die passende Auswahl der Untersuchungspersonen grundlegend für die Ergebnisse der Untersuchung. Nachfolgend wird dargestellt, nach welchen Kriterien und mit welcher Zielsetzung die Personen ausgesucht wurden. Ziel qualitativer Forschung ist es, Verallgemeinerungen aus den Stichprobenergebnissen zu ziehen (Akremi, 2014). Im Hinblick auf die Größe der Stichprobe bei qualitativer Forschung gibt es keine allgemeinen Vorgaben. Meist sind große Stichproben nicht erforderlich, denn eine große Bandbreite an Informationen wird bereits mit relativ wenigen aussagekräftigen Fällen erreicht. Ab einem bestimmten Punkt werden lediglich redundante Informationen erhoben (ebd.). Kriterien für die Festlegung der Stichprobengröße bei qualitativen Studien sind u. a. die Reichweite der Fragestellung, die Anzahl der untersuchten Kriterien, die Untersuchungspersonen sowie die Art

der Datenerhebung (ebd.). Ein weiteres Kriterium ist die Konvention in der Forschungsliteratur und Forschungspraxis. Für die Durchführung qualitativer Interviews schwanken die Vorschläge der Literatur in Abhängigkeit der Auswertungsmethode zwischen 5 und 60 Interviews (Mason, 2010).

Die Auswahl der Untersuchungspersonen erfolgte in der vorliegenden Untersuchung auf Grundlage des Forschungsschwerpunkts. Im Gegensatz zur konkret-inhaltlich offenen Herangehensweise wurde die Stichprobe theoriegeleitet vorab definiert (Akremi 2014). Die absichtsvolle Auswahl der Schülerinnen und Schüler fand mit der Auswahlstrategie Homogenität (Homogeneous sampling) statt (Patton, 2015). Dies bedeutet, dass sich die Untersuchungspersonen im Hinblick auf ausgewählte Kriterien ähnelten: „Select cases that are very similar to study the characteristics they have in common“ (ebd., S. 268). So nahmen an der Untersuchung Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen teil, die Textaufgaben zur Addition und Subtraktion im Zahlenraum bis 100 mit Zehnerübergang, mit unbekannter Anfangsmenge und in einfacher Sprache nicht selbstständig lösen konnten. Inhaltliche Voraussetzung war zudem, dass die arithmetischen Rechenverfahren der Addition und Subtraktion im Zahlenraum bis 100 mit Zehnerübergang bereits erarbeitet sowie vielfältig im Unterricht thematisiert und geübt wurden. Im Saarland trat in Grundschulen ab dem Schuljahr 2015/2016 und an weiterführenden allgemeinbildenden Schulen ab dem Schuljahr 2016/2017 die Inklusionsverordnung in Kraft. Demnach können Kinder und Jugendliche mit besonderen Förderbedarfen an Regelschulen in ausgewählten Unterrichtsfächern nach einem individuell angepassten Anforderungsniveau unterrichtet werden (Ministerium für Bildung und Kultur Saarland, 2015). Schülerinnen und Schüler *mit abgesenktem Anforderungsniveau* werden in den entsprechenden Unterrichtsfächern nicht nach dem Lehrplan der Regelschule unterrichtet, sondern nach einem individuell angepassten Förderplan. In der vorliegenden Untersuchung umfasst die Bezeichnung Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen sowohl Schülerinnen und Schüler mit anerkanntem sonderpädagogischen Förderbedarf als auch Kinder mit abgesenktem Anforderungsniveau in den Unterrichtsfächern Deutsch und Mathematik. Zur Auswahl der Schülerinnen und Schüler wurden saarländische Förderschulen mit dem Förderschwerpunkt Lernen sowie Regelschulen, in denen Schülerinnen und Schüler mit sonderpädagogischen und besonderen Förderbedarfen inklusiv unterrichtet werden, kontaktiert. Voraussetzung für die Teilnahme an der Untersuchung war das Einverständnis der Erziehungsberechtigten. Für den Vortest wurden zunächst in einer Erstauswahl Schülerinnen und Schüler mit besonderem Förderbedarf Lernen, die aktuell im Zahlenraum bis 100 mit Zehnerübergang mit zweistelligen Zahlen

addieren und subtrahieren, mit Hilfe der Lehrpersonen ausgewählt. Zudem ging das Leseverständnis der ausgewählten Schülerschaft nach Angabe der Lehrkräfte nicht über das Herstellen einfacher Verknüpfungen hinaus, was der Kompetenzstufe II im Lesen nach der PISA-Studie entspricht. Die vorab ausgewählten Schülerinnen und Schüler bearbeiteten selbstständig zwei Textaufgaben des Vortests, die auf Arbeitsblättern präsentiert wurden. Zur Bearbeitung hatten die Kinder so viel Zeit zur Verfügung, wie sie brauchten. Die Textaufgaben des Vortests waren im Hinblick auf die mathematische, kontextbezogene sowie sprachliche Struktur identisch zu den Aufgaben, die im Rahmen der Untersuchung bearbeitet wurden (s. Abbildung 5.1). Herausgefiltert wurden nun Schülerinnen und Schüler, denen das Verstehen der Textaufgabe sowie der Aufbau des Situationsmodells durch Vereinfachen und Strukturieren des Inhalts selbstständig nicht gelang. Die Kinder konnten die Textaufgaben des Vortests nicht sinngemäß in eigenen Worten nacherzählen und keine passende Frage zur Textaufgabe formulieren. Da die Teilprozesse des Modellierungskreislaufs aufeinander aufbauen, gestaltete sich das Durchlaufen der nachfolgenden Prozesse des Modellierungskreislaufs problematisch und fehlerhaft.

Anna kauft einige Flaschen Limo im Supermarkt. Am nächsten Tag kauft sie noch 16 Flaschen. Jetzt hat sie 34 Flaschen.	Tom hat einige Sticker. Dann gibt er Anna 16 Sticker. Jetzt hat Tom 37 Sticker.
---	---

Abbildung 5.1: Textaufgaben des Vortests
(Quelle: eigene Darstellung)

Schließlich nahmen Schülerinnen und Schüler aus fünf Schulen des Saarlandes, darunter zwei Förderschulen mit dem Förderschwerpunkt Lernen und drei Regelschulen mit inklusiven Settings, an der Untersuchung teil. Die Untersuchungspersonen waren zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen neun und zwölf Jahre alt und besuchten die Klassenstufen bzw. Lernstufen drei bis sechs. Die erste Interviewsitzung wurde mit 23 Personen durchgeführt. Mit 19 Schülerinnen und Schülern, mit denen das erste Einzelinterview geführt wurde, wurde das zweite Einzelinterview geführt. Die anderen Untersuchungspersonen konnten aufgrund von Krankheit, längerem Schulabsentismus oder sonstigen Gründen nicht am zweiten Termin teilnehmen. In die Auswertung wurden die Daten der Kinder einbezogen, die alle vier Textaufgaben bearbeiteten. Es nahmen sechs Mädchen und 13 Jungen an der Untersuchung teil. Die Anzahl der bearbeiteten Textaufgaben in den Interviewsitzungen stellte sich für die Datenauswertung als ausreichend

heraus, weil die Ergebnisse sich als redundant erwiesen. Dementsprechend wurden keine weiteren Textaufgaben einbezogen, die durch weiteren Schülerinnen und Schüler bearbeitet wurden. Für Kinder mit nichtdeutscher Muttersprache bietet die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* während der Aufgabenbearbeitung die Möglichkeit die Muttersprache auszuwählen. Insgesamt nahmen sieben Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache an der Untersuchung teil: Muttersprache bulgarisch - ein Mädchen (Schülerin 13) und ein Junge (Schüler 1), Muttersprache türkisch - zwei Mädchen (Schülerin 5, Schülerin 10) und zwei Jungen (Schüler 15, Schüler 18), Muttersprache arabisch - ein Mädchen (Schülerin 11). In die Auswertung wurden also 28 Textaufgaben einbezogen, die von Aufgabenlösenden mit nichtdeutscher Muttersprache bearbeitet wurden. Alle Untersuchungspersonen mit nichtdeutscher Muttersprache sprachen im familiären Umfeld ausschließlich ihre Muttersprache. Sie lebten seit mehreren Jahren in Deutschland und besuchten seit mindestens zwei Jahren eine deutsche Schule.

5.3.3 Datenerhebung mittels leitfadengestützter Interviews

5.3.3.1 Organisation der Interviews

Die leitfadengestützten Interviews wurden im Winter 2016/2017 durchgeführt. Um einer Überforderung der Schülerinnen und Schüler entgegenzusteuern und eine angemessene Konzentrationsspanne zu begünstigen, fanden je zwei Interviews von einer Dauer von jeweils ca. 20 Minuten an zwei Tagen innerhalb zwei aufeinanderfolgender Wochen statt. Pro Termin bearbeitete jede Untersuchungsperson jeweils zwei Textaufgaben selbstständig, die in die Auswertung einbezogen wurden. Die Textaufgabe 1 und die Textaufgabe 2 wurden in der ersten Interviewsitzung bearbeitet, die Textaufgabe 3 und die Textaufgabe 4 in der zweiten Interviewsitzung. Von jedem Kind wurden demnach vier Aufgaben in identischer Reihenfolge selbstständig bearbeitet. In die Datenauswertung wurden somit 76 Textaufgaben ($n = 76$) einbezogen. Alle Interviews wurden als persönliche, leitfadengestützte Einzelinterviews (Face-to-Face Interview) von der gleichen Interviewerin, der Verfasserin der vorliegenden Arbeit, durchgeführt. Hierdurch sollten eine kontrollierte Erhebungssituation gewährleistet und Effekte der Durchführungsleitung reduziert werden. In der Untersuchung war die Datenerhebung unter Laborbedingungen vorteilhaft. So nahmen externe Störfaktoren in Unterrichtskontexten, wie z. B. Ablenkungen durch andere Lernende, keinen Einfluss. Zudem begünstigte die Laborsituation die Beobachtbarkeit der Situation, da die Videokameras, Tablets oder die Perso-

nen gezielt positioniert werden konnten. Laborbedingungen sind ungewohnte Situationen, wodurch die natürliche Aufgabenbearbeitung durch die Schülerinnen und Schüler beeinträchtigt werden kann. Die Durchführung von Einzelinterviews ermöglichte eine persönliche Atmosphäre und die Erhebung detaillierter Daten (Döring & Bortz, 2016). Die Interviews wurden in einem Raum der Schule der Kinder, was eine vertraute Umgebung ist, durchgeführt. Die Aufgabenbearbeitung fand aus dem unterrichtlichen Kontext herausgelöst statt. Die situativen Bedingungen während des Interviews wurden für alle Interviews nahezu gleich gestaltet (s. Abbildung 5.2).

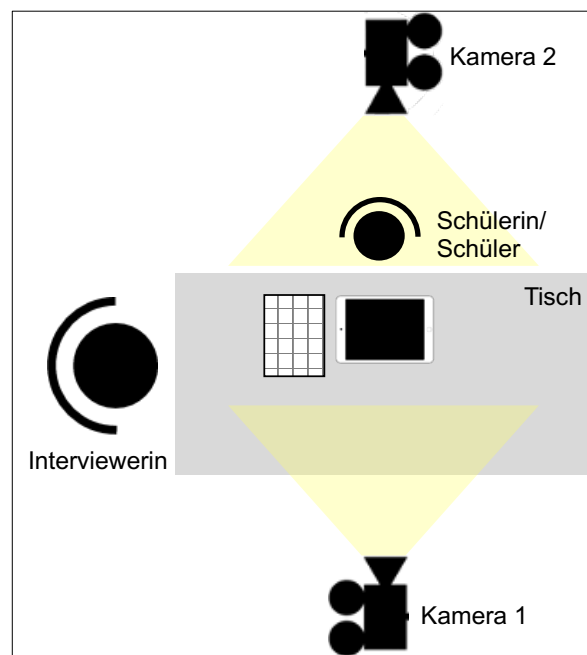


Abbildung 5.2: Draufsicht der Untersuchungssituation
(Quelle: eigene Darstellung)

In Bezug auf die Sitzordnung saßen die Interviewerin und die Untersuchungsperson über Eck (90 Grad-Anordnung). Dieses Sitzarrangement schaffte eine angenehme Nähe-Distanz-Regulation (ebd.). Vor der befragten Person lag ein Tablet. Für die Aufgabenbearbeitung standen zudem jeweils ein kariertes Blatt, ein weißes Schmierblatt und Stifte zur Verfügung. Die Untersuchungsleiterin hatte den Leitfaden des Interviews in der Hand. Die Interviews wurden aus zwei Perspektiven videografiert. Eine Kamera war frontal auf die Untersuchungsperson gerichtet, wodurch alle Tätigkeiten sowie verbale Äußerungen im Nachhinein nachvollzogen werden konnten. Eine zweite Kamera war seitlich hinter der Person positioniert und auf den Arbeitsplatz des Kindes, d. h. auf den Bildschirm des Tablets und die Blätter zur Darstellung des Lösungsweges als externe Repräsentation gerichtet. Hierdurch konnten alle Aktionen am Tablet sowie die Notizen auf dem Blatt

nachvollzogen werden. Neben den Interviewtranskripten waren die Videos grundlegendes Datenmaterial für die Auswertung der Untersuchung.

Während des Interviews gab der Interview-Leitfaden der Untersuchungsleiterin die Inhalte sowie die Reihenfolge der Fragen vor (ebd.). Potenziale von leitfadengestützten Interviews liegen darin, dass die Fragen sowie die Abfolge strukturiert sind und die Vergleichbarkeit hoch ist. Zur Schaffung einer angenehmen Atmosphäre wurden die Untersuchungspersonen vorab informiert, dass die Daten anonym und vertraulich behandelt werden. Der Ablauf des Interviews wurde durch Fragen in festgelegter Reihenfolge gesteuert, wobei die Bearbeitung der Textaufgaben während des Interviews stattfand. Der Interviewleitfaden beinhaltete einfache, kurze und relevante Sätze und Fragen, wobei überflüssige und nicht eindeutige Fragen vermieden wurden. Die Fragen waren in einfacher Alltagssprache formuliert. Pro Frage wurde ein Inhalt thematisiert. Die überwiegend offene Formulierung der Fragen ermöglichte, dass die Gesprächspartner frei in den Antworten waren. Durch die leitfadengestützten Interviews sollte zudem ein Zugang zu internen Prozessen geschaffen werden, um Informationen über das Denken der Kinder zu erhalten. Interne Repräsentationen, wie mentale Modelle oder Bilder zur Textaufgabe, die die Aufgabenlösenden konstruieren, können nicht direkt beobachtet werden, sondern nur über Externalisierung mehr oder weniger gut und vollständig ermittelt werden (Hohn, 2012). Hierzu ist es notwendig, dass die Untersuchungsperson ihre Gedanken und Ideen in Worte fasst (ebd.). Von Beginn des Interviews an wurde eine angemessene, aufgabenorientierte Gesprächsatmosphäre hergestellt, in der das Kind stets ermutigt wurde, seine Denkwege und Lösungswege zu erläutern. Während der Aufgabenbearbeitung wurden die Schülerinnen und Schüler nicht konsequent zum lauten Denken aufgefordert, weil die Bearbeitung der Textaufgaben einer Unterrichtssituation nah kommen sollte, die Kinder mit dem lauten Denken nicht vertraut waren und das permanente Verbalisieren für die Schülerschaft eine zusätzliche kognitive Belastung darstellen kann. Beim Verbalisieren der Gedanken und der Ideen der Lernenden ist zu beachten, dass „das kindliche Denken (...) häufig mehr (leistet), als die kindliche Sprache zu leisten imstande ist“ (Rasch, 2001, S. 21).

5.3.3.2 Ablauf der Interviews

Da die Erhebung darauf abzielt, Aussagen zu den Forschungsfragen treffen zu können, orientierte sich der Leitfaden inhaltlich an den Forschungsfragen. Die Struktur des Interviewleitfadens wird nachfolgend überblicksartig dargestellt. Die Interviewleitfäden für das 1. und das 2. Interview sind nahezu identisch.

- Begrüßung mit Kennenlernen bzw. Wiederholung der Funktionsweisen der App
Da in jedem Interview anfänglich eine angenehme Gesprächsatmosphäre geschaffen werden sollte, wurden von der Interviewerin zur Intervieweröffnung einige motivierende und einleitende Worte gesagt. Im Anschluss daran wurden die Funktionsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* erklärt (1. Interviewsitzung) oder wiederholt (2. Interviewsitzung). Hierbei wurden Textaufgaben allgemein sowie alle möglichen Hilfen thematisiert. Die Schülerinnen und Schüler konnten die Funktionsweisen der digitalen Anwendung beliebig ausprobieren, indem sie eine Textaufgabe mit Hilfe der App bearbeiteten, die nicht in die Auswertung einbezogen wurde. Die Textaufgaben zum Kennenlernen der App unterschieden sich in den Anforderungen von den zu bearbeitenden Aufgaben der Untersuchung. Um Effekte auf nachfolgende Bearbeitungsprozesse zu vermeiden und das Ausprobieren der Funktionsweisen der App zu fokussieren, wurden dafür Textaufgaben mit geringen sprachlichen, kontextbezogenen und mathematischen Anforderungen ausgewählt. Die Schülerinnen und Schüler hatten so ausreichend Gelegenheit sich mit der App vertraut zu machen.
- Bearbeitung der Textaufgabe mit der App *Textaufgaben Verstehen*
Der Arbeitsauftrag zur Bearbeitung der Textaufgaben wurde von der Interviewerin schrittweise in einfacher Sprache erläutert und durch Gestik unterstützt. Nun wurde dem Kind eine Textaufgabe präsentiert. Die Schülerin oder der Schüler löste dann in selbstbestimmtem Arbeitstempo die Aufgabe. Während des Bearbeitungsprozesses konnten die Hilfen der App so oft wie gewollt genutzt werden. Während der Aufgabenbearbeitung konnten die Untersuchungspersonen auf einem Blatt externe Repräsentationen zur persönlichen Nutzung konstruieren. Die Dokumentation auf einem Blatt sollte die Offenheit der Lösungswege unterstützen. Während der Aufgabenbearbeitung hielt sich die Interviewerin mit mündlichen Äußerungen und nonverbaler Kommunikation bewusst zurück.
- Befragung
Nach der Bearbeitung einer Textaufgabe erläuterten die Kinder ihren Bearbeitungsweg, indem ihnen Leitfragen gestellt wurden. Dadurch sollten die Kinder zum Verbalisieren ihrer Gedankengänge und zum Erklären ihrer Lösungen angeregt werden. Insbesondere wurden Leitfragen zum Verständnis der Textaufgabe (verstehen), der Frage (Aufbau des Situationsmodells), der Rechenaufgabe mit mathematischer Lösung (mathematisieren und mathematisch arbeiten) sowie der Antwort (interpretieren, evaluieren und kommunizieren) gestellt. Im Anschluss begründeten die Schülerinnen und Schüler die Auswahl der genutzten und nicht genutzten Hilfen der App und nahm

eine subjektive Einschätzung zum aufgabenspezifischen Nutzen der Hilfen während des Bearbeitens der Textaufgaben vor. Hierzu wurden Leitfragen gestellt, die eine metakognitive Reflexion erforderten. Abschließend hatten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit für freie Äußerungen.

- Informelles Gespräch und Verabschiedung

Dem offiziellen Ende des halbstrukturierten Interviews schlossen sich ein informelles Gespräch und eine Verabschiedung an, wobei der Untersuchungsperson für die Unterstützung gedankt wurde. Nach Abschluss des Interviews wurden Gesprächsnotizen gemacht, sofern diese notwendig waren.

5.3.4 Analyse der Textaufgaben

Im Rahmen der Untersuchung wurden von den Schülerinnen und Schülern folgende Aufgaben mit Hilfe der App *Textaufgaben Verstehen* bearbeitet. Mit Hilfe des Modellierungskreislaufs können die Teilprozesse beim Bearbeiten der Textaufgaben idealisiert dargestellt werden (s. Abbildungen 5.3, 5.4, 5.5, 5.6).

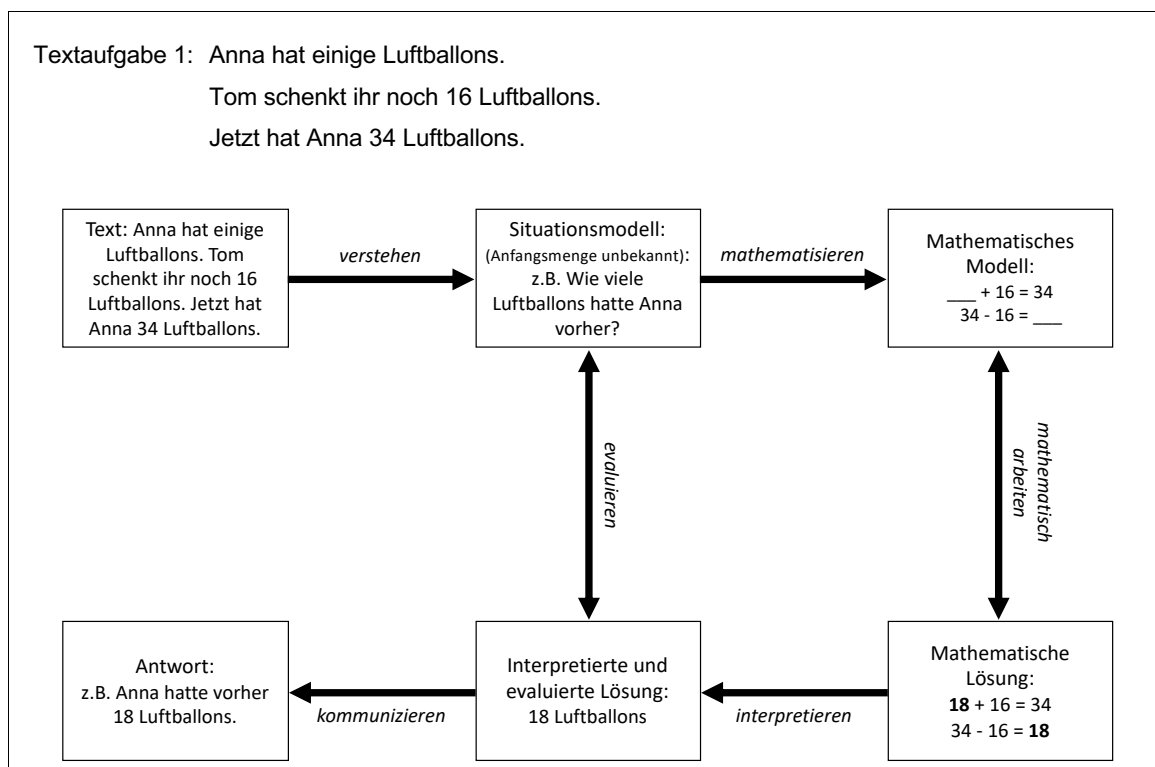


Abbildung 5.3: Textaufgabe 1
(Quelle: eigene Darstellung)

Textaufgabe 2: Auf dem Boden liegen viele Bälle.

Tom nimmt 12 Bälle weg.

Jetzt liegen noch 9 Bälle auf dem Boden.

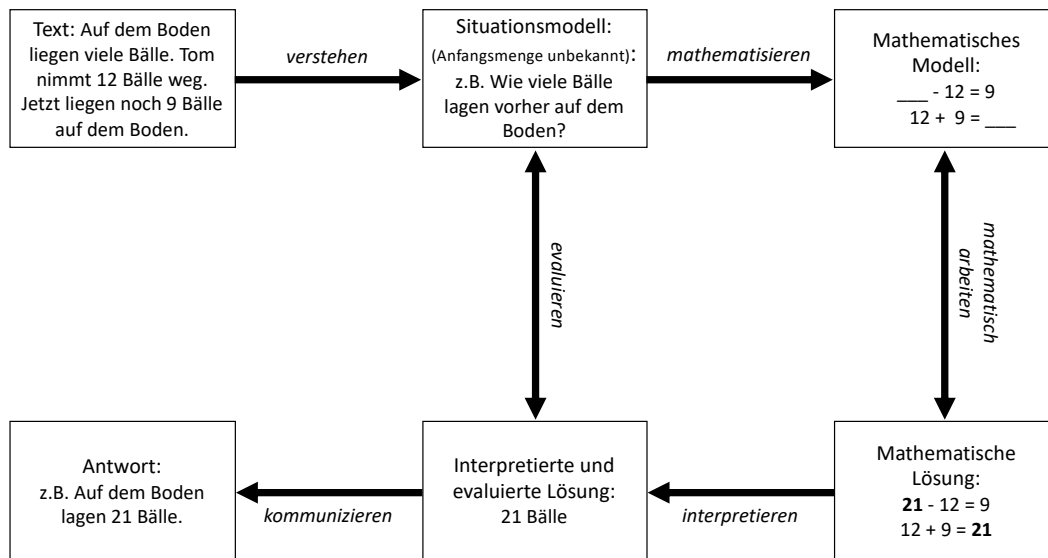


Abbildung 5.4: Textaufgabe 2
(Quelle: eigene Darstellung)

Textaufgabe 3: Tom hat viele Bücher in seinem Regal.

Er stellt noch 12 Bücher in sein Regal.

Jetzt sind 31 Bücher im Regal.

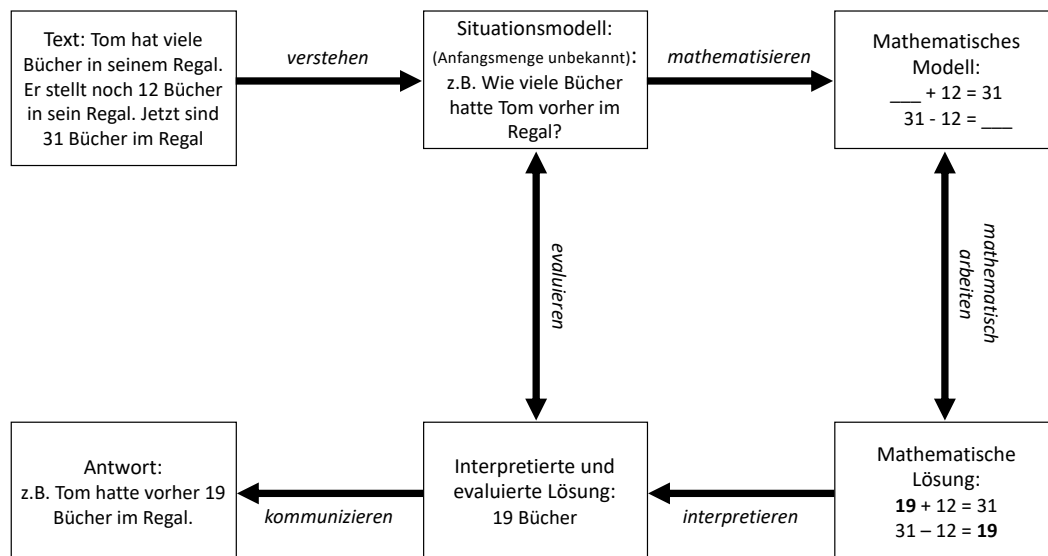


Abbildung 5.5: Textaufgabe 3
(Quelle: eigene Darstellung)

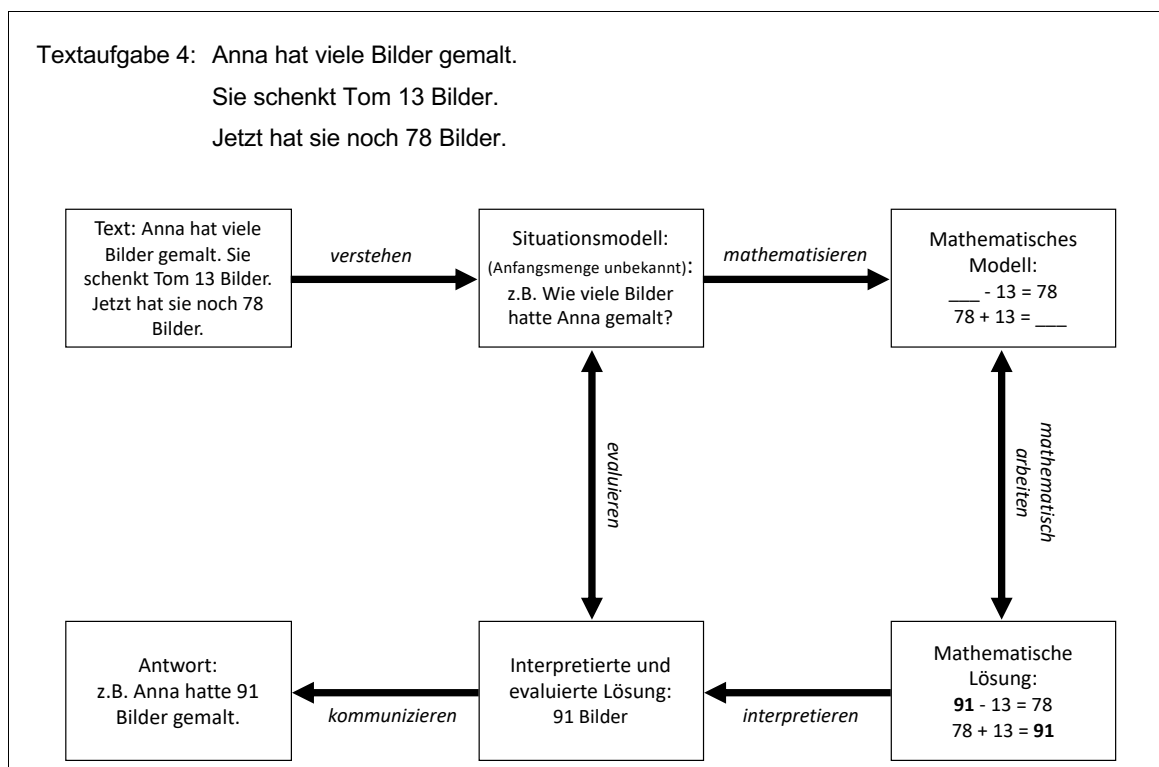


Abbildung 5.6: Textaufgabe 4
 (Quelle: eigene Darstellung)

Alle Textaufgaben, die während der Interviews bearbeitet wurden, sind im Hinblick auf die Anforderungen aus den Bereichen Sprache, Sachkontext und Mathematik ähnlich. Im Rahmen der Untersuchung wurden Aufgaben mit arithmetischem Inhalt in Textform präsentiert. Im Hinblick auf die arithmetische Struktur handelt es sich um Simplexaufgaben, bei denen das gesuchte Aufgabenglied der Startwert ist. Die Anfangsmenge ist unbekannt und zum Lösen der Aufgaben müssen Umkehraufgaben genutzt werden. Der Rechenaufwand beschränkt sich auf Additionsaufgaben und Subtraktionsaufgaben mit Zehnerübergang im Zahlenraum bis 100 mit zweistelligen Zahlen. Die Textaufgaben thematisieren dynamische Sachsituationen mit Alltagsbezug, die sich nachvollziehbar mit einem Video darstellen lassen. Im Sinne des curricularen Prinzips *Praktischer Problembezug* werden Sachsituationen einbezogen, die den Kindern aus der eigenen Lebenspraxis verstehbar sind (Wember, 2016). Die Textaufgaben sind in Anlehnung an das curriculare Prinzip *Sprache des Schülers* in einfacher Alltagssprache formuliert (ebd.). Sie können in der Muttersprache der Lernenden dargeboten werden. Im Hinblick auf die syntaktische Struktur bestehen die Textaufgaben aus kurzen Sätzen mit einfachen Satzstrukturen und einfachen Formulierungen. Zudem werden ein einfacher Wortschatz, all-

tägliche Formulierungen und keine Fachbegriffe oder Fremdwörter verwendet. Die Textaufgaben enthalten ausschließlich für die Lösung relevante Angaben. Eine passende Frage zur Aufgabe wird nicht vorgegeben, da das Situationsmodell, welches das Verstehen der Textaufgabe voraussetzt, selbstständig aufgebaut werden soll. Die Textaufgaben der Untersuchung lassen sich den in Kapitel 2.2.2 vorgestellten Klassifizierungen zuordnen. In Anlehnung an Fricke (1987) können die Textaufgaben der Untersuchung den additiven Simplexen der Niveaustufe 2 zugeordnet werden. Nach der Classification of Word Problems nach Fennema et al. (1993) lassen sich die Textaufgaben dem Problem type Join and Separate zuordnen mit Start unknown. Unter Berücksichtigung der Typologie von Textaufgaben mit arithmetischem Inhalt von Riley und Greeno (1988) lassen sich die verwendeten Textaufgaben zu den Austauschaufgaben mit unbekanntem Startwert zählen: Change 5 (start unknown), Change 6 (start unknown).

5.4 Datenauswertung

5.4.1 Qualitative Inhaltsanalyse

Die Auswertung des Datenmaterials erfolgte in der vorliegenden Untersuchung mit der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring. Sie ist u. a. eine Methode zur Analyse von Kommunikation in protokollierter Form. Bei der Inhaltsanalyse wird systematisch, regelgeleitet und theoriegeleitet vorgegangen (Mayring, 2015). Als wesentliches Merkmal der qualitativen Inhaltsanalyse gilt die Kategorienorientierung (s. Kapitel 5.4.3). Zur Darstellung des Datenmaterials werden forschungsrelevante Merkmale in Kategorien aufgeführt. Die qualitative Inhaltsanalyse orientiert sich an Gütekriterien (s. Kapitel 5.5). Hierdurch können die Qualität des Datenmaterials, die Auswertung sowie die Ergebnisse kritisch reflektiert werden. Je nach Zielsetzung einer Untersuchung werden unterschiedliche Varianten der qualitativen Inhaltsanalyse genutzt. Neben der Zusammenfassung und der Explikation ist die Strukturierung eine der drei Grundformen des Interpretierens (ebd.). Die qualitative Inhaltsanalyse ist keine feststehende Technik, sondern muss auf den jeweiligen Forschungsgegenstand ausgerichtet sein. Angepasst an die Fragestellungen und das Material ist ein konkretes Ablaufmodell der Analyse festzulegen. Um ein systematisches Vorgehen der Inhaltsanalyse zu garantieren, wird sich bei der Textanalyse an einem Ablaufmodell mit zuvor festgelegten Regeln orientiert. Das nachfolgende Ablaufmodell stellt die Schritte der qualitativen Inhaltsanalyse überblicksartig dar (s. Abbildung 5.7).

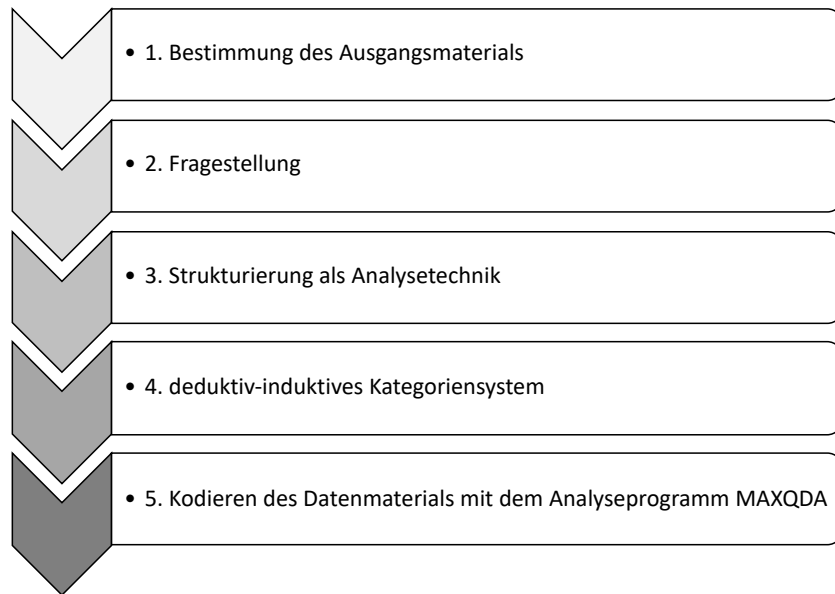


Abbildung 5.7: Ablaufmodell der qualitativen Inhaltsanalyse
(Quelle: Mayring, 2015, S. 54ff.)

