Technische Universität Dortmund
Fakultät 15: Kulturwissenschaften
Institut für deutsche Sprache und Literatur
Wintersemester 2017/2018

BACHELORARBEIT

im Unterrichtsfach Deutsch

Die Rolle sprachlicher Kompetenz bei der Lösung von mathematischen Textaufgaben

Erstprüferin: Prof. Dr. Barbara Mertins
Zweitprüferin: Prof. Dr. Susanne Prediger
Abgabedatum: 29.03.2018

Jana Sievering
E-Mail: jana.sievering@tu-dortmund.de
Studiengang: Lehramt für sonderpädagogische Förderung (LABG 2009)

9. Fachsemester

Inhaltsverzeichnis

I. Abkürzungsverzeichnis…….. i

II. Abbildungsverzeichnis……... ii-iv

III. Tabellenverzeichnis…… iv

1. Einleitung…… S. 1-2

2. Theoretischer Teil……S. 2-19

2.1. Die Bedeutung der Sprache für den Mathematikunterricht…….. S. 2-3

2.2. Lesekompetenz…… S. 4-7

2.3. Anaphern……...S. 7-9

2.4. Mathematische Textaufgaben……... S. 10

2.4.1. Das Lösen mathematischer Textaufgaben….S. 10-12

2.4.2. Probleme beim Lösen von Textaufgaben….S. 12-13

2.5. Forschungskontext…….S. 13-18

2.5.1. Einordnung des eigenen Forschungsvorhabens……S. 18-19

3. Empirischer Teil……. S. 19-47

3.1. Methode……...… S. 19-21

3.2. Design des Experiments…….. S. 21-24

3.3. Auswertung der Daten……...……S. 24-28

3.3.1. Proband/innengruppen…… S. 24-26

3.3.2. Datengruppen……... S. 26-28

3.4. Analyse…….S. 28-42

3.4.1. Darstellung der Ergebnisse……...S. 28-31

3.4.2. Interpretation der Ergebnisse……....S. 31-37

3.4.3. Exemplarische Textaufgabenlösung…….S. 37-39

3.4.4. Fehler im Situationsmodell……...S. 39-42

3.4.5. ELFE-Lesetest…….. S. 42

3.5. Zusammenfassung und Einordnung……S. 42-43

3.6. Diskussion und Ausblick……. S. 43-46

4. Fazit……..……S. 46-47

5. Literaturverzeichnis…… S. 48-51

6. Anhang……S. 52-72

I. Abkürzungsverzeichnis

A	Agens
AE	Agens Erweitert
aktual.	aktualisierte
AOI	Area Of Interest
Aufl.	Auflage
Bd.	Band
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ebd.	ebenda
et al.	et alii bzw. et aliae
f./ff.	folgende
KPI	Key Performance Indicator
ms	Millisekunde
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Develompent
P	Patiens
P*(Nr.)*	Proband/in
PE	Patiens Erweitert
Q(2)	Quantifikator (2)
Q(2)E	Quantifikator (2) Erweitert
SMI	SensoMotoric Instruments
s.o.	siehe oben
SP	Scan Path
u.	und
u.a.	unter anderem
überarb.	überarbeitete
vgl.	vergleiche
vollst.	vollständige
z.B.	zum Beispiel

II. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1, S. 11: „Modellierungskreislauf“ nach Blum und Leiss (2005). Entnommen aus: Wilhelm 2016: 67

Abb. 2, S. 33: Scan Path, 2A, P11, nicht erfolgreich gelöst, 16:000 ms bis 24:688 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 3, S. 33: Scan Path, 2A, P11, nicht erfolgreich gelöst, 24:688 ms bis 29:698 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 4, S. 33: Scan Path, 1D, P15, erfolgreich gelöst, erster Lesedurchgang. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 5, S. 33: Scan Path, 1D, P15, erfolgreich gelöst, bei 26.078 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 6, S. 34: Focus Map, 1D, P15, erfolgreich gelöst, Ende bei 26.078,5 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 7, S. 34: Focus Map, 2A, P11, nicht erfolgreich gelöst, Ende bei 75.519,6 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 8, S. 35: Scan Path, 3D, P08, erfolgreich gelöst, 500 ms bis Ende (30.740 ms). Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 9, S. 36: Scan Path, 3D, P04, nicht erfolgreich gelöst, 500 ms bis Ende (01.22.397 ms). Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 10, S. 36: Scan Path, 3D, alle erfolgreichen Proband/innen (P08, P14, P19), 500 ms bis 50.323 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 11, S. 36: Scan Path, 3D, alle nicht erfolgreichen Probanden (P04, P11, P12) 500 ms bis 01.22.397 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 12, S. 37: Focus Map, 3D, alle erfolgreichen Proband/innen (P08, P14, P19), 500 ms bis 50.323 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 13, S. 37: Focus Map, 3D, alle nicht erfolgreichen Probanden (P04, P11, P12) 500 ms bis 01.22.397 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 14, S. 38: Scan Path, 1D, P10, Erstes Lesen, von 500 ms bis 10.084 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 15, S. 38 Scan Path, 1D, P10, Realmodell von 10.084 ms bis 15.325 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 16, S. 38: Scan Path, 1D, P10, Mathematisierung, von 15.325 ms bis 32.271 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 17, S. 38: Scan Path, 1D, P10, Rechnen „Ben“ 32.271 ms bis 41.401 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 18, S. 39: Scan Path, 1D, P10, Rechnen „Hanna“, von 41.401 ms bis 52.730 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 19, S. 39: Scan Path, 1D, P10, Interpretieren und Validieren von 52.730 ms bis 1.03.367 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 20, S. 41: Scan Path, 2B, P12, nicht erfolgreich gelöst, 500 ms bis 11.751 ms. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

Abb. 21. S. 41: Focus Map, 2B, P12, nicht erfolgreich gelöst, 500 ms bis Ende. Quelle: psycholinguistics eyetracking laboratory der TU Dortmund

III. Tabellenverzeichnis

Tab. 1, S. 27: *AOI-Übersicht*, Quelle: eigene Gestaltung

Tab. 2, S. 31: *Ergebnisse der statistischen Analyse*, Quelle: eigene Gestaltung

Tab. 3, S. 31: *Trial Duration und Aufgabentyp*, Quelle: eigene Gestaltung

Tab. 4, S. 40: *Fehler im Situationsmodell*, Quelle: eigene Gestaltung

Tab. 5, S. 41: *AOIs in 2B von P12*, Quelle: eigene Gestaltung

1. Einleitung

„Alles wird in sprachlicher Form dargestellt und vermittelt, alles erfordert sprachliche Kompetenz, um es lernen, verstehen und anwenden zu können. Sprache ist also ständig Lernmedium.“ (Knapp 2006: 591) Auch im Mathematikunterricht tritt sie in ihren verschiedenen Funktionen an zahlreichen Stellen, vor allem im Bereich des Sachrechnens, in Erscheinung. Schon ab der Grundschule sollen die Schüler/innen so z.B. lernen, kreativ zu denken und neue mathematische Fähigkeiten und Konzepte zu erwerben, während Sachaufgaben sie zugleich motivieren und auf reale Alltagssituationen vorbereiten sollen (vgl. Dewolf et al. 2015: 149). Leider schlagen diese guten Ziele sehr oft fehl und es kommt aufgrund der sprachlichen Anforderungen zu einer auffallend höheren falschen Lösungsquote als bei Aufgaben in numerischer Form (vgl. Abedi/ Lord 2001: 219). In der Forschung wird dieser Zusammenhang zunehmend fokussiert. Jedoch konnten die zugrundeliegenden spezifischen sprachlichen Ursachen noch nicht zufriedenstellend definiert werden (vgl. Stephany 2017: 43). Die vorliegende empirische Studie soll einen weiteren Beitrag hierzu leisten. Das zugrundeliegende Projekt widmet sich im Rahmen des „Dortmunder Profils für inklusionsorientierte Lehrer/-innenbildung“ (DoProfil) und in Zusammenarbeit von Psycholinguistik und Mathematikdidaktik der Frage, welcher Zusammenhang zwischen dem Sprachverständnis und der Lösung mathematischer Textaufgaben besteht. Dazu wird untersucht, wie Schüler/innen des fünften Schuljahres mit der Zuweisung anaphorischer Pronomen in mathematischen Textaufgaben umgehen. Hierzu wird die Methode des Eye-Trackings verwendet, die die visuelle Aufmerksamkeit der Kinder auf die verschiedenen Aufgabenelemente offenlegen soll. Dabei wird erwartet, dass die auftretenden Probleme beim Textaufgabenlösen eher durch Defizite im Sprach- und Textverständnis verursacht werden als durch mathematische Faktoren.

Die vorliegende Arbeit soll eine erste Annäherung hieran bieten. Im Rahmen der Frage, inwieweit die Zuteilung von visueller Aufmerksamkeit und das Verständnis von Anaphern bei der Lösung von mathematischen Textaufgaben zusammenhängen, sollen die ersten Ergebnisse der Pilotierungsphase des Projektes dargestellt und diskutiert werden. Dazu sollen zunächst der zugrundeliegende Zusammenhang zwischen Mathematik und Sprachkompetenz und deren Bedeutung für den Mathematikunterricht aufgezeigt werden. Es wird dabei ein Schwerpunkt auf den Teilbereich der Lesekompetenz gelegt, da das Lesen mit seinen vielschichtigen Prozessen für die Textaufgabenbearbeitung unabdingbar ist und das hierbei angestrebte Textverstehen für

viele Kinder eine Schwierigkeit darstellt. Als mögliche Ursache dafür sollen Anaphern, hier in Form von Pronomen, und ihre Verarbeitung genauer in den Blick genommen werden. Auch der Lösungsprozess von Textaufgaben, der idealerweise als mathematischer Modellierungskreislauf beschrieben wird, soll nachfolgend beleuchtet werden. Zur Einordnung in den Forschungskontext werden daraufhin Studien von Hegarty et al. (1995) und Rayner et al. (2006) zusammenfassend vorgestellt, um Vermutungen und Erklärungen für die Eye-Tracking-Aufnahmen der Proband/innen aufstellen bzw. finden zu können. Im daran anschließenden empirischen Teil der Arbeit werden die Methode des Eye-Trackings und das Design der Studie mit dem Material, den ausgewählten Proband/innen und der Versuchsdurchführung vorgestellt. Außerdem werden die für die Analyse eingeteilten Proband/innengruppen sowie datenspezifische Operatoren, die für die Auswertung der Ergebnisse ausgewählt wurden, aufgeführt. Nach einer ersten Darstellung der Ergebnisse werden diese weiterhin interpretiert, zusammengefasst und eingeordnet sowie in einer abschließenden Diskussion erörtert, um daraus schließlich Erkenntnisse und Veränderungsmöglichkeiten für den weiteren Verlauf der Studie zu formulieren.

2. Theoretischer Teil

2.1. Die Bedeutung der Sprache für den Mathematikunterricht

Von außen betrachtet kann leicht die Annahme aufkommen, der Mathematikunterricht sei ein spracharmes und eher symbollastiges Schulfach (vgl. Meyer/ Tiedemann 2017: 1). Betrachtet man jedoch die Praxis, kann festgestellt werden, dass dies ein Irrtum ist (vgl. ebd.). Stattdessen gilt, dass sprachliche Kompetenzen im Schulkontext bereichsübergreifend grundlegend sind (vgl. Duarte et al. 2011: S. 38). Das Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen spricht der Sprache eine Schlüsselposition zu, da sie ein „Mittel des Verstehens und der Verständigung“ (Rösch/ Paetsch 2011: 59) und mit jeglichem Lernen – also auch mit dem mathematischen – verbunden ist (vgl. Rösch/ Paetsch 2011: 59). Prediger et al. (2015) sehen in der Sprachkompetenz sogar den bedeutendsten Faktor im Rahmen der auf den Mathematikunterricht einflussnehmenden Hintergrundfaktoren, zu denen u.a. Nationalität, Mehrsprachigkeit, der sozioökonomische Status und Migrationshintergründe gehören (vgl. Prediger et al. 2015: 77ff.). Leistungsunterschiede im Mathematikunterricht können in vielen Fällen auf eine Heterogenität der sowohl

einsprachigen als auch mehrsprachigen Schülerinnen und Schüler in Bezug auf ihre fach- und bildungssprachlichen Kompetenzen zurückgeführt werden (vgl. Prediger 2017: 30). Diese Fertigkeiten, die von großer Bedeutung für den Schulunterricht sind, werden nicht im alltäglichen Sprachgebrauch erworben und zeichnen sich im Sinne der CALP („cognitive academic language proficiency“, Cummins 2000: 3) durch zum Beispiel die Beherrschung diskursiver, grammatisch-syntaktischer und lexikalischer Fähigkeiten oder, in fachsprachlichen Registern, beispielsweise der Formelsprache aus (vgl. Prediger et al. 2015: 79/ Prediger 2013: 175). Dabei ist die (Bildungs-)Sprache als Lernmedium eine Voraussetzung für mathematisches Lernen (vgl. Prediger 2013: 169). Weiterhin muss in diesem Kontext die Dualität der Sprache betrachtet werden, die sowohl eine kognitive als auch eine kommunikative Funktion umfasst, die stark miteinander verwoben sind (vgl. Prediger et al. 2015: 80). Die kognitive Funktion von Sprache verdeutlicht die starke Verflechtung der Sprache mit dem Denken (vgl. Prediger 2017: 34). Sie dient dem Erkenntnisgewinn und macht es möglich, dass unbekannte Wissensbereiche durch die Verdichtung von Informationen zu neuen Begriffen, die durch begriffliche Repräsentationen möglich ist, durchdrungen und fixiert werden können (vgl. Maier/ Schweiger 1999: 18). So werden Techniken und Strategien, zum Beispiel der Mathematik, durch Benennung greifbar und anwendbar gemacht (vgl. ebd.). Verstehens- und Denkprozesse werden somit unterstützt und geordnet, wodurch neue kognitive Möglichkeiten entstehen (vgl. Meyer/ Tiedemann 2017: 41). Die Ergebnisse der individuellen Denkprozesse können nun durch sprachliche Begriffe sowohl schriftlich als auch mündlich mit anderen geteilt und dadurch vervielfältigt werden (vgl. Maier/ Schweiger 1999: 18). Außerdem wird der Erkenntnisgewinn, also die kognitive Funktion der Sprache, durch einen solchen fachlichen Austausch verstärkt und vertieft (vgl. Meyer/ Tiedemann 2017: 42). Bei derlei abstrakten Inhalten ist es laut Vygotsky sogar nicht möglich ohne Sprache z.B. mathematisch zu denken, da die Gedanken auf diese Weise zunächst erfassbar gemacht und strukturiert werden müssen, bevor Kommunikation über sie erfolgen kann (vgl. ebd.: 43). Sprachkompetenz umfasst an dieser Stelle also sowohl die Lesekompetenz der Kinder, als auch grammatikalische und lexikalisch-semantische Qualifikationen sowohl in der Sprachrezeption als auch in der -produktion (vgl. Prediger et al. 2015: 81). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Sprachkompetenz äußerst relevant und (Bildungs-)Sprache sowohl in ihrer kommunikativen als auch in ihrer kognitiven Funktion von großer Bedeutung für mathematisches Lernen und den Unterricht ist.

2.2. Lesekompetenz

Als ein Teilgebiet der sprachlichen Kompetenz soll nun die Lesekompetenz genauer in den Blick genommen werden, da sie für die Bearbeitung mathematischer Textaufgaben entscheidend ist. Nach PISA 2009 ist Lesekompetenz „[die] Fähigkeit, geschriebene Texte zu verstehen, zu nutzen und über sie zu reflektieren und sich mit ihnen auseinanderzusetzen, um eigene Ziele zu erreichen, das eigene Wissen und Potenzial weiterzuentwickeln und aktiv am gesellschaftlichen Leben teilzunehmen“ (Wilhelm 2016: 23). Darüber hinaus kann „das Verstehen von Texten [als wesentlicher Bestandteil der Lesekompetenz als] eine zentrale Voraussetzung für eine erfolgreiche Teilhabe am Mathematikunterricht“ (Duarte et al. 2011: 38) und eine gelungene Lösung mathematischer Textaufgaben verstanden werden (vgl. Wilhelm 2016: 26).

Das Lesen ist ein sehr komplexer Prozess und wird als eine aktive Konstruktionsleistung verstanden, die eine Wechselwirkung zwischen dem Rezipienten und dem Text umfasst (vgl. Wilhelm 2016: 51). Die Inhalte eines Textes müssen hierbei mit dem Welt- und Vorwissen des Lesers, also seinem konzeptuellen Wissen, kombiniert werden (vgl. ebd.). Dieses geschieht zum einen in *bottom up*-Prozessen, in denen ausgehend vom Text Informationen über die Buchstaben-, Wort-, Satz- und Passagenebene durch die Bestimmung der einzelnen Worte, ihrer Reihenfolge und der Satzprosodie aufgenommen werden (vgl. ebd., Dijkstra/ Kempen 1993: 21/ 44). Diese werden zum anderen in *top down*-Prozessen mit vorhandenem und aktiviertem Alltags- und Handlungswissen, aus dem mentalen Lexikon herangezogenen lexikalischen sowie morphologischen und syntaktischen Informationen des Lesers kontinuierlich abgeglichen und verknüpft (vgl. ebd.). Nach Hohm ist diese Art der Informationsverarbeitung spezifisch für das Verstehen eines Textes, da durch die beschriebene Wechselwirkung der Textinhalt für den „Rezipienten in ein mentales Modell überführt“ (Hohm 2005: 99, entnommen aus Wilhelm 2016: 52) und somit verstanden werden kann. Das mentale Modell ist an dieser Stelle von größter Wichtigkeit, da es allgemein mit dem Verstehen eines Textes gleichgesetzt werden kann (vgl. Stephany 2017: 46). Die Textverstehensfähigkeit besteht also nicht alleine aus dem Decodieren der einzelnen Worte: Es bedarf der Kombination vielfältiger Lesekompetenzen, die sowohl syntaktische als auch semantische und konzeptuelle Verarbeitungsfähigkeiten umfassen (vgl. Rayner et al. 2006: 247). Dazu zählen zum Beispiel die Erkennung von Worten und Symbolen und das Wissen über ihre Bedeutungen auf Wort- und Satzebene und im Satzzusammenhang, das Identifizieren

der Gliederung und Struktur des Textes, Wortanalysefähigkeit, die Fähigkeit, Schlussfolgerungen zu ziehen, das Begreifen der Textintention, die Anpassung der Lesegeschwindigkeit und das Einbeziehen des Kontextes (vgl. Maier/ Schweiger 1999: 179/ 238ff.). All diese Fähigkeiten werden aus psycholinguistischer Perspektive bei der Satzanalyse in zwei Analyseprozessen angewandt, die eng zusammen arbeiten: Die syntaktische Analyse umfasst die beschriebenen bottom up- und top down-Prozesse, durch welche die Bestimmung der Wortarten, die Zusammensetzung der Wörter zu Wortgruppen und ihre Funktion im Satzzusammenhang mit dem Endresultat eines syntaktischen Analysebaumes gelingen kann (vgl. Dijkstra/ Kempen 1993: 43). Die konzeptuelle Analyse (oder Interpretation) nutzt das Wissen aus dem mentalen Lexikon oder dem konzeptuellen System des/der Rezipienten/in, um eine Sprachäußerung interpretieren und somit „die mentale Repräsentation eines *konzeptuellen Netzwerks*" (ebd.: 46) konstruieren zu können (vgl. ebd.: 46). Dabei beginnt der Satzanalyseprozess direkt nach der Aufnahme der ersten Wörter und versucht, die Strukturen des Satzes zu erkennen, während die neuen Informationen weiter aufgenommen und durch eine *right Association* in den syntaktischen Baum integriert werden (vgl. ebd.: 48). Schwierigkeiten können hier auftreten, wenn Konstituenten mit Elementen verbunden (also in den Baum integriert) werden müssen, die schon früher genannt wurden (vgl. ebd. 48f.), da diese Einheiten solange im Arbeitsgedächtnis gespeichert werden müssen, bis sie an der richtigen Stelle in die mentale Repräsentation des Satzes eingeordnet werden können (vgl. ebd.: 114). Diese Satzanalyseaspekte werden später für die Lösung der vorliegenden Aufgaben und die darin geforderte Anaphernresolution von zentraler Bedeutung sein.

Das Verstehen mathematischer Texte birgt im Vergleich zu dem von alltäglichen Texten einige Besonderheiten (vgl. Maier/ Schweiger 1999: 65). Beim Lesen eines alltäglichen Textes entspricht es bei geübten Lesern durchaus der Norm, wenn nicht jedes Wort einzeln gelesen wird (vgl. ebd.). Durch das Einbeziehen von Erfahrungen und intuitivem syntaktischen Wissen kann der Sinn eines Satzes trotzdem, aufgrund oft hoher Redundanz und der Möglichkeit zur eigenen Interpretation (konzeptuelle Analyse), erfasst werden, indem kurz nach Beginn des Lesens Hypothesen in Form der mentalen Repräsentation über die folgenden Satzteile aufgestellt und lediglich stichprobenartig überprüft und gegebenenfalls revidiert werden (vgl. ebd.: 65/ 178). Für das Verstehen mathematischer Texte sind solche Lesegewohnheiten meist jedoch nicht ausreichend (vgl. ebd.). Hier ist nicht nur jedes Wort, sondern sogar jedes Zeichen mit

seiner eigenen Bedeutung wichtig und muss wörtlich übernommen werden (vgl. ebd.: 65f.). Auch kann und darf der Inhalt nicht durch alltägliche Erfahrungen erschlossen oder ergänzt werden, da eine Interpretation ohne benötigtes Fachwissen oder exaktes Arbeiten bedeutungsverändernd sein kann (vgl. ebd.). Stattdessen ist es äußerst wichtig, dass die im Text verborgenen Relationen zwischen einzelnen Worten, Satz- oder Textteilen exakt analysiert und durch genaues, konzentriertes, langsames, intensives, kritisches und wiederholendes Lesen erkannt werden (vgl. ebd.). Hier wird das Kurzzeitgedächtnis stärker beansprucht und die syntaktische Analyse spielt eine große Rolle (vgl. ebd.). Die Relationen, die einen Text zusammenhalten, können als Textkohärenz bezeichnet werden (vgl. Stephany 2017: 47). Sie ist im Grunde ein im materialen Text integrierter roter Faden, der den Leser dabei steuern und unterstützen soll, eine mentale Kohärenzbildung als kognitive Fähigkeit leisten zu können (vgl. ebd.: 48). Ziel dabei ist ein mentales kohärentes Modell, das den Inhalt des Textes widerspiegelt und Voraussetzung für das Verstehen des Textes ist (vgl. ebd.). Es wird zwischen lokaler und globaler Kohärenz unterschieden (vgl. ebd.). Unter lokaler Kohärenz versteht man Bezüge, die zwischen einzelnen Worten, Wortgruppen oder Satzfolgen bestehen (vgl. Bescherer/ Papadopoulou 2017: 132). Die globale Kohärenz bezieht sich dagegen auf den gesamten Text und zielt dabei auf eine inhaltlich einleuchtende, übergeordnete Gesamtbedeutung ab (vgl. Stephany 2017: 47). Die Art und Weise, in der Kohärenz im Text angezeigt werden kann, ist sowohl implizit als auch explizit möglich (vgl. ebd.). Implizite Kohärenzrelationen betreffen die Tiefenstruktur des Textes und beschreiben inhaltliche Zusammenhänge, die nicht explizit vom Autor verschriftlicht wurden, sondern durch Schlussfolgerungen des Rezipienten mithilfe von Sach-, Welt- und sprachlichem Wissen (Vorwissen) gezogen werden müssen (vgl. ebd.: 47f.). Explizite Kohärenzrelationen werden durch Thema-Rhema-Strukturen, also die Wandlung des Rhemas aus dem ersten Satz in das Thema des darauf folgenden Satzes, oder Kohäsionsmittel gekennzeichnet (vgl. ebd.). Letztere werden durch lexikalische und grammatische Verbindungen in der Oberflächenstruktur des Textes ausgedrückt (vgl. ebd.). Neben Konnektoren, wie zum Beispiel Konjunktoren, können hierfür Anaphern genutzt werden, also alle Begriffe, die bereits im Text Genanntes erneut aufnehmen können, wie zum Beispiel Synonyme, wörtliche Wiederaufnahme oder Pro-Formen (vgl. ebd.). Insgesamt kann hier festgehalten werden, dass das Textverstehen für die erfolgreiche Lösung mathematischer Textaufgaben wesentlich ist. Dabei wird in einer syntaktischen und konzeptuellen

Analyse des Textes durch unterschiedliche Verarbeitungsprozesse eine mentale Repräsentation des Geschriebenen erstellt, durch die der Text verstanden und die Aufgabe gelöst werden kann. Dabei unterscheidet sich das Lesen mathematischer von dem alltäglicher Texte, da ersteres auf eine genaue Analyse angewiesen ist, bei der die bestehende lokale und globale Kohärenz, welche auf implizite oder explizite Weise geäußert werden kann, erkannt werden muss. Die in dieser Arbeit relevante explizite Äußerungsform der Anapher soll im Folgenden nun zunächst näher betrachtet werden.

