

Die Rolle von Schreibpausen bei der Prozessanalyse reproduktiver Schreibaufgaben

Von der Philosophischen Fakultät
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Philosophie (Dr. phil.) genehmigte
Dissertation

von Christian Weinzierl
geboren am 09.03.1974 in München

2013

Referent: Prof. Dr. Joachim Grabowski

Korreferentin: Prof. Dr. Elfriede Billmann-Mahecha

Tag der mündlichen Prüfung: 19.12.2012

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt allen Personen, die mich bei der Realisierung dieser Arbeit unterstützt haben. Mein Dank gilt dabei insbesondere meinem Doktorvater und Betreuer Prof. Dr. Joachim Grabowski sowie Prof. Dr. Elfriede Billmann-Mahecha. Ganz besonders danken möchte ich meinen beiden Mädels zu Hause, Christiane und Clara, die mir beide auf so viele Arten und Weisen eine Stütze sind. Ebenso danken möchte ich meinen Eltern Gertrud und Armin Weinzierl sowie – für anregende und hilfreiche Gespräche – Markus, Sarah, Nicole, Peter und Babsi.

Hinweis

In dieser Arbeit wird durchgehend die männliche Form verwendet, also auch dann, wenn Personen allgemein adressiert werden und auch die weibliche Form verwendet werden könnte. Dies geschieht lediglich aus Formulierungsgründen sowie zur besseren Lesbarkeit und ist in keinsten Weise wertend gemeint.

Zusammenfassung

Schriftsprachliche Vorlagen schnell und fehlerfrei zu übertragen, ist eine Anforderung, die im Schulalltag praktisch täglich vorkommt (z. B. beim Abschreiben mathematischer Gleichungen oder bei der Hausaufgabenerteilung). Effizientes Abschreiben lässt sich somit als eine wichtige Basisfähigkeit verstehen, an die zahlreiche weitere schulbezogene Anforderungen und Lernprozesse anknüpfen (z. B. Exzerpieren, Zusammenfassen). Bislang besteht jedoch wenig Verständnis darüber, welche kognitiven Prozesse und Strategien Grundschulern beim Erlernen des effizienten Einsatzes dieser Basisfertigkeit helfen. Es wird ein Prozessmodell des Abschreibens vorgestellt, in dem die kognitiven Prozesse des Schreibens erstmalig in Abhängigkeit von den Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses beschrieben werden. Vor diesem Hintergrund wird eine Studie vorgestellt, in denen Schüler der zweiten ($N = 79$) und der vierten ($N = 65$) Klasse Abschreibaufgaben in experimentellen Einzelsettings durchführten. Jeder der Teilnehmer kopierte vier Arten von Symbolsystemen, die im Grad der phonologischen und der semantischen Kodierbarkeit systematisch variiert waren (sinnvoller Text, Ziffernfolgen, nichtaussprechbare Konsonantenfolgen, graphische Symbole). Jedes der vier Symbolsysteme wurde dabei innerhalb des Doppelaufgabenparadigmas unter vier Bedingungen abgeschrieben, in denen die Kinder – neben einer Kontrollbedingung – Zweitaufgaben durchführten, die selektiv die verschiedenen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses belasteten (phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock, zentrale Exekutive). Insgesamt resultierten 16 Aufgabenkombinationen für jedes Kind, bei deren Durchführung eine Reihe verschiedener schreibprozessbezogener Variablen (u. a. Pausenhäufigkeiten, Pausenlängen, Schreibgeschwindigkeit) mittels Filmaufnahmen erfasst wurden. Über die verschiedenen Variablen hinweg ergeben separate Varianzanalysen innerhalb des gemischten $2 \times 4 \times 4$ -Designs Ergebnismuster, welche auf die Ausbildung einer kognitiven Strategie während der Grundschulzeit hinweisen, bei der die linguistische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Textes dazu genutzt wird, größere Einheiten des Textes (z. B. ganze Wörter, Wortgruppen) während einzelner Arbeitsgänge auf einmal zu übertragen. Selektive Einflüsse durch die Zweitaufgaben lassen auf eine zentrale Beteiligung der phonologischen Schleife und der zentralen Exekutive für effizientes Abschreiben schließen. Abgerundet wird die Arbeit durch eine methodologische Abhandlung über Möglichkeiten der tastaturbasierten und handschriftlichen Schreibprozesserschfassung; es werden forschungspraktische Empfehlungen abgeleitet, wobei die vorliegende Studie dabei als Beispiel für den Einsatz videographischer Analysen dient.

Schlagwörter: Abschreibaufgabe; Grundschule; Arbeitsgedächtnis

Abstract

The ability to copy texts quickly and error free is an important prerequisite that is needed in virtually every school day (e. g. copying of mathematical equations, homework assignments). Efficient copying can be viewed as a basic skill needed for numerous tasks that have to be mastered in school (e. g. excerpting, summarizing). However, knowledge about processes and strategies that help students in acquiring that basic skill is still scarce. Against this background, a process model of writing is presented which describes the cognitive processes and their dependencies on working memory while performing a copying task. On this basis, a study is presented in which primary school students from different class levels (fourth graders: $N = 79$; second graders $N = 65$) individually performed copying tasks under experimental conditions. In a within-subjects design, every participant copied four kinds of symbol systems that had been varied with respect to their linguistic codability (meaningful text, numeral strings, consonant strings, geometrical objects). Each of the four symbols systems was copied under four different conditions in which – besides a control condition – secondary tasks had to be performed which put selective load on the different components of working memory (phonological loop, visuo-spatial sketchpad, central executive), resulting in 16 task combinations for each child. Videographed sequences were used to determine a set of variables reflecting the writing process (amongst others pause frequency, pause length, writing speed). Within a $2 \times 4 \times 4$ mixed-model design separate ANOVAs for each variable were performed. Effect patterns point to the development of a cognitive strategy for efficient copying during primary school that is based on linguistic codability. Phonological and semantical codability are used to store larger chunks of the original (e. g. whole words, word groups) in working memory. Selective load induced by secondary tasks indicate a central role of the phonological loop and the central executive for efficient copying. Methodological considerations about capturing the writing process (keyboard-based and handwritten) round off the thesis, using the presented study as an example for videography as an appropriate method. Concluding remarks are given which include methodological recommendations for future research.