- 1. Bestimmung des Ausgangsmaterials

Festlegung des Materials: Das Datenmaterial für die Auswertung der vorliegenden Untersuchung waren transkribierte Interviews, in denen Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen mit Hilfe der App *Textaufgaben Verstehen* je vier Textaufgaben bearbeiteten und anschließend Fragen dazu beantworten.

Analyse der Entstehungssituation: Alle Interviews fanden an der Schule der Untersuchungsperson während der Unterrichtszeit in einem separaten Raum statt und wurden von der Verfasserin der Arbeit durchgeführt. Während der Interviews nutzte die Interviewerin einen Leitfaden (s. Kapitel 5.3.3).

Formale Charakteristika des Materials: Die Einzelinterviews wurden mit zwei Kameras videografiert und anschließend mit einem Textverarbeitungsprogramm transkribiert. Hierzu wurden feste Transkriptionsregeln festgelegt (s. Kapitel 5.4.2).

- 2. Fragestellung

Die Forschungsfragen ergaben sich aus den theoretischen Aspekten und stellten die Basis für eine theoriegeleitete und regelgeleitete Auswertung des Datenmaterials dar. So konnte auf dem vorhandenen theoretischen Vorwissen zum Thema der Untersuchung aufgebaut werden.

- 3. Strukturierung als Analysetechnik

Auf Grundlage der Forschungsfragen und des Materials wurde die Strukturierung als geeignete Analysetechnik gewählt. „Die strukturierende qualitative Inhaltsanalyse

entspricht im Grunde der quantitativen Inhaltsanalyse (...), denn hier wird ein vorher definiertes Kategoriensystem an den Text angelegt und damit numerisches Datenmaterial gewonnen“ (Döring & Bortz, 2016, S. 542). In der Untersuchung wurden die inhaltliche Strukturierung und die typisierende Strukturierung verwendet.

- 4. Deduktives-induktives Kategoriensystem

Im Wechselspiel zwischen den theoretischen Inhalten, den Forschungsfragen und dem Datenmaterial wurde ein Kategoriensystem entwickelt, welches überwiegend deduktiv und teilweise induktiv erstellt wurde (s. Kapitel 5.4.3).

- 5. Kodieren des Datenmaterials mit dem Analyseprogramm MAXQDA

Abschließend wurde das Datenmaterial mit der Analysesoftware MAXQDA kodiert. Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf die Fragestellungen analysiert und interpretiert (s. Kapitel 6, 7).

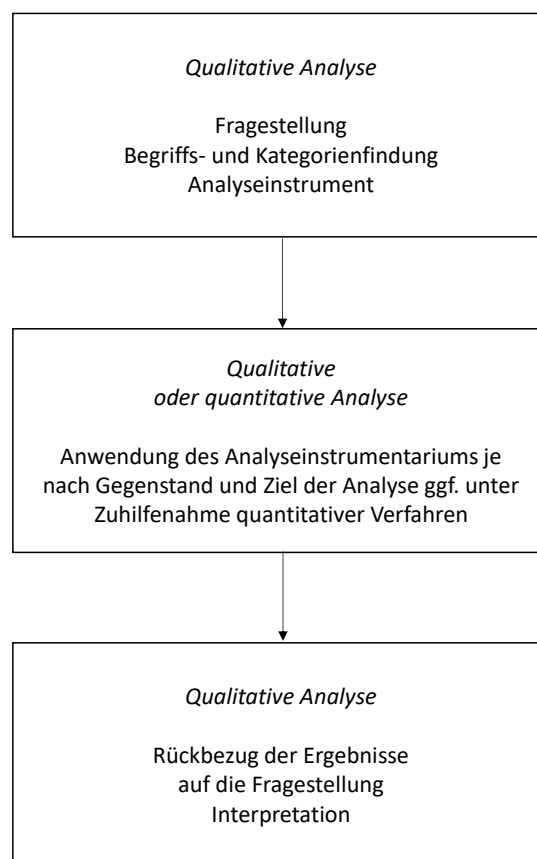


Abbildung 5.8: Phasenmodell zum Verhältnis qualitativer und quantitativer Analyse
(Quelle: Mayring, 2015, S. 20)

Mayring (2015) konzipiert die qualitative Inhaltsanalyse nicht als Gegensatz zur quantitativen Inhaltsanalyse, sondern in den Analyseprozess können quantitative Schritte sinnvoll eingebaut und begründet werden, die insbesondere für die Verallgemeinerung der Ergebnisse bedeutsam sind. Nach dem Phasenmodell zum Verhältnis qualitativer und quantitativer Analyse steht zu Beginn des wissenschaftlichen Vorgehens ein qualitativer Anfangsschritt (ebd.). Anschließend können qualitative sowie quantitative Analyseschritte folgen. Sofern quantitative Analyseschritte genutzt werden, werden diese wieder rückgeführt (s. Abbildung 5.8).

5.4.1.1 Inhaltliche Strukturierung

Im Anschluss an die Transkription der Videos wurde zunächst eine inhaltlich strukturierende qualitative Inhaltsanalyse angewendet (s. Kapitel 6.1, 6.2, 6.3). Bei der inhaltlichen Strukturierung werden forschungsrelevante Merkmale extrahiert und zusammengefasst (ebd.). Forschungsrelevante Merkmale des Datenmaterials wurden systematisch herausgearbeitet und konnten in Beziehung zueinander gesetzt werden. Das Ablaufmodell inhaltlicher Strukturierung nach Mayring (2015) wurde folgendermaßen an die Untersuchung angepasst (s. Abbildung 5.9):

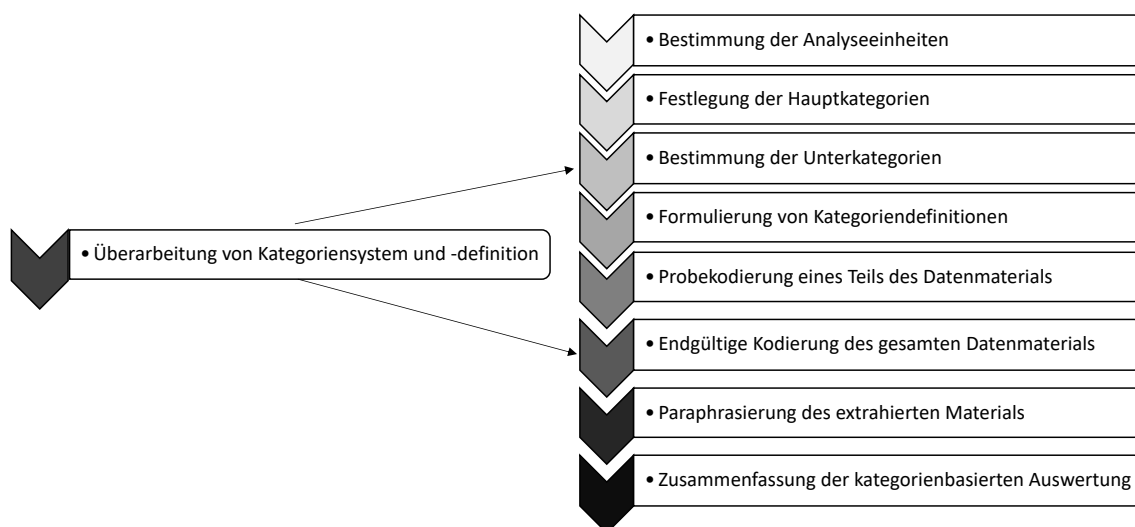


Abbildung 5.9: Ablaufmodell der inhaltlichen Strukturierung
(Quelle: Mayring, 2015, S. 104)

5.4.1.2 Typisierende Strukturierung

Aufbauend auf der inhaltlich strukturierenden Inhaltsanalyse wurde eine typisierende qualitative Inhaltsanalyse vorgenommen (Mayring, 2015). Ausgewählte Merkmale der

strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse bilden die Grundlage für die Typenbildung. Die Kombination der Methoden ist ein passendes Vorgehen, da eine Typenbildung so methodisch kontrolliert möglich ist (Kuckartz, 2016). Die Bildung von Typen ermöglicht die Ergebnisse einer qualitativen Inhaltsanalyse zu komprimieren. Bei den Typen muss es sich nicht immer um Personen handeln (Mayring, 2015). In der vorliegenden Untersuchung werden verschiedene Bearbeitungsprozesse von Textaufgaben unter Einbezug der Nutzungsweisen der App und der Teilprozesse des Modellierungskreislaufs zu Typen zusammengefasst (s. Kapitel 6.4). Die Typenbildung zielt darauf ab, Muster in der Bearbeitung von Textaufgaben mit der App *Textaufgaben Verstehen* zu identifizieren und Zusammenhänge im Hinblick auf das Bewältigen der Teilprozesse des Modellierungskreislaufs herauszustellen. Primäre Merkmale für die Typenbildung der Bearbeitungsprozesse sind die Nutzung der Hilfen und die Bewältigung der Teilprozesse des Modellierungskreislaufs. Dabei wurden Vergleiche angestellt und besonders extreme Ausprägungen sowie Merkmale von besonderem theoretischem Interesse beschrieben. Zusammenhänge zwischen den Typen und weiteren Merkmalen wurden anschließend analysiert. Ein Typ kennzeichnet sich durch die gleiche Kombination von Merkmalen (Kuckartz, 2016). Die Schritte der typenbildenden qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2015), die im Anschluss an die inhaltliche Strukturierung erfolgten, werden angepasst an diese Untersuchung in Abbildung 5.10 dargestellt.

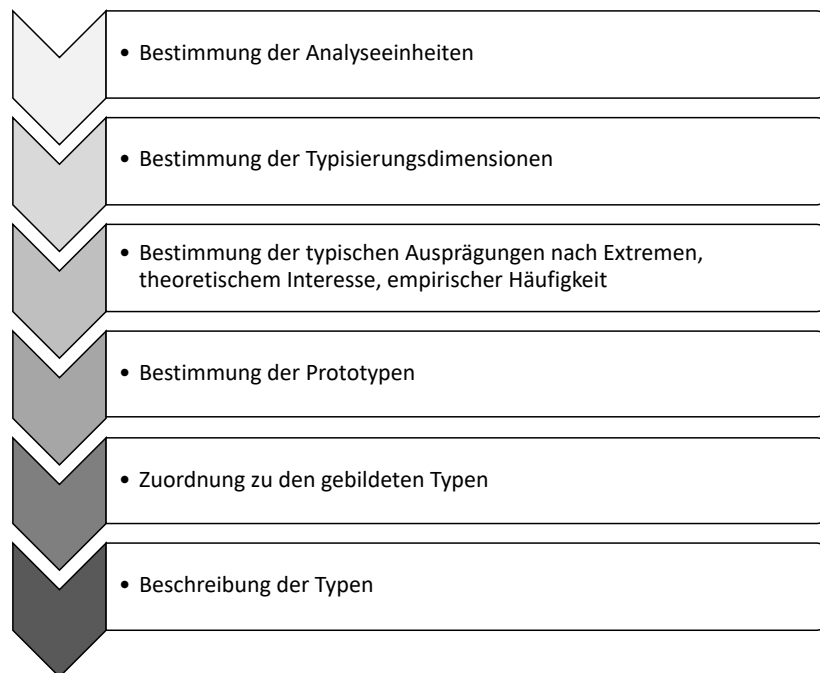


Abbildung 5.10: Ablaufmodell der typisierenden Strukturierung
(Quelle: Mayring, 2015, S. 105)

5.4.2 Transkription

Die Videoaufnahmen der Interviews wurden durch Verschriftlichung in analysierbare Transkripte übertragen. Die Transkripte der Einzelinterviews waren Grundlage der Datenanalyse. Sie umfassten den Bearbeitungsprozess einer Textaufgabe einer Untersuchungsperson sowie die anschließende Befragung. Da jede Person vier Textaufgaben bearbeitete, wurden 76 Transkripte in die Auswertung einbezogen. Eine Transkription kann unterschiedlich differenziert ablaufen. Beispielsweise können neben der gesprochenen Sprache als verbale Merkmale, paraverbale Aspekte (z. B. Sprechpausen, Lachen) sowie nonverbale Merkmale (z. B. Mimik, Gestik) einbezogen werden. Ein ausführliches Transkript kann jedoch keine vollständige korrekte Wiedergabe der Situation darstellen:

„There is in fact no transcription notation system capable of providing to the researcher a completely accurate and comprehensive narrative of the original performance: all transcription is in principle *selective* and entails the inevitable risk of systematic *bias* of one kind or another. Nonetheless, this risk can be encountered by making decisions on the basis of reasoned choices rather than arbitrary, nonreflective ones.” (Kowal & O’Connell, 2014, S. 65f, Hervorhebung im Original)

Die Transkripte der Untersuchung wurden mit dem Textverarbeitungsprogramm Word erstellt. Vorab wurden für die Erstellung der Transkripte geeignete Regeln festgelegt (Rädiker & Kuckartz, 2019). Die Transkriptionen orientierten sich an einem etablierten Transkriptionssystem, dem gesprächsanalytischen Transkriptionssystem 2 (GAT 2). Die Videoaufnahmen wurden als Minimaltranskript, welches die basale Ausbaustufe von GAT darstellt, transkribiert. Im Hinblick auf die Ziele der Untersuchung wurden einige Anpassungen und Veränderungen vorgenommen, sodass sich folgende Transkriptionsregeln ergaben.

- Das Transkript wird in genereller Kleinschreibung erstellt.
- Als Schrifttyp wird Courier New 10 pt genutzt, der Zeilenabstand beträgt 1,15.
- Äußerungen der interviewenden Person beginnen mit I: . Absätze der befragten Schülerinnen und Schüler beginnen mit S: . Um Schüleräußerungen eindeutig zuordnen zu können, werden diese mit einer zugeordneten Zahl von 1 bis 19 gekennzeichnet, z. B. S2, S2 oder S16.
- Im Transkriptionskopf stehen allgemeine Angaben zur Untersuchungsperson, wie Alter, Klassenstufe oder Muttersprache. Konkrete Angaben, die Rückschlüsse auf eine Person erlauben, sind anonymisiert. Die Namen werden durch Pseudonyme ersetzt: Schüler 1, Schüler 2, etc.

- Die Transkripte enthalten alle verbalen Äußerungen der Einzelinterviews. Die Transkription findet vollständig und wörtlich statt, d. h. es wird nicht lautsprachlich oder zusammenfassend transkribiert. Vorhandene Dialekte werden soweit möglich in der Standardsprache nach den geltenden Rechtschreibregeln geschrieben.
- Zahlwörter werden ausgeschrieben (z. B. zweiundzwanzig).
- Sprechpausen als paraverbale Elemente werden durch in Klammern gesetzte Auslassungspunkte (...) gekennzeichnet. Abhängig von der Länge der Pause in Sekunden werden ein, zwei oder drei Punkte gesetzt:
 Pause von einer Sekunde: (.)
 Pause von zwei Sekunden: (..)
 Pause von drei Sekunden: (...)
 Pausen länger als drei Sekunden: Zahl, die der Dauer in Sekunden entspricht, z.B. (5)
- Lautäußerungen der Schülerinnen und Schüler und der interviewenden Person als paraverbale Merkmale sowie Kommentare zum besseren Verständnis werden in einfachen Klammern (...) notiert, z. B. (lacht).
- Nonverbale Handlungen, wie Mimik und Gestik werden in doppelte Klammern gesetzt, z. B. ((wählt schaltfläche video aus)) oder ((zeigt auf blatt)). Handlungen bei denen gleichzeitig etwas gesprochen wird, werden folgendermaßen gekennzeichnet <<...>>.
- Externe Repräsentationen in Form von geschriebener Sprache, die die Schülerinnen und Schüler während der Aufgabenbearbeitung auf einem Blatt dokumentieren, werden in eckigen Klammern wiedergegeben [...].
- Fragen, bei denen sich die Stimme anhebt, werden durch ? am Ende gekennzeichnet.

Nach Abschluss des Transkribierens wurden in einem zweiten Schritt die wörtlichen Transkripte überarbeitet und optimiert, sodass relevante Textstellen erhalten blieben. Dabei stand der Inhalt im Vordergrund. Textstellen, die Hinweise auf eine Person ermöglichen, wurden anonymisiert. Füllwörter wie äh, ähm, okay oder hm sowie irrelevante Textstellen wurden durch Sternchen (*, **, ***, *****, *_*, **_) ersetzt.

- | | |
|-------|---|
| * | ein Wort ausgelassen |
| ** | zwei Wörter ausgelassen |
| *** | drei Wörter ausgelassen |
| ***** | eine Zeile mit mehr als drei Wörtern ausgelassen |
| *_* | Beschreibung einer nonverbalen Handlung ausgelassen, die in ((...)) steht |
| **_ | Beschreibung eines paraverbalen Merkmals ausgelassen, das in (...) steht |

5.4.3 Kategoriensystem und Kodierung

In der qualitativen Datenanalyse ist das Arbeiten mit Kategorien (sog. Codes) die älteste und am weitesten verbreitete Methode (Rädiker & Kuckartz, 2019). Die Gesamtheit aller Kategorien bzw. Codes wird als Kategoriensystem bzw. Codesystem benannt. Das wesentliche Instrument der qualitativen Inhaltsanalyse ist das Kategoriensystem (Mayring, 2015), da hierdurch die Daten strukturiert und reduziert werden. Die Kategorien dienen der Benennung und Beschreibung der Daten bis zur Systematisierung, Strukturierung und Zusammenfassung.

In der vorliegenden Untersuchung wurde ein hierarchisches Kategoriensystem erstellt, welches aus Hauptkategorien und Unterkategorien besteht (Rädiker & Kuckartz, 2019). Hauptkategorien sind Bezeichnungen für übergeordnete Kategorien, die sich in Unterkategorien untergliedern. Unterkategorien bilden konkrete Ausprägungen ab und sind grundlegendes Element des Kodierungsprozesses. Kategorien bestehen aus einem Wort oder setzen sich aus der Kombination weniger Wörter zusammen (ebd.). Prinzipiell sind unterschiedliche Vorgehensweisen zur Ausbildung der Kategorien möglich. Bei der Entwicklung des Kategoriensystems der Untersuchung wurde ein gemischt deduktiv-induktiver Zugang genutzt. Die Hauptkategorien wurden deduktiv erstellt, d. h. aus den Forschungsfragen und den theoretischen Grundlagen abgeleitet (Akremi, 2014; Rädiker & Kuckartz, 2019): „Using a concept-driven, deductive strategy means basing your work on previous knowledge. This can come from different sources: a theory, prior research, everyday experience, or logic“ (Schreier, 2012, S. 85). So bestand schon vor der Kodierphase eine inhaltliche Systematisierung (Rädiker & Kuckartz, 2019). Die Unterkategorien ergaben sich teilweise direkt aus dem Material und wurden somit zum Teil induktiv gebildet: „To work inductively is to create categories and subcategories in a data-driven way. This is especially useful if you want to describe your material in depth“ (Schreier, 2012, S. 88). Die Strategie der Subsumption wurde als wesentliche Strategie für die induktive Kategorienbildung genutzt (ebd.). Dabei wurde ein Materialbestandteil entweder einer vorhandenen Unterkategorie oder einer neuen Unterkategorie zugeordnet. Dies erfolgte entweder bis zum Ende des Datenmaterials oder bis eine Sättigung erreicht war, da keine weiteren Unterkategorien abgeleitet werden konnten. Die Kategorien wurden im Kategoriensystem aufgeführt und die Bedeutungen wurden in sogenannten Kategoriendefinitionen genau festgehalten. In Anlehnung an Schreier (2012) erfüllt das Kategoriensystem der vorliegenden Untersuchung folgende Merkmale: Das Kategoriensystem ist eindimensional, sodass jede Kategorie einen forschungsrelevanten As-

pekt des Datenmaterials beinhaltet. Darüber hinaus schließen sich die Kategorien wechselseitig aus. Eine Kodiereinheit lässt sich einer Kategorie zuordnen. Zudem ist das Kategoriensystem vollständig, da alle relevanten Materialelemente einer Kategorie zugeordnet werden konnten. Das Kategoriensystem ist gesättigt, da sich jeder Kategorieinheit mindestens ein Element des Materials zuordnen ließ. Eine relevante Erkenntnis kann sein, dass das System nicht gesättigt ist, da ein Ausschnitt des Datenmaterials sich keiner Kategorie zuordnen lässt (ebd.).

Nachfolgend wird die Entwicklung des Kategoriensystems dargestellt. Das Kategoriensystem der vorliegenden Arbeit umfasst, orientiert an den Forschungsfragen, drei Bereiche: Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen*, Teilprozesse des Modellierungskreislaufs, subjektive Einschätzungen der Hilfen. Das Kategoriensystem zur Kodierung der Nutzungsweisen der Hilfen wurde deduktiv-induktiv entwickelt. Die Hauptkategorien *Tipps zur Texterschließung*, *Ton*, *Video* und *Muttersprache* ergaben sich aus den Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen*. Die Auswahl der Hilfen durch die Untersuchungspersonen wurde den Kategorien zugeordnet. Daraus ergaben sich Einsichten in die Häufigkeit, den Zeitpunkt sowie die Kombinationen der Auswahl der Hilfen (s. Kapitel 6.1). Zudem wurden die Reaktionen nach Auswahl der Hilfen mit dem Kategoriensystem erfasst. Die Unterkategorien zu den Hauptkategorien *Reaktion nach Tipps zur Texterschließung*, *Reaktion nach Ton*, *Reaktion nach Video* und *Reaktion nach Muttersprache* wurden mit der Strategie der Subsumption ausdifferenziert (s. Kapitel 6.1). Das Kategoriensystem zur Erfassung der Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurde in einem deduktiven Verfahren erstellt (s. Kapitel 6.2). Die Hauptkategorien *verstehen* mit Aufbau des Situationsmodells, *mathematisieren*, *mathematisch arbeiten*, *interpretieren*, *evaluieren* und *kommunizieren* ergaben sich aus den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs nach Verschaffel et al. (2000). Zur Beurteilung der Bewältigung der Teilprozesse wurden zwei weitere Unterkategorien aufgeführt: erfolgreich (+) und nicht erfolgreich (-). Die Abbildungen 5.3, 5.4, 5.5 und 5.6 zeigen Ankerbeispiele für die einzelnen Teilprozesse, die als angemessene Bewältigung gelten. Eine Textaufgabe galt als verstanden, wenn diese während des Interviews in eigenen Worten sinngemäß nacherzählt wurde. Der Aufbau des Situationsmodells galt als angemessen, wenn eine passende Frage zu der Textaufgabe während der Aufgabenbearbeitung selbstständig oder auf Nachfrage nach der Aufgabenbearbeitung formuliert wurde. Das Mathematisieren gelang angemessen, wenn eine passende Rechenaufgabe zur Textaufgabe formuliert werden konnte. Die richtige Lösung zur Rechenaufgabe wurde dem Teilprozess mathematisch arbeiten zugeordnet. Die mathematische Lösung war anschließend zu interpretieren und nachfolgend unter

Einbezug des Situationsmodells zu evaluieren. Das Kommunizieren galt als angemessen, wenn eine passende Antwort zu der Textaufgabe schriftlich oder mündlich während der selbstständigen Aufgabenbearbeitung formuliert wurde oder auf Nachfrage nach der Aufgabenbearbeitung von der Untersuchungsperson formuliert werden konnte. Als Unterkategorien wurden zudem die genutzten Repräsentationsformen der Aufgabenlösenden während des Bearbeitens der Textaufgabe im Kategoriensystem aufgeführt. Unterschieden wurde dabei zwischen internen und externen Repräsentationen. Externe Repräsentationen wurden nochmals untergliedert in depiktionale und deskriptionale Repräsentationsformen. Die Kategorien zur Erfassung der subjektiven Einschätzungen der Hilfen wurden deduktiv-induktiv konstruiert. Hauptkategorien zu *Beweggründe* der Untersuchungspersonen *zur Auswahl der Hilfen* wurden durch die Strategie der Subsumption in Unterkategorien ausdifferenziert bis sich keine neuen Unterkategorien ergaben. Die Hauptkategorien zu den *subjektiven Bewertungen der Hilfen* wurden mit *hilfreich*, *nicht hilfreich* und *teilweise hilfreich* in Unterkategorien gegliedert (s. Kapitel 6.3).

Das entwickelte Kategoriensystem wurde zunächst an Transkripten erprobt und anschließend überarbeitet. Unter Anwendung des endgültigen Kategoriensystems fand eine Kodierung mit der Analysesoftware MAXQDA statt. Kodieren bedeutet, dass einem ausgewählten Bereich aus dem transkribierten Text eine Kategorie zugeordnet wird, der diesem eine Eigenschaft zuschreibt (Rädiker & Kuckartz, 2019). So ist eine Kodiereinheit ein bedeutungstragendes Element der Analyseeinheit. Als minimale Kodiereinheit wurden einzelne Wörter oder Wortgruppen und als maximale Kodiereinheit Sinnabschnitte festgelegt. Als Analyseeinheit der qualitativen Inhaltsanalyse galten die Transkripte der Einzelinterviews, die die Aufgabenbearbeitung einer Textaufgabe mit anschließender Befragung sowie die Schüleraufzeichnungen zu den Textaufgaben umfassten. Die Transkripte wurden mit unterschiedlichem Fokus mehrmals kodiert.

5.4.4 Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA

Für die qualitative Inhaltsanalyse der Untersuchung wurde die häufig eingesetzte Software MAXQDA verwendet, welche Udo Kuckartz Anfang der 90er Jahre an der FU Berlin entwickelte (Mayring, 2015). MAXQDA ist ein Programm mit vielfältigen Analysefunktionen für verschiedene qualitative Daten, wie Interviewtranskripte, Videoaufnahmen, Fotos, Bilder oder Tonaufnahmen (Rädiker & Kuckartz, 2019). Mit der Analysesoftware MAXQDA wurde das Datenmaterial zunächst den Kategorien zugeordnet. Bei der strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse wird das vorher definierte Kategoriensystem für

die Kodierung des Textes genutzt und somit numerisches Datenmaterial erhalten (Döring & Bortz, 2016). Nachdem das komplette Datenmaterial mit der Software MAXQDA kodiert wurde, wurde die Auswertung anhand von Häufigkeitsanalysen vorgenommen. Für die Datenauswertung der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Tools von MAXQDA genutzt. Der Code-Matrix-Browser ist ein Visual Tool zur übersichtlichen Darstellung der Kategorien der Dokumente und wurde zur Datenauswertung der Daten, die in Kapitel 6.1, 6.2 und 6.3 präsentiert werden, genutzt (Rädiker & Kuckartz, 2019). Hiermit wurden die Kategorien und deren Häufigkeiten pro Dokument in einem vergleichenden Diagramm dargestellt (ebd.). Der Code-Matrix-Browser beinhaltet Möglichkeiten der Datenkontrastierung, sodass Kategorien textaufgabenbezogen gegenübergestellt werden konnten (ebd.). Zudem ermöglichte die bildliche Darstellung Muster zu identifizieren und besondere Fälle festzustellen. Mit der Option Statistik für Subcodes wurden Häufigkeiten von Unterkategorien ermittelt (ebd.). Das Visualisierungstool Dokumenten-Vergleichsdiagramm stellt für mehrere Dokumente gleichzeitig den Ablauf dar und wurde für die Ergebnisse, die in Kapitel 6.2 präsentiert werden, genutzt. Beim Dokumenten-Vergleichsdiagramm wird in jeder Zeile ein Dokument dargestellt. Die vorkommenden Kategorien werden durch verschiedenfarbige Rechtecke hintereinander gesetzt. Im Sinne einer Typenbildung wurden in Kapitel 6.4 ähnliche Bearbeitungsprozesse von Textaufgaben zusammengefasst und anhand ihrer Charakteristika beschrieben. Das Dokument-Portrait ist ein geeignetes Visualisierungstool von MAXQDA, um eine Visualisierung der Kodierungen eines transkribierten Dokumentes erzeugen zu lassen (ebd.). Unabhängig von der Länge des Transkripts zeigt das Dokument Portrait 30 x 40 farbige Kacheln. Die Dokument-Portraits visualisieren den Verlauf während des Bearbeitungsprozesses übersichtlich. Dokument-Portraits können durch Nebeneinanderlegen mehrerer Portraits leicht verglichen werden, sodass eine Typenbildung vorgenommen werden kann.

5.5 Gütekriterien qualitativer Forschung der vorliegenden Untersuchung

„Während in der quantitativen Forschung die zentralen Gütekriterien für methodische Strenge sowie für die anderen Qualitätskriterien der Wissenschaft (inhaltliche Relevanz, ethische Strenge und Präsentationsqualität) relativ konsensfähig und in vielen Bereichen detailliert formuliert sind, wird die Debatte um geeignete Qualitätskriterien in der qualitativen Forschung sehr viel kontroverser geführt“ (Döring & Bortz, 2016, S 106).

In der Fachliteratur existieren mehr als einhundert verschiedene qualitative Kriterienkataloge für Gütekriterien qualitativer Forschung, die aus der Logik qualitativer Forschung eigens entwickelt wurden (Noyes et al., 2008). Steinke (1999, 2000) führt Kernkriterien

zur Bewertung qualitativer Forschung auf. Diese Kernkriterien wurden auf Grundlage der Gütekriterien quantitativer Forschung, die auf qualitative Forschung übertragen wurden, und unter Einbezug nationaler und internationaler Überlegungen zu Gütekriterien qualitativer Forschung entwickelt. Die Kernkriterien für gute qualitative Forschung wurden zu Grunde gelegt, um die vorliegende Untersuchung zu planen, durchzuführen und auszuwerten.

Die *intersubjektive Nachvollziehbarkeit* wurde in der vorliegenden Arbeit angestrebt durch eine umfassende und transparente Dokumentation des Forschungsprozesses. So wurden methodische Entscheidungen möglichst detailliert beschrieben und ein passendes Kategoriensystem für die Auswertung entwickelt und definiert. Das Forschungsprojekt wurde regelmäßig in internen Kolloquien des Lehrstuhls und externen Konferenzen präsentiert, diskutiert und reflektiert. Zudem wurde auch das Kernkriterium *Indikation des Forschungsprozesses* berücksichtigt. Dies bezog sich auf die begründete Darstellung des qualitativen Vorgehens angesichts der Fragestellungen, der Methodenauswahl sowie der methodischen Einzelentscheidungen, der Transkriptionsregeln, der Datenanalyse sowie der Ergebnispräsentation. Durch den Einsatz der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring als kodifiziertes Verfahren zur empirisch verankerten Theoriebildung fand das Kernkriterium *Empirische Verankerung* Berücksichtigung. Die Beschreibung der Untersuchungsplanung, Untersuchungsdurchführung und Untersuchungsauswertung zielen darauf ab, die exakten Bedingungen und Kontexte der Forschungsergebnisse darzustellen und implizieren, inwiefern die Verallgemeinerung der Forschungsergebnisse limitiert ist oder in Folgeuntersuchungen weiter fokussiert werden muss (*Limitation*). Grenzen der vorliegenden Untersuchung werden in Kapitel 8.1 beleuchtet. Während des gesamten Forschungsprozesses fand im Sinne der *reflektierten Subjektivität* immer wieder eine Reflexion der eigenen subjektiven Positionen und Rollen statt. Erkenntnisse, Schwierigkeiten und Entscheidungen wurden während des Forschungsprozesses dokumentiert und mit zeitlicher Distanz erneut reflektiert. Zudem wurden die eigenen Interpretationen regelmäßig in Vorträgen diskutiert. Darüber hinaus wurde das Kernkriterium *Kohärenz* berücksichtigt. Die Interpretationen der Ergebnisse erfolgten auf Basis der Daten und bezogen theoretische Aspekte mit ein. Widersprüche in den Daten und im Umgang bei den Interpretationen wurden erläutert. Die *Relevanz* des Forschungsgegenstands wurde im Theorieteil der Arbeit dargestellt. In diesem Zusammenhang wurden Forschungslücken sowie die Notwendigkeit der Untersuchung zur Thematik des Einsatzes digitaler Medien im Bereich des Sachrechnens aufgezeigt. Aus den Ergebnissen

werden in Kapitel 7 Gestaltungsprinzipien digitaler Anwendungsprogramme zum Verstehen mathematischer Textaufgaben abgeleitet. Abschließend wird die Relevanz der Untersuchungsergebnisse in Kapitel 8 dargelegt.

6. Untersuchungsergebnisse

Im vorliegenden Kapitel werden die Ergebnisse der Untersuchung deskriptiv präsentiert. Dabei werden Nutzungsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* beschrieben (s. Kapitel 6.1) und Zusammenhänge zwischen den Nutzungsweisen und dem Verstehen einer Textaufgabe sowie den nachfolgenden Teilprozessen des Modellierungskreislaufs herausgestellt (s. Kapitel 6.2). Zudem werden die Beweggründe zur Auswahl der Hilfen sowie die subjektive Bewertung der Hilfen durch die Schülerinnen und Schüler zusammenfassend dargestellt (s. Kapitel 6.3). Angepasst an die methodische Zweiteilung werden zuerst die inhaltsanalytischen Ergebnisse zu den Forschungsfragen dargestellt und mit Beispielen belegt. Anschließend erfolgt die Typenbildung, wodurch Zusammenhänge zwischen den Forschungsfragen herausgestellt werden (s. Kapitel 6.4).

Grundlage der Ergebnisse ist die Auswertung der Transkripte der Interviews. Obwohl die bearbeiteten Textaufgaben im Hinblick auf die mathematische Struktur, die Sprache und die Sachkontexte ähnlich sind, zeigte die Sichtung des Datenmaterials keine Beeinflussung der Aufgabenbearbeitung durch vorherige Textaufgaben, sodass keine Reihenfolgeeffekte festzustellen waren. Dieser Befund bekräftigt die Annahme, dass die Textaufgaben ein angemessenes Niveau für die Untersuchungspersonen aufwiesen und damit für die Untersuchung geeignet waren. Im Hinblick auf die Bearbeitung der Textaufgaben konnten keine wiederkehrenden Vorgehensweisen einzelner Schülerinnen oder Schüler beobachtet werden. Vielmehr wurden unterschiedliche Vorgehensweisen beim Bearbeiten verschiedener Textaufgaben durch eine Schülerin oder einen Schüler beobachtet. Aus diesem Grund wurden die 76 bearbeiteten Textaufgaben einzeln in die Auswertung einbezogen. Um die Ergebnisse differenziert und nachvollziehbar zu beschreiben, werden nachfolgende Adjektive als siebenstufige Häufigkeitsskala verwendet:

x = Anteil der einbezogenen Textaufgaben

- nie $\triangleq x = 0 \%$
- sehr selten $\triangleq 0 \% < x \leq 20 \%$
- selten $\triangleq 20 \% < x \leq 40 \%$
- gelegentlich $\triangleq 40 \% < x \leq 60 \%$
- häufig $\triangleq 60 \% < x \leq 80 \%$
- sehr häufig $\triangleq 80 \% < x < 100 \%$
- immer $\triangleq x = 100 \%$

Die Prozentangaben in den Tabellen dieses Kapitels sind auf eine Nachkommastelle gerundet, sodass die Summe der Prozentangaben genau oder gerundet 100% ergibt.

6.1 Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen*

Nachfolgend steht die Beantwortung der Forschungsfrage 1 (F 1) im Fokus:

Wie werden die Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?

Die Nutzung der Hilfen wurde anhand festgelegter Aspekte untersucht:

- Häufigkeit der Auswahl
- Kombination der Auswahl
- Zeitpunkt der Auswahl
- Reaktion nach der Auswahl
- ggf. besondere Auffälligkeiten

Strukturgebend für die Beantwortung der Forschungsfrage 1 sind die untergeordneten Forschungsfragen (F 1.1, F 1.2, F 1.3, F 1.4).

6.1.1 Tipps zur Texterschließung

Nachfolgend wird beschrieben, inwiefern das in der App *Textaufgaben Verstehen* implementierte Potenzial der Strategien zur Texterschließung genutzt wurde. Somit wird die Forschungsfrage 1.1 beantwortet:

F 1.1: Wie werden die Tipps zur Texterschließung der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?