2.3. Anaphern

Eine mögliche Art und Weise der Kohärenzbildung kann im Text durch die Wiederaufnahme von zuvor eingeführten Redegegenständen erfolgen (vgl. Duden 2016: 1120). Dabei können sowohl Inhaltswörter als auch Funktionswörter zum Verweisen verwendet werden (vgl. ebd.), wobei in dieser Arbeit aufgrund des Designs der vorliegenden Studie nur letztere thematisiert werden sollen. Werden über eine im Text schon bekannte Entität weitere Aussagen getroffen, kann ein „enges Geflecht textueller Beziehungen“ (ebd.) entstehen. Funktionswörter, die in diesem Zusammenhang verwendet werden, können abhängig von ihrem syntaktischen Status in die Gruppe der Artikelwörter, die als Begleiter des Substantivs eingesetzt werden, oder Pronomen, die den Platz größerer sprachlicher Einheiten einnehmen, eingeordnet werden (vgl. ebd.). Die Art und Weise, in der Funktionswörter auf passende Inhalte verweisen, kann phorisch oder deiktisch sein (vgl. ebd.). Die Phorik beschreibt den Fall, dass durch das Nennen eines Funktionswortes lediglich die Möglichkeit entsteht, eine Schlussfolgerung über die Relation zum Inhalt zu ziehen, und diese nicht, wie im Zuge des deiktischen Verweises, explizit gezeigt wird (vgl. ebd.). Bei phorischen Verweisen können sich Funktionsworte auf Inhalte beziehen, die im Zuge der linearen Informationskodierung vor oder nach ihrer eigenen Nennung im Text auftreten (vgl. ebd.). Ist der durch das Funktionswort gekennzeichnete Redegegenstand durch Benennung im Vortext bereits eingeführt, handelt es sich um einen anaphorischen Verweis (vgl. ebd.). Spricht man von einem kataphorischen Verweis, bezieht sich das Funktionswort auf einen Inhalt im darauf folgenden Textteil, der neu vorgestellt wird (vgl. ebd.). Im Sinne der *Funktionalen Satzperspektive* werden anaphorische Informationen als thematisch und kataphorische als rhematische Elemente bezeichnet (vgl. ebd.).

Die *typische* Anapher ist das unbetonte Personalpronomen in der dritten Person (er, sie, es; sie) (vgl. Duden 2016: 1122). So kommt es, dass in deutschsprachigen Texten

aufgrund der Notwendigkeit eines Nominativsubjektes im Satz der Einsatz anaphorischer Personalpronomen zu komplexen Verweisketten führen kann, die „manchmal als Kennzeichen von Textualität überhaupt bezeichnet werden“ (ebd.). Das Personalpronomen zeigt hierbei die Fortführung des Themas im weiteren Diskurs an, ist somit ein Signal für Kontinuität und wird oft dafür genutzt, ein Topik für eine längere Zeit Bestandteil des Diskurses sein zu lassen (vgl. Bryant/ Noschka 2015: 20). Aber auch andere Formen können textuelle Bezüge herstellen, wie die possessiven Funktionswörter (z.B. mein, seiner, ihrem) (vgl. Duden 2016: 1123). Diese treten meist anaphorisch auf und setzen somit voraus, dass der Inhalt bereits bekannt ist (vgl. ebd.). In kataphorischer Verbindung werden sie jedoch ebenfalls über kleine Texträume eingesetzt (vgl. ebd.).

Beim Lesen eines Textes zeigt eine Anapher dem Leser somit an, was das Thema des aktuellen Diskurses ist, also über wen oder was gerade etwas ausgesagt wird (vgl. Bryant/ Noschka 2015: 20). Es kann auch vorkommen, dass mehr als nur ein potentieller Antezedent, der den vorangegangenen Satzteil beschreibt, auf welchen sich die Anapher bezieht (vgl. Dijkstra/ Kempen 1993: 119), für die anaphorische Referenz in Frage kommt (vgl. Bryant/ Noschka 2015: 20). Ist das der Fall, müssen pragmatische und grammatische Aspekte, wie z.B. Informationen über Genus oder Numerus der Worte, der pronominale Typ oder das Weltwissen des Rezipienten, für eine erfolgreiche Auflösung der Anapher hinzugezogen werden (vgl. ebd.). Nach Klages und Gerwien (2015) gibt es zwei Prozesse, die die Verarbeitung von anaphorischen Personalpronomen im Text bei kompetenten Lesern steuern und sich „hinsichtlich des Zeitpunkts ihrer Initiierung in Abhängigkeit von der Rezeption des Pronomens“ (Klages/ Gerwien 2015: 73/75) unterscheiden. In der *prä-pronominalen* Verarbeitungsphase werden die in einem Diskurs schon vor der Anapher stehenden potentiellen Referenten aufgrund ihrer Eigenschaften, wie z.B. der Nennungsabfolge (Erst- oder Zweitnennung) der Referenzausdrücke oder ihrer syntaktischen Rolle (Objekt oder Subjekt), die unter dem *Referenztypen* zusammengefasst werden können, analysiert (vgl. ebd.). Aufgrund dieser Informationen kann der *Grad der Erwartbarkeit* eines Referenzausdrucks ermittelt werden, das heißt, die Wahrscheinlichkeit, dass er im Folgenden durch ein Personalpronomen wiederholt benannt und somit zum Topik werden wird (vgl. ebd. in Anlehnung an Arnold/ Brown-Schmidt/ Trueswell 2007). Im Deutschen besteht die Tendenz, dass den Referenten, die zuerst genannt werden oder die in Form von Subjekten im Text auftauchen, ein höherer *Grad an Erwartbarkeit*

zugesprochen wird als Zweitgenannten oder Objekten (vgl. ebd.). In dem Beispielsatz „**Paul** hat Peter besucht. Er hat Kuchen gebacken.“ (Klages/ Gerwien 2015: 74) wäre demnach zu erwarten, dass *Paul* im weiteren Diskursverlauf erneut als Topik durch ein Personalpronomen aufgegriffen wird (vgl. ebd.). Es kann also eine *mentale Diskursrepräsentation* (ebd.) aufgrund dieser antizipatorischen und vorwärts gerichteten Erwartungen gebildet werden, die die weiteren kognitiven Verarbeitungsprozesse beeinflusst: Die neu rezipierte, nachfolgende Diskursinformation, an dieser Stelle das Pronomen, kann mit nur geringer kognitiver Anstrengung in die bestehende mentale Repräsentation eingefügt werden und muss nur bei tatsächlichen Unterschieden zwischen linguistischen Informationen und der Repräsentation durch weitere kognitive Ressourcen revidiert werden, wie z.B. in „**Paul** hat Jana besucht. [**Sie**] hat Kuchen gebacken.“ (ebd.). Wichtig zu erwähnen ist an dieser Stelle, dass es sich bei dieser *Expectancy Hypothese* lediglich um eine Tendenz und keineswegs eine feststehende Regel der deutschen Sprache handelt (vgl. ebd.).

Als ein zweiter Verarbeitungsprozess anaphorischer Personalpronomen kann der *post-pronominale* genannt werden (vgl. Klages/ Gerwien 2015: 75). Hierbei können Numerus und Genus und unter dem *Antezedenttypen* zusammengefasste Informationen des Pronomens für die Identifikation des Antezedenten hinzugezogen werden (vgl. ebd.). So werden durch die Rezeption des Pronomens Prozesse initiiert, die Anapherinformationen wie ihren lexikalischen und semantischen Gehalt, ihre phonologische Größe und Rigidität mit denen der möglichen Antezedenten des vorangegangenen Diskurses auf Kongruenz hin überprüfen (vgl. ebd.: 76). Die Genuskongruenz ist dabei eine notwendige Voraussetzung für die korrekte Zuordnung und gilt somit als wichtiger und reliabler Hinweis, der probabilistische Aspekte (wie den Antezedenttypen) überschattet (vgl. ebd.). Der Rezipient eines Textes muss also beim Lesen in der Lage sein, den passenden Referenten zur Anapher zu finden (vgl. Dell et al. 1983: 121).

Rückblickend betrachtet kann die Anapher hier als Funktionswort beschrieben werden, das durch anaphorisches Verweisen das Thema des Textes anzeigt und eine enge textuelle Verknüpfung schafft, die durch prä- oder post-pronominale Verarbeitungsprozesse aufgelöst werden kann. In der im Folgenden dargestellten Untersuchung wird betrachtet, wie Schülerinnen und Schüler mit solchen anaphorischen Bezügen und ihrer Auflösung in mathematischen Textaufgaben umgehen. Daher soll nun die mathematische Textaufgabe genauer in den Blick genommen werden.

2.4. Mathematische Textaufgaben

„Textaufgaben finde ich nicht gut. Ich muss immer raten, ob plus oder minus oder was…“ (geförderte Schülerin, Klasse 5; Bescherer/ Papadopoulou 2017: 128). So wie für diese Schülerin ist der Bereich des Sachrechnens für viele Kinder einer der anspruchsvollsten Teilbereiche des Mathematikunterrichts (vgl. Stephany 2017: 43). Er umfasst dabei grundsätzlich die Mathematikanwendung, das Auf- und Ausbauen mathematischer Problemlösefähigkeit und die Erschließung der Umwelt durch mathematische Mittel (vgl. ebd.: 44). Die Textaufgaben stellen neben Modellierungs- und Sachaufgaben einen Aufgabentyp des Sachrechnens dar (vgl. ebd.). Im Folgenden soll in Anlehnung an Stephany (2017) unter dem Begriff der *Text*aufgabe (ungeachtet einer weiteren didaktischen Differenzierung dieser Aufgabenform) ein funktionaler Text verstanden werden, der im Rahmen einer konkreten Problemsituation Fragen formuliert, die durch mathematische Mittel gelöst werden sollen (vgl. ebd.). Die funktionale Textdefinition betrachtet einen Text als ein sprachliches Gebilde, das inhaltlich kohärent ist und eine kommunikative Funktion hat (vgl. Averintseva-Klisch 2013: 3). Der Text mathematischer Textaufgaben umfasst zentrale Hintergrundinformationen und bettet den mathematischen Sachverhalt in einen Kontext ein, der thematisch sowohl sachlich als auch fantastisch geprägt oder der Erfahrungswelt der Kinder entnommen sein kann (vgl. Stephany 2017: 44). Durch eine solche Einbettung ist es nun notwendig, neben mathematischen auch sprachliche Kompetenzen in die Lösung der Aufgabe einzubeziehen (vgl. ebd.: 43). Es ist auffällig, dass Lernende beim Textaufgabenlösen oft schlechter abschneiden als bei der Lösung von „Aufgaben in numerischer Form“ (ebd.). Auf die Frage, welche spezifischen sprachlichen Aspekte zu diesen zusätzlichen Schwierigkeiten führen, gibt es noch keine ausreichende Erklärung (vgl. Bescherer/ Papadopoulou 2017: 128). Die dieser Arbeit zugrundeliegende empirische Untersuchung hat sich zum Ziel gesetzt, einen weiteren Schritt in diese Richtung zu gehen, indem Anaphern als ein sprachlicher Faktor im Lösungsprozess mathematischer Textaufgaben betrachtet werden. Zuvor soll grundsätzlich aufgezeigt werden, welche Prozesse an der Lösung dieses Aufgabentyps beteiligt sind.

2.4.1. Das Lösen mathematischer Textaufgaben

Der Lösungsprozess mathematischer Textaufgaben ist sehr komplex (vgl. Dewolf et al. 2015: 149). Meist ist es nicht möglich, die Oberflächenstruktur des Textes, unter der die

phonologische Struktur eines Satzes, seine Einteilung in Phrasen und seine Syntax verstanden werden (vgl. Slobin 1974: 14ff.), direkt in eine mathematische Rechnung umzuwandeln (vgl. Stephany 2017: 45). Stattdessen ist es notwendig, eine Übersetzung und Verbindung zwischen dem außermathematischen, realitätsbezogenen Kontext und dem innermathematischen Inhalt herzustellen (vgl. Plath 2017: 147). Dieser Prozess umfasst verschiedene Phasen und kann auch als mathematische Modellierung bezeichnet werden (vgl. Dewolf et al. 2015: 149). Die einzelnen Phasen der Modellierung laufen keineswegs linear ab, sondern sind zyklisch zu verstehen (vgl. Dewolf et al. 2015: 149). Blum und Leiss (2005) beschreiben sie z.B. als einen mathematischen Modellierungskreislauf (vgl. Blum/Leiss 2005: 18).

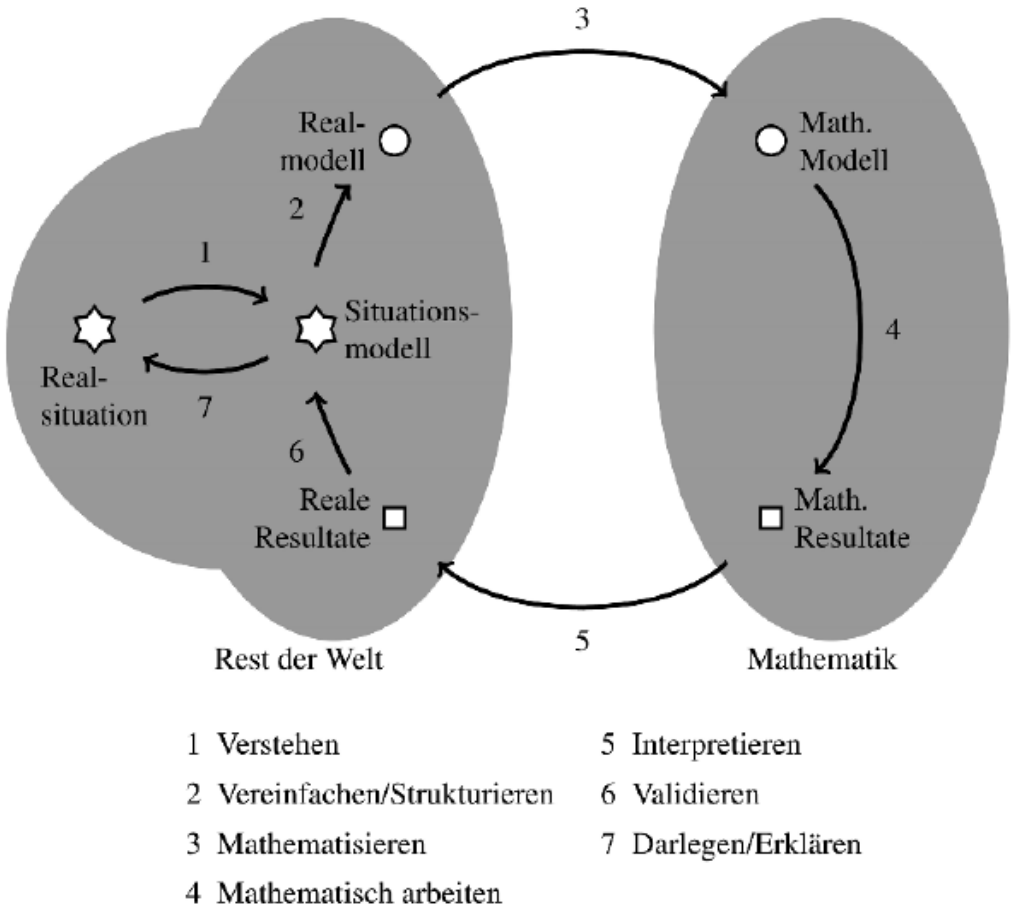


Abb. 1: „Modellierungskreislauf" nach Blum und Leiss (2005).

Dieser Kreislauf beschreibt den idealen Verlauf der Übersetzungsprozesse zwischen der Realität (*Rest der Welt*) und der *Mathematik*, der in der praktischen Bearbeitung der Lösenden jedoch von vielerlei Sprüngen zwischen beiden Ebenen durchkreuzt wird (vgl. Wilhelm 2016: 66).

Zu Beginn der Textaufgabenbearbeitung (1) muss der Aufgabentext gelesen und *verstanden* werden (vgl. Wilhelm 2016: 67). Dafür ist es unumgänglich, dass die *Realsituation*, die hier der Aufgabenstellung entspricht, durchdrungen wird (vgl. ebd.). Im Gegensatz zu anderen Modellierungskreislaufmodellen wird bei dem Vorliegenden an dieser Stelle die Generierung eines Situationsmodells angestrebt (vgl. ebd.). Darunter wird eine mentale Repräsentation verstanden, die idealerweise durch die Verbindung der textlichen Realsituation mit dem individuellen Vorwissen des Lösenden generiert wird (vgl. Stephany 2017: 45). Im nächsten Schritt (2) soll das Situationsmodell durch *Vereinfachung* und *Strukturierung* nun von peripheren Aspekten bis hin auf die für die Bearbeitung der Aufgabe zentralen Merkmale reduziert werden, wodurch ein *Realmodell* entsteht (vgl. ebd.). Davon ausgehend beginnt nun die *Mathematisierung* (3), unter der man „den Übergang von der Realität in die Mathematik durch den Übersetzungsprozess in ein mathematisches Modell" (Wilhelm 2016: 68) versteht. In diesen Abstraktionsprozess werden sowohl die Beziehungen zwischen den zentralen Elementen der Aufgabe, als auch mathematische Grundvorstellungen, die dem Lösenden bereits bekannt sind und „Übersetzungsscharnier[e] zwischen Mathematik und Lebenswelt" (Prediger 2010: 9) darstellen, einbezogen (vgl. Stephany 2017: 46). Beim *mathematischen Arbeiten* (4) wird durch die Ausführung von mathematischen Operationen nun ein mathematisches Resultat erarbeitet, das anschließend (5) in Bezug auf die Realität *interpretiert* werden muss (vgl. Stephany 2017: 46). Mittels des *Validierens* (6) wird die erhaltene reale Lösung daraufhin anhand des Situationsmodells geprüft (vgl. Wilhelm 2016: 68). Treten hierbei Unstimmigkeiten auf, müssen gegebenenfalls einzelne oder mehrere Phasen des Modellierungskreislaufes erneut bewältigt werden (vgl. ebd.). Im Schritt des *Erklärens* und *Darlegens* (7) des Lösungswegs wird das Resultat durch eine auf die Realsituation bezogene Antwort vermittelt (vgl. ebd.).

2.4.2. Probleme beim Lösen von Textaufgaben

„Textaufgaben sind halt schwer." (Prediger 2010a: 174) Diese spontane Äußerung einer Lehrkraft kann auch in Bezug auf den oben beschriebenen Modellierungskreislauf bestätigt werden, da in jedem einzelnen Schritt Schwierigkeiten auftreten können (vgl. Stephany 2017: 46). Hier soll jedoch ein Schwerpunkt auf Komplikationen hinsichtlich des Situationsmodells gelegt werden, da sprachliche Hürden bei der Lösung von mathematischen Textaufgaben besonders bei dessen Aufbau deutlich werden (vgl.

ebd.). Nach Stephany (2017) ist die Bildung des Situationsmodells identisch mit dem Verstehen der Textaufgabe, bei welcher es von großer Bedeutung ist, in sukzessiven Prozessen die Relationen des Textes zu erkennen und in das Modell zu integrieren (vgl. ebd.: 46ff.). Eine Hauptschwierigkeit besteht demnach im Inferieren, welches zum Beispiel durch nicht zur Verfügung stehendes Vorwissen oder eine geringe Leistung des Arbeitsgedächtnisses erschwert werden kann (vgl. ebd.). Letzteres kann laut der Autorin u.a. zu Schwierigkeiten bei der Anaphernauflösung führen (vgl. ebd.).

Zusammenfassend ist zu sagen, dass das Lösen einer mathematischen Textaufgabe durch ihre sprachlichen Faktoren einige Schwierigkeiten mit sich bringt. So muss in einem mathematischen Modellierungsprozess zunächst eine *Übersetzung* des Aufgabentextes geleistet werden, bevor die Aufgabe gelöst werden kann. Beim Verarbeiten der aufgabeninhärenten Beziehungen treten bei vielen Kindern Probleme auf, weshalb in der vorliegenden Arbeit die Anaphernauflösung als ein Faktor im Rahmen der Relationsbildung bei der Textaufgabenlösung genauer betrachtet wird.

2.5. Forschungskontext

Die Forschung bezüglich der Rolle, die sprachliche Kompetenz für die Lösung mathematischer Textaufgaben spielt, gewinnt im aktuellen Diskurs immer mehr an Bedeutung. Zur Klärung der Frage, welche spezifischen sprachlichen Aspekte relevant sind, konnten bisher noch keine eindeutigen Erkenntnisse getroffen werden. In dieser Arbeit wird angenommen, dass die Herstellung anaphorischer Bezüge im Lösungsprozess von mathematischen Textaufgaben ein wichtiges Kriterium für die erfolgreiche Lösung dieser Aufgaben darstellt. Um Hypothesen über das erwartete Lese- und Blickverhalten in diesem Lösungsprozess treffen und beobachtetes Verhalten erklären zu können, werden im Folgenden zunächst Studien vorgestellt, die eine Einordnung in den Forschungskontext ermöglichen sollen.