Keywords: copying task; primary school; working memory

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Eine Vorbemerkung	1
1.2.	Forschungsperspektiven	3
1.3.	Zum Aufbau der Arbeit	4
2.	Textproduktion und Textreproduktion – Theoretische Grundlagen.....	6
2.1.	Standortbestimmung.....	6
2.2.	Abschreiben – Beschreibung eines verbreiteten, aber wenig beachteten Phänomens.....	8
2.2.1.	Zur Relevanz reproduktiver Schreibaufgaben.....	9
2.2.2.	Eigenschaften reproduktiver Schreibaufgaben.....	11
2.3.	Die Modellierung des Schreibprozesses bei der Textproduktion.....	17
2.3.1.	Die Anfänge kognitiver Schreibprozessmodellierung.....	17
2.3.2.	Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses.....	19
2.3.3.	Das revidierte Schreibmodell von Hayes	24
2.3.4.	Das Schreibmodell von Kellogg.....	27
2.3.5.	Textproduktion und Arbeitsgedächtnis: Empirische Befunde.....	30
2.3.6.	Die Bedeutung von Low-level Prozessen für die Textproduktion	35
2.3.7.	Entwicklungsrelevante Aspekte	39
2.3.8.	Ein Zwischenfazit.....	43
3.	Kognitive Prozesse beim Abschreiben.....	44
3.1.	Ein Prozessmodell des Abschreibens	44
3.2.	Kognitive Prozesse beim Abschreiben: Empirische Befunde	50
4.	Methodologische Betrachtungen.....	55
4.1.	Untersuchungszugänge zur Erfassung kognitiver Prozesse während des Schreibens.....	56
4.2.	Die Untersuchung objektivierbarer Prozessvariablen	59
4.2.1.	Mündliche vs. schriftliche Sprachproduktion.....	59
4.2.2.	Die Rolle der Schreibmodalität	61
4.2.3.	Keystroke logging	63

4.2.4.	Videographie der Handschrift	68
4.2.5.	Digitale Aufzeichnung der Handschrift mittels Schreibtablett.....	78
5.	Strategien für effizientes Abschreiben: Ableitung von Fragestellung und Hypothesen.....	85
6.	Methode.....	90
7.	Ergebnisse	96
7.1.	Untersuchung der Variable „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“	98
7.2.	Untersuchung der Variable „Pausen pro Zeichen“	104
7.3.	Untersuchung der Variable „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“	109
7.4.	Untersuchung der prozentualen Pausenanteile an linguistischen Grenzen.....	114
7.5.	Untersuchung der Variable „Pausenzeit pro Minute“	128
7.6.	Untersuchung der Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“	134
7.7.	Untersuchung der Variable „mittlere Pausenlänge“	139
7.8.	Korrelative Zusammenhangsmuster mit Arbeitsgedächtnismaßen	144
7.9.	Korrelative Zusammenhangsmuster der Effizienzindikatoren	149
8.	Allgemeine Diskussion.....	154
8.1.	Rolle der linguistischen Kodierbarkeit der Vorlagen	154
8.1.1.	Text.....	155
8.1.2.	Ziffernfolgen	156
8.1.3.	Konsonantenreihen	157
8.1.4.	Geometrische Objekte	158
8.2.	Rolle der Arbeitsgedächtniskomponenten.....	159
8.2.1.	Phonologische und zentral-exekutive Belastung.....	160
8.2.2.	Visuell-räumliche Belastung	163
8.3.	Entwicklungsrelevante Aspekte	166
8.4.	Einordnung methodologischer Aspekte	170

1. Einleitung

1.1. Eine Vorbemerkung

Viele Bücher und Schriften beginnen mit einem Zitat, und es liegt nahe, diese Tradition auch in dieser Arbeit fortzusetzen. Dies soll nun auch geschehen, allerdings in einer etwas ungewöhnlichen Art und Weise. Folgendes hat der Autor in letzter Zeit in etwa dieser Form immer wieder zu hören bekommen: „Wie, Sie schreiben eine Doktorarbeit über das Abschreiben? *Das* ist ja besonders passend!“ Dieser Ausspruch ist zwar kein echtes Zitat einer berühmten Person, aber er spiegelt beispielhaft die – teilweise im Scherz, teilweise aber auch im Ernst gemeinte – Reaktion verschiedener Personen aus dem Umfeld des Autors dieser Arbeit wider, nachdem sie den Arbeitstitel dieser Dissertationsschrift, der noch den Terminus „Abschreiben“ enthielt, erfahren hatten. Diese Reaktion deckt ein nahe liegendes Missverständnis auf, denn der mehrdeutige Begriff des Abschreibens wird häufig im Sinne von „Spicken“ oder „Schummeln“ gebraucht. Die Verfehlungen einer Reihe bekannter Politiker, die ausgerechnet in ihren Doktorarbeiten teils massiv plagiiert („abgeschrieben“) haben, haben gerade in jüngster Zeit zu einer Sensibilisierung vieler Menschen gegenüber dieser Thematik geführt und den Begriff „Abschreiben“ zu einem Reizwort werden lassen. Und nun schickt sich jemand an, ausgerechnet in einer Doktorarbeit die Thematik „Abschreiben“ in den Brennpunkt des Interesses zu stellen.

„Abschreiben“ im Sinne von „Spicken“ oder „Schummeln“ ist jedoch gerade *nicht* Thema dieser Dissertation. Im Zentrum steht vielmehr die zweite Bedeutung dieses Begriffs: Abschreiben im Sinne einer reproduktiven Schreibaufgabe beziehungsweise des Kopierens schriftsprachlichen Materials von einer Vorlage (im Englischen auch kurz *copying task* genannt). Angesichts der heutigen technischen Möglichkeiten (realisiert z. B. durch die Verwendung von Kopierern, Scannern oder auch der Befehle *copy* und *paste* innerhalb elektronischer Dokumente) mag eine Beschäftigung mit diesem Thema auf den ersten Blick schwindende Relevanz aufweisen. Allerdings kommt dem Abschreiben im Sinne einer reproduktiven Schreibaufgabe¹ während einer besonders wichtigen Lebensphase weiterhin eine besondere Rolle zu: der Schulzeit. Das handschriftliche Schreiben stellt während dieser Zeit nicht nur die Standardtechnik zur (Re-)Produktion von Information im Unterricht und bei Leistungsüberprüfungen dar, sondern viele Aufgaben (vor allem in der Grundschule) enthalten sowohl implizit als auch explizit Anforderungen, die auf effizienten

¹ Sofern nicht anders gekennzeichnet, werden im Folgenden die Termini „Abschreiben“ und „Kopieren“ ausschließlich in diesem Sinne verwendet.

Abschreibfertigkeiten basieren (z. B. Abschreiben von der Tafel). Abschreibaufgaben stellen während der Grundschulzeit eine wichtige Arbeitstechnik dar (Süselbeck, 2003), deren effiziente Ausführung eine Basiskompetenz darstellt, an der viele weiterführende Aufgaben auch in höheren Klassenstufen andocken. Einfach ausgedrückt: Wer nicht frühzeitig lernt, schnell und automatisiert abzuschreiben, läuft Gefahr, deswegen an späteren Stellen eine geringere schulische Leistung zu erbringen, als es eigentlich möglich gewesen wäre.

Dennoch existiert bis heute weder ein systematisches Curriculum für das Erlernen des Durchführens von Abschreibaufgaben, noch kann die Erkenntnislage zu den kognitiven Grundlagen dieser basalen Schreibaufgabe als befriedigend bezeichnet werden. Es besteht in diesem Feld dringender Forschungsbedarf sowohl im Bereich der kognitiven Grundlagen als auch im Hinblick auf empirisch fundierte Interventionen für den (Grundschul-)Unterricht. Diese Arbeit hat vorrangig das Ziel, einen Beitrag innerhalb des Grundlagenbereichs zu leisten und den Blick psychologischer Grundlagenforschung stärker auf die basale, aber dennoch wichtige Arbeitstechnik des Abschreibens zu lenken. Hierzu wird insbesondere die Frage nach kognitiven Strategien und deren Entwicklung im Verlauf der Grundschulzeit ins Zentrum des Interesses gerückt; zusätzlich wird das Zusammenspiel der Komponenten des menschlichen Arbeitsgedächtnisses mit Prozesskomponenten des Abschreibens betont.