6.1.1.1 Häufigkeit der Auswahl

Tabelle 6.1 gibt einen Überblick, ob und wie häufig die Hilfen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*, auch in Kombination, bei den bearbeiteten Textaufgaben genutzt wurden. Bei den Textaufgaben, die im Rahmen der Untersuchung bearbeitet wurden, wurde während der Aufgabenbearbeitung selten mindestens einer der Tipps zur Texterschließung ausgewählt. Dabei wurde der gleiche Tipp sehr selten mehrmalig während der Aufgabenbearbeitung einer Textaufgabe ausgewählt. Im Vergleich zur Auswahl des Videos und des Tons wurden ein oder mehrere Tipps bei den wenigsten Textaufgaben ausgewählt. Die Auswahl der Tipps erfolgte während der Aufgabenbearbeitung einer Textaufgabe sehr häufig in Kombination mit der Auswahl des Tons und bzw. oder des Videos (s. Tabelle 6.1).

Hilfen der App	Tipp(s)	Ton	Video	Tipp(s) Ton	Tipp(s) Video	Ton Video	Tipp(s) Ton Video	keine Hilfe	Gesamt
Anzahl Textaufgaben (n =)	1	5	8	0	4	7	23	28	76
Prozent	1,3	6,6	10,5	0	5,3	9,2	30,3	36,8	100

Tabelle 6.1: Auswahl der Tipps zur Texterschließung

6.1.1.2 Kombination der Auswahl

Wenn ein Tipp zur Texterschließung genutzt wurde, dann wurden pro Textaufgabe häufig mindestens zwei der drei Tipps ausgewählt. Dabei wurden gelegentlich alle drei Tipps zur Texterschließung ausgewählt. In diesem Fall wurden diese sehr häufig in der Reihenfolge Tipp 1, Tipp 2, Tipp 3 ausgewählt, was der Leserichtung von oben nach unten entspricht. Tipp 1 ‚Lies den Text drei Mal!‘ wurde im Vergleich zu Tipp 2 und Tipp 3 häufiger als einziger der drei Tipps angehört. Die Auswahl des Tipps 2 erfolgte nie als einziger Tipp während eines Bearbeitungsprozesses.

6.1.1.3 Zeitpunkt der Auswahl

Bevor einer der Tipps zur Texterschließung ausgewählt wurde, wurde die Textaufgabe häufig selbstständig gelesen. Wenn die Auswahl erfolgte, dann wurden diese sehr häufig vor dem Aufbau des Situationsmodells ausgewählt und somit zur Unterstützung des Verstehens der Textaufgabe sowie zum Aufbau des Situationsmodells genutzt. Sehr selten wurde einer der Tipps ausgewählt, nachdem die mathematische Lösung berechnet wurde (mathematisch arbeiten). Nie wurden die Tipps ausgewählt nachdem eine Antwort kommuniziert wurde.

6.1.1.4 Reaktion nach Auswahl

Alle Tipps sind als Aufforderung im Imperativ formuliert, worauf die Aufgabenlösenden mit dem Ausführen der Texterschließungsstrategie reagieren sollten. Als direkte Reaktion nach der Auswahl des Tipps 1 ‚Lies den Text drei Mal!‘ erfolgte meist die Auswahl des Tipps 2, am zweithäufigsten wurde der Text gelesen (s. Tabelle 6.2).

Reaktion	Häufigkeit	Prozent
Auswahl Tipp 2	13	48,2
Textaufgabe lesen	12	44,4
Auswahl Ton	1	3,7
Mündliche Äußerung zu Tipp 1	1	3,7
Gesamt Auswahl Tipp 1	27	100

Tabelle 6.2: Reaktion nach Auswahl des Tipps 1 zur Texterschließung

Nach dem Anhören des Tipps 2 erfolgte als Reaktion häufig die Auswahl des Tipps 3. Sehr häufig wurde eine weitere Schaltfläche Tipp, Ton oder Video ausgewählt. Der Arbeitsauftrag ‚Schreibe wichtige Informationen aus dem Text auf!‘ wurde in der Untersuchung nie umgesetzt, sondern stets ignoriert (s. Tabelle 6.3).

Reaktion	Häufigkeit	Prozent
Auswahl Tipp 3	14	63,6
Auswahl Video	3	13,6
Textaufgabe lesen	2	9,1
Auswahl Tipp 1	1	4,6
Auswahl Ton	1	4,6
Rechenaufgabe ausrechnen	1	4,6
Informationen aufschreiben	0	0
Gesamt Auswahl Tipp 2	22	100

Tabelle 6.3: Reaktion nach Auswahl des Tipps 2 zur Texterschließung

Als Reaktion nach der Auswahl des Tipps 3 ‚Erzähle den Text in deinen eigenen Worten!‘ folgte überwiegend die Auswahl des Tons oder des Videos. Der Text wurde sehr selten in eigenen Worten, der Sprache des Verstehens, nacherzählt (s. Tabelle 6.4).

Reaktion	Häufigkeit	Prozent
Auswahl Ton	8	38,1
Auswahl Video	5	23,8
Rechenaufgabe ausrechnen	2	9,5
Textaufgabe nacherzählen	2	9,5
Auswahl Tipp 1	2	9,5
Auswahl Tipp 2	1	4,8
Mündliche Äußerung zu Tipp 3	1	4,8
Gesamt Auswahl Tipp 3	21	100

Tabelle 6.4: Reaktion nach Auswahl des Tipps 3 zur Texterschließung

Insgesamt wurden die Texterschließungsstrategien sehr selten ausgeführt. Häufig wurde die Schaltfläche einer weiteren Hilfe, d. h. ein anderer Tipp, der Ton oder das Video ausgewählt. Dabei ist festzustellen, dass in diesem Fall häufig die Schaltfläche ausgesucht wurde, die entsprechend der Leserichtung des westlichen Kulturkreises von oben nach unten oder von links nach rechts am nächsten folgte: Tipp 1 → Tipp 2, Tipp 2 → Tipp 3, Tipp 3 → Ton.

6.1.2 Ton

Nachfolgend wird dargestellt, inwiefern das in der App *Textaufgaben Verstehen* implementierte Potenzial der auditiven Unterstützung genutzt wurde. Somit wird die Forschungsfrage 1.2 beantwortet:

F 1.2.: Wie wird der Ton zur Textaufgabe durch die App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?

6.1.2.1 Häufigkeit der Auswahl

Der Ton ermöglicht, dass die schriftlichen Elemente der Textaufgabe auditiv präsentiert werden. Bei den bearbeiteten Textaufgaben der Untersuchung erfolgte gelegentlich das Anhören der Textaufgabe mindestens einmal (s. Tabelle 6.5). Wenn die Vorlesefunktion ausgewählt wurde, dann wurde diese selten mehrmalig während des Bearbeitens einer Textaufgabe genutzt.

Hilfen der App	Tipp(s)	Ton	Video	Tipp(s) Ton	Tipp(s) Video	Ton Video	Tipp(s) Ton Video	keine Hilfe	Gesamt
Anzahl Textaufgaben (n =)	1	5	8	0	4	7	23	28	76
Prozent	1,3	6,6	10,5	0	5,3	9,2	30,3	36,8	100

Tabelle 6.5: Auswahl des Tons

6.1.2.2 Kombination der Auswahl

Das Anhören der Textaufgabe erfolgte sehr selten als einzige Hilfe der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*. Sehr häufig erfolgte das Anhören der Textaufgabe in Kombination mit der Auswahl des Videos und bzw. oder von mindestens einem Tipp zur Texterschließung (s. Tabelle 6.5). Häufig wurde der Ton während einer Textaufgabenbearbeitung in Kombination mit mindestens einem Tipp und dem Video gewählt.

6.1.2.3 Zeitpunkt der Auswahl

Wenn der Ton während des Bearbeitens einer Textaufgabe ausgewählt wurde, wurde dieser sehr häufig erstmalig zu Beginn des Modellierungskreislaufs und somit zum Verstehen des Textes und zum Aufbau des Situationsmodells verwendet. Sehr selten wurde die Textaufgabe in anderen Phasen des Modellierungskreislaufs angehört. Das Anhören der Textaufgabe erfolgte gelegentlich, nachdem der Text bereits gelesen wurde. Wenn vor dem eigenen Lesen der Textaufgabe eine der Hilfen ausgewählt wurde, wurde am häufigsten der Ton gewählt. Dies ist naheliegend, da durch das Anhören der Textaufgabe die schriftlichen Elemente auditiv zugänglich gemacht werden. Wurde eine Textaufgabe mehrmalig angehört, dann erfolgte dies entweder zu Beginn des Bearbeitungsprozesses, aber auch während nachfolgender Teilprozesse des Modellierungskreislaufs.

6.1.2.4 Reaktion nach Auswahl

Tabelle 6.6 führt auf welche Reaktionen der Aufgabenlösenden sich direkt nach dem Anhören der Textaufgabe anschlossen. Als Reaktion nach dem Anhören der Aufgabe erfolgte gelegentlich die Auswahl einer weiteren Hilfe der App *Textaufgaben Verstehen*. In diesem Fall wurde am häufigsten das Video gewählt, gefolgt von einem Tipp zur Texterschließung und dem wiederholten Anhören der Textaufgabe (Ton) und der Auswahl der Sprache Deutsch.

Reaktion	Häufigkeit	Prozent
Mündliche Äußerung	19	30,2
Auswahl Video	13	20,6
Auswahl Ton	8	12,7
Textaufgabe lesen	8	12,7
Auswahl Tipp 1	5	7,9
schriftliche Notizen	5	7,9
Auswahl Tipp 2	3	4,8
Auswahl Tipp 3	1	1,6
Auswahl Sprache deutsch	1	1,6
Gesamt Auswahl Ton	63	100

Tabelle 6.6: Reaktion nach Auswahl des Tons

Als direkte Reaktion nach dem Anhören der Textaufgabe schlossen sich selten mündliche Äußerungen zu eigenen Denkprozessen oder Vorgehensweisen der Aufgabenlösenden an. Diese mündlichen Äußerungen sind eine Form der externen Repräsentation

und umfassten sehr häufig Erläuterungen, die das Verstehen der Textaufgabe unterstützten, oder mündliche Darlegungen zu den Lösungsschritten. Dies verdeutlichen nachfolgende Schüleräußerungen.

Schüler 14, 4. Textaufgabe

```
10 S14: ((wählt schaltfläche ton aus))
11      ah sie hat ähm sehr viele bilder gemalt
12      ich glaube sie hat irgendwas mit ich glaube mit neunzig bilder
      gehabt
13      und er hat tom dreizehn geschenkt
```

Schüler 4, 2. Textaufgabe

```
04 S4:  äh ich lass es mir noch mal vorlesen
05      ((wählt schaltfläche ton aus))
06      ((hört sich die textaufgabe an))
07      ((überlegt))
08      hm dann muss ich neun plus zwölf rechnen?
09      dann rechne ich mal
```

Als Reaktion auf das Anhören der Textaufgabe wurde diese sehr selten direkt von den Untersuchungspersonen gelesen. Sehr selten erfolgten schriftliche Notizen in Form eines Antwortsatzes oder einer Rechenaufgabe (mathematisches Modell) oder einer mathematischen Lösung.

6.1.2.5 Besondere Auffälligkeiten

Während des Anhörens der Textaufgabe wurde die Tonaufnahme sehr selten durch die Aufgabenlösenden pausiert und später weiter angehört. In der Pause wurden verbale Äußerungen zum Inhalt der Textaufgabe oder zur Frage gemacht, wie das nachfolgende Beispiel verdeutlicht.

Schüler 19, 4. Textaufgabe

```
14 S19: ((wählt schaltfläche ton aus))
15      ((stoppt wiedergabe der tonaufnahme))
16      so viele sind zum beispiel
17      ((guckt auf sein blatt))
18      ((wählt wiedergabe der tonaufnahme und hört textaufgabe weiter))
19      vorher wie viel hat die?
      ...
34      ((wählt schaltfläche ton aus))
35      ((stoppt wiedergabe der tonaufnahme))
36      viele bilder das hab ich schon gewusst
37      ((wählt wiedergabe der tonaufnahme und hört textaufgabe weiter))
38      ((stoppt wiedergabe der tonaufnahme und guckt auf sein blatt))
39      sie schenkt tom dreizehn*
40      sie tom geschenkt
```

6.1.3 Video

Nachfolgend wird beschrieben, inwiefern das in der App *Textaufgaben Verstehen* implementierte Video als ikonische Darstellung der Situation der Textaufgabe genutzt wurde. Somit wird die Forschungsfrage 1.3 beantwortet:

F 1.3: Wie wird das Video zur Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen genutzt?

6.1.3.1 Häufigkeit der Auswahl

Bei mehr als der Hälfte der bearbeiteten Textaufgaben wurde das Video mindestens einmal angeschaut (s. Tabelle 6.7). Wenn das Video ausgewählt wurde, dann wurde dieses selten mehrmalig gewählt.

Hilfen der App	Tipp(s)	Ton	Video	Tipp(s) Ton	Tipp(s) Video	Ton Video	Tipp(s) Ton Video	keine Hilfe	Gesamt
Anzahl Textaufgaben (n =)	1	5	8	0	4	7	23	28	76
Prozent	1,3	6,6	10,5	0	5,3	9,2	30,3	36,8	100

Tabelle 6.7: Auswahl des Videos

6.1.3.2 Kombination der Auswahl

Wenn das Video beim Lösen einer Textaufgabe ausgewählt wurde, dann wurde dieses sehr selten als einzige Hilfe und sehr häufig in Kombination mit den Tipps und bzw. oder dem Ton gewählt. Vergleichsweise wurde das Video am häufigsten als einzige Hilfe der Tablet App während des Bearbeitungsprozesses ausgewählt. Häufig erfolgte die Auswahl des Tons in Kombination mit der Auswahl des Videos (s. Tabelle 6.7).

6.1.3.3 Zeitpunkt der Auswahl

Vor der Auswahl des Videos wurde die Textaufgabe sehr häufig gelesen. Sehr häufig wurde das Video erstmalig ausgewählt, bevor eine externe Repräsentation selbstständig in Form der Formulierung einer Frage oder der Formulierung einer Rechenaufgabe durch die Aufgabenlösenden erfolgte. Das Video wurde dementsprechend sehr häufig zu Beginn des Modellierungskreislaufs ausgewählt. Wenn das Video mehrmalig während eines Bearbeitungsprozesses genutzt wurde, wurde dieses sowohl mehrmalig zu

Beginn des Modellierungskreislaufs angeschaut als auch vor nachfolgenden Teilprozessen des Modellierungskreislaufs, wie beispielsweise dem Evaluieren.

6.1.3.4 Reaktion nach Auswahl des Videos

Die Reaktionen nach dem Anschauen des Videos waren unterschiedlich (s. Tabelle 6.8).

Reaktion	Häufigkeit	Prozent
schriftliche Notizen	27	42,2
Auswahl Ton	13	20,3
Mündliche Äußerung	10	15,6
Textaufgabe lesen	6	9,4
Auswahl Video	5	7,8
Auswahl Tipp 1	1	1,6
Auswahl Tipp 3	1	1,6
Auswahl Sprache englisch	1	1,6
Gesamt Auswahl Video	64	100

Tabelle 6.8: Reaktion nach Auswahl des Videos

Im Anschluss an das Anschauen des Videos wurden gelegentlich schriftliche Dokumentationen durch die Aufgabenlösenden auf einem Blatt vorgenommen, wie das Aufschreiben einer Rechenaufgabe, einer Frage oder einer Antwort. Diese schriftlichen Notizen umfassten häufig die Formulierung der Rechenaufgabe oder der mathematischen Lösung als nonverbal-symbolische Darstellung und selten eine Frage und sehr selten eine Antwort. Selten wurde nach dem Anschauen eine weitere Hilfe der App ausgewählt. Meistens wurde dann unmittelbar die Textaufgabe angehört, selten das Video nochmals angeschaut und sehr selten ein Tipp gewählt. Zudem konnten sehr selten mündliche Äußerungen als Reaktion nach dem Anschauen des Videos beobachtet werden, die eigene Denkprozesse oder Vorgehensweisen darstellten. Nachfolgende Transkriptausschnitte verdeutlichen exemplarisch, dass sich die Äußerungen insbesondere auf das Verstehen der Textaufgabe sowie auf konkrete Lösungsschritte bezogen.

Schüler 4, 4. Textaufgabe

```

02  S4:  ich schau mir das video an wie das da ist
03      ((wählt schaltfläche video aus))
04      ah mit malen
05      wie hat der jetzt so viele blätter rausgekriegt? <<zeigt auf
      video>>
06      muss ich das ausrechnen?

```

Schüler 19, 1. Textaufgabe

```
66 S19: <<schaut sich video an>> der hat ihr geschenkt
67      da hat der tom nix mehr
68      da hat der tom null
```

6.1.3.5 Besondere Auffälligkeiten

Während und nach dem Anschauen des Videos wurden sehr selten Kommentare zu dessen Gestaltung gegeben, wodurch der Fokus während der Aufgabenbearbeitung auf unbedeutende Aspekte gesetzt wurde. Dies verdeutlichen folgende Schüleräußerungen.

Schüler 7, 2. Textaufgabe

```
24 S7:  ((wählt schaltfläche video aus))
25      der hat schöne schuhe
26      da sind keine geräusche
```

Schüler 18, 1. Textaufgabe

```
02 S18: ((wählt schaltfläche video aus))
03      er ist immer nett <<zeigt auf jungen im video>>
04      immer lächeln
```

Die Darstellung der Sachsituation im Video wurde selten genutzt, um die abgebildeten Gegenstände zu zählen und somit die mathematische Lösung zu ermitteln. Nachfolgender Ausschnitt zeigt exemplarisch wie ein Schüler während des Anschauens des Videos Bücher, die im Video zu sehen sind, zählen möchte.

Schüler 7, 3. Textaufgabe

```
14 S7:  ich guck mir das video an
15      ((wählt schaltfläche video aus))
16      jetzt will ich mal sehen
17      ((zählt leise und bewegt dabei den kopf))
18      das sind aber sechszehn
19      kann man das heranzoomen? <<versucht mit fingern zu zoomen>>
20      nein
```

Sehr selten wurde die Videoaufnahme während des Anschauens durch die Aufgabenlösenden pausiert. Das Video wurde somit selektierend angeschaut. Nachfolgendes Beispiel zeigt, dass das Standbild genutzt wurde, um die Gegenstände zu zählen.

Schüler 19, 2. Textaufgabe

```
59 S19: oder warte lass mal gucken
60      ((wählt schaltfläche video aus))
61      ((stoppt wiedergabe der videoaufnahme und zählt bälle))
62      das sind neunzehn bälle drin
63      ((guckt auf sein blatt))
64      <<guckt auf das video>> mh
```

Das selektierende Anschauen des Videos war auch durch die Auswahl einer bestimmten Videosequenz zu beobachten. Das nachfolgende Beispiel zeigt, wie eine Schülerin vor-spulte, um eine bestimmte Sequenz auszuwählen.

Schülerin 10, 1. Textaufgabe

```
74      ((wählt schaltfläche video aus))
75      ((schaut sich video an))
76      ich spring bis dahin ((spult videoaufnahme vor))
77      die ergebnis muss null kommen
78      guck hier nulll <<zeigt im video auf den leeren Tisch des Jun-
gen, der keine Luftballons mehr vor sich liegen hat>>
79      hier ist null und bei sie sie hat sehr viele luftballons
80      und sie hat null
81      aber ich weiß nicht wie die ergebnis null rauskommt
```

Sehr selten machten die Schülerinnen und Schüler darauf aufmerksam, dass das Video keinen Ton enthält, wie nachfolgendes Beispiel zeigt.

Schüler 12, 2. Textaufgabe

```
46 S12: ((wählt schaltfläche video aus))
47      da hört man gar kein ton
48      warum hört da kein ton
```

6.1.4 Muttersprache

Im vorliegenden Unterkapitel wird aufgeführt, inwiefern das in der App *Textaufgaben Verstehen* implementierte Potenzial der Mehrsprachigkeit von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache genutzt wurde. Somit wird die Forschungsfrage 1.4 beantwortet:

F 1.4: Wie wird die Muttersprache der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache und Förderbedarf Lernen genutzt?

Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache hatten während des Bearbeitens der Textaufgaben die Möglichkeit mit Hilfe der App *Textaufgaben Verstehen* ihre Muttersprache auszuwählen. So wurden alle sprachlichen Inhalte in der Muttersprache präsentiert. Im Hinblick auf die Auswahl der Sprachen durch Untersuchungspersonen

mit nichtdeutscher Muttersprache kristallisierten sich vier verschiedene Nutzungsweisen heraus:

- Keine Auswahl der Muttersprache

Häufig wurde bei den Textaufgaben die Muttersprache nicht ausgewählt. Die Textaufgabe wurde somit durchgängig in der Sprache Deutsch gelesen, angehört sowie bearbeitet.

- Einmalige Auswahl der Muttersprache

Sehr selten wurde die Muttersprache während des Bearbeitungsprozesses einmalig zu Beginn des Bearbeitungsprozesses ausgewählt. Nach kurzer Zeit wurde wieder auf die Sprache Deutsch umgestellt. Eine solche Nutzungsweise verdeutlicht nachfolgendes Transkript exemplarisch.

Schülerin 5, 3. Textaufgabe

```
02 S5: ((liest textaufgabe leise))
03      ((wählt schaltfläche türkisch aus))
04      ((liest textaufgabe leise))
05      ((wählt schaltfläche deutsch aus))
06      ((wählt schaltfläche ton aus))
07      ((liest textaufgabe leise))
08      ((schreibt frage auf)) [Tom hat 12 Bücher?]
09      ((wählt schaltfläche video aus))
10      ((schreibt rechnung auf)) [12+31=43]
11      ((schreibt antwort auf)) [Tom hat 43 Bücher]
```

- Wechsel zwischen Muttersprache und Unterrichtssprache

Zudem wechselten die Kinder mit nichtdeutscher Muttersprache während der Bearbeitung der Textaufgaben sehr selten mehrmalig zwischen der Sprache Deutsch und der Muttersprache oder der Muttersprache und der Sprache Deutsch. Stets wurde abschließend wieder die Unterrichtssprache Deutsch gewählt und die Aufgabe in dieser Sprache bearbeitet. Beispielhaft hierfür ist nachfolgende Aufgabenbearbeitung.

Schülerin 11, 4. Textaufgabe

```
02 S11: ((schreibt F: R: A: auf))
03      ((wählt schaltfläche arabisch aus))
04      ((liest textaufgabe leise))
05      ((beginnt frage aufzuschreiben))
06      ((wählt schaltfläche deutsch aus))
07      ((schreibt frage auf)) [Wie viele Bilder Anna und Tom zusammen?]
08      ((wählt schaltfläche arabisch aus))
09      ((wählt schaltfläche video aus))
10      ((schreibt rechnung mit arabischen schriftzeichen auf))
      [١٣+٧٨=84] (13 + 78)
11      ((wählt schaltfläche deutsch aus))
12      ((schreibt antwort auf)) [Anna und Tom haben zusammen 84 Bilder.]
```

- Wechsel zwischen Muttersprache, Fremdsprache und Unterrichtssprache
Zudem wurde bei den bearbeiteten Textaufgaben sehr selten während des Bearbeitungsprozesses die Muttersprache mindestens einmal ausgewählt und zusätzlich eine andere Fremdsprache gewählt. Abschließend wurde nochmals die Sprache Deutsch gewählt und die Textaufgabe in dieser Sprache bearbeitet. Eine solche Nutzungsweise verdeutlicht folgender Transkriptausschnitt.

Schülerin 10, 1. Textaufgabe

```
01 S10: ((liest Textaufgabe leise))
02      ((wählt schaltfläche türkisch aus))
03      ((liest Textaufgabe leise))
04      nein das ist besser ((wählt schaltfläche englisch aus))
05      ((liest Textaufgabe leise))
06      ((wählt schaltfläche ton aus))
07      nein deutsch ist besser
08      ((wählt schaltfläche deutsch aus))
09      ((liest Textaufgabe laut))
```

Wenn die Muttersprache von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache ausgewählt wurde, dann immer zu Beginn des Bearbeitungsprozesses und dementsprechend zur Unterstützung des Verstehens der Textaufgabe.

6.2 Zusammenhänge zwischen den Nutzungsweisen der App Textaufgaben Verstehen und den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs

In diesem Unterkapitel steht die Beantwortung der Forschungsfrage 2 (F 2) im Mittelpunkt:

Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen und den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs?

Die Nutzungsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* wurden in Kapitel 6.1 dargestellt. Nachfolgend werden Zusammenhänge zu den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs nach Verschaffel et al. während des Bearbeitens der Textaufgaben hergestellt. Die Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden anhand festgelegter Aspekte untersucht:

- Lösung der einzelnen Teilprozesse des Modellierungskreislaufs
- Korrektheit der gesamten Lösung
- genutzte Repräsentationsformen während der Teilprozesse

Strukturgebend für die Beantwortung der Forschungsfrage 2 sind die untergeordneten Forschungsfragen (F 2.1, F 2.2).

6.2.1 Nutzungsweisen und Verstehen

Der erste Teilprozess des Modellierungskreislaufs nach Verschaffel et al. (2000) beinhaltet das Verstehen der Textaufgabe. Durch Vereinfachen und Strukturieren des verstandenen Inhalts der Textaufgabe kann das Situationsmodell aufgebaut werden. Der erste Prozess hat Auswirkungen auf alle nachfolgenden Teilprozesse des Modellierungskreislaufs. Zusammenhänge zwischen den Nutzungsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* und dem Verstehen einer Textaufgabe mit anschließendem Aufbau des Situationsmodells werden nachfolgend enthüllt und beschrieben, sodass die Forschungsfrage 2.1 beantwortet wird:

F 2.1: Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen und dem Teilprozess verstehen?

Eine Textaufgabe galt als verstanden, wenn diese von den Kindern in eigenen Worten sinngemäß nacherzählt werden konnte. Der Aufbau des Situationsmodells galt als passend, wenn eine angemessene Frage zu der Textaufgabe schriftlich oder mündlich während der selbstständigen Aufgabenbearbeitung formuliert wurde oder diese auf Nachfrage nach der Aufgabenbearbeitung formuliert werden konnte.

Die Textaufgaben, die im Rahmen der Untersuchung bearbeitet wurden, wurden insgesamt häufig von den Aufgabenlösenden verstanden. Das Verstehen der Textaufgabe gelang häufig, wenn während der Aufgabenbearbeitung mindestens eine der Hilfen (Tipps zur Texterschließung, Ton oder Video) ausgewählt wurde (s. Tabelle 6.9). Wenn der Text verstanden wurde, wurde während der Bearbeitung der Textaufgaben gelegentlich mindestens ein Tipp zur Texterschließung gewählt, gelegentlich wurde mindestens die Textaufgabe angehört und häufig wurde mindestens das Video angeschaut. Wurde nach Auswahl eines Tipps die Texterschließungsstrategie ausgeführt, gelang das Verstehen der Textaufgabe eher, als wenn die Strategie von den Aufgabenlösenden nicht ausgeführt wurde. Wenn multiple Repräsentationen der Textaufgabe (Text/Ton oder Text/Video oder Text/Ton/Video oder Text/Tipps/Ton/Video) während der Aufgabenbearbeitung genutzt wurden, wurde die Textaufgabe häufiger verstanden, als wenn die Textaufgabe nur als Text (Monodarstellung) präsentiert wurde (s. Tabelle 6.9).

Hilfen der App	Anzahl Textaufgaben (n =)	+ verstehen		- verstehen	
		Anzahl Textaufgaben	Prozent	Anzahl Textaufgaben	Prozent
Tipp(s)	1	1	1,3	0	0
Ton	5	4	5,3	1	1,3
Video	8	5	6,6	3	4,0
Tipp(s), Ton	0	0	0	0	0
Tipp(s), Video	4	2	2,6	2	2,6
Video/Ton	7	5	6,6	2	2,6
Tipp(s)/Video/Ton	23	16	21,1	7	9,2
Keine Hilfe	28	13	17,1	15	19,7
Gesamt	76	46	60,6	30	39,4

Tabelle 6.9: Verstehen der Textaufgabe im Zusammenhang mit den Nutzungsweisen der App

Wenn die Textaufgabe angemessen verstanden wurde, wurde bei mehr als einem Drittel der Aufgaben auch das Situationsmodell passend aufgebaut (s. Tabelle 6.10), wohingegen im Vortest die Untersuchungspersonen zu keiner der Textaufgaben ein passendes Situationsmodell aufbauen konnten.

Hilfen der App	Anzahl Textaufgaben n =	+ verstehen (n = 46)			
		+ Situationsmodell		- Situationsmodell	
		Anzahl Textaufgaben	Prozent	Anzahl Textaufgaben	Prozent
Tipp(s)	1	0	0	1	2,2
Ton	4	1	2,2	3	6,5
Video	5	2	4,4	3	6,5
Tipp(s)/Ton	0	0	0	0	0
Tipp(s)/Video	2	0	0	2	4,4
Video/Ton	5	4	8,7	1	2,2
Tipp(s)/Video/Ton	16	8	17,4	8	17,4
Keine Hilfe	13	2	4,4	11	23,9
Gesamt	46	17	37,1	29	63,1

Tabelle 6.10: Aufbau des Situationsmodells im Zusammenhang mit den Nutzungsweisen der App

Wenn das Verstehen der Textaufgabe und der Aufbau eines passenden Situationsmodells gelangen, wurde während der Aufgabenbearbeitung sehr häufig mindestens einer

der Tipps zur Texterschließung, der Ton oder das Video ausgewählt. Dabei wurde gelegentlich mindestens ein Tipp, häufig der Ton und sehr häufig das Video ausgewählt. Wenn das Verstehen der Textaufgabe und die Generierung eines passenden Situationsmodells gelangen, wurde die Textaufgabe während der Aufgabenbearbeitung häufig als multiple Repräsentation, d. h. als Text, Ton und Video präsentiert (s. Tabelle 6.10). Demgegenüber gelang das Verstehen der Textaufgabe mit dem anschließenden Aufbau des Situationsmodells sehr selten, wenn diese ausschließlich als Text (Monodarstellung) präsentiert wurde.

Nachfolgende Transkriptausschnitte zeigen beispielhaft, dass das Anhören der Textaufgabe sich direkt vorteilhaft auf den Aufbau des Situationsmodells auswirken konnte.

Schüler 19, 2. Textaufgabe

```
07 S19: ((wählt schaltfläche ton aus))
08      tipps zur viele?
09      warum steht da nicht wie viel das sind?
10      ...
20      ((wählt schaltfläche ton aus)) viele bälle viele bälle
21      ((stoppt wiedergabe der tonaufnahme))
```

Nachfolgender Ausschnitt eines Transkriptes zeigt beispielhaft, dass nach dem Anschauen des Videos das Situationsmodell aufgebaut wurde.

Schüler 7, 1. Textaufgabe

```
19 S7:  das ist video <<wählt schaltfläche video aus>>
20      das ist die anna
21      alle luftballons
22      hä? <<schaut sich video an und guckt wieder auf sein blatt>>
23      ah ich muss rechnen wie viele die äh der davor hatte gell?
```

Wenn die Textaufgabe während der Bearbeitung mehrmalig angehört wurde, wurde die Textaufgabe sehr häufig verstanden. Zusätzlich gelang der Aufbau eines passenden Situationsmodells häufig, wenn der Ton mehrmalig während der Aufgabenbearbeitung einer Textaufgabe ausgewählt wurde (s. Tabelle 6.11).

Hilfen der App	Anzahl Text- aufgaben n =	+ verstehen				- verstehen	
		+ Situationsmodell		- Situationsmodell			
		Anzahl Text- aufgaben	Prozent	Anzahl Text- aufgaben	Prozent	Anzahl Text- aufgaben	Prozent
Ton einmalig	24	6	25,0	9	37,5	9	37,5
Ton mehrmalig	11	7	63,6	3	27,3	1	9,1
Gesamt	35	13	37,1	12	34,3	10	28,6

Tabelle 6.11: Verstehen der Textaufgabe und Aufbau des Situationsmodells im Zusammenhang mit der Auswahl des Tons

Wenn das Video mehrmalig, d. h. mindestens zwei Mal während der Aufgabenbearbeitung angeschaut wurde, dann gelang das Verstehen der Textaufgabe sehr häufig. Zudem wurde dann das Situationsmodell häufig angemessen aufgebaut (s. Tabelle 6.12).

Hilfen der App	Anzahl Text- aufgaben n =	+ verstehen				- verstehen	
		+ Situationsmodell		- Situationsmodell			
		Anzahl Text- aufgaben	Prozent	Anzahl Text- aufgaben	Prozent	Anzahl Text- aufgaben	Prozent
Video einmalig	31	6	19,4	12	38,7	13	41,9
Video mehrmalig	11	8	72,7	2	18,2	1	9,1
Gesamt	42	14	33,3	14	33,3	14	33,3

Tabelle 6.12: Verstehen der Textaufgabe und Aufbau des Situationsmodells im Zusammenhang mit der Auswahl des Videos

Bei den Textaufgaben, die von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache angemessen verstanden wurden, wurde während der Aufgabenbearbeitung sehr häufig nicht in die Muttersprache gewechselt und sehr selten die Muttersprache gewählt (s. Tabelle 6.13). Wenn zusätzlich ein passendes Situationsmodell aufgebaut wurde, wurde während der Aufgabenbearbeitung sehr häufig nicht in die Muttersprache gewechselt und sehr selten die Muttersprache gewählt (s. Tabelle 6.13). Wurde bei den Textaufgaben, die von Untersuchungspersonen mit nichtdeutscher Muttersprache bearbeitet wurden, die Muttersprache gewählt, dann wurden die Textaufgaben gelegentlich angemessen verstanden. Wenn bei den Textaufgaben, die von Lernenden mit nichtdeutscher Muttersprache bearbeitet wurden, die Auswahl der Muttersprache erfolgte, dann wurde das Situationsmodell sehr häufig nicht angemessen aufgebaut.

Hilfen der App	Anzahl Textaufgaben n =	+ verstehen		- verstehen
		+ Situationsmodell Anzahl Textaufgaben	- Situationsmodell Anzahl Textaufgaben	Anzahl Textaufgaben
Muttersprache	6	1	2	3
Keine Muttersprache	22	7	10	5
Gesamt	28	13	12	8

Tabelle 6.13: Verstehen der Textaufgabe und Aufbau des Situationsmodells der SuS mit nichtdeutscher Muttersprache

Unabhängig davon, ob das Situationsmodell angemessen aufgebaut wurde, erfolgte während der Aufgabenbearbeitung selten die Formulierung einer Frage als externe Repräsentation durch die Aufgabenlösenden. Wenn eine Frage von den Untersuchungspersonen formuliert wurde, dann häufig als deskriptionale Repräsentation in Form von geschriebener Sprache. Wenn eine Frage während der selbstständigen Aufgabenbearbeitung formuliert wurde, dann wurde diese sehr selten als deskriptionale Repräsentation in Form von gesprochener Sprache formuliert, wie nachfolgendes Beispiel zeigt.

Schüler 19, 4. Textaufgabe

```

18  S19: ((wählt wiedergabe der tonaufnahme und hört textaufgabe weiter
      an))
19      vorher wie viel hat die?

```

Wenn während des Bearbeitens einer Textaufgabe eine Frage als externe Repräsentation von den Aufgabenlösenden formuliert wurde, dann wurde während der Aufgabenbearbeitung häufig die Textaufgabe angehört und bzw. oder das Video angeschaut. Wenn die Frage als gesprochene Sprache formuliert wurde, dann wurde vorher immer die Textaufgabe angehört und bzw. oder das Video angeschaut. Unabhängig von der Nutzungsweise der App *Textaufgaben Verstehen* formulierten die gleichen Schülerinnen und Schüler, die bei einer Textaufgabe eine Frage in Schriftsprache aufschrieben auch bei allen anderen Textaufgaben, die sie bearbeiteten, eine Frage als deskriptionale Repräsentation in Schriftsprache.