Hegarty et al. untersuchen in ihrer Studie von 1995 das Lösungsverhalten von 38 Studenten bei der Lösung von 48 arithmetischen Textaufgaben (davon 16 kritische Aufgaben), bei denen es sich sowohl um widersprüchliche (inconsistent) als auch einheitliche (consistent) Aufgaben handelt (vgl. Hegarty et al. 1995: 22ff.). Widersprüchliche Aufgaben enthalten hier Schlüsselworte (weniger/mehr als), die eine nicht zur richtigen Rechnung passende arithmetische Operation primen (z.B. „weniger als“, obwohl addiert werden muss, bzw. „mehr als“, wenn eigentlich subtrahiert werden soll) (vgl. ebd: 18f.). Die Forscher/innen stellen die Hypothesen auf, dass

Proband/innen, die die Aufgaben erfolgreich lösen, eine *problem model strategy* verwenden und im Rahmen der Aufgabenbearbeitung ein Situationsmodell des Problems erstellen, während nicht erfolgreiche Löser/innen eine *direct-translation strategy* anwenden und lediglich Zahlen und relationale Schlüsselwörter selektieren, mit denen dann die weitere Rechnung durchgeführt wird (vgl. ebd.). Für Hegarty et al. stellt das Situationsmodell, ebenso wie in der vorliegenden Arbeit, den Schlüssel für erfolgreiches Aufgabenlösen dar, da, wie auch oben beschrieben, der Verstehensprozess der Textaufgabe für deren Lösung eine wichtige Rolle spielt, zugleich jedoch in Aufgaben, die das Erkennen von Bezügen zwischen Variablen fordern, als großer, oft fehlerinitiierender Faktor gilt (vgl. ebd.). Eine Verknüpfung der einzelnen Variablen mit den ihnen zugehörigen Zahlen und ihr Einbetten in das mentale Modell werden hier nur bei Löser/innen erwartet, die nicht die Strategie der direkten Übersetzung anwenden (vgl. ebd.: 21). Durch die gewonnenen Daten bestätigen sich ihre Vermutungen, dass nicht erfolgreiche Löser/innen mit der *direct-translation strategy* im Vergleich zu erfolgreichen mit der *problem model strategy* vermehrt die Zahlen und Relationswörter der Aufgabe (auch in Form von Regressionen) betrachten, die Aufmerksamkeit auf den Variablennamen jedoch von beiden Gruppen relativ gleich oft angeschaut werden (vgl. ebd.: 24 ff.). Hierbei betonen die Autor/innen auf Grundlage früherer Studien (1992), dass ein wiederholtes Lesen mancher Aufgabenteile auch für erfolgreiche Löser/innen notwendig ist, da manche Relationen nur auf diese Weise durchdrungen werden können (vgl. ebd.: 21). Das erneute Prüfen erstreckt sich dabei jedoch, wie beschrieben, bei nicht erfolgreichen Löser/innen vermehrt auf Zahlen und Relationswörter (z.B. mehr/weniger als), wohingegen Nutzer der *problem model strategy* ihre Aufmerksamkeit *zusätzlich* auf andere Worte lenken (vgl. ebd.). Die Zahlen und Relationswörter sind für sie natürlich ebenfalls wichtig, sodass auch bei ihnen ein leichter Selektionseffekt zu betrachten ist, der mit der in Kapitel *2.4.1. Das Lösen mathematischer Textaufgaben* beschriebenen Stufe des *Vereinfachens und Strukturierens* des mathematischen Modellierens nach Blum und Leiss verglichen werden kann (vgl. ebd.: 25). Weiterhin benötigen erfolgreiche Proband/innen bei der Aufgabenlösung weniger Zeit als nicht erfolgreiche, wobei letztere ein deutlich unentschlosseneres Blickverhalten zeigen (vgl. ebd.: 21). Hegarty et al. (1995) können aufgrund ihrer Ergebnisse (für weitere Ausführungen siehe Hegarty et al. 1995: 22-29) also sagen, dass die beschriebenen Strategien für die Unterschiede bei der Bearbeitung dieser und anderer mathematischer Aufgaben verantwortlich sein können (vgl. ebd.:

29). Sie betonen, dass der falsche Ansatz der *direct-translation strategy* im Mathematikunterricht oft unerkannt bleibt, da Aufgaben, die z.B. nicht widersprüchlich gestellt sind, zum Teil trotz dieser Methode richtig gelöst werden können. Es ist somit wichtig, den Schüler/innen aktiv bereichsspezifische Verstehensstrategien für die Lösung aller Aufgaben zu vermitteln (vgl. ebd.). Auch Rösch/Paetsch (2011: 67) heben hervor, dass eine im Unterricht lediglich an Oberflächenmerkmalen orientierte Textaufgabenlösung erfolgreich verlaufen kann und so bestehende Schwierigkeiten der Schüler/innen nicht aufgedeckt und gefördert werden.

Diese Annahme gilt ebenfalls für die vorliegende empirische Untersuchung. Es treten hier zwei verschiedene Aufgabentypen auf, erwartungskonforme und –widrige Textaufgaben, die sich in der Satzstellung eines Aufgabensatzes unterscheiden (vgl. Kapitel *3.2. Design des Experiments*). Die erwartungskonformen Aufgaben sind, wie bei Hegarty et al. und Rösch/Paetsch beschrieben, vermutlich auch ohne die vollständige Durchdringung der Satzstruktur aufgrund von bekannten Lösungsmustern korrekt lösbar, die erwartungswidrigen Aufgaben hingegen nicht. Es soll also angelehnt an die beschriebene Studie von Hegarty et al. (1995) unter anderem betrachtet werden, welche Muster und Strategien bei der Textaufgabenlösung in den verschiedenen Erscheinungstypen (erwartungskonform und -widrig) an den Tag gelegt werden und ob auch hier das Erstellen eines mentalen Situationsmodells im Leseverhalten der erfolgreichen Löser/innen erkennbar wird, das durch die Verknüpfung von Variablen (hier Kindernamen) und Zahlen und ihr Einbetten in den Situationskontext gekennzeichnet ist. Für das Blickverhalten nicht erfolgreicher Schüler/innen kann die vermehrte Fixation der einzelnen Zahlen ohne eine Verbindung zu weiteren Satzelementen und ein unentschlosseneres Lesemuster erwartet werden, während erfolgreiche Proband/innen ebenfalls Rückbezüge (Revisits) zwischen Zahlen und Variablen und dem weiteren Kontext, vor allem den integrierten Anaphern, vornehmen dürften. Auch wird auf Grundlage der Ergebnisse von Hegarty et al. (1995) davon ausgegangen, dass erfolgreiche Schüler/innen weniger Zeit für die Bearbeitung der Aufgaben benötigen. Ein wiederholtes Lesen relevanter Aufgabenelemente, die hier durch später erläuterte AOIs gekennzeichnet sind, kann für beide Löser/innengruppen angenommen werden, wobei damit zu rechnen ist, dass nicht erfolgreiche Löser/innen vorwiegend die Zahlen, erfolgreiche Schüler/innen auch weitere relevante Worte der Aufgabe fixieren.

Rayner et al. (2006) untersuchen in ihrer Studie, inwieweit Augenbewegungen die augenblicklichen Verstehensprozesse beim Lesen widerspiegeln. Dazu testeten sie mit Hilfe der Eye-Tracking-Methode in verschiedenen Experimenten, ob Augenbewegungen sensibel auf schwierige Passagen oder Widersprüche im Text reagieren (vgl. Rayner et al. 2006: 241). Das Textverständnis wird auch hier als ein Produkt verschiedener Lesekompetenzen und das Lesen als ein vielschichtiger Prozess angesehen (vgl. ebd.: 241f.). Dabei fühlt es sich so an, als würden die Augen in einer gleitenden und gleichmäßigen Bewegung über den Text fliegen; tatsächlich ist diese jedoch ständig durch Mikrobewegungen wie Sakkaden (sehr schnelle Bewegungen zwischen verschiedenen Punkten im Text) und Fixationen (Pausen während der Sakkaden, in denen Informationen aus dem Text entkommen werden können), auf die später genauer eingegangen werden soll, unterbrochen (vgl. ebd.). Rayner et al. gehen davon aus, dass die Dauer dieser Bewegungen stark von der lokalen und globalen Schwierigkeit des Textes abhängt und Leser bei schwierigeren Texten längere Fixationen, kürzere Sakkaden und mehr Regressionen (Rückwärtsbewegungen der Augen im Text für erneutes Lesen einzelner Elemente) im Vergleich zu leichteren machen (vgl. ebd.). Zur Untersuchung dieser Annahmen haben 16 Studenten in einem selbstgesteuerten Tempo 32 Textpassagen (564 Wörter) unterschiedlicher Schwierigkeitsstufen (abhängig von ihrer Oberflächenstruktur) leise gelesen, wobei nach jeder Passage eine Verständnisfrage folgte, in der aus vier Auswahlmöglichkeiten eine passende Antwort gegeben werden sollte (vgl. ebd.: 246 f.). Hierbei wurde bestätigt, dass die Anzahl und Dauer von Fixationen von der Passagenschwierigkeit abhängt (längere und vermehrte Fixationen bei schwierigeren Texten) und Augenbewegungen somit in Relation zu diesen Schwierigkeiten ablaufen (vgl. ebd.).

Anschließend an diese Ergebnisse kann für das vorliegende Experiment vermutet werden, dass Schüler/innen bei der Lösung von erwartungswidrigen Textaufgaben längere und vermehrte Fixationen und eine höhere Anzahl an Regressionen (bzw. hier Revisits) in ihrem Blickverhalten zeigen werden und somit die Bearbeitung der einzelnen Items im Vergleich zu erwartungskonformen Aufgaben (Kontrollaufgaben) länger dauern wird. Erwartungswidrige Aufgaben können hier als kritische Stimuli bezeichnet werden und sind aufgrund ihrer Satzstellung als schwieriger (als die erwartungskonformen Aufgaben) einzustufen, da sie nicht der *typisch erwarteten* Satzstruktur entsprechen und somit erwartungsgemäß eine größere Aufmerksamkeit für

eine erfolgreiche Verarbeitung der vorhandenen Relationen benötigen (vgl. *Kapitel 3.2. Design des Experiments*).

In einem weiteren Experiment dieser Studie untersuchten Rayner et al. (2006), ob die Distanz zwischen einer Anapher und ihrem Bezugswort im Text ausschlaggebend für ihr Verständnis ist (vgl. Rayner et al. 2006: 248 f.). Dazu sollten 18 erfahrene Proband/innen nach dem Lesen von stückweise präsentierten Textabschnitten (ca. 150 Wörter lang) durch die Beantwortung einer Ja-oder-Nein-Frage zeigen, ob sie die Verbindung zwischen dem Bezugswort und der Anapher ziehen und eine eventuell auftretende Widersprüchlichkeit zwischen ihnen erkennen können (vgl. ebd.). Dieses soll laut der Studie aufgrund der oben schon beschriebenen, exakt aufgebauten mentalen Repräsentation des/der Rezipient/innen möglich sein, da auf diese Weise neue Informationen in die Diskursrepräsentation eingefügt und somit mögliche Widersprüche erkannt werden können (vgl. ebd.: 247). So deuten wiederholtes Lesen (höhere Regressionszahl) der Anapher und der darauf folgenden, in einem widersprüchlichen Bezug stehenden Worte darauf hin, dass Leser/innen die Widersprüchlichkeit erkannt haben und nun versuchen, sie zu lösen (vgl. ebd.: 248). Die Ergebnisse zeigen, dass erfahrene Leser/innen für die Verarbeitung widersprüchlicher Anaphern mehr Zeit benötigen, da sie bei diesen längere Fixationen und mehr Regressionen zeigen als bei Anaphern, die einheitlich zu dem Bezugswort sind (vgl. ebd.: 250).

Die hier erforschten Faktoren der Distanz und Widersprüchlichkeit zwischen einer Anapher und ihrem Bezugswort sind in der vorliegenden Studie nicht direkt wiederzufinden. Aufgrund der relativ kurzen Textaufgaben (27 bis 37 Worte) kann hier nicht von einer großen Distanz zwischen Anapher und Bezugswort gesprochen werden. Daher sollte dieser Faktor für die Leser/innen in der vorliegenden Untersuchung keine Schwierigkeit darstellen. Auch tritt zu keinem Zeitpunkt eine direkte Widersprüchlichkeit zwischen einer Anapher und dem Antezedenten auf. Jedoch wird hier überprüft, ob Schüler/innen es schaffen, einen anaphorischen Bezug zweier Referenten aufzulösen und dadurch jeweils eine korrekte Rechnung aufzustellen. Da die Anaphern in der Hälfte der Sätze in der schon erwähnten erwartungswidrigen Satzstellung auftreten, ist es an dieser Stelle besonders wichtig, dass die Leser/innen die richtigen Bezüge herstellen können und sich nicht an gewohnten Lösungsmustern orientieren (vgl. oben), da mit diesen keine korrekte Aufgabenlösung erfolgen kann. Es tritt hier kein Widerspruch zwischen den Bezugsworten auf (es kann immer ein passender Antezedent gefunden werden), es gilt aber zu überprüfen, ob die

Proband/innen diese passende Referenz entschlüsseln können oder ob dieses nicht gelingt und eventuell ein durch die Satzstellung bedingter *Widerspruch* für sie entsteht, der als solcher in ihrem Blickverhalten deutlich wird. Da es sich bei der Stichprobe um eine Lesergruppe handelt, die aufgrund ihres Alters und ihrer Leseleistung nicht als erfahren bezeichnet werden kann, ist davon auszugehen, dass es neben Schüler/innen, die die Relationen sofort erkennen und verarbeiten können (hier entsteht also kein Widerspruch), ebenfalls solche geben kann, die die erwartungswidrige Satzstellung nicht realisieren und somit trotz falsch hergestellter Bezüge keinen Widerspruch zwischen ihrer mentalen Repräsentation und dem Text erkennen können und die von ihnen geschaffenen Bezüge folglich für ihre Lösung nutzen werden. Als dritte Gruppe können weiterhin jene Proband/innen beschrieben werden, die die Unterschiede zu einer erwartungskonformen Satzstellung erkennen, diese jedoch nicht verarbeiten und nutzen können. Für diese dritte Löser/innengruppe kann ein Blickverhalten erwartet werden, das jenem aus der Studie von Rayner et al. (2006) gleicht, bei dem die Proband/innen einen für sie entstandenen Widerspruch im Text erkennen und ihn auflösen wollen. Das Auftreten von längeren Fixationen, einer erhöhten Anzahl an Regressionen und einer somit längeren Bearbeitungszeit im Bereich des kritischen erwartungswidrigen Satzes kann an dieser Stelle also ebenfalls ein Zeichen dafür sein, dass die Leser/innen eine widrige und in ihrer mentalen Repräsentation zunächst widersprüchliche Satzstellung erkannt haben und – erkennbar am beschriebenen Blickverhalten – versuchen, diese aufzulösen und die richtigen Bezüge herzustellen. Schüler/innen, die sofort die richtigen Bezüge knüpfen können, sollten an dieser Stelle keine besondere Aufmerksamkeit in Form von vermehrten Revisits oder längeren Fixationen auf die lösungsrelevanten Elemente legen, da sie diese direkt verarbeiten können. Dieses Blickverhalten ist ebenfalls (jedoch aus anderen Gründen) für Proband/innen denkbar, die die erwartungswidrige Satzstellung gar nicht erst bemerken, da sie diese schlichtweg übersehen und die Aufgabe somit vermutlich falsch lösen werden.

2.5.1. Einordnung des eigenen Forschungsvorhabens

Auf Grundlage des skizzierten Forschungsstandes können folgende Erwartungen für die vorliegende empirische Untersuchung geäußert werden: Für das Lösen mathematischer Textaufgaben ist das Verständnis des Aufgabentextes von zentraler Bedeutung. Für dieses ist es notwendig, durch verschiedene Verarbeitungsprozesse eine mentale Repräsentation des Geschriebenen unter Einbezug aller (hier explizit geäußerten)

Relationen zu erstellen. Die in dieser Arbeit fokussierten anaphorischen Bezüge werden dabei in unterschiedlichen Prozessen verarbeitet. Es wird davon ausgegangen, dass erfolgreiche und nicht erfolgreiche sowie starke und schwache Leser/innen in unterschiedlicher Weise bei dieser Auflösung vorgehen. In dieser Arbeit soll untersucht werden, inwieweit die Zuteilung von visueller Aufmerksamkeit und das Verständnis von Anaphern bei der Lösung mathematischer Textaufgaben zusammenhängen. Dabei wird erwartet, dass nicht erfolgreiche Löser/innen im Rahmen einer *direct-translation strategy* eine erhöhte visuelle Aufmerksamkeit auf die in der Aufgabe vorkommenden Zahlen legen und sie ein unentschlosseneres und längeres Lösungsverhalten zeigen. Dem steht die Vermutung entgegen, dass erfolgreiche Proband/innen beim Erstellen eines Situationsmodells neben den Zahlen ebenfalls weitere lösungsrelevante Elemente wie die Anapher sowohl beim ersten Lesen als auch in wiederholten Betrachtungen für die Lösung beachten. Hinsichtlich der vorliegenden Aufgaben wird damit gerechnet, dass bei der Bearbeitung der erwartungswidrigen Items eine erhöhte Aufmerksamkeit in Form von längeren und vermehrten Fixationen, einer höheren Revisit-Anzahl und einer längeren gesamten Bearbeitungsdauer zu beobachten sein wird.

3. Empirischer Teil

3.1. Methode

Was im Mathematikunterricht in Bezug auf die oben beschriebenen, nicht erkannten Lösungsschwierigkeiten von Schüler/innen bei der Textaufgabenbearbeitung nicht zu leisten ist, kann durch die Methode des Eye-Trackings geliefert werden. Hier kann genau verfolgt werden, zu welchem Zeitpunkt ein/e Proband/in welchem Aufgabenteil Aufmerksamkeit schenkt und ob die richtige Struktur dadurch erkannt werden kann. Genau dieser Vorteil soll in der vorliegenden Studie genutzt werden. Diese stützt sich also auf Daten, die mit Hilfe dieser Eye-Tracking-Methode gewonnen wurden. Es handelt sich dabei um ein Blickaufzeichnungsverfahren, durch welches die Augenstellungen des/der Rezipienten/in während der Aufnahme bestimmt werden können (vgl. Blake 2013: 371). Durch die Identifizierung dieser Position kann der Bereich des fovealen Sehens des/der Lesers/in recht genau ausgemacht werden (vgl. ebd.: 369). Dies spielt für das Lesen eine wichtige Rolle, da es den einzigen Bereich beschreibt, in dem komplett scharf gesehen werden kann (vgl. Holmqvist et al. 2011: 21). Das liegt daran, dass nur in der Fovea Centralis, der Sehgrube, die weniger als 2° des gesamten ca. 160° breiten Sehfeldes ausmacht, die Bedingungen dafür gegeben

sind. Nur dort sind so viele Zapfen, also Photorezeptoren, die für das Farbsehen und Sehen bei Helligkeit zuständig sind, in einer ausreichenden Dichte vorhanden, dass Licht, das dort einfällt, durch weitere Verarbeitung in ein detailliertes Bild umgewandelt werden kann (vgl. Blake 2013: 368f.). Um also z.B. wie in dieser Studie ein Wort eines mathematischen Textes scharf erkennen und lesen zu können, müssen die Augen so bewegt werden, dass das reflektierte Licht des Wortes genau in die Sehgrube fällt (vgl. Holmqvist et al. 2011: 21). Es müssen zwei wesentliche Augenbewegungsarten für das Lesen in den Blick genommen werden: Fixationen und Sakkaden. Fixationen beschreiben den Moment, in dem visuelle Informationen wahrgenommen werden können (vgl. Blake 2013: 370). In diesem Zeitraum, der abhängig vom Stimulus nur einige Sekunden oder kürzer andauert (vgl. Holmqvist et al. 2011: 22), fixiert das Auge in einem *relativen Stillstand*, der durch drei Mikrobewegungen (Tremor, Mikrosakkaden und Drifts) ständig durchzogen ist, einen Bereich der Reizvorlage, der hierbei foveal betrachtet wird (vgl. Blake 2013: 370). Sakkaden dagegen sind die Bewegungen, die das Auge z.B. beim Lesen sehr schnell von einer Fixation zur nächsten bringen (vgl. Holmqvist et al. 2011: 23). Während dieser 30-80 ms andauernden Bewegung ist das Auge fast blind und dient der Augenausrichtung auf das nächste foveale Ziel (vgl. ebd.). Sakkaden und Fixationen wechseln sich dabei in einem wechselseitigen Prozess ständig ab (vgl. Blake 2013: 370). Es kann in diesem Kontext davon ausgegangen werden, dass ein/e Leser/in sich im Rahmen einer Fixation ebenfalls kognitiv (und nicht nur visuell) mit dem fixierten Stimulusbereich auseinandersetzt, wodurch es möglich wird, die Gedankenprozesse der Proband/innen nachzuvollziehen (vgl. ebd.: 380).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde für die Aufnahme der beschriebenen Augenbewegungen der Probanden ein Remote Eye-Tracker des Anbieters SMI (SensoMotoric Instruments) verwendet. Die Proband/innen sitzen dabei auf einem Stuhl mit ca. 60cm Abstand zum eigentlichen Apparat, der aus einem Bildschirm besteht, an dem eine Kamera und eine Infrarotquelle angebracht sind (vgl. Blake 2013: 737). Auf dem Bildschirm werden die zu lösenden Textaufgaben dargeboten. Durch die Verbindung zu einem Steuerungscomputer kann das Experiment im Vorfeld angelegt, durchgeführt und anschließend ausgewertet werden (vgl. ebd.). Zu Beginn einer jeden Aufnahme muss zunächst mit jedem/r Proband/in einzeln eine Kalibrierung durchgeführt werden (vgl. Holmqvist et al. 2011: 128). Diese dient der Einstellung des Eye-Trackers auf die individuelle Augenform des/der jeweiligen Probanden/in (vgl.

ebd.). Die Aufnahme der Blickrichtung funktioniert dabei folgendermaßen: Die in den Apparat integrierte Infrarotquelle sendet für das menschliche Auge nicht sichtbare Lichtstrahlen aus, die von dem Auge jedoch aufgenommen werden können und einen Cornea-Reflex (eine Spiegelung des Lichtes auf der Hornhaut) auslösen (vgl. Blake 2013: 371). Die Kamera des Eye-Trackers setzt diese Spiegelung nun in Relation zur ebenfalls erfassten Pupille des Auges (vgl. ebd.). Trifft der Cornea-Reflex genau die Mitte der Pupille, schaut der/die Proband/in exakt auf die Stelle, aus der die (den Reflex auslösende) Lichtquelle kommt, und es kann der Punkt identifiziert werden, den der/die Leser/in soeben betrachtet (vgl. ebd.). Im Rahmen der Kalibrierung soll der/die Proband/in nun nacheinander neun verschiedene Koordinatenpunkte fixieren, um dem Eye-Tracker die Möglichkeit zu geben, die jeweilige Beschaffenheit des Auges zu identifizieren und sich darauf einzustellen. Hier wurde das Blickverhalten der Proband/innen mit einer *sampling rate* von 60 Hz aufgenommen (die Blickposition wurden also sechzig Mal pro Sekunde gemessen). Die Kalibrierung soll ermöglichen, dass der Eye-Tracker jeden beliebigen fixierten Punkt im Sichtfeld durch das Analysieren der Relationen von Cornea-Reflex- und Pupillenmitte erkennen kann und nicht nur jene bei exakter Übereinstimmung der beiden (vgl. ebd.). Es ist also von großer Wichtigkeit, dass die Apparatur im Vorfeld gut eingestellt wird und sich der/die Proband/in nach der Kalibrierung in immer derselben Position befindet (vgl. Holmqvist et al. 2011: 42). Zwar sind kleinere Bewegungen des Kopfes in Ordnung, aber größere Bewegungen oder langes Wegschauen vom Monitor können die Genauigkeit der Daten beeinflussen (vgl. Blake 2013: 372).