Die Fragestellung dieser Arbeit beschränkt sich jedoch nicht nur auf diesen inhaltlichen Aspekt, sondern zielt auch darauf ab, einen Beitrag im *methodologischen* Bereich zu leisten. Hierzu steht die Erfassung und Analyse von Variablen im Fokus, die den Verlauf des handschriftlichen Schreibprozesses abbilden (insbesondere Schreibpausen) und mittels derer kognitive Prozesse während des Schreibens „sichtbar gemacht“ werden können. Die Registrierung solcher Variablen kann im handschriftlichen Bereich durch die Analyse videographischer Aufzeichnungen des Schreibprozesses oder durch die Verwendung eines digitalen Schreibtablets erreicht werden. Die methodologischen Überlegungen dieser Arbeit dienen dazu, die Vor- und Nachteile dieser beiden Methoden im Vergleich zu verwandten Methoden zur Erfassung des Schreibprozesses beim Tastaturschreiben zu diskutieren und Empfehlungen für den forschungspraktischen Bereich abzuleiten.

Die vorliegende Fragestellung ist somit zweigeteilt: Sie beschäftigt sich (1) mit der Frage, welche kognitiven Prozesse dem effizienten Durchführen von Abschreibaufgaben zugrunde liegen beziehungsweise welche Strategien sich zur Bewältigung dieser Aufgabe im Verlauf der Grundschulzeit ausbilden, und (2) mit der Frage, mit welchen methodischen Herangehensweisen sich solche kognitiven Entwicklungsprozesse beim Erlernen von Abschreibaufgaben auf empirischem Weg nachweisen lassen.

1.2. Forschungsperspektiven

Die bloße Nennung der Hauptfragestellungen beantwortet allerdings noch nicht hinreichend eine Frage, der sich alle wissenschaftlichen Arbeiten stellen müssen – die Frage nach dem Nutzen für die Wissenschaft und ihre praktische Anwendung. Eine Möglichkeit, sich dieser Frage möglichst strukturiert anzunähern, besteht in der Betrachtung des Nutzens für die einzelnen Teilbereiche des mit der jeweiligen Forschungsarbeit assoziierten Faches. Innerhalb der Psychologie berührt die Fragestellung mehrere klassische Teilbereiche. Die hieraus folgenden Implikationen für den wissenschaftlichen und praktischen Nutzen werden im Folgenden kurz skizziert.

- Zunächst lässt sich die Fragestellung innerhalb der *Allgemeinen Psychologie* ansiedeln, denn im Fokus stehen die grundlegenden kognitiven Prozesse, die während des Durchführens von Abschreibaufgaben notwendig sind. Es existieren zwar bereits verschiedene kognitive Schreibprozessmodelle, die sich solch grundlegender Fragen annehmen (z. B. Hayes & Flower, 1980; Kellogg, 1996), allerdings beschäftigen sich diese in der Regel mit Schreibaufgaben im Sinne von *Textproduktion*, also mit dem Verfassen eigener Texte. Im Rahmen dieser Arbeit werden jedoch die speziellen Eigenschaften von *Abschreibaufgaben* als eigenständige Aufgabengattung betrachtet. Die kognitiven Anforderungen während des handschriftlichen Kopierens zu modellieren und empirisch zu untermauern, ist ein zentraler Nutzenpunkt dieser Arbeit.
- Ein zweiter Bereich, innerhalb dessen sich die Fragestellung dieser Arbeit verorten lässt, ist die *Entwicklungspsychologie*. Da die Entwicklung basaler (Ab-)Schreibfertigkeiten während der Grundschulzeit noch in vollem Gange ist, die Strukturen des Gedächtnisses aber bereits voll ausgestaltet sind, bietet es sich an zu untersuchen, welche Rolle das Gedächtnis bei der Entwicklung effizienter Abschreibfertigkeiten spielt. Dabei stehen vor allem diejenigen Prozesse im Mittelpunkt, die mit einer effektiven Ausnutzung vorhandener Gedächtnisstrukturen einhergehen. Der zweite Nutzenaspekt dieser Arbeit stellt also die Nachzeichnung der Entwicklung kognitiver Strategien für effizientes Abschreiben dar. Dies wird durch einen Vergleich von Grundschulkindern aus der zweiten und der vierten Jahrgangsstufe erreicht, bei denen sich Veränderungen in der Abschreibeffizienz besonders deutlich zeigen.
- Neben der inhaltlichen Fragestellung liefert diese Arbeit durch eine systematische Diskussion möglicher Methoden zur Online-Erfassung des handschriftlichen

Schreibprozesses zusätzlich einen Beitrag im *methodologischen Bereich* der Schreibprozessforschung. Es werden Möglichkeiten und Begrenzungen der Videographie sowie der Verwendung eines digitalen Schreibtablets als wesentliche Methoden aufgezeigt. Die Operationalisierung der inhaltlichen Fragestellung dieser Arbeit dient als Beispiel für die konkrete Umsetzung einer Methode (in diesem Falle der Videographie). Dies dient dazu, um allgemeine Aspekte bei der Findung der optimalen Methode zur Erfassung des Schreibprozesses zu diskutieren. Berücksichtigt werden dabei Überlegungen zu den speziellen Anforderungen, die innerhalb konkreter Untersuchungskontexte auftreten können.

Die Untersuchung der kognitiven Grundlagen des Abschreibens hat bislang zwar kaum Beachtung innerhalb der psychologischen Schreibforschung gefunden, weist aber wissenschaftlichen „Nährwert“ für mehrere Grundlagenfächer der Psychologie auf. Zusätzlich liefert die Erforschung des Abschreibens aber auch Anknüpfungspunkte im *Anwendungsbereich* schulischer Handlungsfelder und bietet somit Perspektiven für noch ein weiteres psychologisches Fach – die Pädagogische Psychologie. Die unterrichtliche Anwendung steht zwar nicht im Zentrum dieser Arbeit, dennoch wird im Rahmen der allgemeinen Diskussion ein Ausblick zu möglichen Interventionen vorgenommen. Insgesamt lässt sich festhalten, dass diese Arbeit multiplen Nutzen für die Grundlagen- und die anwendungsorientierte Forschung aufweist, wodurch eine Reihe von Anknüpfungsmöglichkeiten für zukünftige Forschungsfragestellungen entstehen.