6.2.2 Nutzungsweisen und nachfolgende Teilprozesse

Nachfolgend werden Zusammenhänge zwischen den Nutzungsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* und den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs mathema-

tisieren, mathematisch arbeiten, interpretieren, evaluieren und kommunizieren beschrieben, sodass die Forschungsfrage 2.2 beantwortet wird:

F 2.2: Welche Zusammenhänge bestehen zwischen den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen und den Teilprozessen mathematisieren, mathematisch arbeiten, interpretieren, evaluieren und kommunizieren?

Das Mathematisieren galt als angemessen bewältigt, wenn die Sachsituation in die Sprache der Mathematik übertragen wurde und eine passende Rechenaufgabe zur Textaufgabe von der Untersuchungsperson formuliert werden konnte. Der Teilprozess mathematisch arbeiten beinhaltet die richtige Lösung der Rechenaufgabe. Die mathematische Lösung der Rechenaufgabe war anschließend angemessen zu interpretieren und nachfolgend mit Bezug auf das Situationsmodell zu evaluieren. Das Kommunizieren war angemessen, wenn eine passende Antwort zu der Textaufgabe schriftlich oder mündlich während der selbstständigen Aufgabenbearbeitung formuliert wurde oder auf Nachfrage nach der Aufgabenbearbeitung von der Untersuchungsperson formuliert werden konnte. Der Modellierungskreislauf nach Verschaffel et al. (2000) verdeutlicht, dass das Verstehen der Textaufgabe mit dem Aufbau des Situationsmodells Voraussetzung für die Bewältigung der nachfolgenden Teilprozesse ist.

6.2.2.1 Mathematisieren und Mathematisch arbeiten

Wenn bei den Textaufgaben der Untersuchung das Situationsmodell angemessen aufgebaut wurde, konnte gelegentlich die notwendigen Informationen der Textaufgabe durch Mathematisieren in ein mathematisches Modell übersetzt werden, sodass eine passende Rechenaufgabe zur Textaufgabe formuliert wurde. Anschließend wurden diese Rechenaufgaben häufig richtig gelöst (mathematisch arbeiten). Wenn das Situationsmodell vorher nicht angemessen aufgebaut wurde, dann wurde sich bei der Formulierung der Rechenaufgabe (mathematisieren), wie nachfolgende Schüleräußerungen verdeutlichen, wohl an den Zahlen und dem vermuteten Rechenaufwand orientiert.

Schüler 4, 4. Textaufgabe

```
37 I:   woher wusstest du was du rechnen solltest?
38 S4:  weil ich immer das plus das <<zeigt auf zahlen im text>>
39      sonst kann man das nicht rechnen
```

Schülerin 5, 1. Textaufgabe

25 I: warum hast du sechzehn plus vierunddreißig gerechnet?
26 S5: da weil sechzehn steht und vierunddreißig <<zeigt auf textaufgabe>>

Unabhängig von den Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* wurde während der Textaufgabenbearbeitung häufig eine Rechenaufgabe (Mathematisches Modell) und sehr häufig die mathematische Lösung als externe Repräsentation in Form von geschriebener und bzw. oder gesprochener Sprache formuliert. Wenn die Rechenaufgabe als mathematisches Modell in gesprochener Sprache formuliert wurde, wurde während der Aufgabenbearbeitung immer die Textaufgabe angehört oder das Video angeschaut. Wenn die mathematische Lösung in gesprochener Sprache formuliert wurde, wurde während der Aufgabenbearbeitung sehr häufig die Textaufgabe angehört oder das Video zur Sachsituation angeschaut.

Das Video zur Textaufgabe wurde selten angeschaut, um die abgebildeten Gegenstände zu zählen und somit eine mathematische Lösung zu generieren. Beispielhaft wird das Zählen von Gegenständen im nachfolgenden Ausschnitt verdeutlicht.

Schüler 18, 3. Textaufgabe

02 S18: ((liest textaufgabe leise))
03 ((wählt schaltfläche türkisch aus))
04 tom hat viele bücher im regal
05 ((wählt schaltfläche französisch aus))
06 ((wählt schaltfläche deutsch aus))
07 er stellt noch zwölf bücher in sein regal
08 jetzt sind jetzt sind einunddreißig bücher im regal
09 ((wählt schaltfläche video aus))
10 ((stoppt videoaufnahme und zählt die bücher im regal))
11 ((schreibt auf schmierblatt)) [16 43]
12 ((schreibt ergebnis auf)) [43]

Die Videos geben einen Einblick in die dynamische Situation der Textaufgabe. Sie sind so gestaltet, dass die abgebildeten Gegenstände nicht eindeutig abgezählt werden konnten und die mathematische Lösung nicht durch Zählen ermittelt werden konnte. Nachfolgendes Beispiel zeigt, wie Fehler aufgrund von Fehlinterpretationen des Videos während des Teilprozesses mathematisch arbeiten entstanden sind.

Schülerin 10, 1. Textaufgabe

```
73 S10: nein die ergebnis soll doch null rauskommen
74      ((wählt schaltfläche video aus))
75      ((spult videoaufnahme vor))
76      ich spring bis dahin
77      die ergebnis muss null kommen
78      guck hier nulll <<zeigt im video auf den leeren Tisch des Jun-
79      gen, der keine Luftballons mehr vor sich liegen hat>>
80      hier ist null und bei sie sie hat sehr viele luftballons
81      und sie hat null
81      aber ich weiß nicht wie die ergebnis null rauskommt
```

Die Kinder bemerkten teilweise, dass die Gegenstände im Video nicht zählbar waren und bei der arithmetischen Arbeit keine Unterstützung gaben. Dies verdeutlicht nachfolgendes Beispiel.

Schüler 19, 2. Textaufgabe

```
317 I:   <<zeigt auf tablet>> warum hast du dir das video angeschaut?
318 S19: weil das hilft
319      ...
321      weil das sieht man wie viel bälle das ist
322      das geht eigentlich gar nicht weil das eh nicht stimmt
323      oder doch schon
324 I:   ok
325 S19: manchmal nicht
```

Wenn die Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache mit Hilfe der App ihre Muttersprache auswählten, ließen sich keine erkennbar positiveren Auswirkungen auf das Mathematisieren und das mathematische Arbeiten während der Aufgabenbearbeitung feststellen.

6.2.2.2 Evaluieren und Interpretieren

Wenn das Situationsmodell angemessen aufgebaut wurde sowie während der Aufgabenbearbeitung die Textaufgabe angehört wurde und bzw. oder das Video angeschaut wurde, dann wurde die mathematische Lösung sehr häufig angemessen interpretiert. Bei allen bearbeiteten Textaufgaben wurde die interpretierte Lösung sehr selten in Beziehung zur Ausgangssituation gesetzt und unter Rückbezug auf das Situationsmodell evaluiert. Wenn die interpretierte Lösung evaluiert wurde, wurde während der Aufgabenbearbeitung sehr häufig eine der Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* genutzt.

Nachfolgender Ausschnitt verdeutlicht, dass der Schüler 7 das Video zum Evaluieren der Lösung anschaute.

Schüler 7, 2. Textaufgabe

- 79 S7: warum hast du dir das video erst angeschaut nachdem du die
antwort aufgeschrieben hast
- 80 J: zum vergleichen dass es richtig ist

Wenn die Untersuchungspersonen mit nichtdeutscher Muttersprache mit Hilfe der App ihre Muttersprache auswählten, ließen sich keine erkennbar positiveren Auswirkungen auf das Interpretieren und Evaluieren während der Aufgabenbearbeitung feststellen.

6.2.2.3 Kommunizieren

Bei allen bearbeiteten Textaufgaben wurde, unabhängig von der Nutzungsweise der App *Textaufgaben Verstehen*, während der Aufgabenbearbeitung selten eine Antwort als externe Repräsentation, genauer gesagt als deskriptionale Repräsentation, formuliert. Wenn eine Antwort als deskriptionale Repräsentation durch die Aufgabenlösenden formuliert wurde, dann häufig in geschriebener Sprache und selten in gesprochener Sprache. Wurde eine Antwort in gesprochener oder geschriebener Sprache formuliert, dann erfolgte vorher sehr häufig mindestens die Auswahl einer Hilfe. Häufig wurde bei externer Repräsentation der Antwort durch die Aufgabenlösenden das Video angeschaut und häufig die Textaufgabe angehört. Wenn die Antwort in gesprochener Sprache formuliert wurde, wurde vorher immer mindestens eine der Hilfen ausgewählt. Sehr häufig wurde dann vorher mindestens das Video angeschaut.

Erfolgte die Formulierung der Frage als externe Repräsentation, dann wurden sehr häufig auch die Rechnung und die mathematische Lösung und häufig zudem der Antwortsatz als externe Repräsentation formuliert. Wenn eine Untersuchungsperson eine Frage in geschriebener Sprache aufschrieb, dann wurden sehr häufig die Rechnung und die Antwort auch in geschriebener Sprache formuliert. Zudem ist zu beobachten, dass die gleichen Untersuchungspersonen, unabhängig von den Nutzungsweisen der Tablet App, sehr häufig bei allen bearbeiteten Textaufgaben immer schriftliche Formulierungen von Frage, Rechnung und bzw. oder Antwort nutzten.

Wenn die Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache mit Hilfe der App ihre Muttersprache auswählten, ließen sich keine erkennbar positiveren Auswirkungen auf das Kommunizieren während der Aufgabenbearbeitung feststellen.

6.3 Einschätzung der App Textaufgaben Verstehen

Nachfolgend steht die dritte leitende Forschungsfrage 3 (F 3) im Fokus:

Wie werden die Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen eingeschätzt?

Nach dem selbstständigen Bearbeiten einer Textaufgabe mit Hilfe der App *Textaufgaben Verstehen* wurden die Schülerinnen und Schüler im Rahmen des leitfadengestützten Interviews nach ihren subjektiven Einschätzungen zu den Hilfen der Anwendung befragt. Unter dem Aspekt subjektive Einschätzungen werden folgende Teilaspekte subsumiert:

- Beweggründe zur Auswahl der Hilfen der App *Textaufgaben Verstehen*
- Subjektive Bewertung der Hilfen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*

Die Präsentation der Untersuchungsergebnisse zu Forschungsfrage 3 gliedert sich nach deren untergeordneten Forschungsfragen (F 3.1, F 3.2, F 3.3, F 3.4).

6.3.1 Subjektive Einschätzungen zu den Tipps zur Texterschließung

Im vorliegenden Unterkapitel werden die Beweggründe der Aufgabenlösenden zur Auswahl der Tipps zur Texterschließung beschrieben sowie die subjektive Bewertung der Untersuchungspersonen im Hinblick auf die Unterstützung der Strategien zur Texterschließung während der Textaufgabenbearbeitung dargestellt, sodass die Forschungsfrage 3.1 beantwortet wird:

F 3.1: Wie wird die Wahl der Tipps zur Texterschließung der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?

6.3.1.1 Beweggründe für die Auswahl der Tipps zur Texterschließung

Die Beweggründe der Aufgabenlösenden zur Auswahl der Tipps zur Texterschließung während der Aufgabenbearbeitung waren unterschiedlich (s. Tabelle 6.14).

Beweggrund	Häufigkeit	Prozent
Unterstützung während Textaufgabenbearbeitung	16	57,1
Kein Beweggrund	11	39,3
Überprüfen, ob Tipps immer gleich sind	1	3,6
Gesamt Textaufgaben	28	100

Tabelle 6.14: Beweggründe für die Auswahl der Tipps zur Texterschließung

Als Beweggrund für die Auswahl der Tipps zur Texterschließung wurde hauptsächlich die Unterstützung der Tipps während der Bearbeitung der Textaufgabe aufgeführt. Beispielfhaft wurden folgende Antworten genannt.

	I:	warum hast du dir die tipps angehört?
45	S6:	als hilfe (Schüler 6, 3. Textaufgabe)
44	S3:	das ein bisschen die aufgabe leichter wird und er mir richtig erklärt (Schüler 3, 3. Textaufgabe)
73	K:	damit ich weiß was ich machen soll (Schülerin 10, 4. Textaufgabe)

Am zweithäufigsten nannten die Untersuchungspersonen keinen besonderen Beweggrund, warum sie die Tipps zur Texterschließung gewählt hatten. Dies verdeutlichen nachfolgende Äußerungen beispielhaft.

	I:	warum hast du dir die tipps angehört?
33	S5:	weiß ich nicht (Schülerin 5, 1. Textaufgabe)
46	S6:	einfach so (Schüler 6, 1. Textaufgabe)
69	S4:	auch mal zum hören (Schüler 4, 4. Textaufgabe)

Einmalig wurde von Schüler 19 mit der Auswahl der Tipps überprüft, ob die Tipps aufgabenspezifisch sind, wie folgende Aussage verdeutlicht.

Schüler 19, 2. Textaufgabe		
330	I:	warum hast du dir die tipps angehört?
331	S19:	ich will nur gucke ob das dieselbe ist, ist aber dieselbe immer

6.3.1.2 Beweggründe für keine Auswahl der Tipps zur Texterschließung

Wenn während des Bearbeitungsprozesses keiner der Tipps zur Texterschließung ausgewählt wurde, dann wurde dies meist damit begründet, dass keine Hilfe benötigt wurde, wie nachfolgende Schüleräußerungen zeigen.

	I:	warum hast du dir keinen tipp angehört?
39	S9:	ich brauche keine tipps ich weiß wie das funktioniert (Schüler 9, 4. Textaufgabe)
83	S7:	weil ich brauchte keinen (Schüler 7, 2. Textaufgabe)
60	S15:	weil ich die nicht grad gebraucht habe (Schüler 15, 1. Textaufgabe)

Am zweithäufigsten gaben die Untersuchungspersonen bei der fehlenden Auswahl der Tipps zur Texterschließung keinen expliziten Grund an, sondern begründeten dies mit Aussagen wie „Weiß ich nicht“. Am dritthäufigsten wurde die fehlende Wahl der Tipps zur Texterschließung von den Schülerinnen und Schülern damit begründet, dass bei jeder Aufgabe die gleichen Texterschließungsstrategien präsentiert wurden. Die Strategien wurden in diesen Fällen als nicht aufgabenspezifische Hilfe empfunden. Dies zeigen folgende Schüleräußerungen.

	I:	warum hast du dir keinen tipp angehört?
43	S18:	weil das die gleichen waren <<wählt schaltflächen tipps aus>> das waren alles die gleichen (Schüler 18, 2. Textaufgabe)
58	S2:	das wäre noch mal das gleiche gewesen (Schüler 2, 3. Textaufgabe)

Nachfolgende Schüleräußerungen zeigen exemplarisch, dass die Tipps bei einigen Textaufgaben nicht von den Schülerinnen und Schülern genutzt wurden, da sie die Aufgabe alleine lösen wollten:

	I:	warum hast du dir die tipps angehört?
57	S13:	weil ich dachte dass ich das allein löse (Schülerin 13, 1. Textaufgabe)
48	S2:	weil ich gedacht habe das kann ich vielleicht mal allein (Schüler 2, 1. Textaufgabe)

Zudem wurde als Beweggrund für keine Wahl der Tipps während der Textaufgabenbearbeitung angegeben, dass diese nicht als hilfreich erfahren wurden.

	I:	warum hast du dir die tipps angehört?
41	S17:	die waren nicht so gut (Schülerin 17, 4. Textaufgabe)
67	S19:	<<nuschelt>> weil das irgendwie unnötig war
68		und hat nicht geholfen (Schüler 19, 3. Textaufgabe)

6.3.1.3 Bewertung der Tipps zur Texterschließung

Die Tipps zur Texterschließung wurden von den Aufgabenlösenden häufig als hilfreich während des Bearbeitungsprozesses von Textaufgaben bewertet. Wenn die Strategien zur Texterschließung angemessen angewendet wurden, wurden diese sehr häufig als hilfreich oder teilweise hilfreich empfunden. In diesem Fall wurde insbesondere der

Tipp 1, das wiederholte Lesen des Textes, von den Schülerinnen und Schülern als hilfreich oder teilweise hilfreich bewertet, wie nachfolgender Interviewausschnitt exemplarisch zeigt.

Schüler 15, 2. Textaufgabe

```
65 I:  <<zeigt auf tablet>> warum hast du dir die tipps angehört?
66 S15: weil
67 I:  ((wählt schaltfläche tipp 1 aus))
68 S15: dann hab ich dieses gedrückt und dann hab ich es dreimal mir
        durchgelesen und *
69     bis ich diese frage kapiert habe
70     und dann habe ich es
71 I:  hat dir der tipp beim lösen der textaufgabe geholfen?
72 S15: ja <<nickt>>
73 I:  warum?
74 S15: weil * ehm
75     ich hab es mir durchgelesen und durchgelesen und dann hab ich
        es hingekriegt
```

Selten wurden die Tipps zur Texterschließung als nicht hilfreich bewertet. Dies war insbesondere zu beobachten, wenn keine entsprechende Reaktion nach dem Anhören des Arbeitsauftrags erfolgte.

Nachfolgender Interviewausschnitt verdeutlicht, dass die auditiv präsentierten Texterschließungsstrategien teilweise von den Aufgabenlösenden nicht verstanden wurden und aus diesem Grund ggf. nicht ausgeführt wurden.

Schüler 15, 3. Textaufgabe

```
101 I:  hat dir der tipp beim lösen der aufgabe geholfen?
102     ((wählt schaltfläche tipp 2 aus))
103 M:  nicht so ganz
104 I:  warum?
105 M:  weil ehm *
106     was will der?
107     ((wählt schaltfläche tipp 2 aus))
108     weil es
109     ich habs nicht so gut verstanden
110     so *
111     ja nicht so gut verstanden
```

6.3.2 Subjektive Einschätzungen zum Ton

Nachfolgend werden die Beweggründe der Aufgabenlösenden zum Anhören der Textaufgabe beschrieben. Zusätzlich wird die subjektive Bewertung zur auditiven Präsentation der Textaufgabe dargestellt, sodass die Forschungsfrage 3.2 beantwortet wird:

F 3.2: Wie wird die Wahl des Tons zur Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?

6.3.2.1 Beweggründe für die Auswahl des Tons

Für die Auswahl des Tons zur Textaufgabe wurden verschiedene Beweggründe genannt (s. Tabelle 6.15).

Beweggrund	Häufigkeit	Prozent
Unterstützung während Textaufgabenbearbeitung	14	40,0
Vorlesen des Textes	11	31,4
Kein Beweggrund	7	20,0
Zugang über Sinneskanal Hören	3	8,6
Gesamt Textaufgaben	35	100

Tabelle 6.15: Beweggründe für die Auswahl des Tons

Als Beweggrund für die Auswahl des Tons wurde hauptsächlich die Unterstützung während der Textaufgabenbearbeitung angeführt. Die Untersuchungspersonen gaben vor allem an, dass durch das Anhören der Textaufgabe das Verstehen unterstützt wurde. Dies verdeutlichen nachfolgende Schüleräußerungen beispielhaft.

I:	warum hast du dir den text vorlesen lassen?
95 S18:	dass ich besser verstehen kann
96	da das viel schneller ist als zu sprechen (Schüler 18, 1. Textaufgabe)
51 S3:	dass ich besser verstehe (Schüler 3, 3. Textaufgabe)
46 S4:	damit ich das weiß wie das geht dann (Schüler 4, 1. Textaufgabe)

Am zweithäufigsten wurde das Anhören der Textaufgabe damit begründet, dass die eigene Kompetenz nicht ausreichte, um den Text verstehend zu lesen und das Vorlesen eine Unterstützung war. Dies verdeutlichen folgende Schüleräußerungen exemplarisch.

I:	warum hast du dir den text vorlesen lassen?
218 S19:	weil ich nicht so gut lesen kann (Schüler 19, 1. Textaufgabe)
54 S6:	weil er bisschen schwierig war zu lesen (Schüler 6, 3. Textaufgabe)
37 S9:	wegen ich kann nicht so gut lesen (Schüler 9, 1. Textaufgabe)

Am dritthäufigsten gaben die Untersuchungspersonen für das Anhören der Textaufgabe keinen besonderen Beweggrund an, sondern begründeten dies mit Aussagen wie beispielsweise „weiß ich nicht“ (Schüler 8, 4. Textaufgabe).

Als weiterer Grund für das Anhören der Textaufgabe wurde vereinzelt genannt, dass die Textaufgabe so über den Sinneskanal Hören zugänglich wurde.

	I:	warum hast du dir den text vorlesen lassen?
55	S15:	weil ich hab es noch bisschen mal gehört was sie sagt so noch (Schüler 15, 2. Textaufgabe)
63	S4:	einfach auch zum hören (Schüler 4, 3. Textaufgabe)

6.3.2.2 Beweggründe für keine Auswahl des Tons

Wenn während der Textaufgabenbearbeitung der Text nicht angehört wurde, dann wurde dies hauptsächlich damit begründet, dass die Hilfe nicht gebraucht wurde. Die Aufgabenlösenden gaben an, dass die Aufgabe bereits verstanden wurde, die Aufgabenlösenden nach eigener Einschätzung über ausreichend Lesekompetenz verfügten, die Aufgabe allein bearbeitet werden wollte oder das Vorlesen der Textaufgabe nicht half. Dies verdeutlichen nachfolgende Schüleräußerungen beispielhaft.

	I:	warum hast du dir den text nicht vorlesen lassen?
62	S15:	brauchte ich nicht, weil ich hab es vor * für mich vorgelesen (Schüler 15, 1 Textaufgabe)
78	S7:	weil ich den verstanden habe (Schüler 7, 3. Textaufgabe)
45	S17:	weil ich es so lesen konnte (Schülerin 17, 4. Textaufgabe)
128	S14:	weil ich es mal allein probieren wollte (Schüler 14, 1. Textaufgabe)

Am zweithäufigsten gaben die Aufgabenlösenden keinen besonderen Grund an, wenn sie die Textaufgabe nicht angehörten, sondern begründeten dies mit Aussagen wie „weiß ich nicht wieso“ (Schüler 6, 4. Textaufgabe).

Ein Schüler äußerte nach zwei bearbeiteten Textaufgaben, dass er sich den Text nicht anhört, „weil wenn ich normal so lese, werde ich besser im lesen“ (Schüler 2, 1. Textaufgabe).

6.3.2.3 Bewertung des Tons

Das Anhören der Textaufgabe wurde häufig als hilfreich oder teilweise hilfreich während der Aufgabenbearbeitung bewertet. Bei mehrmaligem Anhören der Textaufgabe wurde sehr häufig angegeben, dass der Ton zur Textaufgabe beim Bearbeiten der Textaufgabe hilfreich war.

6.3.3 Subjektive Einschätzungen zum Video

Nachfolgend werden die Beweggründe der Aufgabenlösenden zur Auswahl des Videos aufgeführt. Zudem wird die subjektive Bewertung der Untersuchungspersonen im Hinblick auf die Unterstützung des Videos während der Textaufgabenbearbeitung dargestellt, sodass die Forschungsfrage 3.3 beantwortet wird:

F 3.3: Wie wird die Wahl des Videos zur Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?

6.3.3.1 Beweggründe für die Auswahl des Videos

Die Beweggründe der Aufgabenlösenden während der Textaufgabenbearbeitung das Video anzuschauen waren unterschiedlich (s. Tabelle 6.16).

Beweggrund	Häufigkeit	Prozent
ikonische Darstellung der Textaufgabe als Video	17	40,5
Unterstützung während Textaufgabenbearbeitung	12	28,6
zählen der Gegenstände	7	16,7
kein Beweggrund	5	11,9
schöne Gestaltung des Videos	1	2,4
Gesamt Textaufgaben	42	100

Tabelle 6.16: Beweggründe für die Auswahl des Videos

Beweggründe für das Anschauen des Videos waren hauptsächlich der Transfer von der schriftsprachlichen Präsentation zur ikonischen Darstellung der Aufgabe. Wie die Textaufgabe wurde das Video über die Sinnesmodalität Sehen aufgenommen, aber in Form bewegter Bilder (Kodalität) präsentiert.

I:	warum hast du dir das video angeschaut?
71	S11: weil man da sieht wie die das machen (Schülerin 11, 4. Textaufgabe)
73	S18: weil ich habe gesehen was die gemeint haben (Schüler 18, 1. Textaufgabe)

Am zweithäufigsten wurde die Auswahl des Videos damit begründet, dass dieses bei der Bearbeitung der Textaufgabe unterstützte, u. a. wurde explizit geäußert, dass das Video beim Verstehen der Textaufgabe half. Dies verdeutlicht nachfolgender Transkriptausschnitt.

	I:	warum hast du dir das video angeschaut?
58	S10:	damit mir das hilft (Schülerin 10, 4. Textaufgabe)
59	S3:	dass ich richtig das verstehe und einfacher wird wieder (Schüler 3, 3. Textaufgabe)
126	S18:	ei wenn man jetzt zum beispiel hier im video sieht <<wählt schaltfläche video aus>> kann man besser verstehen dass hier luftballons sind und dass es ein mädchen ist
127		***
128		da sieht man dass sie ihm gibt <<zeigt auf video>>
129		und dann hat sie besser
130		da kann man besser verstehen (Schüler 18, 1. Textaufgabe)

Das Video wurde selten ausgewählt zur Unterstützung des Teilprozesses mathematisch arbeiten, um die mathematische Lösung zu finden. In diesen Fällen begründeten die Aufgabenlösenden die Auswahl damit, dass sie die Anzahl der Gegenstände gucken oder zählen wollten, wie die folgenden Schüleräußerungen zeigen.

	I:	warum hast du dir das video angeschaut?
111	S12:	ich zeig es dir <<wählt schaltfläche video aus>>
112		weil man das da zählen kann und das dann abschreiben kann <<zeigt auf video>> (Schüler 12, 2. Textaufgabe)
119	S14:	ähm weil ich gucken wollte wie viele bälle auf dem boden liegen äh (Schüler 14, 2. Textaufgabe)

Am vierthäufigsten gaben die Untersuchungspersonen keinen Beweggrund für das Anschauen des Videos an, sondern begründeten dies mit Aussagen wie z. B. „weiß ich nicht“ (Schülerin 5, 4. Textaufgabe) oder „ich hatte lust“ (Schüler 7, 4. Textaufgabe). Einmalig wurde folgender Grund zur Auswahl des Videos genannt: „weil es schön ist“ (Schüler 8, 4. Textaufgabe).

Das mehrmalige Anschauen des Videos wurde u. a. damit begründet, dass dieses als hilfreich während der Aufgabenbearbeitung empfunden wurde oder dieses erneut zum Evaluieren der Lösung angeschaut wurde.

6.3.3.2 Beweggründe für keine Auswahl des Videos

Wenn das Video nicht angeschaut wurde, dann wurden meist hierfür keine besonderen Begründungen gegeben, wie beispielsweise „weiß ich nicht mehr“ (Schüler 14, 1. Textaufgabe), „weiß ich auch nicht“ (Schüler 6, 4. Textaufgabe) oder „ich weiß nicht“ (Schüler 9, 1. Textaufgabe).

Wurde das Video nicht gewählt, war der zweithäufigste Grund dafür, dass dieses von

den Aufgabenlösenden nicht als Hilfe empfunden wurde. In diesen Fällen verbalisierten die befragten Personen, dass das Anschauen Zeitverschwendung sei, die Textaufgabenbearbeitung nicht unterstützte oder das Video den gleichen Inhalt der symbolisch präsentierten Textaufgabe als ikonische Repräsentationsform darstellte.

	I:	warum hast du dir das video nicht angeschaut?
55	S2:	auch wie ich eben gesagt habe ein bisschen zeitverschwendung <<lacht>>" (Schüler 2, 2. Textaufgabe)
49		und das video hätte ich auch nicht genommen
50		das wäre die gleiche aufgabe wie das mit dem text aber nur dass
51		* nur dass die das text geschrieben haben und bei video haben die das gefilmt (Schülerin 11, 1. Textaufgabe)

Am dritthäufigsten war die Begründung, dass die Aufgabe bereits verstanden wurde und deswegen das Video als Hilfe nicht gebraucht wurde. Dies verdeutlichen beispielsweise folgende Äußerungen.

	I:	warum hast du dir das video nicht angeschaut?
42	S1:	weil ich weiß es (Schüler 1, 2. Textaufgabe)
46	S9:	brauch auch kein video wegen ich weiß es wie viel wie das geht (Schüler 9, 4. Textaufgabe)

6.3.3.3 Bewertung des Videos

Das Anschauen des Videos während der Textaufgabenbearbeitung wurde häufig als hilfreich beurteilt. Wenn während der Textaufgabenbearbeitung das Video mehrmals angeschaut wurde, wurde häufig angegeben, dass diese Hilfe beim Bearbeiten der Textaufgabe hilfreich oder teilweise hilfreich ist.

6.3.4 Subjektive Einschätzungen zur Muttersprache

Nachfolgend werden die Beweggründe der Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache während der Aufgabenbearbeitung ihre Muttersprache auszuwählen aufgeführt. Zudem werden subjektive Bewertungen der Untersuchungspersonen im Hinblick auf die Unterstützung ihrer Muttersprache während der Textaufgabenbearbeitung dargestellt, sodass die Forschungsfrage 3.4 beantwortet wird:

F 3.4: Wie wird die Wahl der Muttersprache der App *Textaufgaben Verstehen* von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache und Förderbedarf Lernen begründet und bewertet?

6.3.4.1 Beweggründe für die Auswahl der Muttersprache

Wenn die Muttersprache während der Aufgabenbearbeitung ausgewählt wurde, wurden von den Untersuchungspersonen zwei Beweggründe genannt:

Zum einen wurde als Beweggrund aufgeführt, dass die Textaufgabe in der Muttersprache besser verstanden wurde. Dies verdeutlichen folgende Transkriptausschnitte:

Schüler 18, 3. Textaufgabe

33 I: warum hast du türkisch ausgewählt?
34 S18: weil ich besser verstehen kann

Schülerin 11, 4. Textaufgabe

52 I: warum hast du arabisch ausgewählt?
53 S11: weil ich es auf arabisch besser kann

Zum anderen wurde die Muttersprache wenig zielgerichtet, ohne Beweggrund, ausgewählt, wie nachfolgendes Beispiel verdeutlicht.

Schülerin 5, 4. Textaufgabe

34 I: warum hast du türkisch ausgewählt?
35 Y: * weiß ich nicht

6.3.4.2 Beweggründe für keine Auswahl der Muttersprache

Wenn die Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache nicht in die Muttersprache wechselten, wurde dies unterschiedlich begründet: Die Aufgabenlösenden führten an, dass die Textaufgabe in deutscher Sprache bereits verstanden wurde, so dass die Muttersprache nicht benötigt wurde. Dies verdeutlicht nachfolgender Interviewausschnitt.

Schüler 1, 2. Textaufgabe

43 I: warum hast du dir die tipps nicht auf bulgarisch angehört
44 A: weil ich kann es
45 I: du verstehst es darum?
46 A: ja
47 I: warum hast du dir den text nicht auf bulgarisch vorlesen lassen?
48 A: weil ich kann lesen

Die fehlende Auswahl der Muttersprache wurde auch damit begründet, dass die Schriftsprache der Muttersprache nicht beherrscht wird und dementsprechend schriftliche Elemente nicht erlesen werden konnten.

Schüler 1, 3. Textaufgabe

49 I: warum hast du dir die aufgabe nicht auf bulgarisch vorlesen
lassen?
50 S1: ich kann nur in deutsch lesen

Auch die erneute Auswahl der Sprache Deutsch wurde teilweise mit der mangelnden Lesekompetenz in der Muttersprache begründet, wie nachfolgendes Beispiel zeigt.

Schülerin 11, 4. Textaufgabe

56 I: warum hast du dann wieder deutsch ausgewählt?
57 S11: weil ich ein paar buchstaben die achtundsiebzig noch nicht so
auswendig kann
58 I: und deswegen habe ich auf deutsch nochmal geklickt
59 I: hat dir das beim lösen der aufgabe geholfen?

6.3.4.3 Bewertung der Muttersprache

Die Auswahl der Muttersprache während der Bearbeitung der Textaufgabe wurde häufig als hilfreich empfunden, wie nachfolgende Schüleräußerung beispielhaft zeigt:

Schülerin 11, 2. Textaufgabe

89 I: hat dir das geholfen dass du arabisch ausgewählt hast?
90 S11: ja
91 I: warum?
92 S11: weil die sprache kann ich viel besser wie deutsch

Selten wurde die Auswahl der Muttersprache als nicht hilfreich empfunden, wie der folgende Transkriptausschnitt verdeutlicht:

Schülerin 5, 3. Textaufgabe

42 I: hat das türkische dir beim lösen der aufgabe geholfen?
43 S5: nein
44 I: warum nicht
45 S5: weiß ich nicht

6.4 Typenbildung

Nachdem mit der inhaltlich strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse die Untersuchungsergebnisse in den vorangegangenen Kapiteln systematisch dargestellt wurden, wurden nach der typisierenden strukturierenden qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring,

2015) Typen von ähnlichen Bearbeitungsprozessen der Textaufgaben zusammengefasst. Da bei den Schülerinnen und Schülern jeweils verschiedene Nutzungsweisen der App *Textaufgaben Verstehen* beim Bearbeiten der vier Textaufgaben festzustellen waren, wurde keine Typisierung der Personen vorgenommen, sondern jede Aufgabenbearbeitung wurde einzeln betrachtet und ähnliche Bearbeitungsprozesse von Textaufgaben wurden einem Typ zugeordnet. Ziel war es, durch die Analyse von Ähnlichkeiten und Unterschieden auf Zusammenhänge zwischen den Nutzungsweisen der Tablet App, den Teilprozessen des Modellierungskreislaufs sowie den subjektiven Einschätzungen der Aufgabenlösenden zu schließen. Zunächst wird die Vorgehensweise der Typenbildung dargestellt und anschließend Typen der Textaufgabenbearbeitung beschrieben. Durch die Typenbildung werden Zusammenhänge aller übergeordneten Forschungsfragen F 1, F 2 und F 3 herauskristallisiert.

6.4.1 Vorgehensweise der Typenbildung

Die Nutzungsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* wurden als wesentlicher Faktor für die typenbildende qualitative Inhaltsanalyse berücksichtigt. Da die Hilfen der App im Fokus standen waren für die Typenbildung folgende Merkmale relevant:

- Auswahl der Hilfen Tipps zur Texterschließung, Ton und Video
- Kombination der genutzten Hilfen Tipps zur Texterschließung, Ton und Video
- Zeitpunkt der Auswahl der Hilfen Tipps zur Texterschließung, Ton und Video
- Ggf. besondere Auffälligkeiten

Die Auswahl der Muttersprache für Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache wurde nicht berücksichtigt.

Zudem werden objektiv beobachtbare Handlungen der Lernenden während der Textaufgabenbearbeitung für die Typenbildung herangezogen. Folgende Merkmale sind dabei bedeutsam:

- Lesen der Textaufgabe
- Formulierung der Frage als externe Repräsentation
- Formulierung der Rechenaufgabe als externe Repräsentation
- Formulierung der mathematischen Lösung als externe Repräsentation
- Formulierung der Antwort als externe Repräsentation

Zusammenhänge zwischen den generierten Typen und der Bewältigung der Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden im Anschluss untersucht. Zur Beurteilung der Bewältigung der Teilprozesse wurden zwei Ausprägungen herangezogen: erfolgreich

und nicht erfolgreich. Insbesondere stand das Verstehen der Textaufgabe mit anschließendem Aufbau des Situationsmodells im Fokus. Zudem wurden Zusammenhänge zwischen den Typen sowie den subjektiven Einschätzungen der Aufgabenlösenden zu den Hilfen herausgestellt.

Für die Typenbildung wird das Visual Tool Dokument-Portrait des Analyseprogramms MAXQDA genutzt (VERBI Software GmbH, 2017). Mit Hilfe des Dokument-Portraits kann die Vorgehensweise beim Bearbeiten einer Textaufgabe von einzelnen Schülerinnen und Schülern visualisiert und verglichen werden. Das Dokument-Portrait zeigt immer 30 x 40 farbige Kacheln, unabhängig von der Länge des Transkripts. Für die objektiv beobachtbaren Merkmale zur Typenbildung wurden folgende Farbzusammenordnungen verwendet, wobei die zeitliche Dauer der Merkmale unwesentlich war.