3.2. Design des Experiments

Bei dem eingesetzten Material für die vorliegende Studie handelt es sich um sechs Aufgaben (1-6), die jeweils wiederum aus vier Items (A-D) bestehen (vgl. Anhang *A: Aufgaben*). Alle Aufgaben sind in Form von Textaufgaben gestellt, die Zahlen auf Grundschulniveau umfassen, den Zahlenraum 100 jedoch nicht überschreiten. Auch muss zu keiner Zeit der Bereich der natürlichen Zahlen verlassen werden. Die Textaufgaben beginnen jeweils mit einem einleitenden Satz, der den Kontext für die Aufgabe formt, z.B. „Lukas und Klara sind Geschwister.“. Jede Aufgabe handelt von zwei Akteur/innen, von denen immer einer männlich und eine weiblich ist. Sie verfügen beide über Gegenstände (Sticker, Geld, DVDs, Bonbons oder Schulhefte), deren Anzahl im zweiten Aufgabensatz zugeordnet wird (z.B. „Lukas hat 45 € und Klara hat 27 €.“

oder „In jeder Tüte sind 10 Bonbons.“). Der weitere Verlauf variiert in der Komplexität der Aufgaben: Die Aufgaben 1 und 2 sind einschrittig (z.B. „Seine Freundin Emma gibt ihm 21 € ab.“), die Aufgaben 3 und 4 sind zweischrittig additiv (z.B. „Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €. Seine Schwester Klara gibt ihm 12 € ab.“), und die Aufgaben 5 und 6 sind zweischrittig multiplikativ (z.B. „Paul kauft 2 Tüten und Marie kauft 3 Tüten. Ihr Bruder Paul gibt ihr 8 Bonbons ab.“), sodass drei Blöcke (Verhältnis 2:2:2) entstehen. Dabei umfasst jeweils die erste Aufgabe eines Blocks einfachere (1, 3 und 5) und die zweite Aufgabe (2, 4 und 6) etwas komplexere Zahlen, sodass die Aufgabenschwierigkeit mit jedem Schritt von Aufgabe 1 bis 6 weiter ansteigt. In der abschließenden Frage des Textes wird in jeder Aufgabe danach gefragt, welche Anzahl der Gegenstände beide Akteure/innen nun besitzen, wodurch ungewöhnlicher Weise zwei Ergebnisse pro Frage gefordert werden. Eine beispielhafte Aufgabe kann also wie folgt lauten:

> *Lea und Felix sind Freunde und vergleichen ihre DVD Sammlungen. Lea hat 17 DVDs und Felix hat 11 DVDs. Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs.* ***Ihrem Freund Felix gibt sie 5 DVDs ab****. Wie viele DVDs hat jeder?* (Aufgabe 3A)

Eine Übersicht der Aufgabenaufteilung mit den jeweiligen Rechnungen ist im Anhang (*B: Aufgabenaufbau*) zu finden. Weiterhin kann zwischen zwei Fragetypen unterschieden werden: Den erwartungskonformen und den erwartungswidrigen Aufgabentypen (vgl. Tabelle im *Anhang G: Aufgabenmethodik*). Als erwartungskonform sind hier Aufgaben zu verstehen, in denen nach der schon beschriebenen Tendenz im Deutschen die erstgenannte Person als Subjekt des Satzes die Handlung des Abgebens durchführt: „Ihr Bruder Ben gibt ihr 12 Sticker ab.“ Bei erwartungswidrigen Aufgaben wie „Ihrem Bruder Ben gibt sie 12 Sticker ab.“ steht entgegen dieser Tendenz das Objekt an erster Stelle. In jeder Aufgabe sind je zwei Items erwartungskonform (B und C) und zwei erwartungswidrig (A und D). Dieser variierende Satz (im obigen Beispiel fett gedruckt), der jedes Mal die Handlung des Abgebens umfasst, kann in dieser Untersuchung als kritisches Element gesehen werden, da die Nennung der Akteure jeweils in Form von anaphorischen Bezügen geschieht. Er soll im Folgenden als der *entscheidende Satz* bezeichnet werden. Neben diesen Textaufgaben gehören auch *Filler-Items* zum Aufgabenkorpus, die den Proband/innen als kurze kognitive Entspannungspause dienen sollen. Dort soll entschieden werden, ob zwei Farbflächen mit derselben Farbe gefüllt sind oder sich unterscheiden (vgl. Anhang *C: Filler-Item*).

Die Durchführung dieser empirischen Untersuchung fand in der Schule der Proband/innen statt, sodass die Aufnahme nicht unter Laborbedingungen möglich war. Durch äußere Bedingungen wie z.B. Pausenlärm waren einige Schüler/innen unruhig und haben sich bei der Aufnahme viel bewegt, wodurch nicht alle Aufnahmedaten in die weitere Analyse einbezogen werden können. Die Proband/innen wurden einzeln in einen separaten, für die Testung vorbereiteten Raum gebracht, wo sie nach der anfänglichen Kalibrierung die Aufgaben bearbeiteten. Hierbei sollte jede/r Proband/in sechs Textaufgaben lösen, also jeweils ein Item jeder Aufgabe. Die Auswahl der Items wurde vollrandomisiert getroffen, sodass insgesamt nicht jedes Item gleich oft bearbeitet wurde. Die Präsentation erfolgte jedoch für jede/n Proband/in in der festgelegten Reihenfolge von Aufgabe 1 bis 6 aufsteigend. Dazwischen wurden in einer randomisierten Anzahl die Filler-Items eingefügt. Im Anhang (*D: Aufgabenzuteilung*) ist die Zuteilung aller Items zu den jeweiligen Proband/innen aufgeführt. Nach Ende der Aufnahme hat jedes Kind zusammen mit der Versuchsleiterin einen Fragebogen zur Erfassung seiner Hintergrunddaten ausgefüllt. Die Bearbeitungszeit der Aufgaben war relativ kurz und dauerte in etwa zehn Minuten, sodass ein jedes Kind nach insgesamt ca. 20 Minuten den Aufnahmeraum wieder verlassen hat.

Die zugrundeliegende Stichprobe dieser empirischen Untersuchung setzt sich aus acht Schülerinnen und 13 Schülern zusammen (n = 21). Es handelt sich dabei um einen Klassenverbund der Jahrgangsstufe fünf einer Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen, aus dem mit Ausnahme eines Kindes alle an der Studie teilgenommen haben. Die Hintergrunddaten der Kinder wurden anhand eines Fragebogens erhoben, der gemeinsam von der Versuchsleiterin und dem jeweiligen Kind ausgefüllt wurde. Er erhebt neben Name, Alter und Geschlecht ebenfalls Geburtstort, Staatsangehörigkeit, Muttersprache, Sprachkenntnis und Nutzung anderer Sprachen, Händigkeit, Auslandsaufenthalte (länger als sechs Monate) und die letzten Schulnoten sowie eine Selbsteinschätzung für die Fächer Mathematik und Deutsch. Außerdem sind die Ergebnisse der Proband/innen in einem Lesetest (ELFE), Informationen über ihr Sehvermögen und ein eventueller Förderlernbedarf über die Kinder bekannt. In einer einige Monate zuvor durchgeführten Unterrichtseinheit wurde mit den Schüler/innen die Bearbeitung von erwartungskonformen wie auch -widrigen Textaufgaben schon intensiv trainiert, weshalb sie zum Zeitpunkt der Erhebung bereits sensibilisiert waren, besonders auf Subjekt- und Objekt-Strukturen innerhalb der Aufgaben zu achten.

Außerdem hatten so alle Versuchsteilnehmer/innen ungefähr das gleiche thematische Vorwissen.

3.3. Auswertung der Daten

3.3.1. Proband/innengruppen

Für die Analyse werden die Proband/innen nach folgenden Kriterien gruppiert.

(1) Richtige oder falsche Aufgabenlösung:

Dabei wird die Lösung jedes einzelnen Items betrachtet und nach *erfolgreich* oder *nicht erfolgreich* eingestuft. Nur wenn sowohl die Antwort für den männlichen als auch für den weiblichen Akteur korrekt ist, wird die Aufgabe als *erfolgreich* gewertet. Die von den Schüler/innen gemachten Fehler können aufgrund ihrer Art wie folgt klassifiziert werden:

- Rechenfehler (RF),
- Vertauschungsfehler (VF), bei denen richtig gerechnet wurde, jedoch das Ergebnis des weiblichen Akteurs für den männlichen genannt wurde und umgekehrt,
- Fehler im Situationsmodell (SM), bei denen der anaphorische Bezug von Subjekt und Objekt vertauscht wird,
- Aufgaben, bei denen die Beziehung zwischen Objekt und Subjekt grundsätzlich richtig erkannt wurde, diese Relation mathematisch jedoch nur bei Subjekt oder Objekt verarbeitet wurde (SOB),
- Quantifikatoren-Fehler (Q), bei denen die mathematischen Quantifikatoren nicht berücksichtigt oder falsch mathematisiert werden und
- sonstige Mathematisierungsfehler (MF), die Fehler oder falsche Zuordnungen bei der Situationsmodellbildung bzw. Fehler grundlegender Art in der Mathematisierung umfassen.

Eine Ausführung der Fehlerarten zu den einzelnen Aufgaben sowie die Klassifizierungen der Schüler/innenantworten sind im Anhang (*E: Fehlerklassifikation* und *D: Aufgabenzuteilung*) zu finden. Die für diese Arbeit relevanteste Fehlerart ist der Fehler im Situationsmodell, da an dieser Stelle sprachliche Faktoren die Ursache für die falsche Antwort sind: Beim Lösen werden hier nicht die notwendigen Relationen der Aufgabe erkannt und Subjekt (Agens) und Objekt (Patiens) des entscheidenden Satzes werden nicht richtig den vorher

eingeführten Variablen (Namen der Akteure) zugeordnet – die Anaphernauflösung gelingt nicht. In diesem Rahmen kann erwartet werden, dass diese Art von Fehler nur beim Lösen der erwartungswidrigen Aufgaben auftritt, da das Lösen der erwartungskonformen Aufgaben der Lesetendenz im Deutschen und der Lösungstendenz mathematischer Aufgaben entspricht und die Anaphernauflösung aufgrund der Genuskongruenz keine große Herausforderung darstellen dürfte.

(2) Lesekompetenz:

Für die Einstufung als *starke/r* oder *schwache/r Leser/in* wird hier der ELFE-Lesetest hinzugezogen. Es handelt sich dabei um einen Leseverständnistest auf Wort-, Satz- und Textebene für die Klassen eins bis sechs (vgl. Lenhard/ Schneider 2017). Er wurde im Vorfeld der Eye-Tracking-Aufnahme in der Papier- und Bleistiftversion im Gruppensetting des Klassenverbunds durchgeführt. Der ursprünglich für Kinder der Grundschule konstruierte Test ist für die hier teilnehmende sechste Klasse als Screening-Verfahren zu betrachten, durch welches es möglich ist, eine Vorstellung der sprachlichen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler zu erhalten (vgl. ebd.). Die hier eingesetzte Version des Tests besteht aus den Subtests Wort-, Satz- und Textverständnis (vgl. ebd.), von denen jedoch nur der Satzverständnistest aufgrund des größten Zusammenhangs zu den bearbeiteten Textaufgaben durchgeführt wurde. Sein Ziel ist es, syntaktische und semantische Relationsbildung sowie die Tiefenstrukturanalyse auf Satzebene zu erfassen (vgl. ebd.). Dazu muss ein Satz durch eines mehrerer möglicher Auswahlworte sinnvoll vervollständigt werden, wie z.B. in „Eine Hand hat kühle – zwölf – fünf – grüne – süße Finger.“ (Lenhard/ Schneider 2017). Hierbei können die gesuchten Worte Verb, Substantiv, Adjektiv, Präposition oder Konjunktion sein (vgl. ebd.). Nach zwei Minuten wird die Subtestbearbeitung abgebrochen. Für jede richtige bearbeitete Aufgabe gibt es einen Punkt, sodass im Satzverständnistest bis zu 28 Punkte erreicht werden können (vgl. ebd.). Für die Auswertung steht u.a. eine Normtabelle zur Verfügung, aus der jeweils nach Jahrgangsstufe, Aufnahmezeitpunkt im Schuljahr, Teil- oder Gesamttest-Trennung T- und Z-Werte, Prozentränge und PR-Band (90% Konfidenzintervall) entnommen werden können (vgl. ebd.). Zusätzlich zu der Bearbeitung wurden im Rahmen der Testung Name, Geschlecht, Klasse, Schuljahreszeitpunkt, Geburtstag und die Muttersprache des Kindes erhoben. Alle drei Testgütekriterien sind für den ELFE-Leseverständnistest

erfüllt (vgl. ebd.). Die Schüler/innen-Ergebnisse des ELFE-Tests sind im Anhang (*F: ELFE-Lesetest*) zu finden.

(3) Länge der Bearbeitungszeit:
Hierfür wird die Dauer in Millisekunden (ms) betrachtet, die jede/r Proband/in für Bearbeitung jedes einzelnen Items benötigt, und die Gruppe wird in *schnelle/r* oder *langsame/r Löser/in* (50%-Marke) eingeteilt.

3.3.2. Datengruppen

Mithilfe der Analysesoftware BeGaze (Version 3.7 von 02/2017) von SMI können die gewonnenen Eye-Tracking-Daten u.a. qualitativ analysiert werden. Hierfür können dort Areas of Interest (AOIs) angelegt werden. Dabei werden beliebige Areale des Stimulus markiert, für die daraufhin analysiert wird, ob, wie oft und wann sie angeschaut werden. Für diese Studie wurden hierfür im Stimulus, also der Textaufgabe, Worte ausgewählt, die für das erfolgreiche Lösen der Aufgabe bedeutend sind. Die AOIs wurden dabei funktionsorientiert ausgewählt und sind sprachlich orientiert. Ihr Ziel ist es, aufgabenübergreifend Muster identifizieren zu können, die den Prozess der Informationsverarbeitung aus dem Text erfassen können. Dafür wurden drei Kategorien angelegt: *Agens* (*A*), *Patiens* (*P*) und *Quantifikatoren* (*Q* und *Q2*). Der *Agens* entspricht immer dem Nominativ und somit dem Akteur, der die Aktion des Abgebens in jeder Aufgabe durchführt. Der *Patiens* beschreibt inhaltlich gesehen die Person, die die Ergebnisse (z.B. Sticker, DVDs) der vom *Agens* ausgeführten Aktion erhält, und ist grammatikalisch gesehen das im Dativ stehende Objekt. Sowohl *Agens* als auch *Patiens* sind jeweils in dem entscheidenden Satz markiert und treten in allen sechs Aufgaben auf. Sie umfassen die für diese Studie zentralen Anaphern. *Quantifikatoren* sind hier Worte, die eine bedeutende Rolle für die Mathematisierung, also die Enkodierung der mathematischen Operation spielen. Sie sind nur in den zweischrittigen Aufgaben (3-6) zu finden. In dieser Arbeit soll ihnen jedoch vorerst keine größere Beachtung geschenkt werden, da sie für die korrekte Anaphernauflösung nicht von Bedeutung sind. Eine Übersicht aller als *Agens*, *Patiens* oder *Quantifikatoren* markierten Satzteile ist in *Tabelle 1: AOI-Übersicht* aufgeführt. Hier umfassen alle unterstrichenen Elemente die nicht erweiterte Form der AOI (z.B. „Ihrem“). Die erweiterte AOI-Form entspricht der kompletten aufgeführten Phrase inklusive der unterstrichenen Elemente (z.B. „Ihrem Bruder Paul“).

Item	Agens Erweitert (A/AE)	Patiens Erweitert (P/PE)	Quantifikator Erweitert (Q/QE)				Quantifikator 2 Erweitert (Q2/Q2E)	
A	sie	Ihrem Bruder Paul	zusätzlich 8 DVDs	noch 35 €	jeder Tüte	jedem Paket	10 Bonbons	5 Schul-hefte
B	Ihr Bruder Paul	ihr						
C	Seine Schwester Marie	ihm						
D	er	Seiner Schwester Marie						
Auf-gabe	1-6	1-6	3	4	5	6	5	6

Tab. 1: AOI-Übersicht.

Alle drei Kategorien wurden in *erweiterter* und *nicht erweiterter* Form angelegt. Bei *Agens* und *Patiens* beschreibt die erweiterte Form (*AE* oder *PE*) eine Phrase wie „Ihr Bruder Paul“ (5B) oder „Seiner Schwester Marie“ (5D), in der die nicht erweiterte Form sogleich enthalten ist (hier unterstrichen). Bei Letzterer handelt es sich um den Phrasenteil, der grammatikalisch gesehen alle notwendigen Informationen enthält, um die Phrase korrekt in den Satzzusammenhang einordnen, d.h. den *Agens* als Nominativ und den *Patiens* als Dativ identifizieren zu können. Da in dieser Studie analysiert werden soll, welches Anaphernauflösungsverhalten Schüler/innen beim Lösen von mathematischen Textaufgaben anwenden, also wann sie welchem Satzteil (vor allem den Anaphern) ihre Aufmerksamkeit schenken, kann an dieser Stelle eine Unterscheidung zwischen erweiterten und nicht erweiterten AOIs interessant sein. Dabei wird erwartet, dass Schüler/innen einige Textaufgabenelemente wiederholt lesen, um notwendige Relationen entschlüsseln zu können. Bezogen auf die oben beschriebenen Lesegewohnheiten würde es genügen, das Wort der nicht erweiterten AOI beim erneuten Lesen zu fixieren, da dort alle relevanten Informationen für eine korrekte Einordnung in das mentale Modell des Satzes zu finden sind. Es kann jedoch sein, dass Schüler/innen ein abweichendes Lösungsverhalten zeigen und lediglich andere Phrasenelemente fixieren. Um eine genaue Analyse ihrer Lösungsstrategie vornehmen zu können, werden vorerst sowohl erweiterte als auch nicht erweiterte AOIs angelegt. Jeder Satz besteht hierbei entweder aus der Kombination *erweiterter Agens* +

nicht erweiterter Patiens oder *nicht erweiterter Agens + erweiterter Patiens*, sodass sich die Größe der AOIs in einem Satz stark unterscheidet. Auch aus technischen Auswertungsgründen sollen durch die Anwendung beider AOI-Formen eventuelle aufgrund der Größe entstehende Probleme analysiert werden, um ein Format für die weiteren Aufnahmen im Rahmen der Studie festlegen zu können.

Für die Analyse der einzelnen AOIs stehen in BeGaze *Key Performance Indicators* (KPIs) zur Verfügung, von denen *Dwell time*, *Revisits* und *Fixation count* für die statistische Analyse betrachtet werden. *Fixation count* beschreibt hier die Anzahl aller Fixationen und die *Dwell time* die Summe aller Sakkaden und Fixationen der ausgewählten Probend/innen auf der jeweiligen AOI (vgl. SensoMotoric Instruments 2017: 258). *Revisits* zählen die Anzahl jedes Blickes auf eine AOI weniger eins (vgl. ebd.). *Ein Blick* „increments the counter each time a fixation hits the AOI if not hit before“ (ebd.). Des Weiteren wurden für die Analyse des Blickverhaltens der Proband/innen die in BeGaze zur Verfügung stehenden Funktionen *Focus Map* und *Scan Path* genutzt. In einer Focus Map wird das jeweilige Blickmuster angezeigt, indem die Transparenz der zunächst schwarz gefärbten Stimulusdarstellung in Abhängigkeit von der ihr geschenkten Aufmerksamkeit verändert wird (vgl. SensoMotoric Instruments 2017: 221). Dabei wird die Transparenz für jede Stelle des Stimulus mit zunehmender Fixationsdauer immer durchscheinender (vgl. ebd.: 223f.). Der Scan Path dagegen zeigt „a gaze data (raw or eye events) overlay over the stimulus image/stimulus video.” (ebd.: 101). Sakkaden werden hierbei in Form von Linien und Fixationen als Kreise dargestellt, deren Radius in Abhängigkeit der Fixationsdauer immer größer wird (vgl. ebd.: 211).

3.4. Analyse

3.4.1. Darstellung der Ergebnisse

Im ersten Schritt wurde anhand des Shapiro-Wilk-Tests und Histogrammen geprüft, ob die gewonnenen Daten normalverteilt sind. Im Rahmen der Dwell time sind die nicht erfolgreich gelösten Aufgaben meist normalverteilt, die erfolgreich gelösten Aufgaben jedoch sehr selten. Beim Fixation count sind umgekehrt die richtig bearbeiteten Aufgaben öfter als die falschen normalverteilt, sodass dieses nicht an einer unterschiedlichen Anzahl der Werte pro Gruppe liegt. Trotz nicht immer feststellbarer Normalverteilung wurden einfache t-Tests für die AOIs *Agens, Agens Erweitert, Patiens, Patiens Erweitert, Quantifikator, Quantifikator Erweitert, Quantifikator 2* und

Quantifikator 2 Erweitert mit Blick auf die Dwell time, Revisits und Fixation counts durchgeführt. Die Daten der Proband/innen P02, P03, P05 und P21true wurden hierbei aufgrund ihrer schlechten Kalibrierung von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Insgesamt wurde hier mit einer Tracking Ratio von durchschnittlich 87,64% aufgenommen. Alle Ergebnisse sind in *Tabelle 2: Ergebnisse der statistischen Analyse* aufgeführt.

Zuerst soll der Bereich der erwartungswidrigen Aufgaben betrachtet werden. Hierbei sind sowohl Revisits sowie Fixation counts auf die AOI *Patiens Erweitert* (PE) im entscheidenden Satz für $p < .05$ statistisch signifikant. Schüler/innen, die die jeweilige Aufgabe erfolgreich gelöst haben, fixieren seltener (Durchschnitt = 10,5) das am Satzanfang stehende Objekt als die erfolglosen Proband/innen (Durchschnitt = 15,2). Dieses ergab einen t-Wert von -1.86934 und einen p-Wert von .033606. Auch machten die erfolgreichen Löser/innen ebenfalls weniger Revisits (Durchschnitt = 3) auf *PE* als die erfolglosen (Durchschnitt = 5,2), mit einem t-Wert von -2.22228 und einem p-Wert von .01532 (signifikant für $p < .05$). Auf die AOIs *Quantifikator* und *Quantifikator 2 Erweitert* machten erfolgreiche Schüler/innen mehr Fixationen als nicht erfolgreiche. Dabei schauten erfolgreiche Proband/innen im Durchschnitt elfmal und nicht erfolgreiche sechsmal auf *Q2* ($t = 1.93262$ und $p = .035592$). Die AOI *Q2E* wurde von den erfolgreichen Löser/innen 20,2 Mal und von den nicht erfolgreichen 9,6 Mal fixiert, bei einem t-Wert von 2.36809 und einem p-Wert von .015406. Dieser Unterschied ist für $p < .05$ sogar hoch signifikant und zeigt ein sehr unterschiedliches Blickverhalten zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Schüler/innen. Die Ergebnisse für die AOIs *Quantifikator, Quantifikator Erweitert, Patiens* und *Agens* sind in Bezug auf Dwell time, Fixation count und Revisits nicht signifikant. Im Bereich der Dwell time konnten für die erwartungswidrigen Aufgaben ebenfalls keine signifikanten Ergebnisse für *Quantifikator 2* und *Patiens Erweitert* (p-Wert = .082366) festgestellt werden. Gleiches gilt für die Revisits für die AOIs *Quantifikator 2 Erweitert* und *Quantifikator 2*. Auch im Bereich der erwartungskonformen Aufgaben sind die Ergebnisse für *Agens Erweitert, Quantifikator, Quantifikator Erweitert, Quantifikator 2 Erweitert, Quantifikator 2* und *Patiens Erweitert* für Fixation count, Dwell time und Revisits nicht signifikant. Für die AOI *Agens* in erwartungskonformen Aufgaben liegt für die Revisits ebenfalls kein signifikantes Ergebnis vor, jedoch in Bezug auf die Dwell time ($t = -1.96425$ und $p = .026579$) und Fixation counts ($t = -1.97693$ und $p = .027242$). Erfolgreiche Schüler/innen schauen mit durchschnittlich 257 ms und 1,25 Fixationen

auf *A* und somit seltener und kürzer als nicht erfolgreiche Proband/innen mit 498 ms und 2,23 Fixationen. Jedoch wurde der t-Test in diesem Fall durchgeführt, obwohl keine Normalverteilung der Daten (erfolgreiche und nicht erfolgreiche Antworten) vorlag, und ist somit eventuell nicht berechtigt. In einem Chi-Quadrat-Test, der aufgrund dieser Tatsache anschließend durchgeführt wurde, konnte das oben angeführte Ergebnis nicht bestätigt werden ($x^2 = 0.0223$ und $p = .881235$).