1.3. Zum Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in zwei thematische Blöcke gegliedert: *Teil I* (Theoretischer Teil; Kapitel 2 bis 4) behandelt den theoretischen Rahmen, welcher zur Ableitung der Hypothesen der inhaltlichen Fragestellung dient. Außerdem werden in diesem Teil mögliche methodologische Herangehensweisen zur Erfassung schreibprozessbezogener Variablen ausführlich diskutiert. In *Teil II* (Empirischer Teil; Kapitel 5 bis 8) werden zunächst Design und Methode vorgestellt, die statistischen Ergebnisse präsentiert und im Lichte der theoretischen Ausführungen diskutiert; des Weiteren erfolgt eine Ableitung methodologischer Schlussfolgerungen. Zur besseren Orientierung werden im Folgenden die Hauptkapitel der beiden Teile in Kurzform inhaltlich-strukturell skizziert.

- *Teil I – Theoretischer Teil:*

- *Kapitel 2:* In diesem Kapitel werden wichtige Grundlagen für die spätere Ableitung von Annahmen zu kognitiven Prozessen während des Abschreibens gegeben. In Abschnitt 2.1 wird zunächst eine Verortung der vorliegenden Thematik innerhalb des breiten Begriffs „Schreibforschung“ vorgenommen. In Abschnitt 2.2 werden theoretische Grundlagen zur Beschreibung des Begriffs „Abschreibaufgabe“ gelegt, wobei theoretische und praktische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Als allgemeine Grundlage werden in Abschnitt 2.3 Grundlagen zur Modellierung kognitiver Prozesse bei der Textproduktion fokussiert.
- *Kapitel 3:* In diesem Kapitel werden Annahmen zu kognitiven Prozessen während des Abschreibens abgeleitet und die aktuelle empirische Forschungslage umrissen. Hierzu wird in Abschnitt 3.1 eine systematische Beschreibung der spezifischen Anforderungen von Abschreibaufgaben vorgenommen, und es wird ein kognitives Prozessmodell vorgeschlagen, welches das Zusammenspiel einzelner Subprozesskomponenten des Abschreibens mit den Komponenten des menschlichen Arbeitsgedächtnisses in den Blick nimmt. In Abschnitt 3.2 wird die (bislang nicht sehr umfangreiche) empirische Forschungslage zu kognitiven Prozessen während des Abschreibens skizziert.
- *Kapitel 4:* Hier steht die methodologische Frage im Vordergrund, wie der Schreibprozess (insbesondere Erhebung und Klassifikation von Schreibpausen) empirisch erhoben werden kann. Dazu werden in Teilkapitel 4.1 zunächst verschiedene methodische Zugänge zur Erfassung kognitiver Prozesse während des Schreibens voneinander abgegrenzt. In Teilkapitel 4.2 werden drei Methoden zur Erfassung temporaler Variablen des Schreibprozesses ausführlich diskutiert: die Keystroke-logging-Methode für das Schreiben an der Computertastatur, die Videographie des handschriftlichen Schreibprozesses und die digitale Aufzeichnung des handschriftlichen Schreibprozesses mittels Schreibtablett.

- *Teil II – Empirischer Teil:*

- *Kapitel 5:* Innerhalb dieses Kapitels wird die konkrete Fragestellung umrissen, und es werden zugehörige Hypothesen abgeleitet.
- *Kapitel 6:* Dieses Kapitel dient dazu, die verwendete Methode und das zugrunde gelegte Design vorzustellen.

- *Kapitel 7:* In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Analysen vorgestellt. In den Abschnitten 7.1 bis 7.7 werden die varianzanalytischen Ergebnisse neun schreibprozessbezogener Indikatoren für Abschreibeffizienz vorgestellt, wobei für einen möglichst guten Überblick Zwischendiskussionen zwischen den einzelnen Abschnitten eingefügt sind. In Abschnitt 7.8 werden korrelative Befunde der genannten Effizienzindikatoren mit Maßen der Arbeitsgedächtniskapazität berichtet, und in Abschnitt 7.9 werden korrelative Befunde zu den einzelnen Effizienzindikatoren untereinander vorgestellt.
- *Kapitel 8:* Dieses letzte Kapitel dient zur allgemeinen Diskussion der theoretischen und methodologischen Erkenntnisse im Licht der Theorie. Zunächst wird in Abschnitt 8.1 die Rolle der linguistischen Kodierbarkeit zur strategischen Nutzung für effizientes Abschreiben diskutiert, in Abschnitt 8.2 werden die Erkenntnisse zur Funktion der Arbeitsgedächtniskomponenten beim Abschreiben besprochen, und in Abschnitt 8.3 werden Erkenntnisse behandelt, die auf die Entwicklung einer effizienzsteigernden Strategie für das Abschreiben hindeuten. Abschließend erfolgt in Abschnitt 8.4 eine Einordnung der methodologischen Aspekte zur Erfassung handschriftlicher Prozesse vor dem Hintergrund der Anforderungen konkreter Projektvorhaben, und es wird ein kurzes Gesamtfazit gezogen.

2. Textproduktion und Textreproduktion – Theoretische Grundlagen

2.1. Standortbestimmung

Um den Rahmen abzustecken, innerhalb dessen die Untersuchung des Abschreibens liegt, erfolgt zunächst eine kurze Verortung des Themenkomplexes innerhalb des allgemeinen Begriffs *Schreibforschung*. Aus einer ganz übergeordneten Perspektive lässt sich unter der Klammer dieses Begriffs eine große Bandbreite an Forschung zusammenfassen, die nicht nur eine weite inhaltliche und forschungsmethodische Variabilität aufweist, sondern sich auch über mehrere verschiedene Disziplinen wie beispielsweise die Psychologie, die Pädagogik, die Linguistik oder auch die Sprachdidaktik erstreckt. Diese Fächerbandbreite bringt es mit sich, dass der Begriff „Schreibforschung“ kein einheitliches Forschungsfeld umreißt, sondern vielmehr ein Konglomerat darstellt. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit kognitiven Grundlagen und Strategien zur (möglichst effizienten) Durchführung von Abschreibaufgaben und ist somit

innerhalb dieses allgemeinen Begriffs im Bereich *kognitiver Schreibprozessforschung* anzusiedeln.

Dieser Bereich lässt sich anhand der Unterscheidung von *Schreiben in einem engeren Sinn* und *Schreiben in einem weiteren Sinn* (vgl. Molitor-Lübbert, 1996) in zwei weitere Unterbereiche binnengliedern. Schreiben in einem engeren Sinn fokussiert hierbei die graphomotorischen Prozesse der Schreibhandlung, während sich Schreiben in einem weiteren Sinn mit der Gesamtheit aller (höheren) mentalen Aktivitäten befasst, die für einen gezielten Einsatz zum Zweck der Textproduktion benötigt werden. In welchen dieser beiden Bereiche lässt sich die Durchführung von Abschreibaufgaben einordnen? Eine Überlegung könnte sein, Abschreiben im Bereich der basaleren, graphomotorischen Prozesse anzusiedeln, da für die bloße Reproduktion von bereits existierendem Text keine höheren kognitiven Prozesse benötigt werden. Betrachtet man jedoch das Feld genauer, welches von der graphomotorischen Schreibforschung belegt wird, zeigt sich, dass diese Einordnung fehlt. Denn die Graphomotorik-Forschung setzt auf einer Ebene an, die sich – weitestgehend losgelöst von allen linguistischen Aspekten – mit den *kognitiv-motorischen Schnittstellen* beschäftigt, die für die Programmierung von Bewegungsmustern zur Umsetzung geplanter Grapheme in tatsächliche, auf dem Papier realisierte allographische Zeichen notwendig sind. Typische Fragestellungen in diesem Bereich setzen sich beispielsweise mit den anatomischen und mentalen Grundlagen für die Ausführung von Schreibbewegungen auseinander. Dabei wird beispielsweise versucht, die hierarchische Sequenzierung der Bewegungsplanung und -ansteuerung in Stufen- und Simulationsmodellen zu fassen, es werden aber auch klinische Fragestellungen untersucht, wie beispielsweise graphomotorische Aspekte bei Dysgraphien oder Schreibkrampf (für eine Übersicht über den gesamten Bereich siehe Thomassen, 1996, 2003). Beim Abschreiben stehen auf der anderen Seite aber kognitive Prozesse im Vordergrund, die solchen motorischen Programmierungsprozessen *vorgeschaltet* sind (z. B. Enkodierung des abzuschreibenden Vorlagentextes). Aus diesem Grund ist es sinnvoll, Abschreiben im Rahmen einer Konzeption des „Schreibens in einem weiteren Sinn“ zu verorten.