-  Wahl Schaltfläche Tipp 1, Tipp 2 oder Tipp 3
-  Wahl Schaltfläche Ton
-  Wahl Schaltfläche Video
-  Lesen der Textaufgabe
-  Formulierung der Frage (verstehen → Aufbau des Situationsmodell)
-  Formulierung der Rechenaufgabe (mathematisieren → Mathematisches Modell)
-  Formulierung der Lösung zur Rechenaufgabe (mathematisch arbeiten → Mathematische Lösung)
-  Formulierung der Antwort (interpretieren und evaluieren → interpretierte und evaluierte Lösung, kommunizieren → Antwort)

6.4.2 Beschreibungen der Typen

Aus der Kombination der genannten Merkmale ergeben sich fünf Typen der Textaufgabenbearbeitung mit der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*. Nachfolgend wird beschrieben und begründet, welche Typen im Datenmaterial dieser Untersuchung identifiziert wurden. Zudem werden prototypische Bearbeitungen abgebildet und Zusammenhänge der Typen mit weiteren Aspekten herausgestellt.

6.4.2.1 Typ - Keine Hilfe der App

In Textaufgabenbearbeitungen nach Typ *Keine Hilfe der App* wurde keine der Hilfen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* ausgewählt. Bei 28 der 76 Textaufgaben wurde keine Hilfe der App ausgewählt. Wenn keine Hilfe der Anwendung genutzt wurde, haben die Aufgabenlösenden keine vorteilhafteren Voraussetzungen als beim Bearbeiten einer Textaufgabe nur mit Papier und Stift, wie im Vortest der Untersuchung. Im Vortest der

Untersuchung waren die Untersuchungspersonen ohne Unterstützung nicht in der Lage entsprechende Textaufgaben zu verstehen und zu bearbeiten.

Bei den Textaufgaben, die nach diesem Typ bearbeitet wurden, wurde zu Beginn der Aufgabenbearbeitung der Text gelesen. Sehr selten wurde der Text während des Bearbeitungsprozesses nochmals gelesen. Als externe Repräsentation wurde selten eine Frage während des selbstständigen Bearbeitens der Textaufgabe durch die Aufgabenlösenden formuliert. Häufig wurde eine Rechenaufgabe mit mathematischer Lösung als nonverbal-symbolische Repräsentation schriftlich verfasst. Selten formulierten die Aufgabenlösenden eine Antwort als externe Repräsentation. Wenn eine Frage formuliert wurde, wurde sehr häufig auch eine Rechenaufgabe und eine Antwort formuliert. Externe Repräsentationen der Frage, der Rechenaufgabe oder des Antwortsatzes in Form von gesprochener Sprache waren nie zu beobachten. Nachfolgende Dokument-Portraits können dieser Textaufgabenbearbeitung zugeordnet werden (s. Abbildung 6.1).

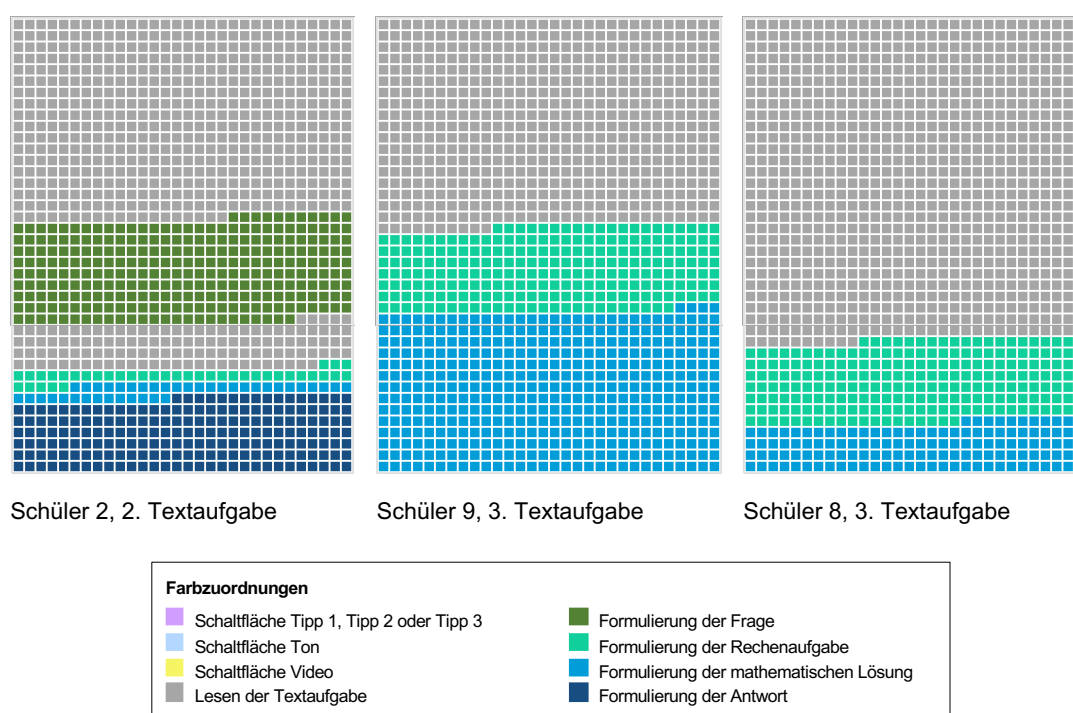


Abbildung 6.1: Dokument-Portraits - Keine Hilfe der App
(Quelle: Auswertung in MAXQDA)

Das Verstehen der Textaufgabe und die Generierung eines passenden Situationsmodells gelangen bei Textaufgabenbearbeitungen, bei denen keine Hilfe der App ausgewählt wurde, sehr selten. Auch alle anderen Teilprozesse des Modellierungskreislaufs

wurden überwiegend fehlerhaft bewältigt oder gar nicht durchlaufen. Nach dem Ausrechnen der Rechenaufgabe (mathematisch arbeiten) wurde der Bearbeitungsprozess häufig beendet, sodass die letzten Teilprozesse des Modellierungskreislaufs nicht vollzogen wurden. Wurde während der Textaufgabenbearbeitung kein Tipp zur Texterschließung gewählt, der Text nicht angehört und das Video nicht angeschaut, wurde dies jeweils am häufigsten mit keinem bestimmten Beweggrund begründet. Am zweithäufigsten wurde angegeben, dass keine Hilfe benötigt oder die Aufgabe bereits verstanden wurde. Eine prototypische Aufgabenbearbeitung des Typs *keine Hilfe der App* ist die Bearbeitung der Textaufgabe 3 durch Schüler 9.

Schüler 9, 3. Textaufgabe

```
02 S9: ((liest textaufgabe leise))
03     ist einfach
04     ((schreibt die rechnung auf)) plus zwölf [31+12=43]
05     ja dreiundvierzig
06     fertig
```

Nachdem der Schüler die Textaufgabe gelesen hatte, schrieb er sofort eine Rechenaufgabe auf. Bei der Formulierung der Rechenaufgabe orientierte er sich vermutlich an den Zahlen und dem vermuteten Rechenaufwand. Nachdem die mathematische Lösung der Aufgabe ausgerechnet und aufgeschrieben wurde, wurde der Bearbeitungsprozess der Textaufgabe beendet. Verschiedene Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden nicht durchlaufen.

6.4.2.2 Typ - Einmalig eine Hilfe der App

Bei Textaufgabenbearbeitungen des Typs *Einmalig eine Hilfe der App* wählten die Schülerinnen und Schüler genau eine Hilfe der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*. In der Untersuchung wurde bei 7 von 76 bearbeiteten Textaufgaben einmalig eine Hilfe der App ausgewählt.

Bei den Textaufgabenbearbeitungen nach diesem Typ, wurde die Textaufgabe immer zu Beginn des Bearbeitungsprozesses gelesen. Immer wurde eine Rechenaufgabe (Mathematisches Modell) mit mathematischer Lösung nonverbal-symbolisch formuliert. Gelegentlich wurden eine Frage und bzw. oder eine Antwort zur Textaufgabe während des selbstständigen Bearbeitens der Textaufgabe als externe Repräsentation formuliert. Wenn eine Antwort formuliert wurde, dann wurde zuvor immer eine Frage formuliert. Dokument-Portraits zu Textaufgabenbearbeitungen nach diesem Typ können folgendermaßen aussehen (s. Abbildung 6.2).

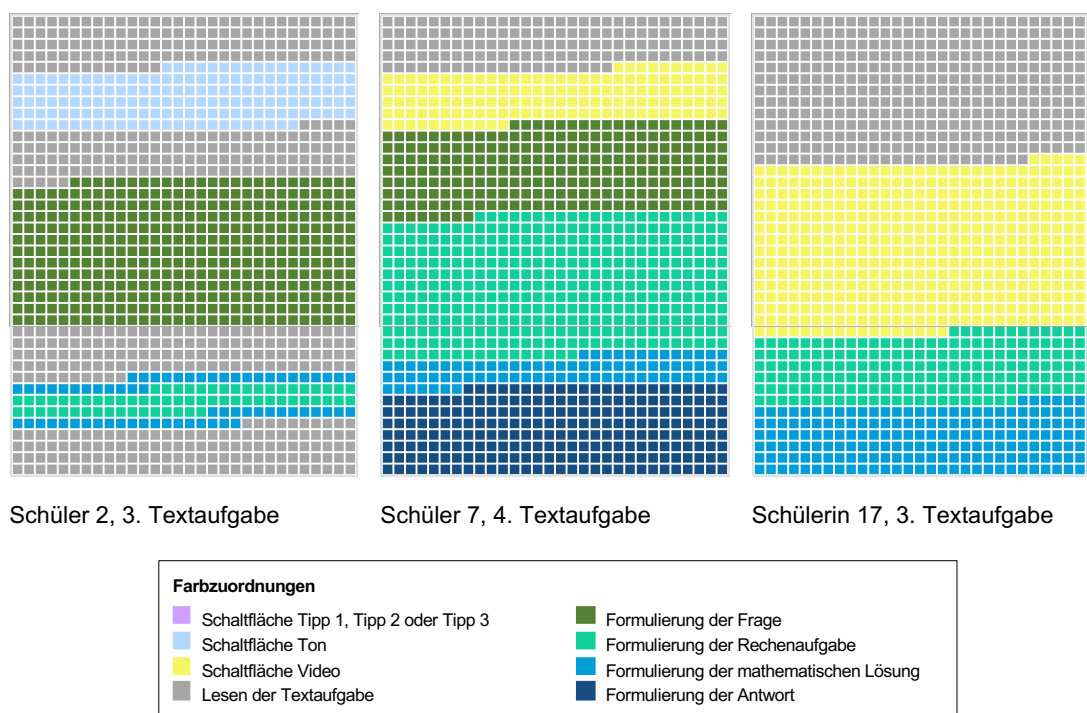


Abbildung 6.2: Dokument-Portraits - Einmalig eine Hilfe der App
(Quelle: Auswertung in MAXQDA)

Das Verstehen der Textaufgabe und der Aufbau eines passenden Situationsmodells gelangen bei diesen Textaufgabenbearbeitungen selten vollständig. Auch die nachfolgenden Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden überwiegend fehlerhaft bewältigt oder gar nicht durchlaufen. Die Lösung wurde nie auf das Situationsmodell rückbezogen und somit nicht evaluiert. In der Untersuchung wurde bei den Bearbeitungsprozessen der Textaufgaben nach diesem Typ die Textaufgabe entweder einmalig angehört oder das Video einmalig angeschaut. Die ausgewählten Hilfen (Ton und Video) wurden von den Aufgabenlösenden sehr häufig als hilfreich für den Bearbeitungsprozess bewertet. Eine prototypische Aufgabenbearbeitung des Typs *Einmalig eine Hilfe der App* ist die Textaufgabenbearbeitung der 3. Textaufgabe durch Schülerin 17.

Schülerin 17, 3. Textaufgabe

```
02 S17: ((liest textaufgabe leise))
03      ((wählt schaltfläche video aus))
04      ((schreibt rechenaufgabe auf und rechnet aus)) [12+31 21]
05      fertig
```

Nachdem die Schülerin die Textaufgabe gelesen hatte, wählte sie das Video zur Textaufgabe aus und schaute sich dieses an. Anschließend formulierte sie eine fehlerhafte Rechenaufgabe. Nachdem die mathematische Lösung der Aufgabe ausgerechnet und

aufgeschrieben wurde, wurde der Bearbeitungsprozess der Textaufgabe beendet. Verschiedene Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden nicht durchlaufen.

6.4.2.3 Typ - Eine Hilfe oder mehrere Hilfen der App nacheinander zu Beginn

Textaufgabenbearbeitungen nach Typ *Eine oder mehrere Hilfen der App nacheinander zu Beginn der Bearbeitung* kennzeichnen sich dadurch, dass, im Gegensatz zu den Aufgabenbearbeitungen der anderen Typen, der Text nicht zu Beginn des Bearbeitungsprozesses gelesen wurde. Direkt zu Beginn der Aufgabenbearbeitung wurden eine oder unmittelbar nacheinander mehrere Hilfen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* ausgewählt. In der Untersuchung wurden bei 9 von 76 Textaufgaben eine Hilfe oder mehrere Hilfen nacheinander zu Beginn des Bearbeitungsprozesses ausgewählt.

Abbildung 6.3 zeigt Dokument-Portraits von Bearbeitungsprozessen der Textaufgaben nach Typ *Eine oder mehrere Hilfen der App nacheinander zu Beginn der Bearbeitung*.

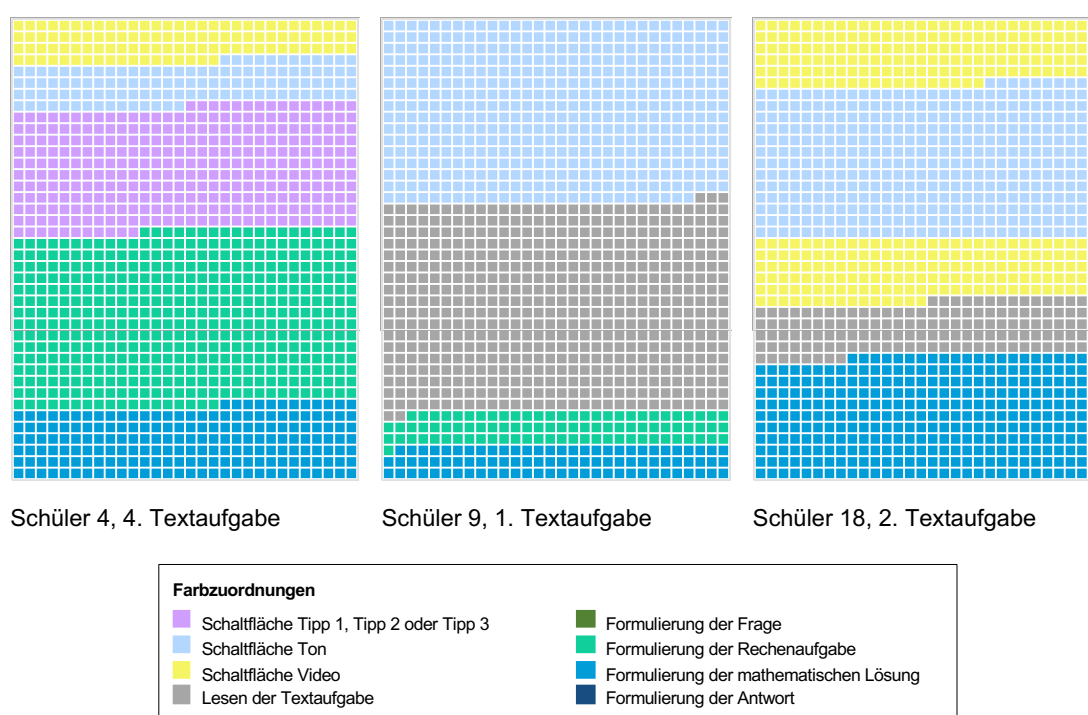


Abbildung 6.3: Dokument-Portraits - Eine oder mehrere Hilfen der App nacheinander zu Beginn der Bearbeitung
(Quelle: Auswertung in MAXQDA)

Als erstes wurde entweder das Video zur Textaufgabe angeschaut oder die Textaufgabe angehört. Die Textaufgabe wurde während der Aufgabenbearbeitung gelegentlich gelesen. Wenn der Text nicht gelesen wurde, dann wurde die Textaufgabe immer mit Hilfe

der App angehört. Eine Frage und bzw. oder Antwort wurden sehr selten verbal-symbolisch während des Bearbeitungsprozesses formuliert. Eine Rechenaufgabe (Mathematisches Modell) mit mathematischer Lösung wurde häufig als nonverbal-symbolische Repräsentation formuliert.

Bei den Textaufgaben, die nach diesem Muster bearbeitet wurden, wurde selten ein passendes Situationsmodell vollständig aufgebaut. Nach dem Ausrechnen der Rechenaufgabe (mathematisch arbeiten) wurde der Bearbeitungsprozess häufig beendet, sodass die letzten Teilprozesse des Modellierungskreislaufs nicht vollzogen wurden. Wenn das Situationsmodell angemessen generiert wurde, wurden die nachfolgenden Teilprozesse des Modellierungskreislaufs angemessen bewältigt, sodass die gesamte Lösung der Textaufgabe erfolgreich war. Bei den Bearbeitungsprozessen nach diesem Typ wurde das Anhören der Textaufgabe sehr häufig als hilfreich von den Aufgabenlösenden bewertet. Das Anschauen des Videos wurde häufig als hilfreich während der Aufgabenbearbeitung bewertet. Die Tipps zur Texterschließung wurden selten als hilfreich empfunden. Bei nachfolgender Aufgabenbearbeitung wurden *mehrere Hilfen der App nacheinander zu Beginn der Bearbeitung* ausgewählt.

Schüler 4, 4. Textaufgabe

```
02  S4:  ich schau mir das video an wie das da ist
03      ((wählt schaltfläche video aus))
04      ah mit malen
05      wie hat der jetzt so viele blätter rausgekriegt? <<zeigt auf
      video>>
06      muss ich das ausrechnen?
07  I:   versuche die aufgabe allein zu lösen so gut du kannst
08  S4:  ((wählt schaltfläche ton aus))
09      ah sie hat sie gemalt
10      achtundsiebzig
11      ((wählt schaltfläche tipp 1 aus))
12      ((wählt schaltfläche tipp 2 aus))
13      ((wählt schaltfläche tipp 3 aus))
14      ((rechnet mit den fingern))
15      drei
16      einundachtzig
17      einundneunzig
18      ((schreibt ergebnis auf)) [91]
19      ich bin fertig
20      einundneunzig sind es
```

Zu Beginn der Aufgabenbearbeitung schaute sich der Schüler das Video an. Anschließend hörte er sich die Textaufgabe an. Danach hörte er sich nacheinander Tipp 1, Tipp 2 und Tipp 3 zur Texterschließung an. Schließlich berechnete er eine mathematische Lösung. Nachdem die mathematische Lösung der Aufgabe ausgerechnet und notiert

wurde, wurde der Bearbeitungsprozess der Textaufgabe beendet. Verschiedene Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden nicht durchlaufen.

6.4.2.4 Typ - Mehrere Hilfen der App nacheinander

Die Aufgabenbearbeitungen des Typs *Mehrere Hilfen der App nacheinander* kennzeichnen sich dadurch, dass während der Aufgabenbearbeitung mehrere Hilfen der App direkt nacheinander gewählt wurden, aber nicht direkt zu Beginn des Bearbeitungsprozesses. Bei 14 von 76 bearbeiteten Textaufgaben wurden mehrere Hilfen der App nacheinander ausgewählt.

Die Textaufgabe wurde zu Beginn sehr häufig gelesen. Sehr selten wurde die Textaufgabe zusätzlich während der Textaufgabenbearbeitung gelesen. Selten wurde eine Frage als externe Repräsentation formuliert. Eine Antwort wurde gelegentlich als externe Repräsentation gegeben. Wenn eine Frage formuliert wurde, dann wurde auch immer eine Antwort formuliert. Dokument-Portraits zu Textaufgabenbearbeitungen nach diesem Typ können folgendermaßen aussehen (s. Abbildung 6.4).

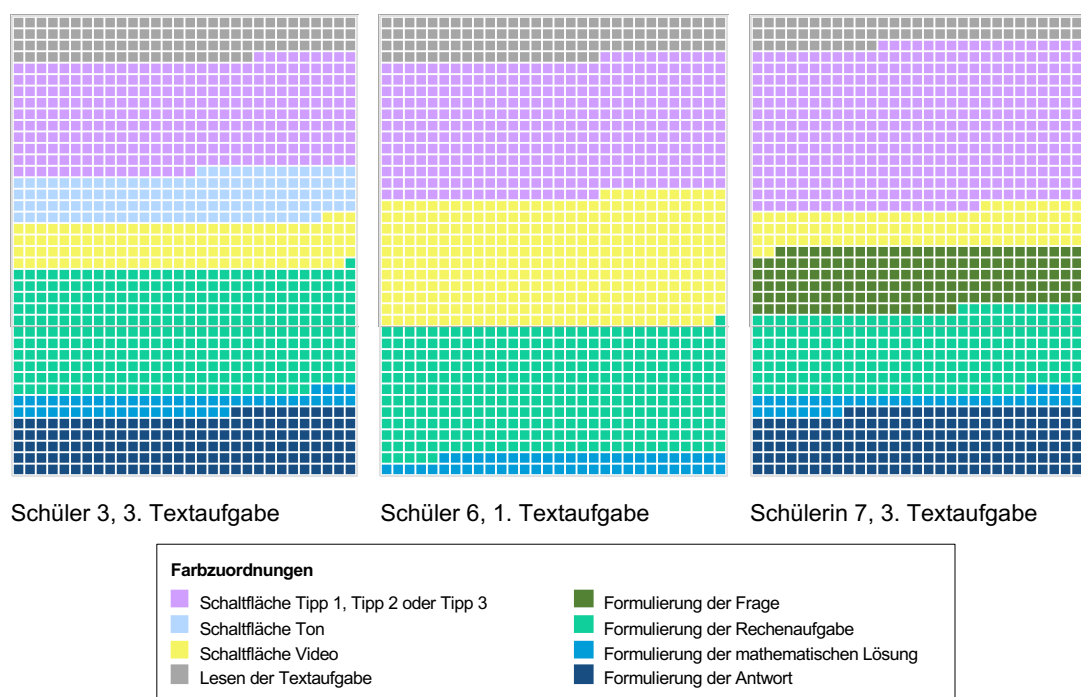


Abbildung 6.4: Dokument-Portraits - Mehrere Hilfen der App nacheinander
(Quelle: Auswertung in MAXQDA)

Bei den Textaufgaben, die nach diesem Typ bearbeitet wurden, wurde sehr selten ein passendes Situationsmodell generiert. Auch alle anderen Teilprozesse des Modellierungskreislaufs wurden überwiegend nicht angemessen bewältigt. Überwiegend wurden

die genutzten Hilfen von den Aufgabenlösenden als hilfreich für die Bearbeitung der Textaufgabe empfunden. Die Auswahl der Hilfen wurde meistens damit begründet, dass diese während der Textaufgabenbearbeitung unterstützen sollten.

Eine prototypische Aufgabenbearbeitung des Typs *Mehrere Hilfen der App nacheinander* ist die Bearbeitung der Textaufgabe 3 durch Schüler 3.

Schüler 3, 3. Textaufgabe

```
02 S3: ((liest textaufgabe leise))
03      ((wählt schaltfläche tipp 1 aus))
04      ((wählt schaltfläche tipp 2 aus))
05      ((wählt schaltfläche tipp 3 aus))
06      ((wählt schaltfläche ton aus))
07      ((wählt schaltfläche video aus))
08      ((schreibt rechnung auf)) [12+31=] [31+12=43]
09      ((schreibt antwort auf)) [Tom hat 43 Bücher.]
```

Nach dem Lesen der Textaufgabe wählte der Schüler direkt nacheinander alle drei Tipps zur Texterschließung aus. Anschließend hörte er sich die Textaufgabe an und schaute dann das Video zur Textaufgabe an. Diese Auswahl der Hilfen entsprach der Leserichtung im westlichen Kulturkreis von oben nach unten und von links nach rechts. Nun schrieb der Aufgabenlösende eine Rechenaufgabe mit Ergebnis auf. Abschließend formulierte er einen Antwortsatz.

6.4.2.5 Typ - Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander

Aufgabenbearbeitungen des Typs *Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander* fassen Bearbeitungsprozesse zusammen, bei denen mehrere Hilfen der App oder eine Hilfe mehrmalig und nicht direkt nacheinander gewählt wurden. Bei 18 der 76 bearbeiteten Textaufgaben wurden mehrere Hilfen der App während der Textaufgabenbearbeitung, jedoch nicht direkt nacheinander, gewählt.

Während den Textaufgabenbearbeitungen, die diesem Typ zuzuordnen sind, wurde die Textaufgabe sehr häufig von den Aufgabenlösenden gelesen. Häufig wurde der Text direkt zu Beginn und mehrmalig während der Aufgabenbearbeitung gelesen. Eine Frage wurde häufig als externe Repräsentation von den Kindern formuliert. Eine Rechenaufgabe (Mathematisches Modell) mit mathematischer Lösung wurde sehr häufig nonverbal-symbolisch formuliert. Häufig wurde eine Antwort während des selbstständigen Bearbeitens der Textaufgabe als externe Repräsentation formuliert. Wenn eine Frage als externe Repräsentation formuliert wurde, dann wurden häufig auch eine Rechenaufgabe

mit mathematischer Lösung sowie eine Antwort formuliert. Dokument-Portraits zu Textaufgaben, die nach diesem Typ bearbeitet wurden, können folgendermaßen aussehen (s. Abbildung 6.5).

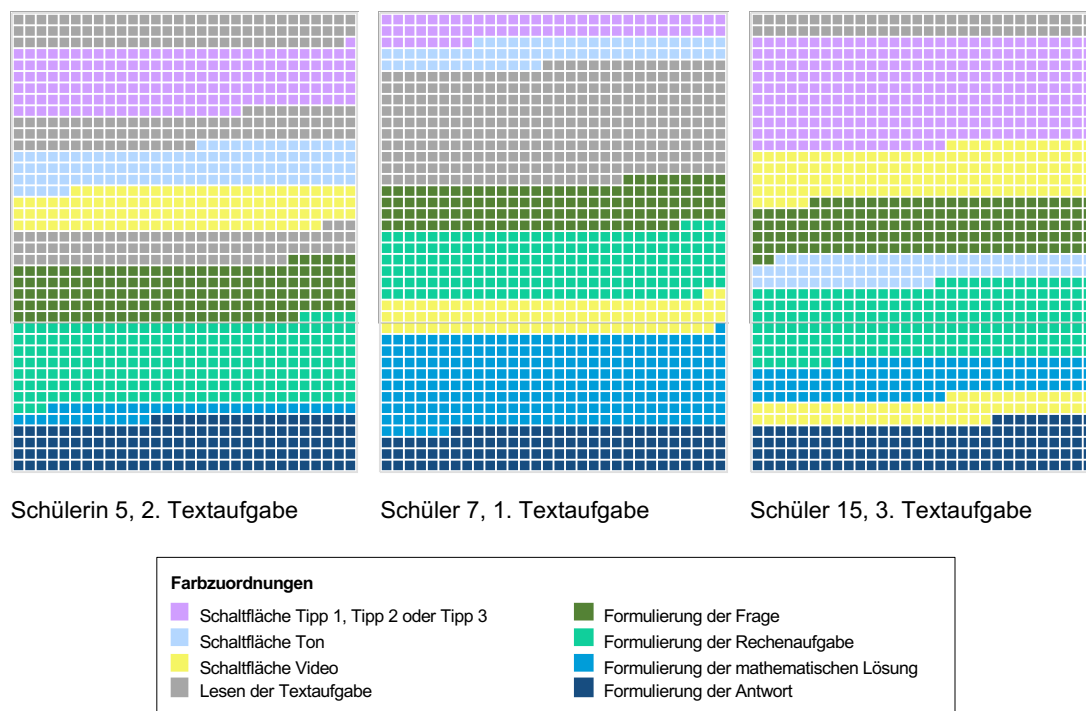


Abbildung 6.5: Dokument-Portraits - Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander
(Quelle: Auswertung in MAXQDA)

Die Generierung eines passenden Situationsmodells gelang bei den Aufgabenbearbeitungen nach diesem Typ gelegentlich. Im Vergleich zu den anderen Typen wurden die Hilfen Ton und Video häufiger mehrmalig genutzt. Wenn der Aufbau des Situationsmodells gelang, wurde während der Aufgabenbearbeitung häufig mehrmalig die Textaufgabe angehört und bzw. oder das Video angeschaut. Vergleichsweise zu den anderen Typen wurden die nachfolgenden Teilprozesse erfolgreicher bewältigt und überwiegend wurden alle Teilprozesse während der Aufgabenbearbeitung durchlaufen. Von den Aufgabenlösenden wurde das Anhören der Textaufgabe sehr häufig, das Anschauen des Videos häufig und die Tipps zur Texterschließung gelegentlich als hilfreich während der Textaufgabenbearbeitung empfunden. Eine Aufgabenbearbeitung, die dem Typ *Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander* zuzuordnen ist, war die Bearbeitung der Textaufgabe 18 durch Schüler 7.

Schüler 18, 1. Textaufgabe

02 S: ((wählt schaltfläche video aus))
 03 er ist immer nett <<zeigt auf jungen im video>>
 04 immer lächeln
 05 ((wählt schaltfläche ton aus))
 06 anna hat einige
 07 ((wählt schaltfläche tipp 1 aus))
 08 ohhh <<lacht>>
 09 <<liest textaufgabe laut>> Anna hat einige luftballons
 10 tom schenkt ihr noch sechszehn luftballons
 11 jetzt hat anna vierunddreißig luftballons
 12 oh ist einfach
 13 oder?
 14 nee
 15 ((liest textaufgabe leise))
 16 ((schreibt mathematische lösung auf)) [28]
 17 fertig
 18 ((wählt schaltfläche video aus))
 19 hm immer lächelnd <<schaut sich video an>>
 ...

INTERVIEW nach Aufgabenbearbeitung

36 I: erzähle den text in deinen eigenen worten
 37 S18: also der tom
 38 der tom hat sechszehn luftballons
 39 und anna hat achtundzwanzig luftballons
 40 tom schenkt seine luftballons zu anna
 41 und anna hat vierunddreißig luftballons
 ...
 44 I: erkläre deine frage
 45 ...
 47 S: wie viel hatte anna luftballons vorher?
 ...
 50 I: wie hast du gerechnet?
 51 S: ich habe die einfach nur mit minusaufgabe gemacht
 52 I: dann sag mir die aufgabe
 53 S: also ich habe einfach nur halt
 54 sechs minus vier sind acht
 55 und eins minus drei sind zwei
 ...
 59 I: erkläre deine antwort
 60 was bedeutet achtundzwanzig?
 61 S: eine zahl
 ...
 64 I: was ist die lösung der aufgabe?
 ...
 67 S: anna hat achtundzwanzig luftballons

Der Schüler schaute sich zu Beginn der Aufgabenbearbeitung das Video zur Textaufgabe an und kommentierte den Gesichtsausdruck des Jungen, der im Video zu sehen war. Dann hörte er sich die Textaufgabe an. Anschließend wählt er den ersten Tipp zur Texterschließung aus und führte das mehrmalige Lesen des Textes als Strategie zur Texterschließung es. Der Schüler las die Textaufgabe zunächst laut und dann leise. Der Aufgabenlösende formulierte schriftlich eine mathematische Lösung zur Textaufgabe als

externe Repräsentation. Alle anderen Bearbeitungsschritte, wie Frage, Rechenaufgabe oder Antwortsatz, werden nach außen nicht sichtbar, sondern werden von dem Schüler vermutlich als interne Repräsentationen aufgebaut. Der Schüler schaute sich abschließend noch einmal das Video an. Nach dem Anschauen des Videos äußerte er sich nochmal mündlich zur Gestaltung des Videos. Die Äußerungen des Schülers im Anschluss der Bearbeitung der Textaufgabe während des leitfadengestützten Interviews verdeutlichten, dass er die Textaufgabe verstanden hat und als interne Repräsentation ein angemessenes Situationsmodell aufgebaut hat. Er formulierte als interne Repräsentation eine passende Rechenaufgabe. Demzufolge hat er durch angemessenes Mathematisieren ein mathematisches Modell aufgebaut. Er rechnete die Aufgabe nicht richtig aus, sodass der Teilprozess mathematisch arbeiten nicht gelang und er eine fehlerhafte mathematische Lösung zur Rechenaufgabe aufschrieb. Abschließend formulierte der Schüler mündlich auf Nachfrage einen Antwortsatz als externe Repräsentation. Die interpretierte Lösung wurde evaluiert, sodass der Antwortsatz zum aufgebauten Situationsmodell passte.

6.4.2.6 Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigen die Typen, dass sich die Nutzungsweise der App *Textaufgaben Verstehen* nach Typ *Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander* besonders vorteilhaft auf das Bearbeiten der Textaufgabe auswirkten. Hierbei erfolgten die Auswahl mehrerer Hilfen oder die mehrmalige Auswahl einer Hilfe nicht direkt nacheinander. Zudem wurden die Hilfen Ton und Video als intermodaler Transfer zwischen der symbolischen und ikonischen Darstellung gelegentlich mehrmalig genutzt. Wenn ein passendes Situationsmodell generiert wurde, dann wurde die Textaufgabe überwiegend nach dem Muster des Typs *Mehrere Hilfen der App nicht direkt nacheinander* bearbeitet. Die Rechenaufgabe als mathematisches Modell mit mathematischer Lösung wurde überwiegend als externe Repräsentation schriftlich dokumentiert. Meistens wurden Frage und bzw. oder Antwort als deskriptionale Repräsentation in Form von geschriebener oder gesprochener Sprache formuliert.

7. Diskussion und Generierung von Gestaltungsprinzipien

Im vorliegenden Kapitel werden zunächst bedeutsame Ergebnisse der Untersuchung zusammenfassend diskutiert (s. Kapitel 7.1). Die Diskussion der Ergebnisse führt unter Berücksichtigung der theoretischen Erkenntnisse zur Generierung von Gestaltungsprinzipien für die digitale Anwendung für Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf, die das Verstehen von Textaufgaben begünstigt. In weiteren Forschungsprojekten sind Gestaltungsprinzipien zur Unterstützung mathematischer Lernprozesse zu ergänzen. Die entwickelten Gestaltungsprinzipien werden zusammenfassend dargestellt (s. Kapitel 7.2). Anschließend wird die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* im Hinblick auf die Gestaltungsprinzipien überprüft und optimierend weiterentwickelt (s. Kapitel 7.3).

7.1 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse

Die nachfolgende Diskussion der Ergebnisse erfolgt thematisch zu den einzelnen Hilfen der App und nicht entlang der Forschungsfragen.