AOI	Aufgabentyp	Fixation count	Dwell time (ms)	Revisits
PE	Widrig	E: avr = 10,5 NE: avr = 15,2 t = -1.86934 p = .033606	Nicht signifikant p = .082366	E: avr = 3 NE: avr = 5,2 t = -2.22228 p = .01532
P	Konform	Nicht signifikant E: avr = 2,8 NE: avr = 3,7 t = -1.32742, p = .095461.	Nicht signifikant	Nicht signifikant E: avr = 1,87 NE: avr = 2,5
P	Widrig	Nicht signifikant E: avr = 2,7 NE: avr = 3,6	Nicht signifikant E: avr = 582,2 NE: avr = 989	Nicht signifikant E: avr = 1,05 NE: avr = 1,7
A	Konform	E: avr = 1,25 NE: avr = 2,23 t = -1.97693 p = .027242 **Chi²-Test:** $x^2 = 0.0223$ p = .881235	E: avr = 257 ms NE: avr = 498 ms t = -1.96425 p = .026579	Nicht signifikant
A	Widrig	Nicht signifikant E: avr = 3,3 NE avr = 3,75	Nicht signifikant E: avr: 667 NE: avr: 966,8	Nicht signifikant E: avr = 2,4 NE: avr = 2,8
AE	Konform	Nicht signifikant E: avr = 8,96 NE: avr = 10,3	Nicht signifikant E: avr = 2040,56 NE: avr = 2243,3	Nicht signifikant E: avr = 2,64 NE: avr = 2,7
Q, Q2E, QE, Q2	Konform	Nicht signifikant	Nicht signifikant	Nicht signifikant
Q, QE	Widrig	Nicht signifikant	Nicht signifikant	Nicht signifikant
Q2	Widrig	E: avr = 11 NE: avr = 6 t = 1.93262 p = .035592	Nicht signifikant	Nicht signifikant
Q2E	Widrig	E: avr = 20,2 NE: avr = 9,6 t = 2.36809 p = .015406		

Tab. 2: Ergebnisse der statistischen Analyse.

In einem Chi-Quadrat-Test wurde außerdem getestet, ob eine erwartungswidrige Satzstellung signifikant zu mehr nicht erfolgreich gelösten Aufgaben führt. Dieses ist bei $x^2 = 1.3158$ und $p = .251342$ nicht der Fall (nicht signifikant für $p < .05$). Erwartungskonforme Aufgaben wurden 25 Mal richtig und 23 Mal falsch, erwartungswidrige Aufgaben 22 Mal richtig und 32 Mal falsch gelöst.

In einer weiteren Analyse wurde geprüft, ob sich die Länge der Bearbeitungszeiten der einzelnen Items (Trial Duration in ms) innerhalt der Aufgaben bei erwartungskonformen (B und C) und erwartungswidrigen (A und D) Aufgabentypen unterscheiden. Die Ergebnisse für $p < .05$ sind für sowohl jede Aufgabe einzeln als auch aufgabenübergreifend nicht signifikant. Die einzelnen Werte sind der *Tabelle 3: Trial Duration und Aufgabentyp* zu entnehmen.

Aufgabe	**t-Wert**	**p-Wert**
1	0.87182	.195115
2	0.35654	.361927
3	0.35828	.361282
4	-0.40697	.343413
5	0.81375	.210902
6	-0.07024	.472241
1-6	0.16271	.435457

Tab. 3: Trial Duration und Aufgabentyp.

Außerdem wurde geprüft, ob sich die Bearbeitungszeit aller falsch beantworteten Items bei erwartungswidrigen und erwartungskonformen Items unterscheidet. Auch diese Ergebnisse sind bei t-Wert = 1.07464 und p-Wert = .142523 nicht signifikant.

3.4.2. Interpretation der Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse sind aufgrund einiger Probleme mit dem Datensatz zum Teil nicht als sehr aussagekräftig und zuverlässig zu deuten. Daher dürfen die folgenden Interpretationen lediglich als erste Annäherung an die Inhalte gesehen werden, die anhand einer größeren Stichprobe und eines besseren Datensatzes überprüft werden müssen. Weiterhin ist zu beachten, dass die gemachten Fehler der Proband/innen in der erfolgten statistischen Analyse nicht nach ihrer Klassifikation unterschieden wurden. An dieser Stelle ist ein *nicht erfolgreiches Ergebnis* jedes, bei dem die genannten Werte für einen oder beide Akteure/innen der Aufgabe nicht den korrekten Werten

entsprechen, ungeachtet der Art des Fehlers. Daher kann vorerst nur im Einzelnen ein Fehler im Situationsmodell und somit die nicht erfolgreiche Anaphernauflösung als tatsächliche Ursache für eine nicht erfolgreich gelöste Aufgabe angenommen werden. Aufgrund der wenigen signifikanten Ergebnisse der statistischen Analyse sollen im Folgenden neben einer quantitativen Analyse ebenfalls einige qualitative Betrachtungen vorgenommen werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass nicht erfolgreiche Löser/innen bei erwartungswidrigen Aufgaben eine signifikant höhere durchschnittliche Fixation count- und Revisit-Anzahl auf die AOI *Patiens Erweitert* haben als erfolgreiche Löser/innen. Dieses Verhalten zeigt, dass es hier also nicht notwendig ist, PE mehrfach erneut zu betrachten, um die Aufgabe korrekt lösen zu können. Erfolgreiche Löser/innen schaffen es schneller (mit weniger Revisits und Fixationen), die Dativ-Phrase (z.B. „Seiner Schwester Hanna“) syntaktisch richtig in den Satzzusammenhang einzuordnen. Vermutlich können sie in der syntaktischen Analyse durch Erkennen des Kasus schnell die richtigen Relationen in ihre mentale Repräsentation einbauen, weshalb eine erhöhte Aufmerksamkeit an dieser Stelle nicht notwendig ist. Andersherum kann angelehnt an die nach Rayner et al. (2006) aufgestellten Vermutungen (s.o.) eine mögliche Interpretation aus der Perspektive der nicht erfolgreichen Schüler/innen getroffen werden: Die Leser/innen bemerken die widrige Satzstellung, können sie jedoch nicht verarbeiten. Sie realisieren lediglich, dass etwas an der Satzstellung *komisch* ist, können diese Annahme jedoch nicht, trotz vermehrten Revisits und Fixationen, für die richtige Relationsbildung und das Erkennen des Patiens nutzen. Dieses Verhalten ist beispielsweise bei P11 zu erkennen. Anschließend an den ersten Lesedurchgang und einigen Fixationen auf die Zahlen der Aufgabe (in der Grafik zur besseren Übersichtlichkeit ausgeblendet) zeigt das in *Abbildung 2* zu erkennende Blickverhalten, dass mehrfach auf den PE zurück geschaut und jedes Wort erneut fixiert wird. Hierbei ist jedoch auffällig, dass die Worte „Freund“ und „Jonas“ insgesamt deutlich öfter bzw. länger fixiert werden als „Ihrem“. Dabei würde an dieser Stelle das Betrachten der nicht erweiterten AOI „Ihrem“ genügen, um alle syntaktischen Informationen über das Satzglied zu erfahren. Möglicherweise analysiert P11 die Phrase hier nicht mehr ausschließlich syntaktisch und ersetzt „Ihrem“ in eigenen Interpretationen durch „Ihr“, wodurch ein für diese Aufgabe falscher Analysebaum entstünde. Daran anschließend liest P11 (in *Abbildung 3*) jedoch fast den kompletten entscheidenden Satz erneut, wobei die Anapher „sie“ am längsten fixiert wird. So könnte man meinen, dass P11 aufgrund dieser Fixation des

entscheidenden Wortes einen Widerspruch in seiner mentalen Repräsentation entdeckt hat. Dies ist jedoch anscheinend nicht der Fall, denn P11 kann trotzdem die Bezüge der Aufgabe nicht erfolgreich auflösen, und es kommt zu einem falschen Ergebnis aufgrund eines Fehlers in der Subjekt-Objekt-Beziehung.

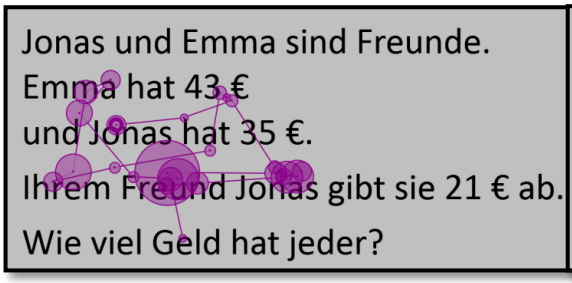


Abb. 2: Scan Path, 2A, P11, nicht erfolgreich gelöst, 16:000 ms bis 24:688 ms.

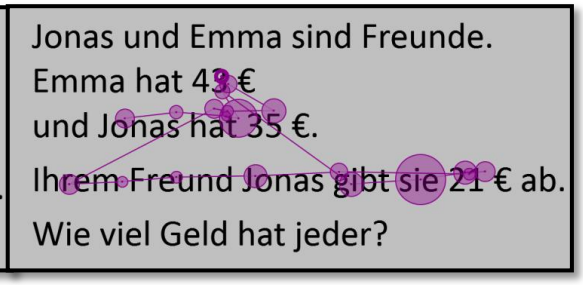


Abb. 3: Scan Path, 2A, P11, nicht erfolgreich gelöst, 24:688 ms bis 29:698 ms.

Im Vergleich zu diesem Lösungsverhalten kann jenes der Aufgabe 1D von P15 aufgeführt werden, das zu einer erfolgreichen Aufgabenlösung führte. In *Abbildung 4* ist zu erkennen, dass der/die Proband/in beim ersten Lesedurchgang im entscheidenden Satz am meisten Aufmerksamkeit auf die Anapher „er“ legt und eine längere Fixation in der AOI des *PE* weitgehend ausbleibt. Auch im folgenden Lösungsvorgang (*Abbildung 5*) schaut P15 nicht noch einmal auf diese AOI zurück, da die korrekten Relationen vermutlich bereits geknüpft wurden.

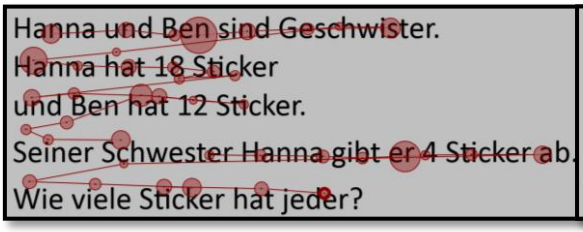


Abb. 4: Scan Path, 1D, P15, erfolgreich gelöst, erster Lesedurchgang.

Abb. 5: Scan Path, 1D, P15, erfolgreich gelöst, bei 26.078 ms.

Auch in vergleichender Betrachtung der Focus Maps über den gesamten Bearbeitungszeitraum, der bei P15 (26.078,5 ms) außerdem deutlich kürzer ist als bei P11 (75.519,6 ms), kann die unterschiedlich starke Fixation auf der AOI *Patiens Erweitert* deutlich erkannt werden (*Abbildung 6* und *Abbildung 7*). Während P15 lediglich „Seiner“ und „er“ etwas länger fixiert, fällt die starke visuelle Aufmerksamkeit von P11 bezüglich der Worte „Freund“ und „Jonas“ auf, die ihm für die erfolgreiche Lösung jedoch keine Vorteile bringt.

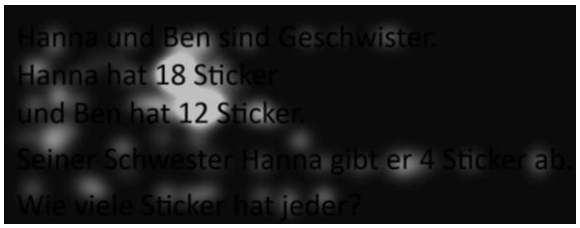


Abb. 6: Focus Map, 1D, P15, erfolgreich gelöst, Ende bei 26.078,5 ms.

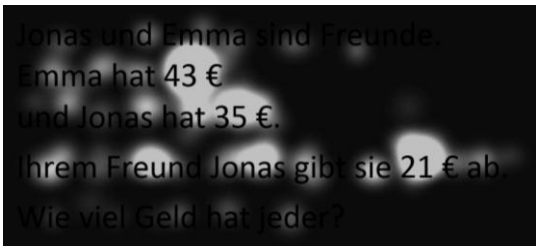


Abb. 7: Focus Map, 2A, P11, nicht erfolgreich gelöst, Ende bei 75.519,6 ms.

Die ebenfalls in dem entscheidenden Satz der erwartungswidrigen Sätze auftauchende AOI des *Agens* („er“ und „sie“) zeigt in der Analyse keine signifikanten Unterschiede zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Löser/innen, das heißt, dass beide Löser/innengruppen der AOI ungefähr gleich viel Aufmerksamkeit schenken. Dieses kann ebenfalls in den Focus Maps gesehen werden, jedoch wahrscheinlich aus verschiedenen Gründen: Durch den Aufbau des Satzes wird die AOI des *Patiens Erweitert* vor der des *Agens* gelesen. Erfolgreiche Schüler/innen, die diese erwartungswidrige Satzstellung von Beginn an bemerken (also schon nach dem Lesen des *PE*), können den *A* somit direkt in ihr mentales Modell integrieren (vgl. das Beispiel von P15 in Grafik P15-1) und die Beziehungen herstellen, ohne besonders oft auf die AOI zurück zu schauen oder sie besonders lange zu fixieren. Im Falle der nicht erfolgreichen Schüler/innen kann es sein, dass der *Agens*, der an dieser Stelle nachgestellt ist und nicht am Satzanfang steht, übersehen oder als nicht wichtig angesehen wird. Es kann nun die Vermutung aufgestellt werden, dass die nicht erfolgreichen Proband/innen das Erkennen des für sie entstehenden Widerspruchs nur an der AOI des *Patiens Erweitert* ausmachen, da dort im Vergleich zum *Agens* eine vermehrte Aufmerksamkeit zu beobachten ist. Dabei wird hier angenommen, dass die Betrachtung des *Agens* in erwartungswidrigen Aufgaben von größerer Bedeutung ist als die des *PE*. Eine Konzentration und Verarbeitung des *Agens* (oder auch schon des *nicht erweiterten Patiens*) würde den nicht erfolgreichen Proband/innen also vermutlich eine größere Hilfe für eine erfolgreiche Lösung sein als die vermehrte Betrachtung des *PE*. Ob diese Vermutung zutrifft, gilt es jedoch erst zu prüfen.

Der *Patiens* in erwartungskonformen Aufgaben zeigt dagegen keine signifikanten Ergebnisse beim Vergleich der erfolgreichen und nicht erfolgreichen Proband/innen. Dieses Resultat zeigt, dass die Fixation oder das erneute Anschauen dieser AOI nicht ausschlaggebend für die richtige oder falsche Lösung der Aufgabe sind. Auch die AOI

Agens Erweitert, die zusammen mit *P* in den erwartungskonformen Aufgaben auftritt, ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen erfolgreichen und nicht erfolgreichen Löser/innen. Dieses ist nicht weiter verwunderlich, da davon ausgegangen wird, dass Fehler beim Lösen der Aufgaben nicht durch die erwartungskonforme Satzstellung, die hier der Tendenz der deutschen Sprache entspricht (*Agens* am Anfang des Satzes und der *Patiens* nach dem Verb), verursacht werden.

Durch die gewonnenen statistischen Ergebnisse kann die nach Rayner et al. (2006) getroffene Hypothese nicht bestätigt werden, dass schwierigere, also in diesem Fall erwartungswidrige Aufgaben eine längere Bearbeitungsdauer beanspruchen. Dieses bedeutet, dass Schüler/innen unabhängig vom Aufgabentyp für einige Items mehr Zeit benötigen als für andere. Ein möglicher relevanter Faktor kann in der mathematischen Aufgabenbeschaffenheit gesucht werden. Beim Betrachten der Blickaufzeichnungen der Proband/innen ist auffällig, dass die oben beschriebene Phase des mathematischen Arbeitens (also des Ausrechnens der Ergebnisse) in vielen Itembearbeitungen einen großen Teil der Aufgabenbearbeitungszeit beansprucht, wie in *Abbildung 8* beispielhaft zu erkennen ist. Somit kann vermutet werden, dass eine längere Aufgabenbearbeitungszeit durch eine längere Rechnung (also mathematische Faktoren) herbeigeführt wird und die sprachlichen Effekte folglich nicht eindeutig sind. In der abschließenden Diskussion der Arbeit soll auf diesen Aspekt näher eingegangen werden.

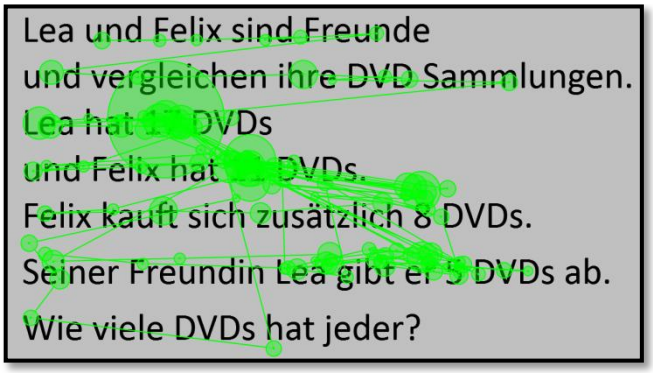


Abb. 8: Scan Path, 3D, P08, erfolgreich gelöst, 500 ms bis Ende (30.740 ms).

Auch die nach Hegarty et al. (1995) getroffene Vermutung, dass erfolgreiche Proband/innen weniger Zeit für die Bearbeitung der schwierigeren, also erwartungswidrigen Aufgaben benötigen als nicht erfolgreiche Löser/innen, kann nicht bestätigt werden. Hier sind vermutlich ebenfalls mathematische Prozesse zu dominant, um sprachliche Unterschiede wahrnehmen zu können. Jedoch kann die in diesem Zuge

aufgestellte Behauptung, nicht erfolgreiche Schüler/innen hätten ein unentschlosseneres Leseverhalten, zumindest an einzelnen Beispielen veranschaulicht werden. So zeigt *Abbildung 9* von P04 im Vergleich zu *Abbildung 8* von P08 ein sehr viel konfuseres Blickverlaufsmuster.

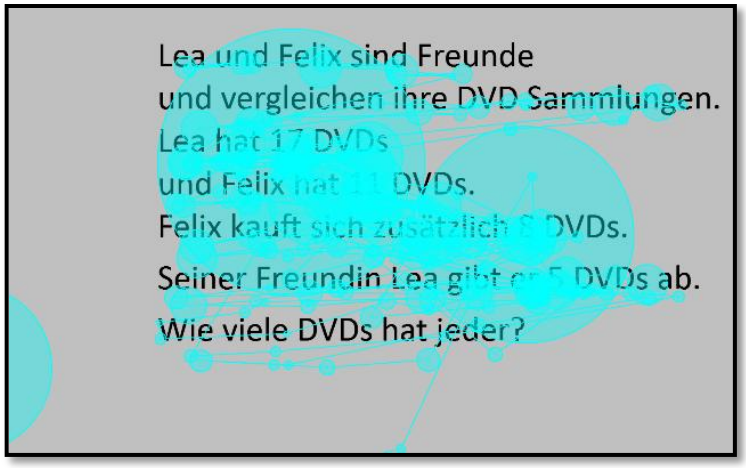


Abb. 9: Scan Path, 3D, P04, nicht erfolgreich gelöst, 500 ms bis Ende (01.22.397 ms).

Vergleicht man alle erfolgreichen und nicht erfolgreichen Löser/innen der Aufgabe 3D (*Abbildung 10* und *Abbildung 11*), kann erneut das vermehrte Fixieren der AOI *Patiens Erweitert* sowohl im Scan Path als auch in den Focus Maps erkannt werden. Auch eine längere Bearbeitungszeit und ein unstrukturierteres Leseverhalten sind bei den nicht erfolgreichen Löser/innen zu betrachten.

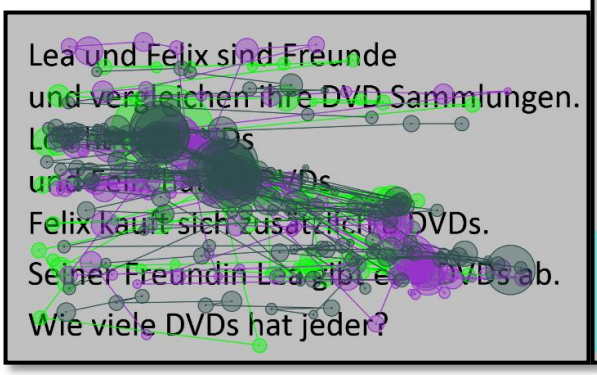


Abb. 10: Scan Path, 3D, alle erfolgreichen Proband/innen (P08, P14, P19), 500 ms bis 50.323 ms.

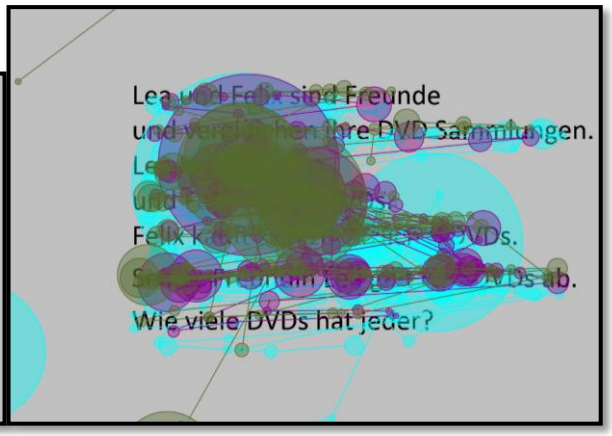


Abb. 11: Scan Path, 3D, alle nicht erfolgreichen Probanden (P04, P11, P12) 500 ms bis 01.22.397 ms.

Die in den Focus Maps (*Abbildung 12* und *Abbildung 13)* erkennbare stärkere Aufmerksamkeit der nicht erfolgreichen Schüler/innen hinsichtlich der Anaphern zeigt,

dass diese vermutlich aufgrund von Verarbeitungsproblemen eine höhere Fixations- und Revisitanzahl auf diese AOIs legen, ohne zu einem erfolgreichen Ergebnis zu kommen.

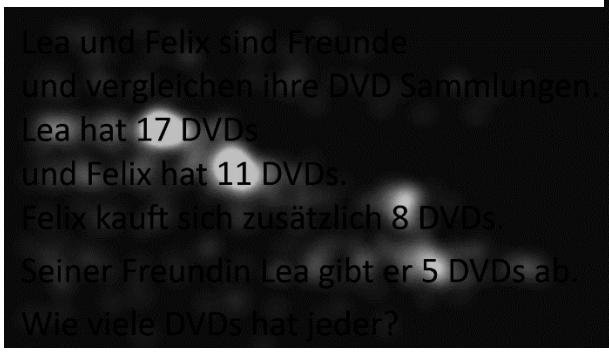


Abb. 12: Focus Map, 3D, alle erfolgreichen Proband/innen (P08, P14, P19), 500 ms bis 50.323 ms.

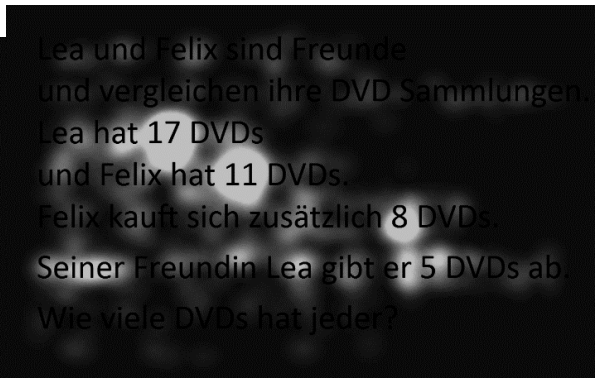


Abb. 13: Focus Map, 3D, alle nicht erfolgreichen Probanden (P04, P11, P12) 500 ms bis 01.22.397 ms.