Schreiben in einem weiteren Sinn lässt sich als Gesamtheit der gezielten sprachlichen und mentalen Prozesse beschreiben, die der Textproduktion zugrunde liegen (Molitor-Lübbert, 1996). Die kognitionspsychologisch relevante Forschung innerhalb dieser Konzeption befasst sich sowohl mit der Modellierung kognitiver Prozesse während der Textproduktion als auch mit der Ableitung von Empfehlungen und Interventionen innerhalb schulischer und pädagogischer Handlungsfelder. In diesem Bereich lässt sich eine Unterscheidung zwischen Fragestellungen treffen, die der Erforschung kognitiver Grundlagen zuzurechnen und damit eher für die

Allgemeine Psychologie von Interesse sind (z. B. Grabowski, 2008; Levy & Marek, 1999; Olive & Kellogg, 2008), und solchen, die sich mit der Entwicklung und Umsetzung geeigneter Maßnahmen innerhalb (schulischer) Lehr-Lern-Szenarios beispielsweise zur Verbesserung der Textqualität von Aufsätzen auseinandersetzen (z. B. Glaser & Brunstein, 2007; Graham, Berninger, Abbott, Abbott & Whitaker, 1997). Letztere sind aufgrund ihrer interventionsorientierten Fragestellungen eher der Pädagogischen Psychologie zuzuordnen. Die Untersuchung kognitiver Prozesse während des Abschreibens lässt sich innerhalb des zuerst genannten Bereiches verorten, da sie vor allem einen Beitrag zum besseren Verständnis grundlegender kognitiver Mechanismen leistet.

Alle nachfolgenden weiterführenden theoretischen Ausführungen verlaufen innerhalb dieser abgesteckten Grenzen. Beachtet werden sollte in diesem Zusammenhang jedoch, dass sich die kognitive Schreibprozessforschung zwar gut innerhalb der Psychologie verorten lässt, man den interdisziplinären Charakter dieses Forschungszweiges jedoch nicht aus den Augen verlieren sollte. Da eine große inhaltliche Nähe zu empirischer Forschung aus anderen Fachdisziplinen (insbesondere der Psycholinguistik) besteht, würde eine ausschließliche Betrachtung psychologischer Forschungsbeiträge zu einer ungünstigen Verengung des Blickwinkels führen, und in der Folge würden eine Reihe wichtiger Beiträge keine Beachtung finden. Deswegen wird im Folgenden ein etwas breiter angelegter Fokus gewählt, und es werden auch relevante Beiträge aus anderen Disziplinen, insbesondere aus dem Bereich der Psycholinguistik, berücksichtigt.

Bevor bestehende empirische Befunde herangezogen werden, gilt es zunächst, das bisher wenig beachtete Thema „Abschreiben“ auf Phänomenebene zu betrachten. Um begründete Hypothesen zu kognitiven Prozessen während des Abschreibens aufstellen zu können, bedarf es einer Beschreibung der speziellen Eigenschaften, die Abschreibaufgaben zueigen sind. Deswegen steht im folgenden Abschnitt nicht zuletzt die Frage im Vordergrund, welche Eigenschaften der Vorlage beim Abschreiben ausschlaggebend sind.

2.2. Abschreiben – Beschreibung eines verbreiteten, aber wenig beachteten Phänomens

Die Verwendung von Sprache ist eine Fertigkeit, welche den Menschen von allen übrigen Spezies der Erde mit am stärksten unterscheidet, und es ist nicht überraschend, dass die Untersuchung von Struktur und Verwendung menschlicher Sprache die Wissenschaft seit langem bewegt. Die Existenz entsprechender eigenständiger Fachdisziplinen wie beispielsweise der Linguistik belegt dies eindrucksvoll. Aber auch innerhalb der Psychologie ist Fragestellungen, die sich mit der menschlichen Sprache auseinandersetzen, großes Interesse zuteil

geworden. Die Untersuchung kognitiver Prozesse, die der menschlichen Sprachproduktion und -rezeption zugrunde liegen, spielt hierbei eine prominente Rolle (für Übersichten siehe z. B. Friederici, 1999; Herrmann & Grabowski, 2003). Der Hauptanteil empirischer Untersuchungen der Vergangenheit beschäftigte sich mit der *Sprachrezeption* (Lesen und Hören). Auf Seiten der *Sprachproduktion* hat die *mündliche* Sprachproduktion die größere Beachtung seitens empirischer Forschung gefunden, während der Erforschung der kognitiven Grundlagen des *Schreibens* im Vergleich geringeres Gewicht zukam. 30 Jahre nach der Publikation des ersten kognitiven Schreibprozessmodells durch Hayes und Flower (1980) verbleiben somit auch heute noch reichlich „weiße Flecken auf der Schreibforschungslandkarte“. Mit den kognitiven Grundlagen des *Abschreibens* wird hier ein Teilgebiet kognitiver Schreibforschung fokussiert, welches bisher besonders wenig Aufmerksamkeit erfahren hat. Warum das Abschreiben zu Unrecht ein Schattendasein führt, und warum die Erforschung der kognitiven Grundlagen dieser basalen Schreibaufgabe besondere Aufmerksamkeit verdient, ist nun erster Diskussionsgegenstand.

2.2.1. Zur Relevanz reproduktiver Schreibaufgaben

Die Beschäftigung mit den kognitiven Prozessen beim (handschriftlichen) Abschreiben von schriftsprachlichem Material mag auf den ersten Blick schwindende Relevanz aufweisen. Seitens der kognitionpsychologisch geprägten Schreibforschung wird dieses Thema zugunsten der Erforschung der Textproduktion weitestgehend ausgespart, und aus praktischer Sicht – zumindest soweit es berufliche Kontexte betrifft – spielt das manuelle Abschreiben angesichts der zunehmenden Computerisierung so gut wie keine Rolle mehr. Dass Abschreiben trotzdem auch heute noch hohe Relevanz besitzt – wenn auch mit anderem Akzent – wird nachfolgend herausgearbeitet.