7.1.1 Tipps zur Texterschließung

Wurde während der Aufgabenbearbeitung mindestens ein Tipp zur Texterschließung ausgewählt, erfolgte die Auswahl sehr häufig zu Beginn des Modellierungskreislaufs zur Unterstützung des Verstehens der Textaufgabe mit anschließendem Aufbau des Situationsmodells. Sehr selten wurde ein Tipp während nachfolgender Teilprozesse des Modellierungskreislaufs angehört. Als Reaktion nach dem Anhören einer Strategie zur Texterschließung erfolgte sehr selten die Ausführung der Texterschließungsstrategie durch die Aufgabenlösenden. Dies verdeutlicht, dass der angemessene Umgang mit digitalen Anwendungen nicht selbsterklärend ist. Die auditiv präsentierten Arbeitsaufträge wurden sehr häufig nicht durch zielgerichtete Handlungen umgesetzt, sondern von den Lernenden ignoriert. Als eine mögliche Erklärung gaben die Aufgabenlösenden an, dass die Arbeitsaufträge, die in einfacher Sprache formuliert sind, nicht verstanden wurden. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass die Texterschließungsstrategien den Aufgabenlösenden unbekannt waren oder nicht regelmäßig im Unterricht genutzt wurden. Im Vergleich zu den anderen Tipps erfolgte als Reaktion nach dem Anhören des ersten Tipps zur Texterschließung ‚Lies den Text drei Mal‘ am häufigsten das Ausführen des Arbeitsauftrags. Die Aufgabenlösenden setzten diesen Arbeitsauftrag vermutlich eher um, da

das mehrmalige Lesen von Texten im Schulalltag vielfach stattfindet. Wenn nach Auswahl eines Tipps die Texterschließungsstrategie ausgeführt wurde, wurde die Textaufgabe eher verstanden und eher ein passendes Situationsmodell aufgebaut als wenn die Strategie von den Aufgabenlösenden ignoriert wurde. Wenn die Texterschließungsstrategien angemessen angewendet wurden, wurden diese von den Untersuchungspersonen häufig als hilfreich während der Aufgabenbearbeitung empfunden. Zusammenfassend bestätigen die Erkenntnisse, dass es für die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen herausfordernd ist Texterschließungsstrategien selbstständig und ohne Anleitung angemessen umzusetzen (Graham & Bellert, 2008). Der Umgang mit den Texterschließungsstrategien ist ein Lernprozess, der durch die digitale Anwendung begleitet werden sollte. Um positive Auswirkungen der Tipps zur Texterschließung zu begünstigen, sollte die digitale Anwendung die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen direkt zum Ausführen der Strategie zur Texterschließung anleiten. So werden im Sinne der Cognitive Load Theory lernhinderliche kognitive Belastungen durch die Anwendung minimiert. Schlussfolgern lässt sich daraus, dass insbesondere bei der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen digitale Anwendungen die Ausführung von zielgerichteten Handlungen explizit einfordern bzw. begleiten. Diese Forderung wird durch das generative activity principle unterstützt (Mayer, 2021). Daraus lässt sich nachfolgendes Gestaltungsprinzip ableiten:

Die Ausführung von Arbeitsaufträgen durch Lernende ist explizit anzuleiten.

7.1.2 Ton

Wenn die Textaufgabe während der Aufgabenbearbeitung angehört wurde, erfolgte dies sehr häufig zu Beginn des Modellierungskreislaufs und selten während nachfolgender Teilprozesse des Modellierungskreislaufs. Als Beweggrund für das Anhören der Textaufgabe nannten die Aufgabenlösenden mit Förderbedarf Lernen überwiegend die Unterstützung während der Aufgabenbearbeitung, explizit wurde vor allem die Unterstützung des Verstehens der Textaufgabe angegeben. Als Grund wurde auch angegeben, dass die Textaufgabe so über die Sinnesmodalität Hören zugänglich wird. Wenn der Text verstanden und ein angemessenes Situationsmodell generiert wurde, wurde während der Aufgabenbearbeitung häufig die Textaufgabe angehört. Die auditive Präsentation der Textaufgabe kann sich demnach vorteilhaft auf das Verstehen der Textaufgabe mit anschließendem Aufbau des Situationsmodells auswirken. Dieses Ergebnis bestätigt bisherige Erprobungen, die ergaben, dass die auditive Präsentation von Textaufgaben eine förderliche Wirkung auf das Erfassen des Sinns der Aufgabe und den Aufbau des

Situationsmodells haben kann (Rink, 2014a; Rink & Walter, 2019). Im Sinne der Cognitive Load Theory lässt sich aus den Erkenntnissen ableiten, dass die zusätzliche Darstellung der Textaufgabe als Tonaufnahme, was ein intramodaler Transfer auf der symbolischen Repräsentationsebene darstellt, eine geringere kognitive Belastung als die Monodarstellung als Text verursacht. Die Monodarstellung stellt die traditionelle und in der Praxis weiterhin verbreitete Aufgabendarstellung dar. Aus den beschriebenen Erkenntnissen wird folgendes Gestaltungsprinzip abgeleitet:

Zur Unterstützung des Verstehens einer Textaufgabe und des Aufbaus des Situationsmodells sind schriftsprachliche Elemente auch auditiv zu präsentieren.

Die Textaufgabe wurde sehr häufig verstanden, wenn die Textaufgabe mehrmalig angehört wurde. Zusätzlich wurde häufig ein angemessenes Situationsmodell generiert. Demzufolge wirkte sich insbesondere das mehrmalige Anhören der Textaufgabe positiv auf das Verstehen der Textaufgabe sowie den Aufbau des Situationsmodells aus. Das mehrmalige Anhören der Textaufgabe wurde von den Aufgabenlösenden sehr häufig als hilfreich empfunden. Unter Einbezug der Cognitive Load Theory lässt sich daraus schließen, dass die mehrmalige auditive Präsentation der Textaufgabe günstige Auswirkungen auf die kognitive Belastung während der Aufgabenbearbeitung hat. Im Sinne der Individualisierung sollten die Lernenden jederzeit die Textaufgabe beliebig oft anhören können. Diese Erkenntnis bestätigt die Forderung von Ladel (2009). Sie formuliert folgendes Gestaltungsprinzip zur Verbesserung des mathematischen Lernprozesses: „Die Kinder sollten jederzeit die Möglichkeit haben, sich eine Aufgabe nochmals (...) anzuhören“ (ebd., S. 143). Die Tonaufnahmen wirken der Flüchtigkeit von gesprochener Sprache entgegen und sind uneingeschränkt verfügbar. Aus den Erkenntnissen leitet sich nachfolgendes Gestaltungsprinzip ab:

Tonaufnahmen zu mathematischen Inhalten können jederzeit während der Aufgabenbearbeitung mehrmalig angehört werden.

Das Anhören der Textaufgabe wurde von der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen auch damit begründet, dass die eigene Kompetenz nicht ausreichend war, um den Text verstehend zu lesen. Demzufolge profitierten insbesondere Lernende, die die Textaufgabe nicht verstehend Lesen können, von der auditiven Zugänglichkeit der textbasierten Elemente. Die auditive Präsentation schriftlicher Elemente formuliert Ladel (2009) als Gestaltungsprinzip bei Software für den Anfangsunterricht und begründet dies mit noch nicht ausgebildeter Lesekompetenz der Schülerschaft im Anfangsunterricht. Aufgrund der genannten Beweggründe und der generell häufig mangelnden Lesekompetenz im

Förderschwerpunkt Lernen (s. Kapitel 2.3.3) kann schlussgefolgert werden, dass im Förderschwerpunkt Lernen schriftsprachliche Inhalte stets auch auditiv präsentiert werden sollen. Die Wahl der entsprechenden Darstellungsform der Textaufgabe soll in Abhängigkeit der Lernvoraussetzungen individuell vom Kind gesteuert erfolgen. Aus den Erkenntnissen zur auditiven Präsentation schriftlicher Inhalte im Förderschwerpunkt Lernen wird folgendes Gestaltungsprinzip abgeleitet:

Schriftsprachliche Elemente sind individuell stets auch auditiv zugänglich.

Während des Anhörens der Textaufgabe wurde die Tonaufnahme von den Aufgabenlösenden gestoppt oder pausiert und später weiter angehört oder vorgespielt bzw. zurückgespielt. Die Kinder fokussierten dadurch bewusst bestimmte Informationen aus dem Hörtext. Somit war ein selektives Hören zu beobachten. Nach dem Stoppen der Tonaufnahme waren teilweise deskriptionale Repräsentationen durch die Aufgabenlösenden zu beobachten. Die Aufgabenlösenden verbalisierten beispielsweise eigene Überlegungen zum Bearbeitungsprozess in mündlicher Sprache. Solche externen Repräsentationen können kognitive Prozesse des Arbeitsgedächtnisses entlasten (Hohn, 2012). Um der individuellen Lernentwicklung der Aufgabenlösenden im Förderschwerpunkt Lernen gerecht zu werden, ist bei der Gestaltung der Software darauf zu achten, dass auditiv präsentierte Inhalte jederzeit pausiert sowie vorgespielt oder zurückgespielt werden können. Der Flüchtigkeit der gesprochenen Sprache als verbal-symbolische Darstellung wirken die Tonaufnahmen entgegen. Im Hinblick auf den flexiblen Umgang mit den Tonaufnahmen zur Textaufgabe, der von den Lernenden gesteuert erfolgte, wird ein weiteres Gestaltungsprinzip formuliert:

Tonaufnahmen zu mathematischen Inhalten können jederzeit pausiert sowie vor- und zurückgespielt werden.

Die Aufgabenlösenden waren offen in ihren Lösungswegen und Repräsentationsformen, die sie während der selbstständigen Bearbeitung der Textaufgabe nutzten. Unabhängig von den Nutzungsweisen der App erfolgten depiktionale Repräsentationen der Aufgabenlösenden während der Aufgabenbearbeitung sehr selten, obwohl ein weißes Blatt zum Anfertigen von Skizzen zur Verfügung stand. Unabhängig von den Nutzungsweisen der Tablet App formulierten die gleichen Schülerinnen und Schüler, die bei einer Textaufgabe eine Frage in Schriftsprache aufschrieben, auch bei allen anderen Textaufgaben, die sie bearbeiteten, eine Frage als deskriptionale Repräsentation in Schriftsprache. Wenn eine Frage schriftsprachlich formuliert wurde, dann wurden sehr häufig die Rechenaufgabe und der Antwortsatz auch in geschriebener Sprache verfasst. Aus die-

sen Beobachtungen lässt sich ableiten, dass das Nutzen von schriftlichen verbal-symbolischen Darstellungen nicht von den Nutzungsweisen der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* abhängt, sondern vermutlich von den Lösungsgewohnheiten zur Notation der einzelnen Kinder. Wenn die Frage als gesprochene Sprache formuliert wurde, dann wurde während der Aufgabenbearbeitung immer die Textaufgabe angehört. Wenn die Rechenaufgabe, die mathematische Lösung oder der Antwortsatz in gesprochener Sprache formuliert wurde, wurde während der Aufgabenbearbeitung häufig die Textaufgabe angehört. Verbal-symbolische Darstellungen der Lösungsschritte in Form von gesprochener Sprache wurden durch die auditive Präsentation der Textaufgabe angeregt. Nach dem Anhören der Textaufgabe schlossen sich u. a. mündliche Äußerungen als direkte Reaktion an, die Einblicke in Denkvorgänge geben konnten. Dabei gaben die Aufgabenlösenden den Inhalt der Textaufgabe in eigenen Worten, der Sprache des Verstehens, wieder. Durch dieses sinnentnehmende Hören wurde das Verstehen der Textaufgabe und der Aufbau des Situationsmodells unterstützt. Zudem umfassten die mündlichen Äußerungen Verbalisierungen von Lösungsschritten zur Textaufgabe in der Sprache der Lernenden. Die Erkenntnisse zeigen, dass das laute Weiterdenken oder Überdenken während der Textaufgabenbearbeitung sowie das Versprachlichen dieser Gedanken durch die auditive Präsentation der Textaufgabe angestoßen werden kann. Solche externen Repräsentationen in gesprochener Sprache während der Aufgabenbearbeitung können kognitive Prozesse des Arbeitsgedächtnisses entlasten (ebd.). Die Sprache des Verstehens als Denkwerkzeug der Aufgabenlösenden unterstützt den Bearbeitungsprozess. Aus den Erkenntnissen zu mündlichen Äußerungen über Mathematik ergibt sich das nächste Gestaltungsprinzip:

Zur Förderung mündlicher Kommunikation über mathematische Inhalte sind mathematische Lerninhalte auditiv zu präsentieren.

7.1.3 Video

Das Anschauen der Sachaufgabe erfolgte überwiegend zu Beginn der Bearbeitung der Textaufgabe. Die Generierung eines passenden Situationsmodells zu den Textaufgaben gelang zusammenfassend eher, wenn neben der verbal-symbolischen Repräsentation der Textaufgabe in Schriftsprache das Video zur Textaufgabe als analog-ikonische Darstellung der Sachsituation zur Textaufgabe angeschaut wurde. Der intermodale Transfer von der symbolischen zur ikonischen Ebene kann sich dementsprechend vorteilhaft auf das Verstehen der Textaufgabe auswirken und die Generierung des Situationsmodells unterstützen. Diese Erkenntnis bestätigt erste Analysen, die zeigen, dass Animationen

zu Textaufgaben den Aufbau des Situationsmodells beim Bearbeiten der Textaufgaben unterstützen können (Rink & Walter, 2019). Beweggründe für das Anschauen waren am häufigsten die ikonische Darstellung des Sachkontextes des Textes in Form bewegter Bilder sowie die Unterstützung während des Bearbeitungsprozesses, insbesondere die Unterstützung des Verstehens der Textaufgabe. Das Anschauen der Sachsituation der Textaufgabe in einem Video wurde häufig als hilfreich während der Aufgabenbearbeitung empfunden. Im Sinne der Cognitive Load Theory lässt sich ableiten, dass die Darstellung der Aufgabe als Video eine geringere kognitive Belastung als die Monodarstellung Text verursacht. Aus den Ergebnissen wird nachfolgendes Gestaltungsprinzip formuliert, welches durch die Aspekte des intermodalen Transfers (s. Kapitel 2.2.6, 2.3.4, 3.2.2), der alternativen Zugänge zu Lerninhalten für die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen (s. Kapitel 3.3.2) sowie durch das multimedia principle nach Mayer (2021) unterstützt wird:

Zur Unterstützung des Verstehens einer Textaufgabe und des Aufbaus des Situationsmodells sind schriftsprachliche Elemente auch als bewegte Bilder in einem Video zu präsentieren.

Das Video wurde selten zur Unterstützung während der Teilprozesse mathematisieren und mathematisch arbeiten ausgewählt. Die Aufgabenlösenden begründeten die Auswahl dann damit, dass sie die Anzahl der Gegenstände anschauen oder zählen wollten. Beobachtungen zeigten zudem, dass das Video auch zum Evaluieren der Lösung angeschaut wurde. Das Video wurde während verschiedener Teilprozesse des Modellierungskreislaufs genutzt. Diese Beobachtungen geben Hinweise darauf, dass die analog-ikonische Darstellung der Textaufgabe als Video Potenziale für die Bewältigung weiterer Teilprozesse des Modellierungskreislaufs bietet. Eine detaillierte Überprüfung dieser Beobachtungen muss durch weitere wissenschaftliche Studien erfolgen.

Das Verstehen der Textaufgabe sowie der Aufbau eines angemessenen Situationsmodells waren erfolgreicher, wenn das Video mehrmalig angeschaut wurde als wenn dieses einmalig während der Aufgabenbearbeitung angeschaut wurde. Demzufolge begünstigte der mehrmalige intermodale Transfer zwischen der symbolischen und ikonischen Darstellung das Verstehen der Aufgabe sowie die Generierung eines angemessenen Situationsmodells, was sich positiv auf nachfolgende Teilprozesse des Modellierungskreislaufs auswirken kann. Unter Einbezug der Cognitive Load Theory kann abgeleitet werden, dass das mehrmalige Anschauen des Videos eine geringere kognitive Belastung während der Aufgabenbearbeitung verursachte. Die Lernenden sollen selbstgesteuert die Möglichkeit haben ein Video als ikonische Darstellung der Aufgabe beliebig

oft und während der gesamten Aufgabenbearbeitung auswählen zu können. Die Wiederholungen der Videoaufnahmen wirken der Darstellungsflüchtigkeit von Handlungen in Unterrichtssituationen oder in Alltagssituationen entgegen (Eilerts, 2018; Huhmann, 2020). Aus den beschriebenen Erkenntnissen lässt sich nachfolgendes Gestaltungsprinzip formulieren:

Videos zu mathematischen Inhalten können jederzeit während der Aufgabenbearbeitung mehrmalig angeschaut werden.

Äußerungen der Aufgabenlösenden zu gestalterischen Aspekten der Videoaufnahme verdeutlichten, dass während des Anschauens der Fokus auf Aspekte fiel, die für die Bearbeitung der Textaufgabe irrelevant waren. Wenn der Fokus auf gestalterische Aspekte des Videos gelegt wurde, wurde die extrinsische kognitive Belastung aufgrund von Äußerlichkeiten des Lernmaterials erhöht. Obwohl die Videos so gestaltet sind, dass sie keine konkrete Unterstützung bei der mathematischen Arbeit gaben, wurden die Videoaufnahmen selten genutzt, um durch Zählen der abgebildeten Gegenstände eine mathematische Lösung zu finden. In diesen Fällen entstanden Fehler aufgrund von Fehlinterpretationen des Videos während des Teilprozesses mathematisch arbeiten. Die Befunde verdeutlichen, dass der Einsatz sowie die Gestaltung von Videos zu mathematischen Lerninhalten im Hinblick auf die Zielsetzung vielfältig durchdacht und auf wesentliche Inhalte reduziert sein müssen. Daraus lässt sich nachfolgendes Gestaltungsprinzip ableiten:

Videos zu mathematischen Inhalten sind an der Zielsetzung zu orientieren.

Während des Anschauens des Videos zur Textaufgabe, war sehr selten die Selektion einer Videosequenz zu beobachten. Durch Pausieren, Vorspulen oder Zurückspulen der Aufnahme wählten die Aufgabenlösenden eine bestimmte Sequenz oder ein Standbild aus. Um der individuellen Lernentwicklung im Förderschwerpunkt Lernen gerecht zu werden, ist bei der Gestaltung einer digitalen Anwendung darauf zu achten, dass Videoaufnahmen zu mathematischen Inhalten, gesteuert von den Lernenden jederzeit gestoppt, pausiert sowie vorgespult und zurückgespult werden können. Im Hinblick auf den flexiblen Umgang mit Videoaufnahmen zur Aufgabe kann folgendes Gestaltungsprinzip formuliert werden:

Videoaufnahmen zu mathematischen Inhalten können jederzeit pausiert sowie vor- und zurückgespult werden.

Depiktionale Repräsentationen sowie deskriptionale Repräsentationen in geschriebener Sprache während der Bearbeitung der Textaufgaben von den Aufgabenlösenden standen eher im Zusammenhang mit den Lösungsgewohnheiten der Lernenden als mit den

Nutzungsweisen der App. Wenn Äußerungen zu den Lösungsschritten in gesprochener Sprache formuliert wurden, wurde während der Aufgabenbearbeitung häufig bis sehr häufig das Video zur Textaufgabe angeschaut. Nach dem Anschauen des Videos waren u. a. mündliche Äußerungen der Lernenden in ihrer Sprache als direkte Reaktion zu beobachten. Die Äußerungen bezogen sich auf das Verstehen der Textaufgabe sowie auf konkrete Lösungsschritte. Das laute Weiterdenken oder Überdenken während der Textaufgabenbearbeitung konnte durch das Anschauen der Sachsituation in einem Video angeregt werden. Die Analysen wiesen darauf hin, dass der intermodale Transfer der symbolischen zur ikonischen Repräsentation zur geistigen Auseinandersetzung mit der Textaufgabe sowie zu mündlichen Äußerungen während der Aufgabenbearbeitung anregt. Solche externen Repräsentationen während der Aufgabenbearbeitung, die die Aufgabenlösenden in ihrer Sprache des Verstehens wiedergeben, können kognitive Prozesse des Arbeitsgedächtnisses entlasten (Hohn, 2012). Die gesprochene Sprache dient als Denkwerkzeug und unterstützt den Bearbeitungsprozess. Aus diesen Analysen leitet sich folgendes Gestaltungsprinzip ab:

Zur Förderung mündlicher Kommunikation über mathematische Inhalte sind mathematische Lerninhalte auch als bewegte Bilder in einem Video zu präsentieren.

7.1.4 multiple Repräsentationen

Die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* bildet multiple Repräsentationen der Textaufgabe ab: Text (verbal-symbolisch, schriftsprachlich), Ton (verbal-symbolisch, mündlich), Video (analog-ikonisch). Die Ergebnisse zeigen, dass das Verstehen der Textaufgabe mit anschließendem Aufbau des Situationsmodells bei Kindern mit Förderbedarf Lernen besser gelang, wenn die Textaufgabe mittels multipler Repräsentationen dargestellt wurde als wenn die Textaufgabe ausschließlich als Text (Monodarstellung) präsentiert wurde. Diese Erkenntnisse bestätigt die Datenauswertung von Walter und Rink (2020), die auf eine Überlegenheit der Aufgabendarstellung der Textaufgabe mittels multipler Repräsentationen für den Aufbau eines Situationsmodells bei Kindern mit Leseschwierigkeiten hindeutet. Die Darstellung der Textaufgaben als Text, Video und Ton unterstützte beim Verstehen der Aufgabe sowie beim Aufbau eines passenden Situationsmodells häufiger als wenn die Textaufgaben als Text und Video oder als Text und Ton präsentiert wurden. Unter Einbezug der Cognitive Load Theory kann angenommen werden, dass die Textaufgabendarstellung mittels multipler Repräsentationen eine geringere kognitive Belastung als die Monodarstellung als Text verursacht und den ersten Teilprozess des Modellierungskreislaufs begünstigt (ebd.). In Anlehnung an Ladel (2009) soll

der Wechsel zwischen den Repräsentationsformen individuell vom Lernenden gesteuert erfolgen. Aus den beschriebenen Ergebnissen zu multiplen Repräsentationen leitet sich das nächste Gestaltungsprinzip ab:

Zur Unterstützung des Verstehens einer Textaufgabe und des Aufbaus des Situationsmodells sind mathematische Textaufgaben mittels multipler Repräsentationen darzustellen.

7.1.5 Muttersprache

Die Schülerinnen und Schüler mit nichtdeutscher Muttersprache und Förderbedarf Lernen, die an einer deutschen Schule unterrichtet wurden, wählten während der Aufgabenbearbeitung selten, aber nie dauerhaft ihre Muttersprache aus. So wurde keine Textaufgabe durchgängig in der Muttersprache bearbeitet. Die Schülerschaft bearbeitete die Textaufgaben also überwiegend in deutscher Sprache, selbst wenn sie im mündlichen Sprachgebrauch über bessere Sprachkenntnisse in der Muttersprache verfügten. Eine mögliche Erklärung könnten die Lösungsgewohnheiten der Lernenden sein. Im Mathematikunterricht werden, wie alle mathematischen Inhalte, auch Textaufgaben in der Unterrichtssprache Deutsch präsentiert, bearbeitet und besprochen. Erfolgte bei den Textaufgaben die Auswahl der Muttersprache, dann wurden die Teilprozesse des Modellierungskreislaufs von den Aufgabenlösenden mit nichtdeutscher Muttersprache nicht besser bewältigt als wenn die Textaufgabe durchgängig in deutsch bearbeitet wurde. Demzufolge wirkte sich das Bearbeiten der Textaufgabe in nichtdeutscher Muttersprache nicht vorteilhafter auf das Verstehen der Textaufgabe und die nachfolgenden Teilprozesse des Modellierungskreislaufs aus. Unter Einbezug der Cognitive Load Theory zeigen die Erkenntnisse, dass die Darstellung der Textaufgabe in der Muttersprache nicht unbedingt zu einer kognitiven Entlastung führte. Aus den Befunden lässt sich für die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen mit nichtdeutscher Muttersprache ableiten, dass Inhalte, die in der jeweiligen Muttersprache präsentiert werden, zusätzlich immer in der deutschen Sprache präsentiert werden. Im Sinne der Differenzierung und Individualisierung sollen Lernende stets die Möglichkeit haben Inhalte, die in der Muttersprache präsentiert werden, auch in der Unterrichtssprache präsentiert zu bekommen. Die Auswahl der Sprache hat von den Aufgabenlösenden gesteuert zu erfolgen. Daraus leitet sich das nachfolgende Gestaltungsprinzip für die digitale Anwendung ab:

Inhalte, die in der Muttersprache präsentiert werden, sind individuell stets auch in der Unterrichtssprache zugänglich.

Die Aufgabenlösenden mit nichtdeutscher Muttersprache meldeten rück, dass die Präsentation schriftlicher Elemente in der jeweiligen Muttersprache häufig keine Unterstützung darstellte, weil die Schriftsprache nicht beherrscht wurde. Aus dieser Erkenntnis lässt sich ableiten, dass schriftsprachliche Informationen, die in der Muttersprache präsentiert werden, mit digitalen Medien stets auditiv zugänglich sein sollen. Aus diesen Befunden leitet sich das nächste Gestaltungsprinzip ab:

Schriftsprachliche Inhalte, die in nichtdeutscher Muttersprache präsentiert werden, sind stets auch auditiv zugänglich.

7.2 Gestaltungsprinzipien digitaler Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben

Die aus den Untersuchungsergebnissen generierten Gestaltungsprinzipien für die digitale Anwendung zum Sachrechnen, die das Verstehen mathematischer Textaufgaben begünstigt, werden in Abbildung 7.1 zusammenfassend visualisiert. In der Abbildung orientieren sich die Größe der Rechtecke sowie die Schriftgröße der Gestaltungsprinzipien an der Häufigkeit der Untersuchungsbefunde, die zur Entwicklung eines Gestaltungsprinzips führten. Gestaltungsprinzipien, die zur gleichen Art von Hilfe formuliert werden, werden in der gleichen Farbgebung dargestellt. Die Gestaltungsprinzipien beziehen sich auf mathematische Lernprozesse von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen. Diese Prinzipien sollten zukünftig durch weitere Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen zur Unterstützung mathematischer Lernprozesse, die auf Basis wissenschaftlicher Studien generiert werden müssen, ergänzt werden.



Abbildung 7.1: Gestaltungsprinzipien für die digitale Anwendung zum Verstehen von Textaufgaben (Quelle: eigene Darstellung)

7.3 Weiterentwicklung der App Textaufgaben Verstehen

Die App *Textaufgaben Verstehen* wird nachfolgend im Hinblick auf die entwickelten Gestaltungsprinzipien geprüft und ggf. optimiert. Wenn die App ein Gestaltungsprinzip bereits beinhaltet, wird dieses nachfolgend mit dem Symbol ✓ gekennzeichnet. Einige der Gestaltungsprinzipien finden durch die Weiterentwicklung der digitalen Anwendung Berücksichtigung.

- Handlungsanleitung

Die Tipps zur Texterschließung können erst dann unterstützend sein, wenn die Texterschließungsstrategien ausgeführt werden. Dementsprechend ist die Ausführung der mündlichen Arbeitsaufträge in Imperativform durch entsprechende Funktionen der Software zu begleiten. Im Hinblick auf das Gestaltungsprinzip Handlungsanleitung wird die App folgendermaßen weiterentwickelt.



Abbildung 7.2: Weiterentwicklung des Tipps 1 zur Texterschließung der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshots der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

Die Ausführung des ersten Tipps zur Texterschließung ‚Lies den Text drei Mal‘ wird angeleitet, indem die Aufgabenlösenden jeden Lesedurchgang in der App bestätigen (s. Abbildung 7.2). Keine andere Funktion der App kann gewählt werden bis dreimalig das Lesen des Textes durch Drücken der Button bestätigt wird.

Der zweite Tipp zur Texterschließung wurde umformuliert. Statt des Arbeitsauftrags ‚Schreibe wichtige Informationen aus dem Text‘ wird in der App der Arbeitsauftrag ‚Markiere wichtige Informationen im Text‘ verwendet. So werden wesentliche Wörter oder Textabschnitte durch Auswählen der entsprechenden Textstelle(n) farbig in der App markiert (s. Abbildung 7.3). Bevor eine andere Funktion gewählt werden kann, ist es notwendig, dass mindestens eine Textstelle der Textaufgabe markiert wird.

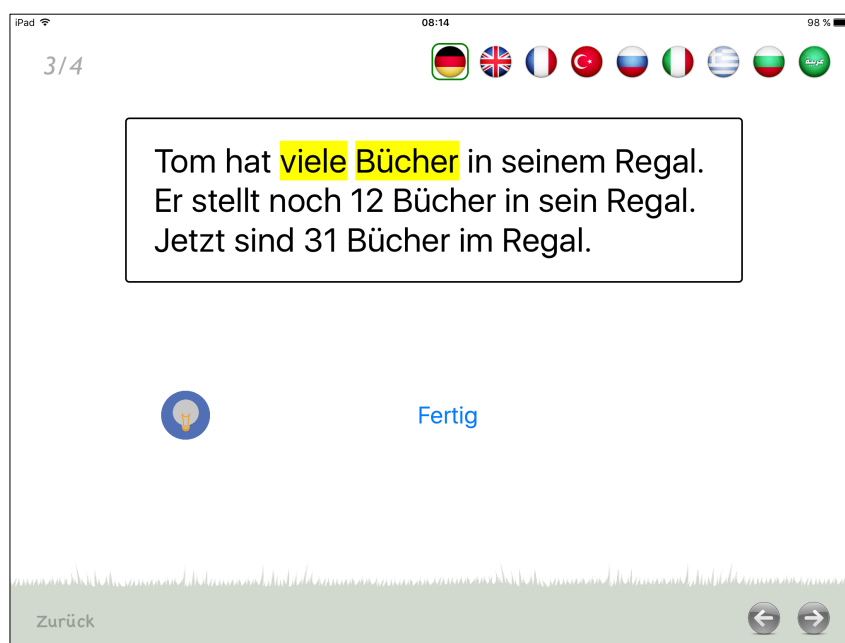


Abbildung 7.3: Weiterentwicklung des Tipps 2 zur Texterschließung der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshot der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

Die Ausführung der Texterschließungsstrategie zu Tipp 3 ‚Erzähle den Text in deinen eigenen Worten‘ soll begleitet werden, indem die Aufgabenlösenden eine Sprachaufnahme der nacherzählten Textaufgabe machen. Der Einsatz digitaler Medien ermöglicht schnell und selbstständig Sprachaufnahmen zu erstellen. Die Sprachaufnahmen erstellen die Schülerinnen und Schüler durch Drücken der entsprechenden Aufnahme- metaste. Anschließend kann diese Sprachaufnahme abgehört werden (s. Abbildung 7.4). Erst nachdem eine Sprachaufnahme des nacherzählten Textes gemacht wurde, können weitere Funktionen der App betätigt werden.

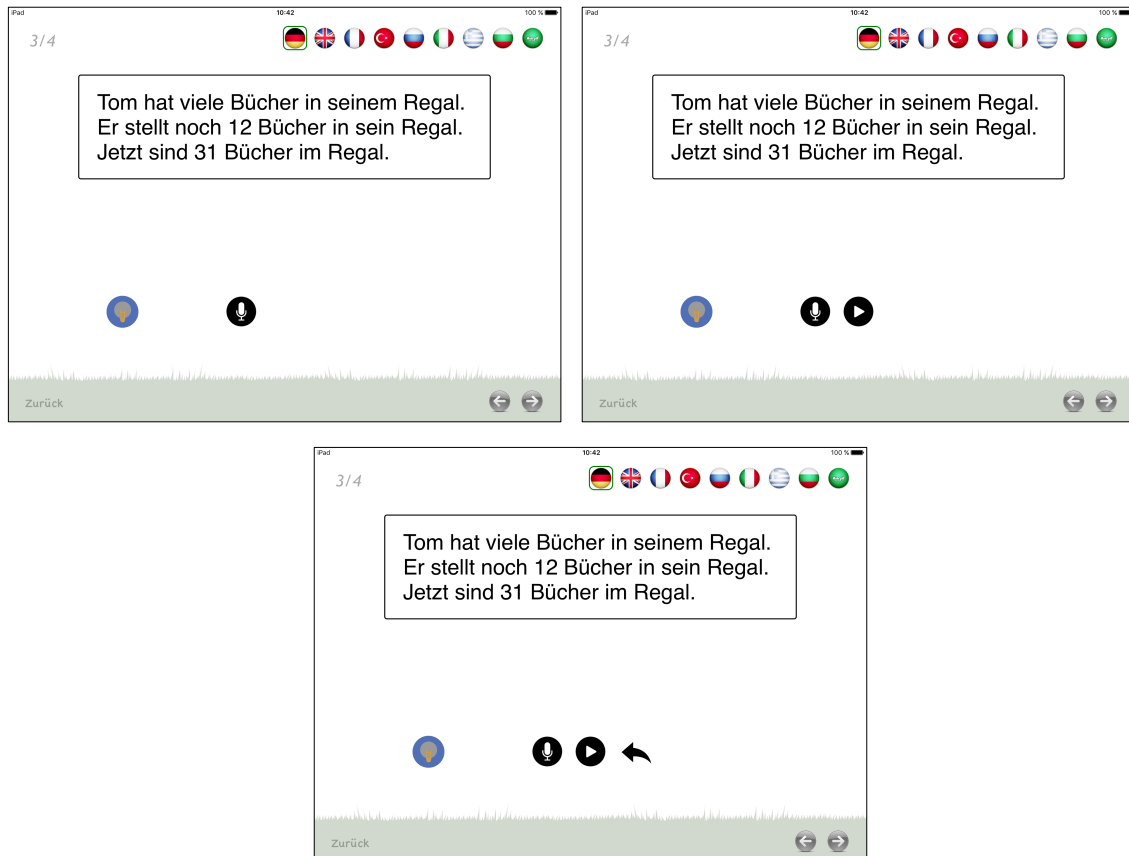


Abbildung 7.4: Weiterentwicklung des Tipps 3 zur Texterschließung der App Textaufgaben Verstehen
(Quelle: Screenshots der Tablet App Textaufgaben Verstehen)

- Ton unterstützt ✓

Neben der schriftsprachlichen Präsentation der Textaufgabe beinhaltet die App *Textaufgaben Verstehen* bereits die Möglichkeit, dass die Textaufgabe durch die Lernenden gesteuert auditiv präsentiert wird.

- Ton mehrmalig ✓

Mit der App *Textaufgaben Verstehen* besteht bereits die Möglichkeit, dass die Aufgabenlösenden jederzeit während der Bearbeitung der Textaufgabe die Textaufgabe beliebig oft anhören können.

- Schrift in Ton ✓

Die App *Textaufgaben Verstehen* beinhaltet bereits die Funktion, dass alle schriftsprachlich präsentierten Inhalte individuell gesteuert auch auditiv zugänglich gemacht werden.

- Ton flexibel ✓
Während des Anhörens der Textaufgabe besteht die Möglichkeit die Tonaufnahme jederzeit selbstständig zu pausieren sowie vorzuspulen oder zurückzuspulen.
- Ton regt mündliche Äußerungen an ✓
Durch die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* werden mathematische Inhalte auditiv präsentiert. So können mündliche Äußerungen der Aufgabenlösenden über mathematische Inhalte angeregt werden.
- Video unterstützt ✓
Neben der schriftsprachlichen Präsentation der Textaufgabe als symbolische Darstellung beinhaltet die App *Textaufgaben Verstehen* die Möglichkeit des intermodalen Transfers. So kann der Sachkontext der Textaufgabe durch die Lernenden gesteuert als ikonische Darstellung in einem Video angeschaut werden.
- Video mehrmalig ✓
Die App *Textaufgaben Verstehen* beinhaltet die Möglichkeit die Aufgaben jederzeit während der Aufgabenbearbeitung als Video zur Sachsituation beliebig oft anzuschauen.
- Video zielgerichtet ✓
Das Video zur Textaufgabe, welches die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* präsentiert, soll vorrangig das Verstehen der Textaufgabe unterstützen. Dementsprechend wurde und wird weiterhin ausschließlich die Sachsituation der Aufgabe einfach und ohne Ton dargestellt. Das Video gibt keine Unterstützung bei der mathematischen Lösung der Aufgabe.
- Video flexibel ✓
Während des Anhörens der Textaufgabe können die Videoaufnahmen weiterhin jederzeit selbstständig gestoppt, pausiert sowie vorgespielt oder zurückgespielt werden.
- Video regt mündliche Äußerungen an ✓
Die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* präsentiert mathematische Inhalte als ikonische Darstellung in einem Video. Hierdurch können mündliche Äußerungen der Aufgabenlösenden über mathematische Inhalte angeregt werden.
- Multiple Repräsentationen ✓
Die Aufgabe wird mit der App bereits in unterschiedlichen Repräsentationsformen abgebildet: Text (verbal-symbolisch, schriftsprachlich), Ton (verbal-symbolisch, mündlich), Video (analog-ikonisch).

- Unterrichtssprache ✓

Die App *Textaufgaben Verstehen* beinhaltet bereits die Möglichkeit, dass während der Aufgabenbearbeitung nichtdeutsche Muttersprachen sowie die Unterrichtssprache Deutsch ausgewählt werden können. Beliebig oft kann zwischen der Muttersprache und der Unterrichtssprache gewechselt werden.