3.4.3. Exemplarische Textaufgabenlösung

Blum und Leiss (2005) beschreiben in ihrem mathematischen Modellierungskreislauf einen typischen Ablauf eines Textaufgabenlösungsprozesses, in dem das Bilden eines Situationsmodells von großer Bedeutung ist. Wie ein solcher Prozess mit dem beschriebenen besonderen Einbezug der sprachlichen Aufgabenelemente ablaufen kann, soll exemplarisch an der Lösung der erwartungswidrigen Aufgabe 1D von Proband/in 10 (im Weiteren P10) gezeigt werden, die zu einem richtigen Ergebnis führte. In *Abbildung 14* ist deutlich die erste Phase des *Lesens* und *Verstehens* zu erkennen. P10 liest die komplette Aufgabe einmal durch und zeigt kurze Regressionen bei der Variablenzuordnung (jeweils von „Sticker“ zurück auf „18“, „12“ oder „4“) und auf die Anapher „er“, um vermutlich ein die richtigen Relationen beinhaltendes Situationsmodell zu erstellen. Das in diesem Zuge von Hegarty et al. (1995) beschriebene Verbinden der Zahlen mit den jeweiligen Variablen („Sticker“) kann deutlich erkannt werden. Auch das für wichtig erachtete komplette erste Lesen der Aufgabe wird hier umgesetzt.

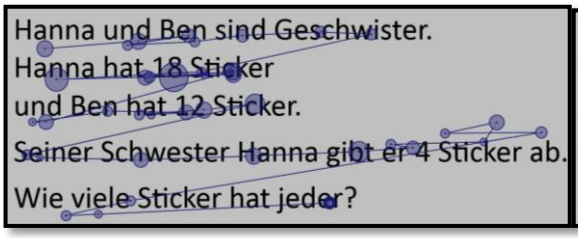


Abb. 14: Scan Path, 1D, P10, Erstes Lesen, von 500 ms bis 10.084 ms.

Abb. 15: Scan Path, 1D, P10, Realmodell von 10.084 ms bis 15.325 ms.

Daran anschließend reduziert P10 im Zuge des *Vereinfachens und Strukturierens* (*Abbildung 15*) für die Erstellung eines Realmodells seine Aufmerksamkeit nur noch auf die für die Rechnung zentralen Elemente der Aufgabe (hier mit der Funktion *fade out trail* angezeigt, damit die einzelnen Phasen deutlich werden). Das von Hegarty et al. (1995) als wichtig beschriebene mehrfache Lesen relevanter Aufgabenelemente für das komplette Verstehen aller Bezüge kann auch hier im Ansatz gesehen werden. Im Rahmen der Mathematisierung (*Abbildung 16*) wird in weiteren Abstraktionsprozessen unter Einbezug schon bekannter mathematischer Grundvorstellungen und bestehender Relationen zwischen wichtigen Aufgabenelementen nun ein mathematisches Modell erstellt. Da P10 nicht nur die vorhandenen Zahlen, sondern ebenfalls erneut die Variablen und sowohl Agens als auch Patiens fixiert, lässt sich vermuten, dass dem Kind bewusst ist, dass hier keine eins-zu-eins-Übersetzung von Real- zu mathematischem Modell erfolgen kann. Vermutlich lassen sich in dieser Grafik auch schon Ansätze des mathematischen Arbeitens erkennen, da bereits einige Regressionen zwischen den verschiedenen Zahlen zu beobachten sind.

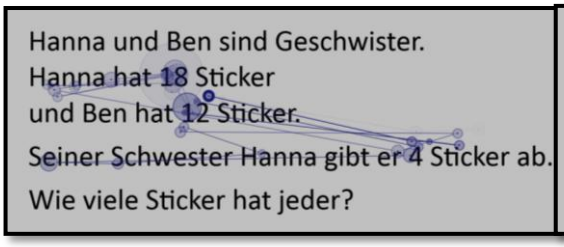


Abb. 16: Scan Path, 1D, P10, Mathematisierung, von 15.325 ms bis 32.271 ms.

Abb. 17: Scan Path, 1D, P10, Rechnen „Ben“ 32.271 ms bis 41.401 ms.

Die Phase des mathematischen Arbeitens kann in *Abbildung 17* und *Abbildung 18* sehr deutlich nachvollzogen werden. Durch ein Revisit auf „Ben“ überprüft der/die Proband/in in der *Abbildung 17*, welches Teilergebnis er/sie gerade errechnet, um das Ergebnis an die richtige Stelle des Situationsmodells einordnen zu können. P10 fixiert dort mehrfach die Zahlen, die für die Errechnung des Ergebnisses für den männlichen

Akteur benötigt werden („12“ und „4“). Dieses Verhalten führt P10 anschließend genauso auch für das zweite Teilergebnis (für „Hanna“) durch (*Abbildung 18*).

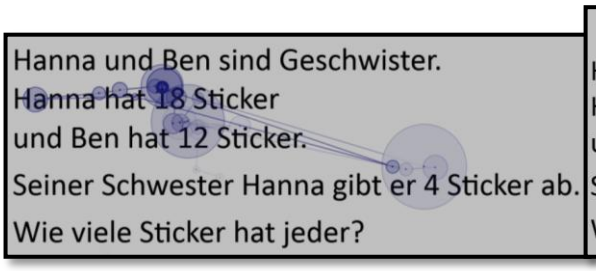


Abb. 18: Scan Path, 1D, P10, Rechnen „Hanna“, von 41.401 ms bis 52.730 ms.

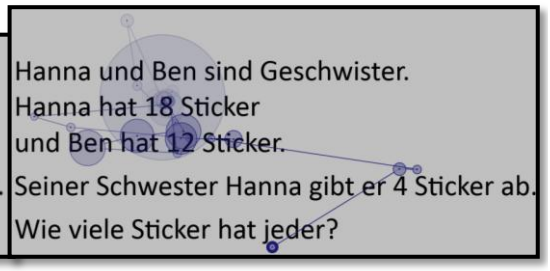


Abb. 19: Scan Path, 1D, P10, Interpretieren und Validieren von 52.730 ms bis 1.03.367 ms.

In der letzten Aufnahmephase (*Abbidung 19*) vereint P10 die Schritte Interpretieren und Validieren, indem er/sie ein letztes Mal die Zahlen in Verbindung zum Kontext setzt: Wie viele Sticker hat „Hanna“, wie viele hat „Ben“, wie viele „Sticker“ werden abgegeben, welches Ergebnis wird gefordert („jeder“). Selbstverständlich können an dieser Stelle lediglich Vermutungen über die wirklichen Hintergründe des Blickverhaltens von P10 getroffen werden. Jedoch sind auffällig viele Übereinstimmungen mit dem Modell von Blum und Leiss zu sehen, sodass eine Lösung im Sinne ihres Modells erkennbar ist. Indes ist dieses Lösungsverhalten im Rahmen der vorliegenden Aufnahmen nicht bei allen erfolgreichen Löser/innen zu beobachten, wodurch deutlich wird, dass der mathematische Modellierungskreislauf nach Blum und Leiss lediglich einen idealen Lösungsprozess skizziert, während eine erfolgreiche Lösung auch durch ein abweichendes Blickverhalten möglich ist.

3.4.4. Fehler im Situationsmodell

Die statistische Analyse hat ergeben, dass eine erwartungswidrige Aufgabenstellung nicht automatisch zu einem falschen Ergebnis führt. Hierbei ist zu beachten, dass an dieser Stelle alle Fehler und nicht nur die Fehler im Situationsmodell betrachtet wurden. Hier können also ebenfalls Probleme mathematischer Art, z.B. aufgrund der Zweischrittigkeit, Ursache der Fehler sein, die unabhängig von den sprachlichen Schwierigkeiten gemacht werden. Es bleibt also dringend zu prüfen, inwieweit dieses Ergebnis auch dann auftritt, wenn nur der Situationsmodell-Fehler als falsche Antwort gewertet wird. Als Annäherung hieran soll die folgende Betrachtung dieses Fehlertyps gelten.

Proband	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6
P01	(A)	B	B	(B)	A	(C)
P04	**D falsch**	(B)	**D falsch**	**D falsch**	**A falsch**	**A falsch**
P06	A	C	(C)	**D falsch**	**B falsch**	B
P07	A	A	(A)	C	D	B
P08	C	(C)	D	**C falsch**	C	(D)
P09	B	D	B	C	(C)	D
P10	D	A	**C falsch**	(C)	A	(B)
P11	C	**A falsch**	**D falsch**	(C)	(D)	(B)
P12	A	**B falsch**	(D)	**B falsch**	**D falsch**	(B)
P13	(D)	(D)	(A)	(A)	**D falsch**	(D)
P14	A	A	D	**A falsch**	(B)	(C)
P15	D	C	(C)	C	D	C
P16	B	B	B	(C)	(B)	(A)
P17	C	A	A	(D)	**A falsch**	(A)
P18	**D falsch**	(D)	A	B	B	**D falsch**
P19	**D falsch**	A	D	(C)	C	B
P20	**D falsch**	C	(B)	C	**D falsch**	**D falsch**

Tab. 4: Fehler im Situationsmodell.
(grün = erwartungskonform, rot = erwartungswidrig, Klammer = sonstige Fehler, fett gedruckt = SM-Fehler)

Die anfänglich geäußerte Vermutung, dass Fehler im Situationsmodell lediglich in erwartungswidrigen Aufgaben auftreten, kann nicht bestätigt werden. *Tabelle 4: Fehler im Situationsmodell* zeigt die Antworten der Schüler/innen aufgeteilt nach *richtiger Antwort* oder *Fehler im Situationsmodell* für sowohl erwartungswidrige als auch erwartungskonforme Aufgaben. Beim Betrachten der Schüler/innenantworten kann festgestellt werden, dass bei 18 erwartungswidrigen, jedoch auch bei fünf erwartungskonformen Aufgaben ein SM-Fehler gemacht wurde. Dieses kann durch die Tatsache erklärt werden, dass bei allen fünf Fehlern der/die Schüler/in (P06, P08, P10, P12) als vorangehende Aufgabe ein erwartungswidriges Item zu lösen hatte und somit eine Überkompensation stattfand: Die Proband/innen waren vermutlich durch die vorangegangene Aufgabe für die erwartungswidrige Satzstellung sensibilisiert und wollten das Lösungsverhalten erneut anwenden.

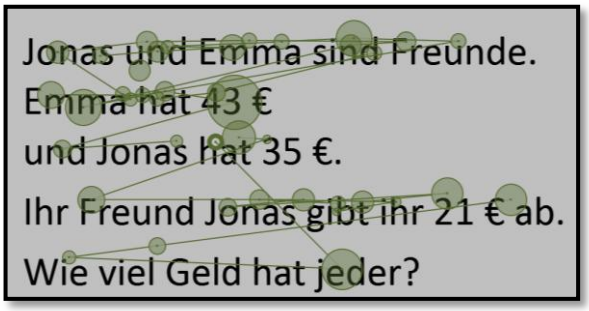


Abb. 20: Scan Path, 2B, P12, nicht erfolgreich gelöst, 500 ms bis 11.751 ms.

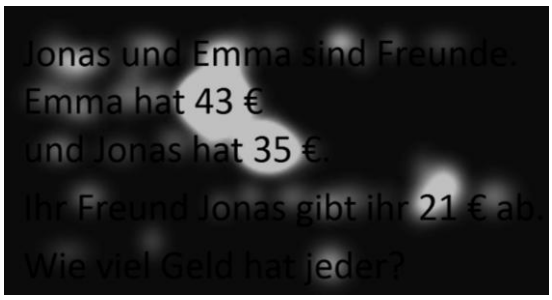


Abb. 21: Focus Map, 2B, P12, nicht erfolgreich gelöst, 500 ms bis Ende.

Betrachtet man z.B. das Blickverhalten von P12 in Aufgabe 2B, so ist zu erkennen, dass diese/r im ersten Lesedurchgang (*Abbildung 20*) den *Agens* („Ihr“) erst gar nicht liest und auch dem *Patiens* dieser Aufgabe („ihr“) kaum Aufmerksamkeit schenkt. Auch nach dem gesamten Lesedurchgang wurden der *Agens* zu keiner Zeit und der *Patiens* nur selten fixiert (*Abbildung 21*). Die nachfolgende *Tabelle 5: AOIs in 2B von P12* zeigt die dazugehörigen Werte für die AOIs. Hier kann zudem erkannt werden, dass eine einzelne Betrachtung der erweiterten und nicht erweiterten AOIs durchaus sinnvoll ist, da P12 hier nicht den grammatikalisch *relevanten Teil* der AOI *AE* betrachtet, was in diesem Fall die Ursache für die nicht erfolgreiche Lösung sein kann und in der quantitativen Analyse der ausschließlich erweiterten AOI-Daten unter Umständen nicht deutlich geworden wäre.

AOI	Dwell Time	Fixation Count	Revisit
AE	749,7 ms	3	2
A	0 ms	0	0
P	116,6 ms	1	0

Tab. 5: AOIs in 2B von P12.

P04 und P20 erkennen weiterhin in keiner der Aufgaben die erwartungswidrige Satzstellung und lösen alle ihnen dargebotenen Aufgaben dieser Art in Bezug auf die Subjekt-Objekt-Zuordnung nicht korrekt, sodass davon ausgegangen werden kann, dass die Thematik trotz Sensibilisierung im Unterricht nicht verinnerlicht oder bereits wieder vergessen wurde. Auffällig ist weiterhin, dass die (SM-)Fehleranzahl mit Verlauf der Aufgabenkomplexität zunimmt, sodass hier vermutlich ein Zusammenhang zwischen

der Aufgabenkomplexität anstelle des Aufgabentyps mit der erfolgreichen oder nicht erfolgreichen Lösung der Aufgaben besteht, den es zu prüfen gilt.

3.4.5. ELFE-Lesetest

Für die Betrachtung des Zusammenhangs der Schüler/innenleistungen im ELFE-Lesetest und der Fixationsdauer auf die AOIs liegen bisher kaum eindeutige Ergebnisse vor, sodass hier nur erste Eindrücke aufgeführt werden können. Es zeichnet sich die Tendenz ab, dass schwache Leser/innen mehr visuelle Aufmerksamkeit auf die AOIs *Patiens* und *Agens* legen als starke. Dieses Verhalten zeigt Parallelen zu dem der erfolgreichen und nicht erfolgreichen Proband/innen. Es wird also die Vermutung gefestigt, dass eine erhöhte visuelle Aufmerksamkeit auf den strukturtragenden Elementen der Aufgabe Schwierigkeiten in deren Verarbeitung aufzeigt, anstatt dass diese für die Relationsbildung notwendig ist. Bisher wurde noch kein *Maß an visueller Aufmerksamkeit* definiert, dass den AOIs für eine erfolgreiche Anaphernauflösung geschenkt werden muss, jedoch scheint diese tendenziell niedrig zu sein, da sowohl starke Leser/innen als auch erfolgreiche Löser/innen in Ansätzen ein solches Leseverhalten zeigen.

3.5. Zusammenfassung und Einordnung

Zusammenfassend können folgende Ergebnisse im Rahmen einer ersten Annährung an die Daten der Pilotstudie aufgeführt werden: Anknüpfend an die Erkenntnisse von Rayner et al. (2006) kann gesagt werden, dass nicht erfolgreiche Löser/innen in Bezug auf den *Patiens Erweitert* eine höhere Fixationsanzahl und mehr Revisits im Rahmen der erwartungswidrigen Aufgaben zeigen, da sie vermutlich Verarbeitungsprobleme bei der syntaktischen Aufgabenanalyse haben und diese so (erfolglos) kompensieren wollen. Sie richten ihre Aufmerksamkeit im Vergleich zu erfolgreichen Proband/innen stark auf den *PE*, was ihnen jedoch, vermutlich aufgrund der Schwerpunktlegung der *falschen* Worte innerhalb dieser AOI (z.B. „Bruder Felix“ statt „Ihrem“), keine Hilfe ist. Diese Beobachtung muss jedoch in weiteren Analysen geprüft werden. Die Analyse der weiteren für diese Arbeit relevanten AOIs erbrachten keine zulässigen signifikanten Ergebnisse. Entgegen der an Rayner et al. (2006) angelehnten Hypothese, erwartungswidrige Aufgaben seien für Schüler/innen schwieriger zu lösen und benötigten eine vermehrte visuelle Aufmerksamkeit für eine erfolgreiche Lösung, konnte für diesen Datensatz kein signifikanter Zusammenhang zwischen einer

erwartungswidrigen Aufgabenstellung und einer längeren Aufgabenbearbeitungszeit (mit mehr Fixationen und Regressionen) oder dem erfolgreichen oder nicht erfolgreichen Lösen festgestellt werden. Vermutlich wird eine schwierige Aufgabe zur Zeit an dieser Stelle eher durch mathematische Faktoren bestimmt. Diese Vermutung muss überprüft werden. Jedoch kann festgehalten werden, dass eine erwartungswidrige Aufgabenstellung in dieser Aufnahmephase nicht die Ursache für eine erhöhte Fehleranzahl darstellt. Auch konnten bislang noch keine eindeutigen *typischen* Lösungsmuster für eine erfolgreiche oder nicht erfolgreiche Lösung von erwartungskonformen oder -widrigen Aufgaben identifiziert werden. So sind die von Hegarty et al. (1995) beschriebenen *problem model* und *direct-translation* Strategien bisher eher an Einzelbeispielen als gruppenübergreifend festzumachen. Einzelne Aspekte ihrer Beobachtungen sind jedoch auch im vorliegenden Blickverhalten zu erkennen. Die Aussage, erfolgreiche Löser/innen betrachten die relevanten Worte (Anaphern) häufiger als die nicht erfolgreichen, kann jedoch nicht bestätigt werden, da zwischen den nicht erweiterten AOIs und dem erfolgreichen oder nicht erfolgreichen Lösen kein signifikanter Zusammenhang festgestellt wurde. Auch der Zusammenhang zwischen einer hohen Lesekompetenz und der AOI-Fixationsdauer zeigt die Tendenz, dass starke Leser/innen diese strukturtragenden Worte weniger betrachten als schwache.

3.6. Diskussion und Ausblick

In Anbetracht dieser Ausführungen ist festzuhalten, dass die anfangs geäußerte Einschätzung zur Interpretation der Ergebnisse noch einmal betont werden muss. Im Rahmen der statistischen Analyse wurden zum Teil aufgrund fehlender Normalverteilungen unzulässige t-Tests gemacht und in die Analyse einbezogen. Auch die Eye-Tracking-Daten sind durch Aufnahmeschwierigkeiten oft sehr ungenau und mussten im einzelnen korrigiert werden. Weiterhin handelt es sich bei den beschriebenen qualitativen Erkenntnissen in vielen Fällen eher um Einzelbeispiele als um allgemeingültige Aussagen. Somit sind die Ergebnisse dieser Arbeit lediglich als erste Annäherung an die und Einschätzung der gewonnenen Daten der Pilotstudie zu betrachten, aus denen Schlüsse und Anregungen für den weiteren Studienverlauf gezogen werden können.

In Bezug auf die Stichprobe kann festgehalten werden, dass es sich hierbei um eine im Rahmen der Aufnahme nicht besonders starke Gruppe handelt. Die Aufgaben wurden trotz des Trainings dieses Aufgabentyps in der vorherigen Unterrichtsreihe und einem

Grundschul-Zahlenniveau in über der Hälfte der Fälle falsch gelöst. Die enorme Fehlerzahl, bei der ein großer Teil auch Fehler umfasst, die nicht die untersuchten sprachlichen Faktoren als Ursache haben, erschwert die Ergebnisanalyse und das Identifizieren möglicher Blickmuster bei der Anaphernauflösung. Grund für die hohe Fehlerzahl könnte das durch die Methode des Eye-Trackings geforderte Design darstellen. Den Schüler/innen war es nicht möglich, während der Aufgabenbearbeitung Notizen zu machen und Zwischenergebnisse zu notieren, da sie für die Messung ihrer Augenbewegungen durchgängig auf den Monitor schauen mussten. Da sie im Mathematikunterricht normalerweise jedoch dazu aufgefordert werden, alle Lösungsschritte zu notieren, weicht die gestellte Situation enorm von den natürlichen Bedingungen ihrer sonstigen Aufgabenbearbeitung ab. Als alternative Durchführungsweise kann hier eine Eye-Tracking-Brille für weitere Aufnahmen empfohlen werden, da sie den Schüler/innen ermöglicht, die Aufgaben auf dem Papier zu lösen. Eine andere Möglichkeit wäre die extreme Vereinfachung der Aufgaben. Die aufgabeninhärente Zweischrittigkeit erfordert von den Proband/innen während des Lösungsprozesses das Speichern vieler Informationen, da dort zwei Rechenstränge behandelt und schließlich verbunden werden müssen. Hierbei wird das Arbeitsgedächtnis vielen zusätzlichen Anforderungen ausgesetzt, die die hier relevanten Schwierigkeiten des Leseprozesses (z.B. das oben beschriebene Zuordnen der Anaphern) zusätzlich erschweren oder sogar überdecken. Ein lediglich lineares Rechnen ist daher für das gegebene Design angemessener. Auch kann eine Vereinfachung der Zahlen vorgenommen werden, da so der Fokus auf die sprachlichen Lösungselemente geschärft würde. Eine zusätzliche, im Vorfeld durchgeführte Messung des Arbeitsgedächtnisses könnte außerdem als weiteres lösungsbeeinflussendes Kriterium für die Analyse betrachtet werden, da eine geringe Arbeitsspeicherkapazität ebenfalls als eine die Anaphernresolution beeinträchtigende Variable gilt und somit Erklärungen für eine nicht gelingende Auflösung liefern kann. Vor allem die doppelte Belastung der mathematischen (Zweischrittigkeit) und sprachlichen Faktoren (Einordnung der anaphorischen Bezüge in den syntaktischen Analysebaum) kommen hier neben den Bearbeitungsphasen der Textaufgabe (lösungsrelevante Elemente auswählen, speichern und bearbeiten) vor allem in den letzten Aufgaben zum Tragen und scheinen eine zu hohe Anforderung darzustellen. Die im Unterricht gelernte Thematik kann so scheinbar durch die Fülle der Anforderungen oft nicht umgesetzt werden. In diesem Zuge ist auch die Betrachtung des sozioökonomischen Status der Proband/innen von großer

Bedeutung, da dieser die Leistungen des Arbeitsgedächtnisses beeinflusst und Ursache einer schwachen Lesekompetenz sein kann. Neben der Testung von schon sensibilisierten Schüler/innen sollen im weiteren Verlauf der Studie ebenfalls nicht sensibilisierte Kinder getestet werden. Auch soll eine weitere sensibilisierte Gruppe betrachtet werden, da das erfolgte Training in dem vorliegenden Fall schon einige Monate zurück liegt und somit für die Schüler/innen nicht mehr zugreifbar sein kann. Eine Testung vor und nach der Sensibilisierung (Prä- und Post-Test) kann weiterhin aufschlussreiche Analysedaten liefern. Darüber hinaus ist eine größere Stichprobenanzahl für die weiteren Analysen erstrebenswert, um allgemeingültigere Aussagen treffen zu können. Wichtig ist außerdem für die weitere Durchführung, für ein angemessenes Aufnahmeklima zu sorgen, sodass die Eye-Tracking-Daten nicht unnötig durch Störungen während der Aufnahme oder schlechte technische Bedingungen beeinträchtigt werden. Weiterhin muss mit Nachdruck betont werden, dass es für die Fragestellung des Projektes wesentlich ist, weitere Erkenntnisse über die Zusammenhänge zwischen dem ELFE-Lesetest und dem Blickverhalten der Schüler/innen zu gewinnen. Die Ergebnisse dieses Testes reflektieren die Lesekompetenzleistungen der Kinder und sind somit zentral für das Forschungsinteresse. Die darauf basierende Einteilung in *starke* und *schwache Schüler/innen* stellt so ein wichtiges Kriterium dar und wurde bisher zu wenig betrachtet.