Aus historischer Perspektive zeigt sich, dass das Abschreiben als Mittel *zur Bewahrung von Wissensbeständen* und damit als Profession tatsächlich an Bedeutung verloren hat. In früheren Zeiten der Kulturgeschichte war das Abschreiben über lange Zeit die einzige Möglichkeit, Bücher und Schriftstücke überhaupt zu vervielfältigen, und somit war das Abschreiben eine angesehene Tätigkeit, die innerhalb eigens dafür vorgesehener Skriptorien zumeist innerhalb von Klöstern ausgeübt wurde (für eine historische Einordnung der Bedeutung des Abschreibens siehe Ludwig, 2005). Nach Erfindung des Buchdrucks wurde das manuelle Kopieren ganzer Bücher zwar hinfällig, dennoch blieb das Durchführen von Abschreibarbeiten bis weit in das 20. Jahrhundert hinein eine wichtige Grundlage für die Profession von Schreibkräften (Lorenz & Grabowski, 2009). Aufgrund der heutigen technischen Möglichkeiten, die mittels Kopiergeräten,

Scannern oder Druckern physikalische Kopien aller Qualitätsstufen unmittelbar per Knopfdruck ermöglichen (ganz zu schweigen von der elektronischen Vervielfältigung von Dateien aller Art), ist das Abschreiben als Profession aus der beruflichen Welt nahezu vollständig verschwunden.

Der Thematik deswegen mangelnde praktische Bedeutsamkeit zu unterstellen, würde dennoch zu kurz greifen. Innerhalb der *schulischen Ausbildung*, die ja die Grundlage für alle Formen weiterführender Qualifizierungen von der Berufsausbildung bis zum Hochschulstudium darstellt, spielt das handschriftliche Kopieren nach wie vor eine wichtige Rolle. Abschreibaufgaben sind in mehr oder weniger impliziter Form in einer großen Anzahl schulischer Aufgabenstellungen enthalten und stellen eine alltägliche Aufgabe dar, die in nahezu allen schulischen Fächern vorkommt. Beispiele hierfür sind das Übertragen einzelner Wörter oder längerer Textpassagen aus Büchern, Arbeitsblättern oder von der Tafel in Fächern wie Deutsch oder Englisch, das Abschreiben von Formeln oder ganzen Rechenaufgaben (einschließlich Rechenweg) in den Fächern Mathematik, Physik und Chemie oder einfach nur das Übertragen der Hausaufgaben. Die Aufzählung dieser unterschiedlichen Aufgaben verdeutlicht die Allgegenwärtigkeit handschriftlichen Kopierens von der Grundschule bis hin zu den höheren weiterführenden Schulformen. Dies zeigt sich bis in die Hochschule, wo eine Reihe weiterführender textbasierter Schreibaufgaben unmittelbar auf Abschreibfertigkeiten basieren (z. B. Exzerpieren, Zitieren). Die Folgerung liegt nahe, dass Schülerinnen und Schüler, die während der ersten Jahre der Primarstufe nicht gelernt haben, effizient und fehlerfrei abzuschreiben, im Laufe ihrer weiteren Schullaufbahn mit hoher Wahrscheinlichkeit Beeinträchtigungen erfahren und mehr oder weniger weit hinter ihrem eigentlichen Leistungspotenzial zurückbleiben werden.

Das effiziente und fehlerfreie Abschreiben lässt sich somit als Basiskompetenz für das erfolgreiche(re) Durchlaufen einer Schullaufbahn betrachten (Grabowski, Weinzierl & Schmitt, 2010). Trotz der daraus resultierenden praktischen Relevanz (die auch seitens der Praktiker wahrgenommen wird; siehe Süselbeck, 2003) existiert in Deutschland bis heute kein systematisches Curriculum für das Erlernen der effizienten Durchführung von Abschreibaufgaben in der Grundschule. Innerhalb der internationalen kognitiven Schreibforschung stehen grundlegende Erkenntnisse zu Prozessen und Strategien beim Durchführen von Abschreibaufgaben bislang ebenfalls weitestgehend aus. Um zu befriedigenden Antworten zu kommen, bedarf es u. a. einer systematischen Analyse und Beschreibung der für die Erfüllung einer Abschreibaufgabe relevanten Eigenschaften. Um diese weitestgehend offene Frage näher zu klären, werden im Folgenden relevante Dimensionen zur Beschreibung von Abschreibaufgaben herausgearbeitet.

2.2.2. Eigenschaften reproduktiver Schreibaufgaben

Das Ziel einer Abschreibaufgabe ist die Erstellung einer Abschrift beziehungsweise einer Kopie, die von einer schriftsprachlichen Vorlage erstellt wird. Nach Springer (zitiert in Ludwig, 2005) lässt sich der Begriff der Kopie als eine „möglichst genaue Wiedergabe der Vorlage oder eines Teils von ihr“ fassen. Die heutigen technischen Möglichkeiten der Photokopie oder des Farbscans erlauben es, eine solche Genauigkeit der Wiedergabe nahezu perfekt zu erreichen. Bei handschriftlich erstellten „Kopien“ einer Vorlage andererseits kann eine solche Exaktheit jedoch nicht erfüllt werden; die Anweisung, eine in allen Aspekten exakte physikalische Reproduktion einer schriftsprachlichen Vorlage zu erstellen, wird wohl eher selten als zentrales Ziel einer Abschreibaufgabe (beispielsweise in schulischen Anwendungsfeldern) instruiert werden. Es stellt sich die Frage, ob bei manuell angefertigten Abschreibprodukten der Begriff der „Kopie“ überhaupt der passende ist oder ob es nicht besser ist, hier den Begriff der „Abschrift“ zu verwenden. Gleichzeitig wirft dies aber auch die Frage auf, welche Eigenschaften der Vorlage denn reproduziert werden müssen, damit eine Abschrift als gelungen angesehen werden kann.

Erhaltung der Bedeutung

Einen Hinweis darauf, welche Eigenschaften bei einer Abschrift erhalten werden sollten, gibt die von Grabowski, Weinzierl und Schmitt (2010) getroffene Beschreibung einer typischen Abschreibaufgabe als *Übertragung einer strukturierten Abfolge bedeutungshaltiger Schriftzeichen von einer existierenden Vorlage*. Diese Beschreibung legt nahe, dass eine wichtige Anforderung einer gelungenen Abschrift darin besteht, dass die *Bedeutung* der Vorlage erhalten bleibt. Welche Aspekte der Vorlage aber sind es im konkreten Fall einer Abschreibaufgabe denn nun, die für die Erhaltung der Bedeutung relevant sind? Im Folgenden wird gezeigt, dass hierbei durchaus Unterschiedliches in Betracht kommen kann.