- Muttersprache in Ton ✓

Alle Inhalte der Tablet App *Textaufgaben Verstehen* sind in den verfügbaren Sprachen auditiv zugänglich. Alle schriftsprachlichen Inhalte werden auditiv präsentiert. So können sich die Aufgabenlösenden die schriftliche Textaufgabe anhören.

Die optisch übersichtliche und einfache Gestaltung des Startbildschirms, der Aufgabenauswahlseite sowie des Bildschirms während des Bearbeitens einer Textaufgabe der App *Textaufgaben Verstehen* unterstützte die problemlose Handhabung der Anwendung und wird überwiegend beibehalten. Unabhängig von den Gestaltungsprinzipien beinhaltet die Tablet App zukünftig Möglichkeiten durch Anpassung der mathematischen Textaufgaben individualisierte Lernangebote zu realisieren. Angedacht ist, dass weitere Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungsniveaus in die App integriert werden, sodass für heterogene Lerngruppen ein an den Lernstand angepasstes Angebot an Textaufgaben verfügbar ist. Die Aufgabenauswahlseite wurde umstrukturiert, sodass alle Textaufgaben, die einem entsprechenden Zahlenraum zuzuordnen sind, zusammengefasst werden (s. Abbildung 7.5). Nach der Auswahl eines Zahlenraums können dann Textaufgaben ausgewählt werden, die im Hinblick auf die Anforderungsbereiche Mathematik, Sprache und Sachkontext nach aufsteigendem Schwierigkeitsniveau angeordnet sind.

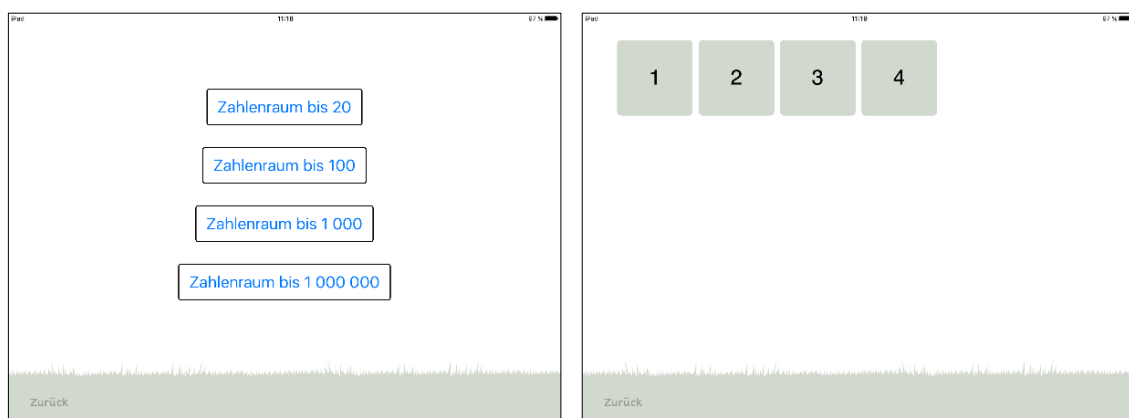


Abbildung 7.5: Weiterentwicklung Aufgabenauswahl der App *Textaufgaben Verstehen*
(Quelle: Screenshot der Tablet App *Textaufgaben Verstehen*)

8. Resümee

Die vorliegende Untersuchung konnte einen Beitrag dazu leisten Forschungslücken zur eingangs dargestellten Problemlage zu schließen, sodass wissenschaftliche Erkenntnisse mit digitalen Medien im Bereich des Sachrechnens mit der Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen abgeleitet wurden. Grundlegende theoretische Erkenntnisse des Forschungsgegenstands wurden jeweils im Anschluss an die Kapitel zusammenfassend dargestellt (s. Kapitel 2.4, 3.4, 4.5). Nach der Durchführung der Untersuchung (s. Kapitel 5) wurden die Ergebnisse (s. Kapitel 6) zu den Forschungsfragen dargestellt und diskutiert (s. Kapitel 7). Das Kernstück der Arbeit sind die Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben, die aus den Ergebnissen abgeleitet sind (s. Kapitel 7). Um den Geltungsbereich der Ergebnisse und Gestaltungsprinzipien genauer festzulegen, werden im abschließenden Kapitel methodische Entscheidungen reflektiert und Grenzen der Untersuchung thematisiert (s. Kapitel 8.1). Im Anschluss daran werden aus den Erkenntnissen der Arbeit Konsequenzen für die Unterrichtspraxis sowie die Forschung abgeleitet (s. Kapitel 8.2). Weiterführende Fragen, die Ausgangspunkt für zukünftige Forschungsarbeiten sein können, werden mitaufgeführt. Die Schlussbemerkung bezieht sich auf wesentliche Erkenntnisse, die durch die Untersuchung gewonnen wurden (s. Kapitel 8.3).

8.1 Methodische Reflexion und Grenzen der Untersuchung

Die Untersuchungsergebnisse sind stets in Verbindung mit dem Untersuchungsdesign und den methodischen Entscheidungen zu betrachten (s. Kapitel 5). Wie jede andere wissenschaftliche Untersuchung weist die vorliegende Untersuchung Grenzen auf, die nachfolgend aufgeführt werden, um den Geltungsbereich der Ergebnisse abzustechen. Die Datenerhebung sowie die Datenauswertung wurden von einer Person durchgeführt, wodurch eine entscheidende Grundlage für die Vergleichbarkeit der Daten gelegt wurde. Von jeder Untersuchungsperson wurden jeweils vier Textaufgaben (insgesamt $n = 76$) mit der Tablet App bearbeitet. Die Anzahl der bearbeiteten Textaufgaben hat sich im Sinne der theoretischen Sättigung als ausreichend erwiesen. Die Erhebung führte zu einer großen Spannweite an Bearbeitungsprozessen der Textaufgaben mit Hilfe der App *Textaufgaben Verstehen*, die differenzierte Analysen ermöglichten. Die Ergebnisse zu Aufgaben, die von Schülerinnen und Schülern mit nichtdeutscher Muttersprache bear-

beitet wurden, basieren auf einer geringeren Anzahl an Aufgabenbearbeitungsprozessen. Die Ergebnisse sind stets in Verbindung mit der Anzahl der berücksichtigten Textaufgaben zu betrachten. Dementsprechend ist die Repräsentativität der prozentualen Angaben in Abhängigkeit der Anzahl der in die Ergebnisdarstellung einbezogenen Textaufgaben unterschiedlich. Im Rahmen weiterführender Studien könnte eine Untersuchung mit einer größeren Anzahl an bearbeiteten Textaufgaben stattfinden und quantitative Untersuchungsmethoden angewendet werden. Die gewonnenen Erkenntnisse basieren auf der Einbindung der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen. Die beteiligte Stichprobe wurde als repräsentatives Sample für die beschriebene Schülergruppe ausgewählt. Lernende mit anderen Förderbedarfen sowie Lernende ohne besonderen Förderbedarf wurden nicht einbezogen. Da davon ausgegangen wird, dass die Entwicklung der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen verzögert erfolgt, aber über die gleichen qualitativen Entwicklungsstufen, ist anzunehmen, dass die Untersuchungsergebnisse in ihrer Tendenz auf entsprechend entwickelte Grundschüler zu übertragen sind. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Schülergruppen sollte in weiterführenden wissenschaftlichen Studien untersucht werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass die festgestellten Ergebnisse sich auf das Arbeiten mit der konzipierten Tablet App sowie das Untersuchungsdesign beziehen. Dementsprechend sind die Erkenntnisse zu den einzelnen Hilfen, die das Verstehen von Textaufgaben unterstützen, nicht uneingeschränkt zu übertragen. Vielmehr kristallisieren sich Tendenzen heraus, wie diese Hilfen während des Bearbeitungsprozesses von Textaufgaben unterstützen können. Darüber hinaus stellt die Auswahl der Textaufgaben eine Grenze der Untersuchung dar. Im Rahmen der Untersuchung wurden Textaufgaben mit festgelegten mathematischen, sprachlichen und sachbezogenen Kriterien genutzt, sodass sich die Untersuchungsergebnisse auf diese speziellen Textaufgaben beschränken. Offen bleibt, inwiefern die Ergebnisse auf andere Textaufgaben sowie andere Typen von Sachaufgaben übertragbar sind. Um einen umfassenden Einblick zu bekommen, wurde die Durchführung videografiert. Hierdurch konnte die individuelle Bearbeitung der Textaufgaben durch die Schülerinnen und Schüler in möglichst natürlicher Form untersucht werden. Durch die leitfadengestützten Interviews war es möglich, neben dem externalisierten Lösungsvorgehen der Untersuchungspersonen auch einen Zugang zu internen Prozessen zu schaffen. Um einen direkten Zugang zu internen Prozessen zu gewinnen, wäre möglicherweise die Methode des lauten Denkens eine Alternative gewesen. Allerdings könnte das laute Denken den Bearbeitungsprozess erschweren, da dies insbesondere für die Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen eine zusätzliche kognitive Belastung darstellen kann.

8.2 Konsequenzen für Forschung und Unterricht

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung lassen sich Konsequenzen für die didaktische Forschung (s. Kapitel 8.2.1) und Konsequenzen für die Unterrichtspraxis (s. Kapitel 8.2.2) ableiten.

8.2.1 Konsequenzen für die didaktische Forschung

8.2.1.1 Interdisziplinäre Forschung

Obwohl der Einsatz digitaler Medien zur Unterstützung mathematischer Lernprozesse in der mathematikdidaktischen Forschung in den letzten Jahren zunehmend thematisiert wird, besteht weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf (Ladel, 2020). Forschungsergebnisse über Effekte digitaler Technologien im Förderschwerpunkt Lernen finden sich kaum. Wie in dieser Arbeit gezeigt, ist eine Verknüpfung der Bezugsdisziplinen Mathematikdidaktik und Sonderpädagogik in weiteren Forschungsprojekten notwendig, um Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarfen angemessen unterstützen zu können.

- Welche Möglichkeiten bieten digitale Medien zur Unterstützung mathematischer Lehr- und Lehr- und Lernprozesse für Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen?

8.2.1.2 Entwicklung von Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen

Die Fachdidaktiken sind sich mittlerweile ihrer Verantwortung bewusst und kümmern sich, dass digitale Anwendungen den fachdidaktischen Anforderungen genügen und sinnvoll genutzt werden (Ladel, 2019). Das Primat der Didaktik wird bei digitalen Anwendungen zum Mathematiklernen häufig vernachlässigt (Krauthausen, 2012; Walter, 2018; Urff, 2014). Explizit fehlt es an didaktisch hochwertigen digitalen Anwendungen im Bereich Sachrechnen. Softwareentwickler berücksichtigen bei der Entwicklung digitaler Anwendungen oft keine mathematikdidaktischen Prinzipien. Demzufolge müssen Überlegungen angestellt werden wie Erkenntnisse aus der Mathematikdidaktik bei digitalen Anwendungen zur Unterstützung mathematischer Lehr- und Lernprozesse Berücksichtigung finden. Die vorliegende Untersuchung liefert neue Erkenntnisse zur Gestaltung digitaler Anwendungen zum Sachrechnen. Im Mittelpunkt steht dabei der erste Teilprozess des Modellierungskreislaufs beim Bearbeiten von Textaufgaben. Die Forschung zu Möglichkeiten der Unterstützung nachfolgender Teilprozesse des Modellierungskreislaufs verschiedener Sachaufgabentypen sollte in weiterführenden Arbeiten anvisiert werden:

- Welche Möglichkeiten bieten digitale Medien, um weitere Teilprozesse des Modellierungskreislaufs beim Bearbeiten von Sachaufgaben zu unterstützen?

Auch in bisherigen Forschungsarbeiten wurden Gestaltungsprinzipien bzw. Designprinzipien für digitale Anwendungen zur Unterstützung mathematischer Lernprozesse formuliert (Ladel, 2009, Höveler & Winzen, 2020). Die Mathematikdidaktik steht weiterhin in der Verantwortung die Entwicklung hochwertiger digitaler Anwendungen mitzugestalten. Erstrebenswert wäre es, die Prinzipien auf Grundlage mathematikdidaktischer Forschungsergebnisse zukünftig strukturiert nach den mathematischen Inhaltsbereichen, zu erweitern und einen Katalog mit konkreten Gestaltungsprinzipien zu erstellen. Solche Prinzipien für digitale Anwendungen zur Unterstützung mathematischer Lernprozesse könnten Softwareentwickler bei der Konzeption digitaler Anwendungen unterstützen und Lehrkräften die Auswahl geeigneter digitaler Anwendungen für den Mathematikunterricht erleichtern. Die Erweiterung der entwickelten Gestaltungsprinzipien stellt eine mögliche Grundlage für weitere anschließende Untersuchungen dar.

- Welche Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen zum Mathematiklernen können auf Grundlage mathematikdidaktischer Forschungsergebnisse formuliert werden?

8.2.1.3 Entwicklung von Unterrichtskonzepten

Ob die digitale Anwendung sinnvoll und zielorientiert eingesetzt wird, ist vom Einsatz seitens der Lehrperson sowie der Nutzung seitens der Lernenden abhängig (Ladel, 2018b). Demzufolge gilt es Überlegungen anzustellen, wie die Anwendung *Textaufgaben Verstehen* sinnvoll in Unterrichtskontexten einbezogen werden kann. Hierbei sollte auch berücksichtigt werden, welche Möglichkeiten die Tablet App für den Sachrechnenunterricht in inklusiven Settings bieten. Lernende mit Förderbedarf Lernen bilden den größten Anteil der inklusiv beschulten Schülerschaft mit Förderbedarf (KMK, 2020). Im Sinne des Duo of Artefact (Ladel, 2018a, Ladel, 2018b) können Möglichkeiten entwickelt werden, wie die App *Textaufgaben Verstehen* mit analogen Arbeitsmaterialien im Sachrechnenunterricht sinnvoll kombiniert werden kann, um den Aufbau von Sachrechnenkompetenz zu unterstützen.

- Wie kann die Tablet App *Textaufgaben Verstehen* sinnvoll in Unterrichtskontexten (in heterogenen Lerngruppen) einbezogen werden?
- Wie können analoge und digitale Medien im Sachrechnenunterricht sinnvoll kombiniert eingesetzt werden?

8.2.1.4 Entwicklung von Förderkonzepten für die Unterrichtspraxis

Zu beachten bleibt, dass die Unterstützung durch digitale Anwendungen scheinbar nicht vorhandene Kompetenzen kurzfristig kompensieren (Walter & Rink, 2020). Es ist eine

Herausforderung Lernenden mit Förderbedarf Lernen Lesestrategien aktiv, flexibel, individuell und effizient zu vermitteln (Graham & Bellert, 2008). Zur Förderung des verstehenden Lesens mathematischer Textsorten finden sich kaum fundierte Konzepte. Einen Ansatz präsentieren Dröse und Prediger (2019). Sie entwickelten und untersuchten ein Lehr-Lern-Arrangement zur Förderung mathematikspezifischer Lese- und Verstehensstrategien für Textaufgaben in Klassenstufe 5. Es bedarf weiterer Studien zur Entwicklung von Fördermaßnahmen für die Unterrichtspraxis unterschiedlicher Klassenstufen und auch für Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarfen:

- Wie können Förderkonzepte zur Förderung des Verstehens von Textaufgaben im Unterricht gestaltet werden?

8.2.1.5 Nachhaltige Lerneffekte durch digitale Anwendungen

Zu untersuchen bleibt auch der Aspekt, ob die abgeleiteten Gestaltungsprinzipien digitaler Anwendungen nachhaltig Lerneffekte bewirken, die beispielsweise auf die kognitive Aktivierung (z. B. durch Präsentation der Textaufgabe als Tonaufnahme oder Videoaufnahme) oder die Verinnerlichung von Abläufen (z. B. durch Handlungsanleitungen) zurückzuführen sind.

- Wie können digitale Anwendungen zum Mathematiklernen nachhaltig Lerneffekte bei den Lernenden bewirken?

8.2.2 Konsequenzen für den Mathematikunterricht

8.2.2.1 Auswahl digitaler Anwendungen für den Mathematikunterricht

Der sinnvolle Einsatz digitaler Medien wird im Mathematikunterricht zur Unterstützung mathematischer Lehr- und Lernprozesse gefordert (s. Kapitel 3). Jedoch zeigt der Einsatz digitaler Medien zum Mathematiklernen ein zwiegespaltenes Bild. Digitale Endgeräte sind teilweise in Klassenzimmern verfügbar und werden punktuell eingesetzt. Von vielen Lehrpersonen wird aber ein Mangel an fachdidaktischen Kriterien zur Auswahl und zum sinnvollen Einsatz digitaler Medien beklagt. Die im Rahmen der Untersuchung entwickelten Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben können für die Auswahl digitaler Anwendungen berücksichtigt werden. Die Lernenden können so wertvolle Unterstützung erfahren, die insbesondere die Schülerschaft mit Förderbedarf Lernen im Sachrechnenunterricht benötigt. In der Unterrichtspraxis sind immer wieder Fördermaßnahmen einzubeziehen, die die Schülerinnen und Schüler in die Lage versetzen selbstständig Textaufgaben zu verstehen.

8.2.2.2 Einsatz digitaler Anwendungen im Unterricht

Die Untersuchung verdeutlicht, dass Lernende mathematikdidaktische Potenziale der App nicht immer angemessen nutzen (s. Kapitel 6). Der angemessene Umgang mit digitalen Anwendungen muss erlernt werden. Eine gute didaktische Gestaltung digitaler Anwendungen allein stellt demzufolge kein Garant für erfolgreiches Lernen dar. Grundvoraussetzung für die Entfaltung der didaktischen Potenziale digitaler Anwendungen bei mathematischen Lehr- und Lernprozessen ist die angemessene Nutzung dieser Anwendungen. Insbesondere bei der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen setzt der angemessene Umgang mit digitalen Anwendungen eine schrittweise fachlich und fachdidaktisch versierte Einführung und Begleitung durch eine Lehrperson voraus. So können die mathematikdidaktischen Potenziale digitaler Anwendungen von Lernenden ausgeschöpft werden. Dieser Aspekt ist bei der Planung und Umsetzung des Mathematikunterrichts stets einzubeziehen.

8.2.2.3 Gestaltung des Sachrechnenunterrichts im Förderschwerpunkt Lernen

Aus den generierten Gestaltungsprinzipien für digitale Anwendungen zum Verstehen von Textaufgaben können Schlussfolgerungen für die Gestaltung des Sachrechnenunterrichts mit Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen, auch in inklusiven Settings, gezogen werden (s. Kapitel 7). Neben der Präsentation der Textaufgabe als Text sollte die Aufgabe als Video sowie als Tonaufnahme präsentiert werden. Wenn keine digitalen Medien zur Verfügung stehen, kann abgeleitet werden, dass das Nachspielen der Sachsituation als Alternative zum Video und das Vorlesen der Textaufgabe als Alternative zur Tonaufnahme erfolgen können. Darüber hinaus ist für die Unterrichtspraxis zu beachten, dass für Lernende mit anderer Muttersprache die Inhalte stets auch in der Unterrichtssprache zugänglich sind und muttersprachlich präsentierte Inhalte auditiv präsentiert werden. Des Weiteren ist die Ausführung von Arbeitsaufträgen, die während des Unterrichts an die Lernenden mit Förderbedarf Lernen gestellt werden, immer wieder durch die Lehrkräfte zu begleiten. Das Bearbeiten mathematischer Textaufgaben beginnt im Grundschulalter und setzt sich bis zur Hochschulbildung fort. Verständnisschwierigkeiten, natürlich auf unterschiedlichen Anforderungsniveaus, können bei Lernenden aller Altersgruppen und Bildungssysteme auftreten. Das Verstehen von Texten ist bei verschiedensten schulischen Tätigkeiten grundlegend. Auch für Arbeitsaufträge in anderen Unterrichtsfächern, die in Textform präsentiert werden, ist es wesentlich den Sinngehalt aus einem Text zu entnehmen (s. Kapitel 2.2.4). Die Untersuchungsergebnisse lassen sich vermutlich auf andere Unterrichtsfächer und weitere mathematische

Aufgaben, die in Textform präsentiert werden, übertragen. Um eindeutige Aussagen über die Effekte beim Verstehen anderer Texte, Aufgaben oder Arbeitsaufträge treffen zu können, bedarf es weiterführender Untersuchungen.

8.2.2.4 Förderung der mathematikspezifischen Lesekompetenz

Wie bereits beschrieben, kompensieren digitale Anwendungen nicht vorhandene Kompetenzen vor allem kurzfristig (Walter & Rink, 2020). Um mathematikspezifische Textsorten verstehend Lesen zu können, ist Aufgabe des Unterrichtsfachs Mathematik, mathematikspezifische Strategien zur Texterschließung immer wieder zu thematisieren. Durch das selbstständige Anwenden der Strategien sollen die Aufgabelösenden in die Lage versetzt werden Textaufgaben zu verstehen. Anregungen zur Förderung mathematikspezifischer Lesestrategien zur Unterstützung des Aufbaus des Situationsmodells beim Bearbeiten von Textaufgaben sind in Dröse und Prediger (2019) zu lesen.

8.3 Schlussbemerkung

„Vorher wie viel hat die?“ (Schüler 4, 4. Textaufgabe) - Diese mündliche Schüleräußerung während der Textaufgabenbearbeitung lässt zunächst nicht erkennen, dass hier ein wesentlicher Verstehensprozess stattfindet. Dennoch steht die Aussage prototypisch für das Verstehen der Textaufgabe und die anschließende Generierung eines passenden Situationsmodells.

Die vorliegende Arbeit geht auf besondere Herausforderungen der Schülerschaft im Förderschwerpunkt Lernen beim Bearbeiten von Textaufgaben ein und zeigt Möglichkeiten der Unterstützung durch digitale Medien. Textaufgaben sind im Mathematikunterricht ein bedeutsames Aufgabenformat. Das Verstehen der Textaufgabe ist wesentlich für die erfolgreiche Lösung. Insbesondere für Schülerinnen und Schüler mit Förderbedarf Lernen stellt schon das Verstehen der Textaufgabe sowie die Generierung eines angemessenen Situationsmodells eine besondere Hürde dar. In Folge kann das Bearbeiten von Textaufgaben bereits am ersten Teilprozess des Modellierungskreislaufs scheitern. Ziel der Arbeit war es, Potenziale digitaler Medien zur Unterstützung beim Verstehen mathematischer Textaufgaben von Schülerinnen und Schülern mit Förderbedarf Lernen zu eruieren. Um das Ziel zu erreichen, wurde zunächst unter Einbezug der Bezugsdisziplinen Mathematikdidaktik, Mediendidaktik und der Didaktik des Förderschwerpunkts Lernen die Tablet *App Textaufgaben Verstehen* konzipiert und in einem zweiten Schritt er-

probt. Die unterschiedlichen Nutzungsweisen der App zeigen, dass die Tipps als Strategien zur Texterschließung, der Ton als auditive Präsentation der Textaufgabe, das Video als intermodaler Transfer zur ikonischen Darstellung der Textaufgabe sowie die Auswahl der Muttersprache als sprachliche Hilfe die Bearbeitung einer Textaufgabe in unterschiedlichem Maße unterstützen. Als Quintessenz wurden auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse Gestaltungsprinzipien digitaler Anwendungen zum Verstehen mathematischer Textaufgaben für Lernende mit Förderbedarf Lernen formuliert. Stellvertretend verdeutlicht die Untersuchung, dass digitale Medien für Lernende mit Förderbedarf Lernen eine Fülle an Lerngelegenheiten eröffnen können. Da im Rahmen des Forschungsprojekts die Disziplinen Mathematikdidaktik und Sonderpädagogik miteinander verzahnt wurden, konnten interdisziplinäre Erkenntnisse und Anregungen über digitale Anwendungen beim Mathematiklernen im Förderschwerpunkt Lernen gewonnen werden und Schlussfolgerungen für die Unterrichtspraxis und die Forschung gezogen werden.

Literaturverzeichnis

- Ainsworth, S. (1999). *Designing effective multi-representational learning environments*. <https://static1.squarespace.com/static/5715814004426269d6cbdf96/t/5956af4c9de4bbc892220f09/1498853197606/Ainsworth-1999-DesigningEffectiveMultirepresentational.pdf> [Zugriff: 02.12.2020].
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.
- Akreml, L. (2014). Stichprobenziehung in der qualitativen Sozialforschung. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 265-282). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Aufenanger, S. & Bastian, J. (2017). Einführung: Tableteinsatz in Schule und Unterricht – wo stehen wir? In J. Bastian & S. Aufenanger (Hrsg.), *Tablets in Schule und Unterricht* (S. 1-11). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Barzel, B., Hußmann, S. & Leuders, T. (Hrsg.) (2005). *Computer, Internet & Co. im Mathematikunterricht*. Berlin: Cornelsen.
- Barzel, B. & Schreiber, C. (2017). Digitale Medien im Unterricht. In M. Absagen, B. Barzel, J. Kramer, T. Baulecke & B. Wösken-Winter (Hrsg.), *Basiswissen Lehrerbildung: Mathematik unterrichten* (S. 200-216). Seelze: Kallmeyer, Friedrich Verlag GmbH.
- Bayerisches Staatsministerium für Unterricht und Kultus (Hrsg.) (2012). *Rahmenlehrplan für den Förderschwerpunkt Lernen*. <https://www.isb.bayern.de/download/11130/rahmenlehrplan.pdf> [Zugriff: 02.12.2020].
- Beauftragte der Bundesregierung für die Belange von Menschen mit Behinderungen (Hrsg.) (2017). *Die UN-Behindertenrechtskonvention. Übereinkommen über die Rechte von Menschen mit Behinderungen*. https://www.behindertenbeauftragte.de/SharedDocs/Publikationen/UN_Konvention_deutsch.pdf?__blob=publicationFile&v=2 [Zugriff: 02.12.2020].
- Benholz, C. & Lipkowski, E. (2010). Sachtexte verstehen, wenn Deutsch die Zweitsprache ist. *Grundschule Mathematik*, 24, 16-19.
- Bierbrauer, C. (2016a). Alle Kinder können Sachrechnen, Textaufgaben in heterogenen Lerngruppen. *Grundschulunterricht Mathematik 1/2016*. Oldenbourg Schulbuchverlag.

- Bierbrauer, C. (2016b). Digitale Medien zur Unterstützung beim Lösen von Textaufgaben. In Institut für Mathematik und Information der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, *Beiträge zum Mathematikunterricht 2016* (S. 145-148). Münster: WTM-Verlag.
- Bierbrauer, C. (2017). Konzeption und Erprobung einer Tablet App zur Unterstützung beim Lösen von Textaufgaben. In U. Kortenkamp & A. Kunzle, *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 95 – 98). Münster: WTM-Verlag.
- Bierbrauer, C. (2018). Eine Tablet-App zur Unterstützung beim Lösen von Textaufgaben bei Schülerinnen und Schülern mit sonderpädagogischem Förderbedarf Lernen. In Fachgruppe Didaktik der Mathematik der Universität Paderborn (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2018* (S. 281-284). Münster: WTM-Verlag.
- Bierbrauer, C. (2020a). Einsatz digitaler Medien beim Bearbeiten von Textaufgaben im Förderschwerpunkt Lernen. In H.S. Siller, W. Weigel & J. Wörler (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2020* (S. 129-132). Münster: WTM-Verlag.
- Bierbrauer, C. (2020b). Digitale Medien zur Unterstützung beim Verstehen von Textaufgaben - Konzeption und Erprobung einer Tablet-App im Förderschwerpunkt Lernen. In S. Ladel, R. Rink, C. Schreiber und D. Walter (Hrsg.), *Forschung zu und mit digitalen Medien, Befunde für den Mathematikunterricht der Primarstufe* (S. 217-231). Münster: WTM-Verlag.
- Birklein, L. (2020). Evaluation einer digitalen Spielumgebung zur mathematischen Frühförderung. In S. Ladel, C. Schreiber, R. Rink, & D. Walter (Hrsg.), *Aktuelle Forschungsprojekte zu digitalen Medien in der Primarstufe* (S. 21-36). Hildesheim: Franzbecker.
- Bitkom Research (Hrsg.) (2019a). *Kinder und Jugendliche in der digitalen Welt*. <https://www.bitkom-research.de/de/system/files?file=document/Bitkom%20PK-Charts%20Kinder%20und%20Jugendliche%202019.pdf> [Zugriff: 02.12.2020].
- Bitkom Research (Hrsg.) (2019b). *Smart School – Auf dem Weg zur digitalen Schule*. https://www.bitkom.org/sites/default/files/2019-03/Pr%C3%A4sentation%20Bitkom-PK%20Bildungskonferenz%2012.03.2019_final.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Blum, W. (1985). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der didaktischen Diskussion. *Mathematische Semesterberichte*, 32(2), 195-232.
- Blum, W. & Leiß, D. (2005). Modellieren im Unterricht mit der "Tanken"-Aufgabe. *mathe-matik lehren*, 128, 18-21.

- Bonfranchi, R. (1992). *Computer – Didaktik in der Sonderpädagogik*. Luzern: Edition SZH/SPC.
- Bongartz, T. & Verboom, L. (Hrsg.) (2007). *Fundgrube Sachrechnen*. Berlin: Cornelson Scriptor.
- Bonow, J., Leinigen, A., Greisbach, M. & Schreiber, C. (2019). Digital und inklusiv - Der Einsatz von Apps in inklusiven Settings im Mathematikunterricht. In D. Walter & R. Rink (Hrsg.), *Digitale Medien in der Lehrerbildung Mathematik - Konzeptionelles und Beispiele für die Primarstufe* (S. 51-71). Münster: WTM-Verlag.
- Borromeo, F. R. (2006). Theoretical and empirical differentiations of the phases in the modelling process. *ZDM-The International Journal on Mathematics Education*, 38(2), 86-95.
- Bruner, J. S. (1974). *Entwurf einer Unterrichtstheorie*. Berlin: Berlin Verlag
- Brunner, E. (2015). Mathematikdidaktische Forschung: Eine notwendige vertiefende Perspektive. *Beiträge zur Lehrerinnen- und Lehrerbildung*, 33(2), 235-245.
- Bos, W., Wendt, H., Köller, O., & Selter, C. (Hrsg.) (2012). *TIMSS 2011 – Mathematische und naturwissenschaftliche Kompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich*. Münster: Waxmann.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (2016). *Bildungsoffensive für die digitale Wissensgesellschaft. Strategie des Bundesministeriums für Bildung und Forschung*. https://www.bmbf.de/files/Bildungsoffensive_fuer_die_digitale_Wissensgesellschaft.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] (2019). *DigitalPakt Schule 2019 bis 2024*. https://www.bmbf.de/files/VV_DigitalPaktSchule_Web.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Carpenter, T. P. & Moser, J. M. (1984). The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal for Research in Mathematics Education*, 15(3), 179-202.
- Chandler, P., & Sweller, J. (1991). Cognitive Load Theory and the Format of Instruction. *Cognition and Instruction*, 8 (4), 293-332.
- Chudaske, J. (2012). *Sprache, Migration und schulfachliche Leistung, Einfluss sprachlicher Kompetenz auf Lese-, Rechtschreib- und Mathematikleistungen*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

- Clements, D. H. & Sarama, J. (2009). *Learning and Teaching Early Math. The Learning Trajectories Approach*. New York, London: Routledge.
- Cummins, D., Kintsch, W., Reusser, K. & Weimer, R. (1988). The role of understanding in solving word problems. *Cognitive Psychology*, 20(4), 405-438.
- Cummins, D. (1991). Children's interpretations of arithmetic word problems. *Cognition and Instruction*, 8(3), 261-289.
- de Corte, E., Verschaffel, L. & de Win, L. (1985). Influence of rewording verbal problems on children's problem representations and solutions. *Journal of Educational Psychology*, 77(4), 460-470.
- Dohrmann, C. (2016). Touch2Learn: Multi-Touch Lernumgebungen explorativ erforschen. In M. Peschel (Hrsg.), *Mediales Lernen - Beispiele für eine inklusive Medien-didaktik* (S. 95-104). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Dröse, J. & Prediger, S. (2019). Scaffolding für fachbezogene textsortenspezifische Lesestrategien – Entwicklungsforschungsstudie zur Förderung des Umgangs mit Textaufgaben. In B. Ahrenholz, S. Jeuk, B. Lütke, J. Paetsch & H. Roll (Hrsg.), *Fachunterricht, Sprachbildung und Sprachkompetenzen* (S. 107-134). Berlin: De Gruyter.
- Ebel, C. (2017). Lernen mit digitalen Medien in der Schule – Erweiterung der didaktischen Möglichkeiten für individuelle Förderung. In Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), *Individuell fördern mit digitalen Medien* (S. 12-18). Gütersloh: Bertelsmann Stiftung.
- Eichler, A. & Wittmann, G. (2004). Evaluation multimedialen Lernens in der Mathematikdidaktik: Ein Überblick zu Forschungszielen und -methoden. *mathematica didactica*, 27(2), 64-91.
- Eilerts, K.; Huhmann, T.(2018): Ein interdisziplinäres Projekt zur Entwicklung und Erforschung digital unterstützter Lehr-Lernumgebungen für den Inhaltsbereich Raum und Form im Mathematikunterricht der Primarstufe. In Fachgruppe Didaktik der Mathematik der Universität Paderborn (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2018* (S. 497-500). Münster: WTM-Verlag.
- Erichson, C. (1993). Lesestoff zum Sachrechnen. *Grundschulunterricht*, 40(4), 17–19.

- Etzold, H., Kortenkamp, U. & Ladel, S. (2018). ACAT-Review-Guide – Ein tätigkeitstheoretischer Blick auf die Beurteilung von Mathematik-Apps. In S. Ladel, U. Kortenkamp & H. Etzold (Hrsg.), *Mathematik mit digitalen Medien - konkret. Ein Handbuch für Lehrpersonen der Primarstufe* (Band 4, S. 91-98). Münster: WTM-Verlag.
- Fegert, J., Eggers, C. & Resch, F. (2012). *Psychiatrie und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters* (2. Auflage). Heidelberg: Springer.
- Fennema, E., Franke, M. L., Carpenter, T. P. & Carey, D. A. (1993). Using Children's Mathematical Knowledge in Instruction. *American Educational Research Journal*, 30(3), 555-583.
- Franke, M. (2003). *Didaktik des Sachrechnens in der Grundschule*. Heidelberg: Spektrum.
- Franke, M. & Ruwisch, S. (2010). *Didaktik des Sachrechnens in der Grundschule*. Heidelberg: Spektrum.
- Freseemann, O. (2014). *Schwache Rechnerinnen und Rechner fördern*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Fricke, A. (1987). *Sachrechnen. Das Lösen angewandter Aufgaben*. Stuttgart: Klett.
- Galbraith, P. L. (2007). Beyond the low hanging fruit. In P. L. Galbraith, H.-W. Henn & M. Niss (Hrsg.), *Modelling and applications in mathematics education: the 14th ICMI study* (S. 79–88). New York: Springer.
- Goodwin, K. & Highfield, K. (2013). A Framework for Examining Technologies and Early Mathematics Learning. In L. D. English & J. T. Mulligan (Hrsg.), *Reconceptualizing Early Mathematics Learning* (S. 205-226). Dordrecht: Springer.
- Graham, L. & Bellert, A. (2008). Leseverständnisprobleme bei Schülern mit Lernstörungen. In B. Y. L. Wong (Hrsg.), *Lernstörungen verstehen: Ein Praxishandbuch für Psychologen und Pädagogen* (3. Auflage, S. 245-274). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Greefrath, G. (2010). *Didaktik des Sachrechnens in der Sekundarstufe*. Heidelberg: Spektrum.
- Greefrath, G., Kaiser, G., Blum, W. & Borromeo, F. R. (2013). Mathematisches Modellieren - Eine Einführung in theoretische und didaktische Hintergründe. In F. R. Borromeo, G. Greefrath & G. Kaiser (Hrsg.), *Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule* (S. 11-37). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Grünke, M. & Grosche, M. (2014). Lernbehinderung. In G. W. Lauth, M. Grünke & J. C. Brunstein (Hrsg.), *Interventionen bei Lernstörungen. Förderung, Training und Therapie in der Praxis* (2. Auflage, S. 76-89). Göttingen: Hogrefe.
- Häsel, U. (2001). *Sachaufgaben im Mathematikunterricht der Schule für Lernbehinderte. Theoretische Analyse und empirische Studien*. Hildesheim: Franzbecker.
- Häsel-Weide, U. (2007). Sachrechnen. In J. Walter & F. B. Wember (Hrsg.), *Sonderpädagogik des Lernens* (S. 4-32, 657-686). Göttingen: Hogrefe.
- Häsel-Weide, U. (2012). Sachrechnen. In U. Heimlich & F. B. Wember (Hrsg.), *Didaktik des Unterrichts im Förderschwerpunkt Lernen* (S. 280-293). Stuttgart: Kohlhammer.
- Häsel-Weide, U. (2016). Sachrechnen. In U. Heimlich & F. B. Wember (Hrsg.), *Didaktik des Unterrichts im Förderschwerpunkt Lernen* (3. Auflage, S. 280-293). Stuttgart: Kohlhammer.
- Hasemann, K. & Gasteiger, H. (2014). *Anfangsunterricht Mathematik* (3. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hasemann, K. & Stern, E. (2002). Die Förderung des mathematischen Verständnisses anhand von Textaufgaben - Ergebnisse einer Interventionsstudie in Klassen des 2. Schuljahres. *Journal für Mathematikdidaktik*, 23, 222-242.
- Heimlich, U. (2007). Didaktik des gemeinsamen Unterrichts. In J. Walter & F. B. Wember (Hrsg.), *Sonderpädagogik des Lernens* (S. 357-374). Göttingen u. a.: Hogrefe.
- Heimlich, U. (2009). *Lernschwierigkeiten. Sonderpädagogische Förderung im Förderschwerpunkt Lernen*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Heimlich, U. (2016). Gemeinsamer Unterricht im Rahmen inklusiver Didaktik. In U. Heimlich & F. B. Wember (Hrsg.), *Didaktik des Unterrichts im Förderschwerpunkt Lernen* (3. Auflage, S. 69-79). Stuttgart: Kohlhammer.
- Heinen, R. & Kerres, M. (2017). „Bildung in der digitalen Welt“ als Herausforderung für Schule. *DDS – Die Deutsche Schule*, (2), 128-145.
- Helfferich, C. (2019). Leitfaden- und Experteninterviews. In N. Baur & J. Blasius (Hrsg.), *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung* (S. 669-686). Wiesbaden: Springer Fachmedien.