In Bezug auf das Material ist es von höchster Relevanz, von einer vollrandomisierten Zuteilung der Items abzusehen. In diesem Aufnahmezyklus ist es nur *Zufall*, dass jede/r Proband/in mindestens eine erwartungswidrige Aufgabe erhalten hat. Schüler/innen, die lediglich erwartungskonforme Aufgaben (also Kontrollfragen) bearbeitet haben, hätten von der Analyse ausgeschlossen werden müssen. P13 hat im vorliegenden Fall lediglich erwartungswidrige Aufgaben bearbeitet und jedes Item nicht erfolgreich gelöst. Dies kann hier jedoch nicht eindeutig ausgewertet werden, da kein Vergleich mit einem erwartungskonformen Lösungsprozess möglich ist. Des Weiteren haben nur drei Proband/innen jeden Aufgabentyp einmal bearbeitet. Im Rahmen der statistischen Analyse kann zudem nicht klar definiert werden, ob die Aussagen über die jeweiligen Aufgaben durch die sie bearbeitende Gruppe zu erklären sind, da manche Kinder in einzelnen Gruppen mehrfach gewichtet wurden. Für den weiteren Verlauf der Studie sollen Listen erstellt werden, in denen eine gleichmäßige Zuteilung der erwartungskonformen und -widrigen Aufgaben gewährleistet sein soll. Außerdem soll

die Anzahl der kritischen AOIs durch das Hinzufügen weiterer Aufgaben erhöht werden, in denen jeweils durchgängig die gleichen AOIs auftauchen.

Zudem sollen für die nächste Aufnahmephase der Studie einige technische Verbesserungen vorgenommen werden. Die AOIs des *Patiens* und *Agens* im entscheidenden Satz sind räumlich betrachtet sehr nah an der ebenfalls für die Aufgabe sehr relevanten Zahl platziert. Außerdem sind die genannten Aufgabenelemente von sehr geringer Größe (z.B. umfassen „er“ und „8“ nur wenige Zeichen). So ist es zum Teil kaum möglich, eine eindeutige Deutung der Blickaufnahmen zu treffen. Aufgrund eventueller Ungenauigkeiten der Messungen, die hier aufgrund einiger schlechter Kalibrierungswerte bestätigt werden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass z.B. eine Fixation, die in der AOI der Anapher gezählt wird, ursprünglich der direkt daneben liegenden Zahl galt (oder umgekehrt) und somit das eigentliche Blickverhalten nicht korrekt gewertet wurde. Als mögliche Verbesserung kann hier das Einfügen eines zusätzlichen Wortes zwischen der Zahl und der Anapher überlegt werden, sodass eine eindeutige Wertung möglich wird (z.B. „Seiner Schwester Marie gibt er *freiwillig* 8 Bonbons ab.“). In der Unterscheidung zwischen erweiterten und nicht erweiterten AOIs für *Agens* und *Patiens* wird die Beibehaltung beider Formen nahegelegt, da diese in einzelnen Fällen wichtige Informationen über das Leseverhalten der Kinder offengelegt hat. Es soll im weiteren Forschungsverlauf weiterführend betrachtet werden, in welchem Zusammenhang die AOIs untereinander stehen, da dies bisher nur in Anbetracht der Proband/innenleistungen analysiert wurde (z.B. Werden *Patiens* und *Agens* in einer Aufgabe gleich oft betrachtet? Wird der *Agens/Patiens* öfter betrachtet als der *Agens Erweitert/Patiens Erweitert*?). Die Betrachtung der Revisit- und Fixation count-Daten haben sich weitgehend als angemessen für die Analyse erwiesen und sollen auch in der weiteren Studie hinzugezogen werden.

4. Fazit

Abschließend kann gesagt werden, dass in dieser Arbeit einige wichtige Erkenntnisse für den weiteren Verlauf der Studie festgehalten werden konnten. Einige Komplikationen im bisherigen Design der Pilotstudie wurden zur Sprache gebracht und im Hinblick auf zielführende Änderungen betrachtet. Zum Beispiel wurde deutlich, dass die Beeinflussung mathematischer Faktoren einen sehr dominanten Einfluss auf das Lösungsverhalten der Schüler/innen hatte. Um die Ausgangsfragestellung des Projektes

beantworten zu können, müssen in Zukunft also hier Änderungen vorgenommen werden. Vor allem muss hierfür eine stärkere Betrachtung der Lesekompetenz der Kinder erfolgen, da bisher hauptsächlich die Zusammenhänge zwischen der erfolgreichen Aufgabenlösung und dem Blickverhalten thematisiert wurden. Die Ergebnisse dieser Arbeit erlauben aufgrund der Datenlage noch keine endgültigen Aussagen über das unterschiedliche Blickverhalten von erfolgreichen und nicht erfolgreichen Textaufgabenlöser/innen oder starken und schwachen Leser/innen in Bezug auf die Anaphernauflösung in erwartungswidrigen und erwartungskonformen Aufgaben. Die im einzelnen zu beobachtenden Tendenzen lassen jedoch vermuten, dass erfolgreiche Proband/innen im Vergleich zu nicht erfolgreichen weniger visuelle Aufmerksamkeit auf die relevanten sprachlichen Aufgabenelemente fokussieren, da diese schnell erkannt und verarbeitet werden können.

Auch in der vorliegenden Untersuchung ist eine sehr hohe Fehlerquote beim Lösen mathematischer Textaufgaben zu beobachten, was die Relevanz der beschriebenen Thematik unterstreicht. Durch die Analyse der von den Schüler/innen gemachten Fehler wird auch weiterhin versucht, die genauen sprachlichen Ursachen hierfür zu ergründen, um anschließend geeignete Fördermaßnahmen für den Unterricht entwickeln zu können. Das Ende dieser Arbeit stellt somit erst den Beginn der konkreten Fragestellungslösung dar und

5. Literaturverzeichnis

Abedi, Jamal/Lord, Carol (2001): The Language Factor in Mathematics Tests. In: Applied Measurement in Education 14, S. 219-234.

Averintseva-Klisch, Maria (2013): Textkohärenz. Heidelberg: Universitätsverlag Winter.

Bescherer, Christine/Papadopoulou, Pelagia (2017): (Sprach-)Förderung beim Bearbeiten von Text- und Sachaufgaben im Mathematikunterricht der Sekundarstufe I. In: Leiss, Dominik/Hagena, Maike/Neumann, Astrid/Schwippert, Knut (Hg.): Mathematik und Sprache. Empirischer Forschungsstand und unterrichtliche Herausforderungen. Münster: Waxmann Verlag, S. 127-146.

Blake, Christopher (2013): Eye-Tracking: Grundlagen und Anwendungsfelder. In: Möhring, Wiebke/Schlütz, Daniela (Hg.): Handbuch standardisierte Erhebungsverfahren in der Kommunikationswissenschaft. Wiesbaden: Springer VS, S. 367-387.

Blum, Werner/Leiss, Dominik (2005): Modellieren im Unterricht mit der „Tanken"-Aufgabe. In: Mathematik lehren 128, S. 18-21.

Bryant, Doreen/Noschka, Nadine (2015): Personal- und Demonstrativpronomen im Sprachverstehensprozess. Untersuchungen zum Erwerb funktionaler Anapherndistribution bei DaM, DaF und DaZ. In: Klages, Hana/Pagonis, Giulio (Hg.): Linguistisch fundierte Sprachförderung und Sprachdidaktik: Grundlagen, Konzepte, Desiderate. Berlin/München/Boston: Walter de Gruyter, S. 17-46.

Cummins, Jim (2000): Language, Power and Pedagogy. Bilingual Children in the Crossfire. Clevedon: Multilingual Matters LTD.

Dell, Gary S./McKoon, Gail/Ratcliff, Roger (1983): The Activation of Antecedent Information during the Processing of Anaphoric Reference in Reading. In: Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour 22, S. 121-132.

Dewolf, Tinne/Van Dooren, Wim/Hermens, Frouke/Verschaffel, Lieven (2015): Do students attend to representational illustrations of non-standard mathematical word problems, and, if so, how helpful are they?. In: Instructional Science 43, S. 147-171.

Dietrich, Rainer/Gerwien, Johannes (2017): Psycholinguistik. Eine Einführung. 3. Aufl. Stuttgart: J. B. Metzler Verlag.

Dijkstra, Ton/Kempen, Gerard (1993): Einführung in die Psycholinguistik. Bern/ Göttingen/Toronto/Seattle: Verlag Hans Huber.

Duarte, Joana/Gogolin, Ingrid/Kaiser, Gabriele (2011): Sprachlich bedingte Schwierigkeiten von mehrsprachigen Schülerinnen und Schülern bei Textaufgaben. In: Prediger, Susanne/Özdil, Erkan (Hg.): Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung in Deutschland. Münster: Waxmann Verlag, S. 35-53.

Duden. Die Grammatik. Unentbehrlich für richtiges Deutsch. Bd. 4. 9., vollst. überarb. u. aktual. Aufl. 2016. Berlin: Dudenverlag.

Hegarty, Mary/Mayer, Richard E./Monk, Christopher A. (1995): Comprehension of Arithmetic Word Problems: A Comparison of Successful and Unsuccessful Problem Solvers. In: Journal of Educational Psychology 87, S. 18-32.

Holmqvist, Kenneth/Nyström, Marcus/Andersson, Richard/Dewhurst, Richard/ Jarodzka, Halszka/van de Weijer, Joost (2011): Eye Tracking. A Comprehensive Guide to Methods and Measures. Oxford: University Press.

Klages, Hana/Gerwien, Johannes (2015): Verstehen anaphorischer Personalpronomina im DaZ- und DaM-Erwerb. In: Klages, Hana/Pagonis, Giulio (Hg.): Linguistisch fundierte Sprachförderung und Sprachdidaktik. Grundlagen, Konzepte, Desiderate. Berlin/München/Boston: Walter de Gruyter, S. 71-98.

Knapp, Werner (2006): Sprachunterricht als Unterrichtsprinzip und Unterrichtsfach. In: Bredel, Ursula/Günther, Hartmut/Klotz, Peter/Ossner, Jakob/Siebert-Ott, Gesa (Hg.): Didaktik der deutschen Sprache – Band 2: Ein Handbuch. 2. Aufl. Paderborn: Verlag Ferdinand Schöningh, S. 589-601.

Lenhard, Wolfgang/Schneider, Wolfgang (2017). Ein Leseverständnistest für Erst- bis Sechstklässler (ELFE 1-6). <http://www.biss-sprachbildung.de/biss.html?seite=122&Id=9>. 07.03.2018

Maier, Hermann/Schweiger, Fritz (1999): Mathematik und Sprache. Zum Verstehen und Verwenden von Fachsprache im Mathematikunterricht. Wien: öbv & hpt Verlag.

Meyer, Michael/Tiedemann, Kerstin (2017): Sprache im Fach Mathematik. Berlin: Springer Spektrum.

Plath, Jennifer (2017): Das Anfertigen von Notizen bei der Bearbeitung von realitätsbezogenen Mathematikaufgaben. In: Leiss, Dominik/Hagena, Maike/Neumann, Astrid/Schwippert, Knut (Hg.): Mathematik und Sprache. Empirischer Forschungsstand und unterrichtliche Herausforderungen. Münster: Waxmann Verlag, S. 147-164.

Prediger, Susanne (2010): „Aber wie sag ich es mathematisch?“ – Empirische Befunde und Konsequenzen zum Lernen von Mathematik als Mittel zur Beschreibung von Welt. In: Höttecke, Dietmar (Hg.): Entwicklung naturwissenschaftlichen Denkens zwischen Phänomen und Systematik. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik, Jahrestagung in Dresden 2009. Berlin: LIT Verlag, S. 6-20.

Prediger, Susanne (2010a): Über das Verhältnis von Theorien und wissenschaftlichen Praktiken – am Beispiel von Schwierigkeiten mit Textaufgaben. In: Journal für Mathematik-Didaktik 31, S. 167-195.

Prediger, Susanne (2013): Darstellungen, Register und mentale Konstruktion von Bedeutungen und Beziehungen – mathematikspezifische sprachliche Herausforderungen identifizieren und bearbeiten. In: Becker-Mrotzek, Michael/Schramm, Karen/Thürmann, Eike/Vollmer, Helmut Johannes (Hg.): Sprache im Fach. Sprachlichkeit und fachliches Lernen. Münster: Waxmann Verlag, S. 167-183.

Prediger, Susanne/Wilhelm, Nadine/Büchter, Andreas/Gürsoy, Erkan/Benholz, Claudia (2015): Sprachkompetenz und Mathematikleistung – Empirische Untersuchung sprachlich bedingter Hürden in den Zentralen Prüfungen 10. In: Journal für Mathematik-Didaktik 36, S. 77-104.

Prediger, Susanne (2017): Auf sprachliche Heterogenität im Mathematikunterricht vorbereiten. Fokussierte Problemdiagnose und Förderansätze. In: Leuders, Juliane/Leuders, Timo/Prediger, Susanne/Ruwisch, Silke (Hg.): Mit Heterogenität im Mathematikunterricht umgehen lernen. Konzepte und Perspektiven für eine zentrale Anforderung an die Lehrerbildung. Wiesbaden: Springer Spektrum, S. 29-40.

Rayner, Keith/Chace, Kathryn H./Slattery, Timothy J./Ashby, Jane (2006): Eye Movements as Reflections of Comprehension Processes in Reading. In: Scientific Studies of Reading 3, S. 241-255.

Rösch, Heidi/Paetsch, Jennifer (2011): Sach- und Textaufgaben im Mathematik-unterricht als Herausforderung für mehrsprachige Kinder. In: Prediger, Susanne/Özdil, Erkan (Hg.): Mathematiklernen unter Bedingungen der Mehrsprachigkeit. Stand und Perspektiven der Forschung und Entwicklung in Deutschland. Münster: Waxmann Verlag, S. 55-76.

SensoMotoric Instruments (2017): BeGaze Manual. Version 3.7.

Slobin, Dan I. (1974): Einführung in die Psycholinguistik. Kronberg: Scriptor Verlag.

Stephany, Sabine (2017): Textkohärenz als Einflussfaktor beim Lösen mathematischer

Textaufgaben. In: Leiss, Dominik/Hagena, Maike/Neumann, Astrid/Schwippert, Knut (Hg.): Mathematik und Sprache. Empirischer Forschungsstand und unterrichtliche Herausforderungen. Münster: Waxmann Verlag, S. 43-61.

van der Schoot, Menno/Bakker Arkema, Annemieke H./Horsley, Tako M./van Lieshout, Ernest C.D.M. (2009): The consistency effect depends on markedness in less successful but not successful problem solvers: An eye movement study in primary school children. In: Contemporary Educational Psychology 34, S. 58-66.

Wilhelm, Nadine (2016): Zusammenhänge zwischen Sprachkompetenz und Bearbeitung mathematischer Textaufgaben. Quantitative und qualitative Analysen sprachlicher und konzeptueller Hürden. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

6. Anhang

A: Aufgaben

B: Aufgabenaufbau

C: Filler-Item

D: Aufgabenzuteilung

E: Fehlerklassifikation

F: ELFE-Lesetest

G: Aufgabenmethodik

H: Eidesstattliche Versicherung

A: Aufgaben

1A

Hanna und Ben sind Geschwister.
Hanna hat 18 Sticker
und Ben hat 12 Sticker.
Ihrem Bruder Ben gibt sie 4 Sticker ab.
Wie viele Sticker hat jeder?

1B

Hanna und Ben sind Geschwister.
Hanna hat 18 Sticker
und Ben hat 12 Sticker.
Ihr Bruder Ben gibt ihr 4 Sticker ab.
Wie viele Sticker hat jeder?

1C

Hanna und Ben sind Geschwister.
Hanna hat 18 Sticker
und Ben hat 12 Sticker.
Seine Schwester Hanna gibt ihm 4 Sticker ab.
Wie viele Sticker hat jeder?

1D

Hanna und Ben sind Geschwister.
Hanna hat 18 Sticker
und Ben hat 12 Sticker.
Seiner Schwester Hanna gibt er 4 Sticker ab.
Wie viele Sticker hat jeder?

2A

Jonas und Emma sind Freunde.
Emma hat 43 €
und Jonas hat 35 €.
Ihrem Freund Jonas gibt sie 21 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

2B

Jonas und Emma sind Freunde.
Emma hat 43 €
und Jonas hat 35 €.
Ihr Freund Jonas gibt ihr 21 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

2C

Jonas und Emma sind Freunde.
Emma hat 43 €
und Jonas hat 35 €.
Seine Freundin Emma gibt ihm 21 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

2D

Jonas und Emma sind Freunde.
Emma hat 43 €
und Jonas hat 35 €.
Seiner Freundin Emma gibt er 21 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

3A

Lea und Felix sind Freunde
und vergleichen ihre DVD Sammlungen.
Lea hat 17 DVDs
und Felix hat 11 DVDs.
Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs.
Ihrem Freund Felix gibt sie 5 DVDs ab.
Wie viele DVDs hat jeder?

3B

Lea und Felix sind Freunde
und vergleichen ihre DVD Sammlungen.
Lea hat 17 DVDs
und Felix hat 11 DVDs.
Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs.
Ihr Freund Felix gibt ihr 5 DVDs ab.
Wie viele DVDs hat jeder?

3C

Lea und Felix sind Freunde
und vergleichen ihre DVD Sammlungen.
Lea hat 17 DVDs
und Felix hat 11 DVDs.
Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs.
Seine Freundin Lea gibt ihm 5 DVDs ab.
Wie viele DVDs hat jeder?

3D

Lea und Felix sind Freunde
und vergleichen ihre DVD Sammlungen.
Lea hat 17 DVDs
und Felix hat 11 DVDs.
Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs.
Seiner Freundin Lea gibt er 5 DVDs ab.
Wie viele DVDs hat jeder?

4A

Lukas und Klara sind Geschwister.
Lukas hat 45 €
und Klara hat 27 €.
Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €.
Ihrem Bruder Lukas gibt sie 12 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

4B

Lukas und Klara sind Geschwister.
Lukas hat 45 €
und Klara hat 27 €.
Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €.
Ihr Bruder Lukas gibt ihr 12 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

4C

Lukas und Klara sind Geschwister.
Lukas hat 45 €
und Klara hat 27 €.
Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €.
Seine Schwester Klara gibt ihm 12 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

4D

Lukas und Klara sind Geschwister.
Lukas hat 45 €
und Klara hat 27 €.
Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €.
Seiner Schwester Klara gibt er 12 € ab.
Wie viel Geld hat jeder?

5A

Marie und Paul sind Geschwister
und kaufen sich Bonbons.
In jeder Tüte sind 10 Bonbons.
Paul kauft 2 Tüten
und Marie kauft 3 Tüten.
Ihrem Bruder Paul gibt sie 8 Bonbons ab.
Wie viele Bonbons hat jeder?

5B

Marie und Paul sind Geschwister
und kaufen sich Bonbons.
In jeder Tüte sind 10 Bonbons.
Paul kauft 2 Tüten
und Marie kauft 3 Tüten.
Ihr Bruder Paul gibt ihr 8 Bonbons ab.
Wie viele Bonbons hat jeder?

5C

Marie und Paul sind Geschwister
und kaufen sich Bonbons.
In jeder Tüte sind 10 Bonbons.
Paul kauft 2 Tüten
und Marie kauft 3 Tüten.
Seine Schwester Marie gibt ihm 8 Bonbons ab.
Wie viele Bonbons hat jeder?

5D

Marie und Paul sind Geschwister
und kaufen sich Bonbons.
In jeder Tüte sind 10 Bonbons.
Paul kauft 2 Tüten
und Marie kauft 3 Tüten.
Seiner Schwester Marie gibt er 8 Bonbons ab.
Wie viele Bonbons hat jeder?

6A

Leon und Sofia sind Freunde
und kaufen sich Schulhefte.
In jedem Paket sind 5 Schulhefte.
Leon kauft 7 Pakete
und Sofia kauft 5 Pakete.
Ihrem Freund Leon gibt sie 11 Hefte ab.
Wie viele Hefte hat jeder?

6B

Leon und Sofia sind Freunde
und kaufen sich Schulhefte.
In jedem Paket sind 5 Schulhefte.
Leon kauft 7 Pakete
und Sofia kauft 5 Pakete.
Ihr Freund Leon gibt ihr 11 Hefte ab.
Wie viele Hefte hat jeder?

6C

Leon und Sofia sind Freunde
und kaufen sich Schulhefte.
In jedem Paket sind 5 Schulhefte.
Leon kauft 7 Pakete
und Sofia kauft 5 Pakete.
Seine Freundin Sofia gibt ihm 11 Hefte ab.
Wie viele Hefte hat jeder?

6D

Leon und Sofia sind Freunde
und kaufen sich Schulhefte.
In jedem Paket sind 5 Schulhefte.
Leon kauft 7 Pakete
und Sofia kauft 5 Pakete.
Seiner Freundin Sofia gibt er 11 Hefte ab.
Wie viele Hefte hat jeder?

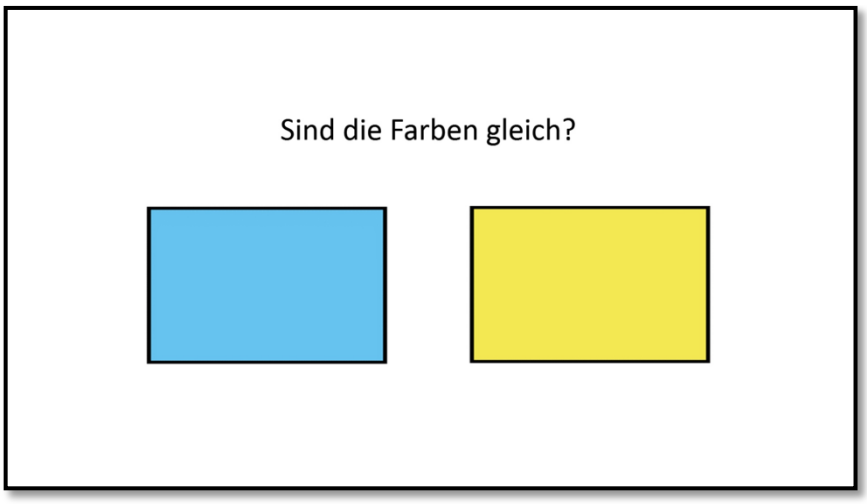
B: Aufgabenaufbau

Aufgabe		Aufgabentext + Rechnung			
1		Hanna und Ben sind Geschwister.			
		Hanna hat 18 Sticker und Ben hat 12 Sticker.			
		-			
		A	B	C	D
		Ihrem Bruder Ben gibt sie 4 Sticker ab.	Ihr Bruder Ben gibt ihr 4 Sticker ab.	Seine Schwester Hanna gibt ihm 4 Sticker ab.	Seiner Schwester Hanna gibt er 4 Sticker ab.
	1. Schritt	W: 18 – 4 = 14 M: 12 + 4 = 16	W: 18 + 4 = 22 M: 12 – 4 = 8	W: 18 – 4 = 14 M: 12 + 4 = 16	W: 18 + 4 = 22 M: 12 – 4 = 8
	2. Schritt	-	-	-	-
		Wie viele Sticker hat jeder?			
2		Jonas und Emma sind Freunde.			
		Emma hat 43 € und Jonas hat 35 €.			
		-			
		A	B	C	D
		Ihrem Freund Jonas gibt sie 21 € ab.	Ihr Freund Jonas gibt ihr 21 € ab.	Seine Freundin Emma gibt ihm 21 € ab.	Seiner Freundin Emma gibt er 21 € ab.
	1. Schritt	W: 43 – 21 = 22 M: 35 + 21 = 56	W: 43 + 21 = 64 M: 35 – 21 = 14	W: 43 – 21 = 22 M: 35 + 21 = 56	W: 43 + 21 = 64 M: 35 – 21 = 14
	2. Schritt	-	-	-	-
		Wie viel Geld hat jeder?			