Der wohl wichtigste zu erhaltende Aspekt beim Abschreiben schriftsprachlicher Information ist die Erhaltung der Semantik, welche den abgeschriebenen Zeichen, Wörtern und Sätzen innewohnt. Abhängig vom verwendeten Schriftsystem (z. B. alphabetische Schrift, Silbenschrift) können entweder bereits einzelne Zeichen selbst eine (Wort-)Bedeutung enthalten oder es kann sein, dass mehrere Zeichen ein Wort kodieren. Die Bedeutung einzelner Wörter oder auch eines ganzen Textes ist im Regelfall unabhängig von der *allographischen Realisierung* der zugrunde liegenden Zeichen. So macht es beispielsweise – hinreichende Leserlichkeit vorausgesetzt – beim Abschreiben des deutschen Klappentextes eines Buches für die Bedeutung des Inhalts

keinen Unterschied, ob hierbei Blockbuchstaben oder kalligraphische Schönschrift verwendet wird. In anderen nichtalphabetischen Sprachen, wie beispielsweise dem Japanischen, können für ein und denselben Begriff sogar völlig unterschiedliche Schriftzeichen verwendet werden, ohne dass die Wortbedeutung sich hierbei verändert. So kann beispielsweise „Neko“ (das japanische Wort für „Katze“) im japanischen Schriftsystem entweder durch ein einzelnes, aus dem Chinesischen entlehntes Kanji-Zeichen (猫) oder durch mehrere Kana-Silbenzeichen (ねこ oder ネコ) dargestellt werden. Die Freiheiten in der allographischen Realisierung haben aber auch ihre Grenzen. Als allgemeine Grundvoraussetzung für die Erhaltung der Bedeutung muss gewährleistet sein, dass die Schriftzeichen des Produkts erkennbar und unterscheidbar sind. Sind die handschriftlichen Zeichen so verfremdet, dass einzelne Wörter oder gar längere Passagen nicht mehr entzifferbar sind, kann das Merkmal der Bedeutungserhaltung notwendigerweise nicht mehr vorliegen. Speziell für das Abschreiben gilt dies im Übrigen umgekehrt auch für die zu kopierende Vorlage. Sind die abzuschreibenden Zeichen der Vorlage nur schwer entzifferbar (z. B. nicht hinreichend erkenn- oder diskriminierbar), kann sich dies in einer Bedeutungsverfremdung innerhalb der Abschrift niederschlagen, auch wenn diese noch so leserlich gestaltet wird.

Es sind aber auch Abschreibaufgaben denkbar, in denen gerade Aspekte der (allo-)graphischen Realisation relevant sind. So lässt sich die beispielsweise die relative Wichtigkeit bestimmter Begriffe oder Textteile durch Unterstreichungen oder Fettschrift markieren oder die Kodierung häufig wiederkehrender Textbausteine durch Änderung der Schriftfarbe anzeigen (z. B. alle Definitionen in grüner Farbe, alle Axiome in roter Farbe). Abhängig vom Kontext der Schreibaufgabe können also auch die allographische Realisierung der Zeichen, die verwendete Strichdicke und/oder die Schriftfarbe für die Bewahrung der Bedeutung von Belang sein. In solchen Fällen müssen die bedeutungstragenden Aspekte der graphischen Realisierung in der Abschrift beibehalten werden.

Eine weiterer wichtiger Aspekt für die Beibehaltung der Bedeutung ist die *Beachtung der Reihenfolge* der Schriftzeichen (Grabowski et al., 2010). Das Übertragen der Zeichen der Vorlage in beliebiger Reihenfolge würde in den allermeisten Fällen den ursprünglichen Sinn unentzifferbar machen. Die orthographische Korrektheit auf der anderen Seite ist für die Erhaltung der Bedeutung *nicht* zwingend notwendig. Schreibt man beispielsweise einen deutschen Text ab, der nach den orthographischen Regeln vor Einführung der Rechtschreibreform von 1996 verfasst wurde, und verwendet hierbei die aktuell gültige Rechtschreibung, entstehen zwar mutmaßlich eine ganze Reihe von Abweichungen (z. B. „dass“ vs. „daß“), die Bedeutung des Textes bleibt hiervon jedoch unberührt. Auch ein mit Recht-

schreibfehlern durchsetzter abgeschriebener Text muss nicht zwingend zu einer Bedeutungsverfremdung der Vorlage führen, sofern er ein gewisses Maß an Entzifferbarkeit nicht unterschreitet und keine Doppeldeutigkeiten enthält. Gleichwohl wird die Einhaltung sprachlicher Konventionen vielerorts als Qualitätsmerkmal für das erfolgreiche Durchführen von Abschreibaufgaben betrachtet. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass dies die orthographischen Fertigkeiten und die schriftsprachliche Beholfenheit einer Person unabhängig von der Bedeutungserhaltung beim Abschreiben widerspiegelt.

Bedeutungstragende Eigenschaften des Vorlagentextes können aber auch strategisch genutzt werden, um effizienter abzuschreiben. Eine Reihe unzusammenhängender, bedeutungsloser Schriftzeichen wird beim Abschreiben – welches üblicherweise durch Arbeitsgänge gekennzeichnet ist, in denen kleinere Portionen des Gesamttextes nacheinander übertragen werden – im Regelfall sicherlich weniger effizient übertragen werden als sinntragende Wörter. Es liegt nahe, dass die Verarbeitung von Wörtern als sinntragende Einheiten zu einer effizienteren Ausnutzung der kognitiven Ressourcen führt, da die Verarbeitung kompletter Wörter die Zusammenfassung auch längerer Zeichenketten ermöglicht.

Aspekte des räumlichen Layouts

Eine weitere wichtige Eigenschaft, die beim Abschreiben eine Rolle spielt, betrifft die Beibehaltung des *räumlichen Layouts* der abzuschreibenden Vorlage. Schreibt man beispielsweise ein Gedicht oder einen Liedtext ab, macht es einen Unterschied, ob man die vorgegebenen Zeilenumbrüche übernimmt oder nicht, da diese die zugrunde liegende Versstruktur markieren. Bei Texten wie beispielsweise einer Argumentation oder einer narrativen Phantasiegeschichte kann das räumliche Layout ebenfalls relevante Information enthalten und ein funktionales Element für das Diskursziel darstellen. So bietet die Unterteilung in Absätze, die Verwendung von Zwischenüberschriften und die Gestaltung der Seitenaufteilung die Möglichkeit, inhaltlich Zusammengehöriges auch graphisch zusammenzufassen und unterschiedliche Abschnitte räumlich voneinander abzugrenzen. Die Beibehaltung des räumlichen Layouts ist somit zwar nicht unmittelbar bedeutungsrelevant, dennoch kann es auch im Rahmen von Abschreibaufgaben sinnvoll sein, die vom Autor vorgegebene räumliche Strukturierung beizubehalten. Gleichzeitig liefern Informationen, die sich aus dem räumlichen Layout ergeben, aber auch Anhaltspunkte, die vom Abschreibenden strategisch genutzt werden können. Sie geben dem abzuschreibenden Text Struktur, was zu einer elaborativeren Verarbeitung des Vorlagentextes und einer effizienteren Ausnutzung der Gedächtnisressourcen führen kann.