- Hessisches Kultusministerium (2009). *Lehrplan Mathematik. Schule für Lernhilfe*.
https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/HKM/lp_lh_mathe.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Hohn, K. (2012). *Gegeben, Gesucht, Lösung? Selbstgenerierte Repräsentationen bei der Bearbeitung Problemhaltiger Textaufgaben*: Dissertation. Universität Koblenz-Landau, Landau.
- Höveler, K. & Winzen, J. (2020). Design-Prinzipien zur Entwicklung eines digitalen Arbeitsmittels zur Kombinatorik. In H.S. Siller, W. Weigel & J. Wörler (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2020* (S. 1097-1100). Münster: WTM-Verlag.
- Hußmann, A., Wendt, H., Kasper, D., Bos, W. & Goy, M. (2017). Ziele, Anlage und Durchführung der Internationalen Grundschul-Lese-Untersuchung (IGLU 2016). In A. Hußmann, H. Wendt, W. Bos, A. Bremerich-Vos, D. Kasper, E.-M. Lankes, N. McElvany, T. C. Stubbe & R. Valtin (Hrsg.), *IGLU 2016. Lesekompetenzen von Grundschulkindern in Deutschland im internationalen Vergleich* (S. 29-78). Münster: Waxmann.
- Huhmann, T., Eilerts, K., Schulte, C., Winkelkemper, F. & Höveler, K. (2020). Der Darstellungsflüchtigkeit im Geometrieunterricht durch digitale Unterstützung entgegenwirken - Ergebnisse einer Studie zum Einsatz einer Pentomino-App in der Primarstufe. In B. Brandt, L. Bröll & H. Dausend (Hrsg.), *Digitales Lernen in der Grundschule II. Aktuelle Trends in Forschung und Praxis* (S. 174–187). Münster: Waxmann.
- Knoche, N. & Lind, D. (2004). Bedingungsanalysen mathematischer Leistungen: Leistungen in den anderen Domänen, Interesse, Selbstkonzept und Computernutzung. In N. Michael (Hrsg.), *Mathematische Kompetenzen von Schülerinnen und Schülern in Deutschland: Vertiefende Analysen im Rahmen von PISA 2000* (S. 205–226). Wiesbaden: VS Springer.
- Koch, K. (2008). Förderung mathematischer Kompetenzen. In M. Fingerle & S. Ellinger (Hrsg.), *Sonderpädagogische Förderprogramme im Vergleich, Orientierungshilfe für die Praxis* (S. 58-108). Stuttgart: Kohlhammer.
- Kortenkamp, U. & Dohrmann, C. (2010). User Interface Design for Dynamic Geometry Software. *Proceedings of CADGME, 2009*, 3(2), 59-66.

- Kowal, S. & O'Connell, D. C. (2014). Transcription as a crucial step of data analysis. In U. Flick (Hrsg.), *The SAGE handbook of qualitative data analysis* (S. 64-77). Los Angeles: Sage.
- Krauthausen, G. (1995). Die "Kraft der Fünf" und das denkende Rechnen. In E. C. Wittmann & G. N. Müller (Hrsg.), *Mit Kindern rechnen* (S. 81-108). Frankfurt am Main: Arbeitskreis Grundschule.
- Krauthausen, G. (2012). *Digitale Medien im Mathematikunterricht der Grundschule*. Berlin: Springer Spektrum.
- Krauthausen, G. (2018). *Einführung in die Mathematikdidaktik - Grundschule* (4. Auflage). Heidelberg: Springer Spektrum.
- Krauthausen, G. & Scherer, P. (2014). *Einführung in die Mathematikdidaktik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kretschmann, R. (2007). Lernschwierigkeiten, Lernstörungen und Lernbehinderung. In J. Walter & F. B. Wember (Hrsg.), *Sonderpädagogik des Lernens* (S. 4-32). Göttingen: Hogrefe.
- Kuckartz, U. (2016). *Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung* (3. überarbeitete Auflage). Weinheim: Beltz Juventa.
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2005). *Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarbereich*, Beschluss vom 15.10.2004. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2004/2004_10_15-Bildungsstandards-Mathe-Primar.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2017). *Bildung in der digitalen Welt Strategie der Kultusministerkonferenz*, In der Fassung vom 07.12.2017. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2016/2016_12_08-Bildung-in-der-digitalen-Welt.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2019). *Empfehlungen zur schulischen Bildung, Beratung und Unterstützung von Kindern und Jugendlichen im sonderpädagogischen Schwerpunkt LERNEN*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 14.03.2019. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2019/2019_03_14-FS-Lernen.pdf [Zugriff: 02.12.2020].

- Kultusministerkonferenz [KMK] (Hrsg.) (2020). *Sonderpädagogische Förderung in Schulen 2009 bis 2018*. Berlin. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/Statistik/Dokumentationen/Dok223_SoPae_2018.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Laakmann, H. (2013). *Darstellungen und Darstellungswechsel als Muster der Begriffsbildung. Eine Untersuchung in rechnerunterstützten Lernumgebungen*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Ladel, S. (2009). *Multiple externe Repräsentationen (MERs) und deren Verknüpfung durch Computereinsatz*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Ladel, S. (2012). Prototypische Umsetzung evaluierter Gestaltungsprinzipien für Mathematik-Software im Anfangsunterricht. In S. Ladel & C. Schreiber (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in der Primarstufe* (S. 83-102). Hildesheim: Franzbecker.
- Ladel, S. (2016a). Digitale Medien im Mathematikunterricht der Grundschule. In M. Peschel & T. Irion (Hrsg.), *Neue Medien in der Grundschule 2.0. Grundlagen-Konzepte-Perspektiven* (S. 154-165). Frankfurt am Main: Grundschulverband - Arbeitskreis Grundschule e.V.
- Ladel, S. (2016b). Lehren und Lernen von Mathematik mit digitalen Medien - ein Blick in die (nahe) Zukunft. In M. Peschel & T. Irion (Hrsg.), *Neue Medien in der Grundschule 2.0. Grundlagen-Konzepte-Perspektiven* (S. 247-257). Frankfurt am Main: Grundschulverband - Arbeitskreis Grundschule.
- Ladel, S. (2017a). Ein Essay zu den Begriffen ‚sinnvoll‘ und ‚Mehrwert‘. In S. Ladel, C. Schreiber & R. Rink (Hrsg.), *Digitale Medien im Mathematikunterricht der Primarstufe. Ein Handbuch für die Lehrerbildung. 3. Band der Reihe Lernen, Lehren und Forschen mit digitalen Medien in der Primarstufe* (S. 171-179). München: WTM-Verlag.
- Ladel, S. (2017b). Ein TApplet für die Mathematik. Zur Bedeutung von Handlungen mit physischen und virtuellen Materialien. In J. Bastian & S. Aufenanger (Hrsg.), *Tablets in Schule und Unterricht* (S. 301-354). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Ladel, S. (2018a). Sinnvolle Kombination virtueller und physischer Materialien. In S. Ladel, J. Knopf & A. Weinberger (Hrsg.), *Digitalisierung und Bildung* (S. 3-22). Wiesbaden: Springer VS.

- Ladel, S. (2018b). Kombiniertes Einsatz virtueller und physischer Materialien. In Birgit Brandt & Henriette Dausend (Hrsg.), *Digitales Lernen in der Grundschule: fachliche Lernprozesse anregen* (S. 53-72). Münster: Waxmann.
- Ladel, S. (2019). *Chancen der Digitalisierung - Bewährtes und Neues sinnvoll vereint. MaMut primar. Materialien für den Mathematikunterricht*. Hildesheim: Verlag Franzbecker.
- Ladel, S. (2020). Bildungstechnologie im Mathematikunterricht (Klassen 1-6). In Helmut Niegemann & Armin Weinberger (Hrsg.), *Handbuch Bildungstechnologie* (S. 645-666). Berlin: Springer.
- Ladel, S. & Kortenkamp, U. (2012). *Early maths with multi-touch - an activity-theoretic approach*. Working paper. Proceedings of POEM. Frankfurt.
- Ladel, S. & Kortenkamp, U. (2014). Tätigkeitsorientiert zu einem flexiblen Verständnis von Stellenwerten - Ein Ansatz aus Sicht der Artefact-Centric Activity Theory. In S. Ladel & C. Schreiber (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen mit digitalen Medien* (Band 2, S. 151-176). Münster: WTM-Verlag.
- Ladel, S., Kortenkamp, U. & Etzold, H. (Hrsg.) (2018). *Mathematik mit digitalen Medien - konkret. Ein Handbuch für Lehrpersonen der Primarstufe* (Band 4). Münster: WTM-Verlag.
- Lamnek, S. (2005). *Qualitative Sozialforschung. Lehrbuch* (4. Auflage). Weinheim: Beltz.
- Landesinstitut für Schulqualität und Lehrerbildung Sachsen-Anhalt [SfSLSA] (o. J.). *Lehrpläne für die Förderschule*. https://www.bildung-lsa.de/lehrplaene___rahmenrichtlinien/foerderschule.html [Zugriff: 06.06.2018].
- Lorenz, H. & Radatz, H. (1993). *Handbuch des Förderns im Mathematikunterricht*. Hannover: Schroedel.
- Löser, R. (2013). *Rund um den Förderschwerpunkt Lernen*. Mülheim an der Ruhr: Verlag an der Ruhr.
- Madlindl, S. & Schilcher, A. (2012). Schwierige Texte. Wie viel Lesekompetenz erfordern Sachaufgaben im Mathematikunterricht? *Grundschule*, 10, 26–28.
- Mason, M. (2010). Sample Size and Saturation in PhD Studies Using Qualitative Interviews. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 11(3), Art. 8.

- Mastenbroek, N. (2008). Der Einsatz von Neuen Medien an Sonderschulen. In Landesmedienzentrum Baden-Württemberg (LMZ) (Hrsg.), *Neue Medien und Sonderpädagogik. Eine Publikation der Medienoffensive Schule II Baden-Württemberg für Unterricht und Praxis* (S. 11-16). Karlsruhe: LMZ.
- Mayer, R. E. (2005). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 31-48). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia Learning, Second Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2021). *Multimedia Learning, Third Edition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (Hrsg.) (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Auflage). Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse, Grundlagen und Techniken* (12. Auflage). Weinheim, Basel: Beltz.
- Medienpädagogischer Forschungsverbund Südwest (mpfs) (Hrsg.) (2019). *KIM-Studie 2018. Kindheit, Internet, Medien*. Stuttgart. https://www.mpfs.de/fileadmin/files/Studien/KIM/2018/KIM-Studie_2018_web.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Meschenmoser, H.(2012). Mediendidaktischer Exkurs zum Lernen mit digitalen Medien. In G. Krauthausen (Hrsg.), *Digitale Medien im Mathematikunterricht der Grundschule* (S. 245-266). Berlin: Springer Spektrum.
- Miesenberger, K., Bühler, C., Niesyto, H., Schluchter, J.-R. & Bosse, I. (2012). Sieben Fragen zur inklusiven Medienbildung. In I. Bosse (Hrsg.), *Medienbildung im Zeitalter der Inklusion* (S. 27-57). Düsseldorf: Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen (LfM).
- Ministerium für Bildung und Kultur Saarland (Hrsg.) (2007). *Lehrplan Mathematik. Förderschule Lernen*. https://www.saarland.de/SharedDocs/Downloads/DE/mbk/Lehrplaene/Lehrplaene_Foerderschulen/LP_FS_L/LP_Foerderschule_Lernen_MA.pdf?__blob=publicationFile&v=1 [Zugriff: 02.12.2020].
- Ministerium für Bildung und Kultur Saarland (Hrsg.) (2015). *Verordnung zur inklusiven Unterrichtung und besonderen pädagogischen Förderung* (Inklusionsverordnung)

- (Art. 1 der Verordnung) vom 3. August 2015 <https://recht.saarland.de/bssl/document/jlr-SchullnkIVSLV1IVZ> [Zugriff: 02.12.2020].
- Ministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur Mecklenburg Vorpommern (o. J. a). *RAHMENPLAN der allgemeinen Förderschule. Band I.* <https://www.bildung-mv.de/export/sites/bildungsserver/downloads/unterricht/rahmenplaene-allgemeine-foerderschule/rp-foerderschule-band-1.pdf> [Zugriff: 02.12.2020].
- Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hrsg.) (2008). *Bildungsplan Förderschule.* http://www.bildungsplaene-bw.de/site/bildungsplan/get/documents_E1567304069/lbw/Bildungsplaene/Bildungsplaene-SBBZ/SBBZ-Lernen/Bildungsplan_FS.pdf [Zugriff: 15.01.2021].
- Moyer-Packenham, P. S., Shumway, J. F., Bullock, E., Tucker, S. I., Anderson-Pence, K. L., Westenskow, A., Boyer-Thurgood, J., Maahs-Fladung, C. A., Symanzik, J., Mahamane, S., MacDonald, B. & Jordan, K. (2015). Young Children's Learning Performance and Efficiency when Using Virtual Manipulative Mathematics iPad Apps. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 34(1), 41-69.
- Müller, G. & Wittmann E. C. (1984). *Der Mathematikunterricht in der Primarstufe. Ziele, Inhalte, Prinzipien, Beispiele* (3. Auflage). Braunschweig: Vieweg.
- Niedersächsisches Kultusministerium (Hrsg.) (2008). *Förderschwerpunkt Lernen Schuljahrgänge 1-9. Fachbereich Mathematik.* https://www.nibis.de/nli1/gohrgs/materialien/foe_lernen2/1mat_foe_deckblatt.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Noll, A. (2020). *Lesebarrieren in einem inklusiven Mathematikunterricht überwinden.* Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Noyes, J., Popay, J., Pearson, A., Hannes, K. & Booth, A. (2008). Chapter 20: Qualitative research and cochrane reviews. In Julian P. T. Higgins & Sally Green (Hrsg.), *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions.* Chister: Wiley. <http://handbook.cochrane.org/> [Zugriff: 03.12.2020].
- Nührenbörger, M. & Verboom, L. (2005). *Eigenständig lernen – Gemeinsam lernen. Mathematikunterricht in heterogenen Klassen im Kontext gemeinsamer Lernsituationen.* http://www.sinus-an-grundschulen.de/fileadmin/uploads/Material_aus_STG/Mathe-Module/Mathe8.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Ott, B. (2016). *Textaufgaben grafisch darstellen.* Münster: Waxmann.

- Paas, F. & Sweller, J. (2014). Implications of Cognitive Load Theory for Multimedia Learning. In R: E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 27-42). New York: Cambridge University Press.
- Paek, S., Hoffman, D. L. & Black, J. B. (2013). Using Touch-Based Input to Promote Student Math Learning in a Multimedia Learning Environment. *Paper presented at the Proceedings of EdMedia: World Conference on Educational Media and Technology 2013*, 314-322.
- Paetsch, J., Radmann, S., Felbrich, A., Lehmann, R. & Stanat, P. (2016). Sprachkompetenz als Prädiktor mathematischer Kompetenzentwicklung von Kindern deutscher und nicht-deutscher Familiensprache. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und pädagogische Psychologie* 48(1), 27-41.
- Patton, M.Q. (2015). *Qualitative research & evaluation methods. Integrating theory and practice* (4. Edition). Los Angeles: Sage.
- Peltenburg, M., van den Heuvel-Panhuizen, M. & Doig, B. (2009). Mathematical power of special educational needs pupils: An ICT-based dynamic assessment format to reveal weak pupils' learning potential. *British Journal of Educational Technology*, 40(2), 273-284.
- Radatz, H. & Schipper, W. (1983). *Handbuch für den Mathematikunterricht an Grundschulen*. Hannover: Schroedel Schulbuchverlag.
- Radatz, H., Schipper, W., Dröge, R. & Ebeling, A. (1996). *Handbuch für den Mathematikunterricht - 1. Schuljahr*. Hannover: Schroedel Verlag GmbH.
- Rädiker, S. & Kuckartz, U. (2019). *Analyse qualitativer Daten mit MAXQDA*. Wiesbaden: Springer VS.
- Rasch, R. (2001). *Zur Arbeit mit problemhaltigen Textaufgaben im Mathematikunterricht der Grundschule*. Hildesheim: Franzbecker.
- Rasch, R. (2009a). Heterogenität beim Bearbeiten von Textaufgaben. In Michael Neubrand (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2009* (S. 367-370). Münster: WTM-Verlag.
- Rasch, R. (2009b). Textaufgaben in der Grundschule. Lernvoraussetzungen und Konsequenzen für den Unterricht. *mathematica didactica*, 32, 67-92.
- Rasch, R. (2016). *Textaufgaben für Grundschulkinder zum Denken und Knobeln. Mathematische Probleme lösen – Strategien entwickeln*. Seelze: Klett Kallmeyer.

- Rasch, R. (2019). Sachrechnen – vielfältig und spannend, Modellieren, Problemlösen, Rechnen, Darstellen. *Grundschulmagazin*, 2, 7-11.
- Rauh, B. (2007). Der Einsatz Neuer Medien im Förderschwerpunkt Lernen – Rahmenbedingungen, Forschungsergebnisse, Perspektiven für Lehre und Forschung. *Zeitschrift für Heilpädagogik*, 9, 331-337.
- Rauh, B. (2012). Höheres Lernen mit digitalen Medien – auch im Bereich der Arithmetik? In S. Ladel & C. Schreiber (Hrsg.), *Lernen, Lehren und Forschen in der Primarstufe* (S. 37-58). Hildesheim: Franzbecker.
- Reiss, K., Weis, M., Klieme, E. & Köller, O. (Hrsg.) (2019). *Pisa 2018, Grundbildung im internationalen Vergleich*. https://www.pisa.tum.de/fileadmin/w00bgi/www/Berichtsbaende_und_Zusammenfassungen/Zusammenfassung_PISA2018.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Relensmann, J. (2019). *Selbst erstellte Skizzen beim mathematischen Modellieren, Ergebnisse einer empirischen Untersuchung*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Renkl, A. & Stern, E. (1994). Die Bedeutung von kognitiven Eingangsvoraussetzungen und schulischen Lerngelegenheiten für das Lösen von einfachen und komplexen Textaufgaben. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 8(1), 27-39.
- Reusser, K. (1992). Kognitive Modellierung von Text-, Situations- und mathematischem Verständnis beim Lösen von Textaufgaben. In K. Reiss, M. Reiss & H. Spandl (Hrsg.), *Maschinelles Lernen: Modellierung von Lernen mit Maschinen* (S. 225-249). Berlin u. a.: Springer.
- Reusser, K. (1997). Erwerb mathematischer Kompetenzen: Literaturüberblick. In F. E. Weinert & A. Helmke (Hrsg.), *Entwicklung im Grundschulalter* (S. 141-155). Weinheim: Beltz.
- Reuter, T. (2016). *Die Rolle externer Repräsentationen für die Konstruktion und Nutzung mentaler Modelle bei der Lösung problemhaltiger Textaufgaben in der Primarstufe*. <https://kola.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/docId/1325> [Zugriff: 02.12.2020].
- Riley, M. S., Greeno, J. G. & Heller, J. I. (1983). Development of Children's Problem-Solving Ability in Arithmetiv. In H. P. Ginsburg (Hrsg.), *The Development of mathematical thinking* (S. 153-196). New York: Academic Press.
- Riley, M. S. & Greeno, J. G. (1988). Developmental Analysis of Understanding Language about Quantities and of Solving Problems. *Cognition and Instruction*, 5(1), 49–101.

- Rink, R. (2014a). „Lass‘ dir die Aufgabe doch vorlesen!“ – mit digitalen Medien Schwierigkeiten beim Sachrechnen begegnen. In Silke Ladel & Christof Schreiber (Hrsg.), *Von Audiopodcast bis Zahlensinn (Lernen, Lehren und Forschen mit digitalen Medien in der Primarstufe)* (Band 2, S. 59-73). Münster: WTM-Verlag.
- Rink, R. (2014b). Mit Audiodateien Schwierigkeiten beim Sachrechnen begegnen - Untersuchung mit Kindern mit Leseschwierigkeiten im vierten Schuljahr. In J. Roth & J. Ames (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2014* (S. 979-982). Münster: WTM-Verlag.
- Rink, R. & Walter, D. (2019). Denk- und Sachaufgaben 2.0 – Zum Einfluss multipler Repräsentationen auf die Generierung eines Situationsmodells beim Sachrechnen. In A. Frank, S. Krauss & K. Bilder (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2019* (S. 989-992). Münster: WTM-Verlag.
- Rogers, Y. (2012). *HCI Theory: Classical, Modern, and Contemporary*. San Rafael (CA): Morgan & Claypool.
- Rogers, Y. & Brignull, H. (2003). *Computational Offloading: Supporting Distributed Team Working Through Visually Augmenting Verbal Communication*. Proceedings of 25th Annual Meeting of Cognitive Science Society. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.5216&rep=rep1&type=pdf> [Zugriff: 02.12.2020].
- Sächsisches Staatsministerium für Kultus und Sport (2005, teilweise überarbeitet 2010). *Lehrplan Schule zur Lernförderung. Mathematik – Primarstufe*. Dresden: Saxoprint GmbH.
- Sarama, J. & Clements, D. H. (2006). Mathematics, Young Students, and Computers: Software, Teaching Strategies and Professional Development. *The Mathematics Educator*, 9(2), 112-134.
- Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). External cognition: how do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*, 45, 185-213.
- Schaumburg, H. (2017). Chancen und Risiken digitaler Medien in der Schule, Medienpädagogische und -didaktische Perspektiven. In Bertelsmann Stiftung (Hrsg.), *Individuell fördern mit digitalen Medien* (S. 20-94). Gütersloh: Verlag Bertelsmann Stiftung.

- Scherer, P. (1999). *Entdeckendes Lernen im Mathematikunterricht der Schule für Lernbehinderte - Theoretische Grundlegung und evaluierte unterrichtspraktische Erprobung* (2. Auflage). Heidelberg: Edition Schindele.
- Scherer, P. (2016). Sachrechnen inklusiv. *Grundschulunterricht Mathematik*, 63(1), 22-25.
- Scherer, P. & Moser Opitz, E. (2010). *Fördern im Mathematikunterricht der Primarstufe*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Schipper, W. (2019). *Handbuch für den Mathematikunterricht an Grundschulen*. Braunschweig: Schroedel.
- Schmidt-Thieme, B. & Weigand, H.-G. (2015). Medien. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik* (S. 461-490). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schneeberger, M. (2009). *Verstehen und Lösen von mathematischen Textaufgaben im Dialog: Der Erwerb von Mathematisierungskompetenz als Initiation in eine spezielle Diskurspraxis*. Münster: Waxmann.
- Schnotz, W. (2006). Visuelles Lernen. In D. H. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch pädagogische Psychologie* (3. Auflage, S. 853-859). Weinheim u. a.: Beltz, PVU.
- Schnotz, W., Baadte, C., Müller, A. & Rasch, R. (2010). Creative thinking and problem solving with depictive and descriptive representations. In L. Verschaffel, E. de Corte, T. de Jong & J. Elen (Hrsg.), *Use of representations in reasoning and problem solving* (S. 11-35). London: Routledge.
- Schnotz, W. (2014). Integrated Model of Text and Picture Comprehension. In R. E. Mayer (Hrsg.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2. Auflage, S. 72-103). Cambridge: Cambridge University Press.
- Schreier, M. (2012). *Qualitative content analysis in practice*. Los Angeles: Sage Publications.
- Schröder, U. (2005). *Lernbehindertenpädagogik* (2. Auflage). Stuttgart: Kohlhammer.
- Schroeder, J. (2015). *Pädagogik bei Beeinträchtigungen des Lernens*. Stuttgart: Kohlhammer.

- Schulz, A. & Walter, D. (2018). Stellenwertverständnis festigen – Potentiale und Nutzungsweisen einer Software zum Darstellungswechsel. In *Beiträge zum Mathematikunterricht 2018* (S. 1667-1670). Münster: WTM-Verlag.
- Schupp, H. (1988). Anwendungsorientierter Mathematikunterricht in der Sekundarstufe I zwischen Tradition und neuen Impulsen. *Der Mathematikunterricht*, 34(6), 5-16.
- Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland [KMK] (Hrsg.) (2005). *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz. Bildungsstandards im Fach Mathematik für den Primarbereich*. Beschluss vom 15.10.2004. München, Neuwied: Wolters Kluwer Deutschland.
- Selting, M., Auer, P., Barth-Weingarten, D., Bergmann, J., Bergmann, P., Birkner, K., Couper-Kuhlen, E., Deppermann, A., Gilles, P., Günther, S., Hartung, M., Kern, F., Mertzlufft, C., Meyer, C., Morek, M., Oberzaucher, F., Peters, J., Quasthoff, U., Schütte, W., Stukenbrock, A. & Uhmann, S. (2009). Gesprächsanalytisches Transkriptionssystem 2 (GAT 2). *Gesprächsforschung - Online-Zeitschrift zur verbalen Interaktion*, 10, 353-402.
- Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Wissenschaft Berlin & Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.) (2015). *Rahmenlehrplan Jahrgangsstufen 1 - 10*. Staßfurt: Salzland Druck GmbH & Co. KG.
- Sinclair, N. & Heyd-Metzuyanim, E. (2014). Developing number sense with TouchCounts. In S. Ladel & C. Schreiber (Hrsg.), *Von Audiopodcast bis Zahlensinn* (S. 125-150). Münster: WTM-Verlag.
- Spiegel, H. & Selter, C. (2006). *Kinder & Mathematik – Was Erwachsene wissen sollten*. Seelze: Kallmeyer.
- Statista (2020). *Anzahl der verfügbaren Apps in den Top App-Stores im 2. Quartal 2019*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/208599/umfrage/anzahl-der-apps-in-den-top-app-stores/> [Zugriff: 02.12.2020].
- Steck, A. (2013). *Förderung des Leseverstehens in der Grundschule. Fortbildungsbausteine für Lehrkräfte* (2. Auflage). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Steffen, A. & Grüßing, M. (2019). Nutzungsweisen und Auswirkungen der Lernbegleitung einer Tablet-App in Bezug auf das räumliche Vorstellungsvermögen. In A. Frank, S. Krauss, & K. Binder (Hrsg.), *Beiträge zum Mathematikunterricht 2019* (S. 785-788). Münster: WTM-Verlag.

- Steinke, I. (1999). *Kriterien qualitativer Forschung*. München: Juventa.
- Steinke, I. (2000). Gütekriterien qualitativer Forschung. In Uwe Flick, Ernst von Kardorff & Ines Steinke (Hrsg.), *Qualitative Forschung. Ein Handbuch* (S. 319-331). Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch.
- Stern, E. (1993). What Makes Certain Arithmetic Word Problems Involving the Comparison of Sets So Difficult for Children?. *Journal of Educational Psychology*, 85(1), 7-23.
- Stern, E. (1998). *Die Entwicklung des mathematischen Verständnisses im Kindesalter*. Lengerich: Pabst.
- Strehl, R. (1979). *Grundprobleme des Sachrechnens*. Freiburg: Herder.
- Sturm, N. (2017). *Problemhaltige Textaufgaben lösen. Einfluss eines Repräsentations-trainings auf den Lösungsprozess von Drittklässlern*. Wiesbaden: Springer.
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 135-146). New York: Cambridge University Press.
- Sweller, J., van Merienboer, J. J.G. & Paas, F. G.W.C. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Education Psychology Review*, 10, 251-296.
- Thevenot, C. (2010). Arithmetic word problem solving: Evidence for the construction of a mental model. *Acta Psychologica*, 133(1), 90-95.
- Thompson, P. W. (1992). Notations, conventions, and constraints: Contributions to effective uses of concrete materials. Elementary mathematics. *Journal for Research in Mathematics Education*, 23(2), 123-147.
- Thüringer Kultusministerium (2001a). *Thüringer Lehrplan für den Bildungsgang zur Lernförderung. Klassenstufen 3/4*. <https://www.schulportal-thueringen.de/media/detail?tspi=2534> [Zugriff: 02.12.2020].
- Thüringer Kultusministerium (2001b). *Thüringer Lehrplan für den Bildungsgang zur Lernförderung. Klassenstufen 5/6*. <https://www.schulportal-thueringen.de/web/guest/media/detail?tspi=2536&tspt=%3A%3B%3AbackUrl%3A%3D%3A%2Fmedia%2Fdetail%3Ftspi%3D2534> [Zugriff: 02.12.2020].

- Thüringer Kultusministerium (2001c). *Thüringer Lehrplan für den Bildungsgang zur Lernförderung. Klassenstufen 7/8/9*. <https://www.schulportal-thueringen.de/web/guest/media/detail?tspi=2537&tspt=%3A%3B%3AbackUrl%3A%3D%3A%2Fmedia%2Fdetail%3Ftspi%3D2536%26tspt%3D%253A%253B%253AbackUrl%253A%253D%253A%252Fmedia%252Fdetail%253Ftspi%253D2534> [Zugriff: 02.12.2020].
- Urrf, C.(2014). *Digitale Lernmedien zur Förderung grundlegender mathematischer Kompetenzen. Theoretische Analysen, empirische Fallstudien und praktische Umsetzung anhand der Entwicklung virtueller Arbeitsmittel*. Berlin: Mensch und Buch.
- Urrf, C. (2020). *Apps*. <http://www.lernsoftware-mathematik.de/> [Zugriff: 02.12.2020].
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. & Peltenburg, M. (2011). A Secondary Analysis from a Cognitive Load Perspective to Understand Why an ICT-based Assessment Environment Helps Special Education Students to Solve Mathematical Problems. *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education*, 10, 1-2, 23-41.
- VERBI Software GmbH (Hrsg.) (2017). *MAXQDA 12 Referenzhandbuch*. https://www.maxqda.de/download/manuals/MAX12_Stats_de.pdf [Zugriff: 02.12.2020].
- Verschaffel, L., Greer, B. & De Corte, E. (2000). *Making Sense of Word Problems*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Walter, D. (2018, März). Mathematik mit digitalen Medien in der Grundschule lernen und lehren, Ein Überblick zu Forschungsarbeiten und -lücken sowie Anknüpfungspunkten zu den Sekundarstufen. *Vortrag im Rahmen der GDM Jahrestagung 2018*. Paderborn.
- Walter, D. (2018). *Nutzungsweisen bei der Verwendung von Tablet-Apps. Eine Untersuchung bei zählend rechnenden Lernenden zu Beginn des zweiten Schuljahres*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Walter, D. & Rink, R. (2020). Multiple Repräsentationen und ihr Einfluss auf die Generierung eines Situationsmodells beim Sachrechnen. In S. Ladel, R. Rink, C. Schreiber und D. Walter (Hrsg.), *Forschung zu und mit digitalen Medien, Befunde für den Mathematikunterricht der Primarstufe* (S. 233-246). Münster: WTM-Verlag.

- Walter, J., Glöer, S. & Wellen, P. (1999). Effekte eines computerunterstützten Intensivtrainings zur Automatisierung elementarer Rechenoperationen und dessen Wirkung im Vergleich zu herkömmlichen Materialien. *Sonderpädagogik*, 29, 148-157.
- Walter, S. (2016). *Matheabenteuer. Entwicklung und Evaluation eines kompetenzorientierten Mathematiklehrwerks für inklusive und sonderpädagogische Settings in der ersten Jahrgangsstufe*. Hildesheim: Franzbecker.
- Weigand, H.-G. & Weth, T. (2002). *Computer im Mathematikunterricht*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Welling, S. (2017). Methods matter. Methodisch-methodologische Perspektiven für die Forschung zum Lernen und Lehren mit Tablets. In J. Bastian & S. Aufenanger (Hrsg.), *Tablets in Schule und Unterricht* (S. 15-36). Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Wember, F. B. (1986). *Piagets Bedeutung für die Lernbehindertenpädagogik: Untersuchung zur kognitiven Entwicklung und zum schulischen Lernen bei Sonderschülern*. Heidelberg: Schindele.
- Wember, F. B. (2016). Didaktische Prinzipien und Qualitätssicherung im Förderunterricht. In U. Heimlich & F. B. Wember (Hrsg.), *Didaktik des Unterrichts im Förderschwerpunkt Lernen. Ein Handbuch für Studium und Praxis* (3. Auflage, S. 81-96). Stuttgart: Kohlhammer.
- Werner, B. (2009). *Dyskalkulie – Rechenschwierigkeiten, Diagnose und Förderung rechenschwacher Kinder an Grund- und Sonderschulen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Werning, R. & Lütje-Klose, B. (2016). *Einführung in die Pädagogik bei Lernbeeinträchtigungen*. München: Ernst Reinhardt Verlag.
- Wilhelm, N. (2016). *Zusammenhänge zwischen Sprachkompetenz und Bearbeitung mathematischer Textaufgaben*. Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Winzen, J. (2020). Kombinatorische Anzahlbestimmung digital. Das „Primat der Fachdidaktik“ als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines digitalen Arbeitsmittels. In Leena Bröll, Birgit Brandt & Henriette Dausend (Hrsg.), *Digitales Lernen in der Grundschule II* (S. 307-324). Münster: Waxmann Verlag.

- Wittmann, E. C. (2010). Natürliche Differenzierung im Mathematikunterricht der Grundschule – vom Fach aus. In P. Hanke, G. Möwes-Butschko, A. K. Hein, A. K., D. Bern-
tzen & A. Thielges (Hrsg.), *Anspruchsvolles Fördern in der Grundschule* (S. 63-78).
Münster: Waxmann.
- Zentel, P. (2016). Medien und Neue Technologien. In I. Heddrich, G. Biewer, J. Hollen-
weger & R. Markowetz (Hrsg.), *Handbuch Inklusion und Sonderpädagogik* (S. 380-
384). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Zierer, K. (2018). *Lernen 4.0, Pädagogik vor Technik*. Baltmannsweiler: Schneider Ver-
lag Hohengehren.