<table>
<tr><td rowspan="7">3</td><td></td><td colspan="4">Lea und Felix sind Freunde und vergleichen ihre DVD Sammlungen.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Lea hat 17 DVDs und Felix hat 11 DVDs.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs.</td></tr>
<tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr>
<tr><td></td><td>Ihrem Freund Felix gibt sie 5 DVDs ab.</td><td>Ihr Freund Felix gibt ihr 5 DVDs ab.</td><td>Seine Freundin Lea gibt ihm 5 DVDs ab.</td><td>Seiner Freundin Lea gibt er 5 DVDs ab.</td></tr>
<tr><td>1. Schritt</td><td></td><td colspan="2">11 + 8 = 19</td><td></td></tr>
<tr><td>2. Schritt</td><td>W: 17 – 5 = 12
M: 19 + 5 = 24</td><td>W: 17 + 5 = 22
M: 19 – 5 = 14</td><td>W: 17 – 5 = 12
M: 19 + 5 = 24</td><td>W: 17 + 5 = 22
M: 19 – 5 = 14</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Wie viele DVDs hat jeder?</td></tr>
<tr><td rowspan="7">4</td><td></td><td colspan="4">Lukas und Klara sind Geschwister.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Lukas hat 45 € und Klara hat 27 €.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €.</td></tr>
<tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr>
<tr><td></td><td>Ihrem Bruder Lukas gibt sie 12 € ab.</td><td>Ihr Bruder Lukas gibt ihr 12 € ab.</td><td>Seine Schwester Klara gibt ihm 12 € ab.</td><td>Seiner Schwester Klara gibt er 12 € ab.</td></tr>
<tr><td>1. Schritt</td><td></td><td colspan="2">27 + 35 = 62</td><td></td></tr>
<tr><td>2. Schritt</td><td>W: 62 – 12 = 50
M: 45 + 12 = 57</td><td>W: 62 + 12 = 74
M: 45 – 12 = 33</td><td>W: 62 – 12 = 50
M: 45 + 12 = 57</td><td>W: 62 + 12 = 74
M: 45 – 12 = 33</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Wie viel Geld hat jeder?</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td rowspan="7">5</td><td></td><td colspan="4">Marie und Paul sind Geschwister und kaufen sich Bonbons.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">In jeder Tüte sind 10 Bonbons.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Paul kauft 2 Tüten und Marie kauft 3 Tüten.</td></tr>
<tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr>
<tr><td></td><td>Ihrem Bruder Paul gibt sie 8 Bonbons ab.</td><td>Ihr Bruder Paul gibt ihr 8 Bonbons ab.</td><td>Seine Schwester Marie gibt ihm 8 Bonbons ab.</td><td>Seiner Schwester Marie gibt er 8 Bonbons ab.</td></tr>
<tr><td>1. Schritt</td><td></td><td colspan="2">W: 3 x 10 = 30
M: 2 x 10 = 20</td><td></td></tr>
<tr><td>2. Schritt</td><td>W: 30 – 8 = 22
M: 20 + 8 = 28</td><td>W: 30 + 8 = 38
M: 20 – 8 = 12</td><td>W: 30 – 8 = 22
M: 20 + 8 = 28</td><td>W: 30 + 8 = 38
M: 20 – 8 = 12</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Wie viele Bonbons hat jeder?</td></tr>
<tr><td rowspan="7">6</td><td></td><td colspan="4">Leon und Sofia sind Freunde und kaufen sich Schulhefte.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">In jedem Paket sind 5 Schulhefte.</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Leon kauft 7 Pakete und Sofia kauft 5 Pakete.</td></tr>
<tr><td></td><td>A</td><td>B</td><td>C</td><td>D</td></tr>
<tr><td></td><td>Ihrem Freund Leon gibt sie 11 Hefte ab.</td><td>Ihr Freund Leon gibt ihr 11 Hefte ab.</td><td>Seine Freundin Sofia gibt ihm 11 Hefte ab.</td><td>Seiner Freundin Sofia gibt er 11 Hefte ab.</td></tr>
<tr><td>1. Schritt</td><td></td><td colspan="2">W: 5 x 5 = 25
M: 7 x 5 = 35</td><td></td></tr>
<tr><td>2. Schritt</td><td>W: 25 – 11 = 14
M: 35 + 11 = 46</td><td>W: 25 + 11 = 36
M: 35 – 11 = 24</td><td>W: 25 – 11 = 14
M: 35 + 11 = 46</td><td>W: 25 + 11 = 36
M: 35 – 11 = 24</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="4">Wie viele Hefte hat jeder?</td></tr>
</table>

C: Filler-Item



D: Aufgabenzuteilung

Proband/in	Aufgabe 1			Aufgabe 2		
	Variante	W	M	Variante	W	M
P01	A	WAHR	RF	B	WAHR	WAHR
P04	D	SM	SM	B	WAHR	RF
P06	A	WAHR	WAHR	C	WAHR	WAHR
P07	A	WAHR	WAHR	A	WAHR	WAHR
P08	C	WAHR	WAHR	C	RF	WAHR
P09	B	WAHR	WAHR	D	WAHR	WAHR
P10	D	WAHR	WAHR	A	WAHR	WAHR
P11	C	WAHR	WAHR	A	SM	SM
P12	A	WAHR	WAHR	B	SM / RF	SM / RF
P13	D	MF	KEIN AW	D	RF	WAHR
P14	A	WAHR	WAHR	A	WAHR	WAHR
P15	D	WAHR	WAHR	C	WAHR	WAHR
P16	B	WAHR	WAHR	B	WAHR	WAHR
P17	C	WAHR	WAHR	A	WAHR	WAHR
P18	D	SM	SM	D	VF	VF
P19	D	SM	SM	A	WAHR	WAHR
P20	D	SM	SM	C	WAHR	WAHR

Proband/in	Aufgabe 3			Aufgabe 4		
	Variante	W	M	Variante	W	M
P01	B	WAHR	WAHR	B	SOB	WAHR
P04	D	SM	SM	D	SM	SM
P06	C	WAHR	Q	D	SM / RF	SM
P07	A	WAHR	Q / RF	C	WAHR	WAHR
P08	D	WAHR	WAHR	C	SM / Q	SM / Q / RF
P09	B	WAHR	WAHR	C	WAHR	WAHR
P10	C	SM	SM	C	RF	WAHR
P11	D	SM	SM	C	SOB	RF
P12	D	RF	RF	B	SM	SM
P13	A	WAHR	KEINAW	A	VF	WAHR
P14	D	WAHR	WAHR	A	SM / Q	SM / Q / RF
P15	C	WAHR	RF	C	WAHR	WAHR
P16	B	WAHR	WAHR	C	SOB	WAHR
P17	A	WAHR	WAHR	D	VF / RF	VF / RF
P18	A	WAHR	WAHR	B	WAHR	WAHR
P19	D	WAHR	WAHR	C	WAHR	RF
P20	B	RF	WAHR	C	WAHR	WAHR

Proband/in	Aufgabe 5			Aufgabe 6		
	Variante	W	M	Variante	W	M
P01	A	WAHR	WAHR	C	RF	WAHR
P04	A	SM	SM	A	SM	SM / SOB / RF
P06	B	SM	SM	B	WAHR	WAHR
P07	D	WAHR	WAHR	B	WAHR	WAHR
P08	C	WAHR	WAHR	D	WAHR	RF
P09	C	VF	SM / RF	D	WAHR	WAHR
P10	A	WAHR	WAHR	B	Q	Q
P11	D	WAHR	SOB	B	WAHR	SOB
P12	D	SM / RF	SM	B	WAHR	SOB
P13	D	SOB / SM	SM	D	MF	MF
P14	B	RF	SOB	C	Q	WAHR
P15	D	WAHR	WAHR	C	WAHR	WAHR
P16	B	VF	VF	A	VF	VF
P17	A	SM	SM	A	RF	SOB
P18	B	WAHR	WAHR	D	SM	SM
P19	C	WAHR	WAHR	B	WAHR	WAHR
P20	D	SM	SM	D	SM	SM

E: Fehlerklassifikation

- **RF** = Rechenfehler
  → Für jede Aufgabe: Abweichungen beim Zehnerübergang, in der Anzahl der Zehner oder Einer
- **MF** = sonstige Mathematisierungsfehler
  → Für jede Aufgabe: nicht zuzuordnende Fehler oder Fehler in der Situationsmodellbildung/Mathematisierung grundlegender Art
- **SOB** = Subjekt-Objekt-Beziehung richtig erkannt, aber mathematisch nur bei Subjekt oder Objekt verarbeitet
- **VF** = Vertauschungsfehler
- **SM** = Fehler im Situationsmodell
- **Q** = Mathematische Quantifikatoren

Aufgabe	**Richtiges Ergebnis**	**SOB**	**VF**	**SM**	**Q**
1A	Hanna: 14 Ben: 16	Hanna: 14 Ben: 12 Oder: Hanna: 18 Ben: 16	Hanna: 16 Ben: 14	Hanna: 22 Ben: 8	-
	Hanna und Ben sind Geschwister. Hanna hat 18 Sticker und Ben hat 12 Sticker. Ihrem Bruder Ben gibt sie 4 Sticker ab. Wie viele Sticker hat jeder?				
1B	Hanna: 22 Ben: 8	Hanna: 22 Ben: 12 Oder: Hanna: 18 Ben: 8	Hanna: 8 Ben: 22	Hanna: 14 Ben: 16	-
	Hanna und Ben sind Geschwister. Hanna hat 18 Sticker und Ben hat 12 Sticker. Ihr Bruder Ben gibt ihr 4 Sticker ab. Wie viele Sticker hat jeder?				
1C	Hanna: 14 Ben: 16	Hanna: 14 Ben: 12 Oder: Hanna: 18 Ben: 16	Hanna: 16 Ben: 14	Hanna: 22 Ben: 6	-
	Hanna und Ben sind Geschwister. Hanna hat 18 Sticker und Ben hat 12 Sticker. Seine Schwester Hanna gibt ihm 4 Sticker ab. Wie viele Sticker hat jeder?				

1D	Hanna: 22 Ben: 8	Hanna: 22 Ben: 12 Oder: Hanna: 18 Ben: 8	Hanna: 8 Ben: 22	Hanna: 14 Ben: 16	-
	Hanna und Ben sind Geschwister. Hanna hat 18 Sticker und Ben hat 12 Sticker. Seiner Schwester Hanna gibt er 4 Sticker ab. Wie viele Sticker hat jeder?				

Auf-gabe	**Richtiges Ergebnis**	**SOB**	**VF**	**SM**	**Q**
2A	Emma: 22 Jonas: 56	Emma: 22 Jonas: 35 Oder: Emma: 43 Jonas: 21	Emma: 56 Jonas: 22	Emma: 64 Jonas: 14	-
	Jonas und Emma sind Freunde. Emma hat 43 € und Jonas hat 35 €. Ihrem Freund Jonas gibt sie 21 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				
2B	Emma: 64 Jonas: 14	Emma: 64 Jonas: 35 Oder: Emma: 43 Jonas: 14	Emma: 14 Jonas: 64	Emma: 22 Jonas: 56	-
	Jonas und Emma sind Freunde. Emma hat 43 € und Jonas hat 35 €. Ihr Freund Jonas gibt ihr 21 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				
2C	Emma: 22 Jonas: 56	Emma: 22 Jonas: 35 Oder: Emma: 43 Jonas: 21	Emma: 56 Jonas: 22	Emma: 64 Jonas: 14	-
	Jonas und Emma sind Freunde. Emma hat 43 € und Jonas hat 35 €. Seine Freundin Emma gibt ihm 21 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				
2D	Emma: 64 Jonas: 14	Emma: 64 Jonas: 35 Oder: Emma: 43 Jonas: 14	Emma: 14 Jonas: 64	Emma: 22 Jonas: 56	-
	Jonas und Emma sind Freunde. Emma hat 43 € und Jonas hat 35 €. Seiner Freundin Emma gibt er 21 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				

Auf-gabe	Richtiges Ergebnis	SOB	VF	SM	Q
3A	Lea: 12 Felix: 24	Lea: 12 Felix: 11 Oder: Lea: 14 Felix: 8	Lea: 24 Felix: 12	Lea: 22 Felix: 12	Bei Felix *8 DVDs* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lea *8 DVDs* dazu gerechnet.
	Lea und Felix sind Freunde und vergleichen ihre DVD Sammlungen. Lea hat 17 DVDs und Felix hat 11 DVDs. Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs. Ihrem Freund Felix gibt sie 5 DVDs ab. Wie viele DVDs hat jeder?				
3B	Lea: 22 Felix: 14	Lea: 22 Felix: 19 Oder: Lea: 17 Felix: 14	Lea: 14 Felix: 22	Lea: 12 Felix: 24	Bei Felix *8 DVDs* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lea *8 DVDs* dazu gerechnet.
	Lea und Felix sind Freunde und vergleichen ihre DVD Sammlungen. Lea hat 17 DVDs und Felix hat 11 DVDs. Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs. Ihr Freund Felix gibt ihr 5 DVDs ab. Wie viele DVDs hat jeder?				
3C	Lea: 12 Felix: 24	Lea: 12 Felix: 11 Oder: Lea: 14 Felix: 8	Lea: 24 Felix: 12	Lea: 22 Felix: 12	Bei Felix *8 DVDs* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lea *8 DVDs* dazu gerechnet.
	Lea und Felix sind Freunde und vergleichen ihre DVD Sammlungen. Lea hat 17 DVDs und Felix hat 11 DVDs. Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs. Seine Freundin Lea gibt ihm 5 DVDs ab. Wie viele DVDs hat jeder?				
3D	Lea: 22 Felix: 14	Lea: 22 Felix: 19 Oder: Lea: 17 Felix: 14	Lea: 14 Felix: 22	Lea: 12 Felix: 24	Bei Felix *8 DVDs* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lea *8 DVDs* dazu gerechnet.
	Lea und Felix sind Freunde und vergleichen ihre DVD Sammlungen. Lea hat 17 DVDs und Felix hat 11 DVDs. Felix kauft sich zusätzlich 8 DVDs. Seiner Freundin Lea gibt er 5 DVDs ab. Wie viele DVDs hat jeder?				

Auf-gabe	Richtiges Ergebnis	SOB	VF	SM	Q
4A	Lukas: 57 Klara: 50	Lukas: 57 Klara: 62 Oder: Lukas: 45 Klara: 50	Lukas: 50 Klara: 57	Lukas: 33 Klara: 74	Bei Klara *35 €* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lukas *35 €* dazu gerechnet.
	Lukas und Klara sind Geschwister. Lukas hat 45 € und Klara hat 27 €. Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €. Ihrem Bruder Lukas gibt sie 12 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				
4B	Lukas: 33 Klara: 74	Lukas: 33 Klara: 62 Oder: Lukas: 45 Klara: 74	Lukas: 74 Klara: 33	Lukas: 57 Klara: 50	Bei Klara *35 €* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lukas *35 €* dazu gerechnet.
	Lukas und Klara sind Geschwister. Lukas hat 45 € und Klara hat 27 €. Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €. Ihr Bruder Lukas gibt ihr 12 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				
4C	Lukas: 57 Klara: 50	Lukas: 57 Klara: 62 Oder: Lukas: 45 Klara: 50	Lukas: 50 Klara: 57	Lukas: 33 Klara: 74	Bei Klara *35 €* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lukas *35 €* dazu gerechnet.
	Lukas und Klara sind Geschwister. Lukas hat 45 € und Klara hat 27 €. Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €. Seine Schwester Klara gibt ihm 12 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				
4D	Lukas: 33 Klara: 74	Lukas: 33 Klara: 62 Oder: Lukas: 45 Klara: 74	Lukas: 74 Klara: 33	Lukas: 57 Klara: 50	Bei Klara *35 €* nicht dazu gerechnet. Oder: Bei Lukas *35 €* dazu gerechnet.
	Lukas und Klara sind Geschwister. Lukas hat 45 € und Klara hat 27 €. Klara bekommt von ihren Eltern noch 35 €. Seiner Schwester Klara gibt er 12 € ab. Wie viel Geld hat jeder?				

Aufgabe	Richtiges Ergebnis	SOB	VF	SM	Q
5A	Paul: 28 Marie: 22	Paul: 28 Marie: 30 Oder: Paul: 20 Marie: 22	Paul: 22 Marie: 28	Paul: 12 Marie: 38	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt
	Marie und Paul sind Geschwister und kaufen sich Bonbons. In jeder Tüte sind 10 Bonbons. Paul kauft 2 Tüten und Marie kauft 3 Tüten. Ihrem Bruder Paul gibt sie 8 Bonbons ab. Wie viele Bonbons hat jeder?				
5B	Paul: 12 Marie: 38	Paul: 12 Marie: 30 Oder: Paul: 20 Marie: 38	Paul: 38 Marie: 12	Paul: 28 Marie: 22	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt
	Marie und Paul sind Geschwister und kaufen sich Bonbons. In jeder Tüte sind 10 Bonbons. Paul kauft 2 Tüten und Marie kauft 3 Tüten. Ihr Bruder Paul gibt ihr 8 Bonbons ab. Wie viele Bonbons hat jeder?				
5C	Paul: 28 Marie: 22	Paul: 28 Marie: 30 Oder: Paul: 20 Marie: 22	Paul: 22 Marie: 28	Paul: 12 Marie: 38	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt
	Marie und Paul sind Geschwister und kaufen sich Bonbons. In jeder Tüte sind 10 Bonbons. Paul kauft 2 Tüten und Marie kauft 3 Tüten. Seine Schwester Marie gibt ihm 8 Bonbons ab. Wie viele Bonbons hat jeder?				
5D	Paul: 12 Marie: 38	Paul: 12 Marie: 30 Oder: Paul: 20 Marie: 38	Paul: 38 Marie: 12	Paul: 28 Marie: 22	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt
	Marie und Paul sind Geschwister und kaufen sich Bonbons. In jeder Tüte sind 10 Bonbons. Paul kauft 2 Tüten und Marie kauft 3 Tüten. Seiner Schwester Marie gibt er 8 Bonbons ab. Wie viele Bonbons hat jeder?				

Auf-gabe	Richtiges Ergebnis	SOB	VF	SM	Q
6A	Leon: 47 Sofia: 14	Leon: 47 Sofia: 25 Oder Leon: 35 Sofia: 14	Leon: 14 Sofia: 47	Leon: 24 Sofia: 36	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt/ Oder: Die abgegebenen *11 Hefte* als Anzahl pro Paket gerechnet
	Leon und Sofia sind Freunde und kaufen sich Schulhefte. In jedem Paket sind 5 Schulhefte. Leon kauft 7 Pakete und Sofia kauft 5 Pakete. Ihrem Freund Leon gibt sie 11 Hefte ab. Wie viele Hefte hat jeder?				
6B	Leon: 24 Sofia: 36	Leon: 24 Sofia: 25 Oder Leon: 35 Sofia: 36	Leon: 36 Sofia: 24	Leon: 47 Sofia: 14	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt/ Oder: Die abgegebenen *11 Hefte* als Anzahl pro Paket gerechnet
	Leon und Sofia sind Freunde und kaufen sich Schulhefte. In jedem Paket sind 5 Schulhefte. Leon kauft 7 Pakete und Sofia kauft 5 Pakete. Ihr Freund Leon gibt ihr 11 Hefte ab. Wie viele Hefte hat jeder?				
6C	Leon: 47 Sofia: 14	Leon: 47 Sofia: 25 Oder Leon: 35 Sofia: 14	Leon: 14 Sofia: 47	Leon: 24 Sofia: 36	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt/ Oder: Die abgegebenen *11 Hefte* als Anzahl pro Paket gerechnet
	Leon und Sofia sind Freunde und kaufen sich Schulhefte. In jedem Paket sind 5 Schulhefte. Leon kauft 7 Pakete und Sofia kauft 5 Pakete. Seine Freundin Sofia gibt ihm 11 Hefte ab. Wie viele Hefte hat jeder?				

6D	Leon: 24 Sofia: 36	Leon: 24 Sofia: 25 Oder Leon: 35 Sofia: 36	Leon: 36 Sofia: 24	Leon: 47 Sofia: 14	*Jeder* nur bei einer Person berücksichtigt/ Oder: *Jeder* nicht berücksichtigt und Ergebnis nur für die Person bestimmt, die etwas bekommt/ Oder: Die abgegebenen *11 Hefte* als Anzahl pro Paket gerechnet
	Leon und Sofia sind Freunde und kaufen sich Schulhefte. In jedem Paket sind 5 Schulhefte. Leon kauft 7 Pakete und Sofia kauft 5 Pakete. Seiner Freundin Sofia gibt er 11 Hefte ab. Wie viele Hefte hat jeder?				

F: ELFE-Lesetest

Proband/in	**ELFE**			
	Prozentrang	**z-Wert**	**T-Wert**	**90% Konfidenz-interval**
P01	38,80	(-0.29)	47.1	32.9 - 43.7
P02	1,40	(-2.25)	27.5	0.1 - 2.7
P03	4,20	(-1.75)	32.5	1.9 - 6.4
P04	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
P05	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
P06	13,10	(-1.13)	38.7	9.2 - 16.7
P07	67,30	0.44	54.4	61.3 - 71.7
P08	38,80	(-0.29)	47.1	32.9 - 43.7
P09	6,50	(-1.53)	34.7	3.7 - 9.2
P10	13,10	(-1.13)	38.7	9.2 - 16.7
P11	1,90	(-2.12)	28.8	0.3 - 3.3
P12	48,60	(-0.04)	49.6	42.5 - 53.5
P13	28,00	(-0.59)	44.1	22.7 - 32.7
P14	59,80	0.24	52.4	53.7 - 64.5
P15	4,20	(-1.75)	32.5	1.9 - 6.4
P16	38,80	(-0.29)	47.1	32.9 - 43.7
P17	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
P18	19,40	(-0.88)	41.2	14.6 - 23.3
P19	48,60	(-0.04)	49.6	42.5 - 53.5
P20	19,40	(-0.88)	41.2	14.6 - 23.3
P21true	19,40	(-0.88)	41.2	14.6 - 23.3

G: Aufgabenmethodik

Komplexität		Aufgabe	Item	Aufgabentyp
Einschrittig Additiv	leicht	**1**	A	erwartungswidrig
			B	erwartungskonform
			C	erwartungskonform
			D	erwartungswidrig
	schwer	**2**	A	erwartungswidrig
			B	erwartungskonform
			C	erwartungskonform
			D	erwartungswidrig
Zweischrittig Additiv	leicht	**3**	A	erwartungswidrig
			B	erwartungskonform
			C	erwartungskonform
			D	erwartungswidrig
	schwer	**4**	A	erwartungswidrig
			B	erwartungskonform
			C	erwartungskonform
			D	erwartungswidrig
Zweischrittig Multiplikativ	leicht	**5**	A	erwartungswidrig
			B	erwartungskonform
			C	erwartungskonform
			D	erwartungswidrig
	schwer	**6**	A	erwartungswidrig
			B	erwartungskonform
			C	erwartungskonform
			D	erwartungswidrig