Ein Aspekt des räumlichen Layouts, über den sich die meisten Menschen heutzutage auf Grund seiner Konventionalität mutmaßlich keine Gedanken machen, der aber dennoch Relevanz besitzt, besteht in der Verwendung von Leerräumen zum Zweck der räumlichen Abtrennung und Segmentierung einzelner Wörter. Diese Art der räumlichen Strukturierung ist heute so fest verankert, dass beim Abschreiben eines deutschen Textes Leerräume zwischen Wörtern auch ohne explizite Instruktion von nahezu allen Personen automatisch übernommen werden dürften. Allerdings ist diese Art der Segmentierung keineswegs eine selbstverständliche Eigenschaft. So gibt es Schriftsprachsysteme, bei denen nicht zwingend jedes einzelne Wort durch einen Leerraum abgetrennt wird (z. B. Kana im Japanischen). Aber auch im Deutschen war die Verwendung von Leerräumen zwischen Wörtern keineswegs schon immer selbstverständlicher Bestandteil schriftsprachlicher Aufzeichnungen und Abschriften. Ein kurzer historischer Exkurs über die Entwicklung der Verwendung von Leerräumen zur Abtrennung von Wörtern verdeutlicht, wie wandelbar das Verständnis darüber sein kann, welche Aspekte des räumlichen Layouts obligatorische Elemente einer gelungenen Abschrift darstellen.

Wie Ludwig (2005) schildert, wurden in der griechischen Antike Leerräume für schriftliche Aufzeichnungen zunächst überhaupt nicht verwendet, und es war üblich, Schriftsprache als durchgehende Zeichenkette ohne Abtrennungen zwischen Sinneinheiten wie Wörtern oder Satzgrenzen niederzulegen (*scriptio continua*). Geschuldet ist dies dem Umstand, dass Aufzeichnungen in dieser Zeit in erster Linie dazu dienten, *mündliche* Sprache zu konservieren und das Geschriebene zu einem späteren Zeitpunkt wieder in eine laute mündliche Sprachäußerung zu übersetzen. Erst im Lauf des frühen Mittelalters verschob sich in Europa diese Art der Nutzung geschriebener Sprache weg vom akustisch wahrnehmbaren, hin zum stillen Lesen; gleichzeitig wurde die Verwendung von Leerräumen (Spatien) zur Abtrennung bedeutungshaltiger Gruppen von Schriftzeichen zunehmend eingeführt. Dies geschah in einer Zeit, in der insbesondere die Tätigkeit des *Abschreibens* einen hohen Stellenwert genoss, und wurde von Mönchen entwickelt, deren Aufgabe es war, Bücher für Klosterbibliotheken handschriftlich zu kopieren (was vor der Erfindung des Buchdrucks die einzige Möglichkeit darstellte, Schriften überhaupt zu vervielfältigen). Voraussetzung für eine solche Entwicklung war jedoch ein Kopierverständnis, welches sich von aktuellen Vorstellungen zum Kopierbegriff (siehe Beginn dieses Abschnitts) unterscheidet. Eine gute Kopie zu erstellen, bedeutete zu dieser Zeit *nicht*, eine möglichst originalgetreue physikalische Wiedergabe des Originals zu erzeugen, sondern bestand vielmehr in der *Bearbeitung des vorliegenden Skripts* (vgl. Ludwig, 2005). Das bedeutete, dass dem Kopisten zwar nicht die Veränderung des Inhalts, sehr wohl aber die freie räumliche und optische Gestaltung (einschließlich Seitenaufteilung, Zeilenumbruch, Gestaltung

der Buchstaben, etc.) oblag. Das führte dazu, dass inhaltsgleiche Werke völlig unterschiedliche (und häufig äußerst kunstvoll gestaltete) Erscheinungsbilder haben konnten.

Diese Ausführungen zeigen, dass die optische Gestaltung einer gelungenen Abschrift von der Gestaltung der Schriftzeichen bis hin zur räumlichen Aufteilung des Textes auch erheblich abweichen kann, solange die inhaltliche und semantische Bedeutung des abgeschriebenen Textes erhalten bleibt. Inwieweit Aspekte des räumlichen Layouts beim Abschreiben beibehalten werden sollen beziehungsweise welche Abweichungen erlaubt sind, bestimmt die Instruktion der Schreibaufgabe.

Bisher wurden mit der Semantik und dem räumlichen Layout zwei wichtige Aspekte angesprochen, ein letzter Aspekt zur Beschreibung der wichtigsten Eigenschaften von Vorlagen fehlt aber noch. Hierbei handelt es sich allerdings weniger um ein Kriterium zur Beurteilung der Qualität einer Abschrift, als vielmehr um eine inhärente Eigenschaft, die jeder schriftsprachlichen Vorlage zueigen ist: deren Aussprechbarkeit beziehungsweise phonologische Kodierbarkeit.

Die Rolle der phonologischen Kodierbarkeit

Unabhängig vom zugrunde liegenden Schriftsystem dienen Schriftzeichen zur Kodierung *aussprechbarer Wörter*. In alphabetischen Sprachen wie beispielsweise dem Deutschen wird dies durch die Verwendung alphabetischer Zeichen (Buchstaben) realisiert, die entweder einzeln oder gruppiert Phoneme repräsentieren, die als kleinste bedeutungsunterscheidende Einheiten fungieren. Schriftsprachliche Aufzeichnungen im Allgemeinen – und damit auch schriftsprachliche Vorlagen beim Abschreiben – sind somit *phonologisch kodierbar*. Beim Abschreiben ist die Reproduktion der Phonologie des Vorlagentextes eng an die bereits angesprochene Erhaltung der Bedeutung gekoppelt. Erfüllt man beim Abschreiben einfache Anforderungen wie hinreichende Erkennbarkeit und die Beibehaltung der Reihenfolge der Zeichen, ist gewährleistet, dass nicht nur die Semantik der Wörter, sondern auch deren phonologische Kodierbarkeit erhalten bleiben. Dies gilt auch für den Fall, dass der Abschreibende der zugrunde liegenden Sprache nicht mächtig ist und das Geschriebene nicht versteht. In solch einem Fall führt bereits die Strategie der Reproduktion der vorliegenden Zeichen in der gleichen Reihenfolge zu einem Produkt, welches bei lautem Vorlesen zum gleichen Resultat führt wie das laute Vorlesen der zugrunde gelegten Vorlage. Dies gilt gleichermaßen, wenn ein Text in einer unbekannten alphabetischen Sprache, eine Abfolge (aussprechbarer) Nichtwörter oder eine Abfolge von Zeichen in einem unbekannten Zeichensystem geschrieben wird.

Die phonologische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Textes ist aber nicht nur eine Eigenschaft, die reproduziert werden muss, sondern (wie auch schon die beiden zuvor genannten Eigenschaften) auch strategisch eingesetzt werden kann, um effizienter abzuschreiben. Ist dem Abschreiber das zugrunde liegende phonographische Skript bekannt und kann er den abzuschreibenden Text auch phonologisch enkodieren, kann er diese Informationen dazu verwenden, seine limitierten kognitiven Ressourcen besser zu nutzen (indem zusammengefasste Zeichenketten beispielsweise in Form von Silben, Morphemen oder ganzen Wörtern statt einzelner Zeichen verarbeitet werden). Der Schluss liegt nahe, dass dies den Abschreibprozess gegenüber der Strategie, erkennbare graphische Zeichenketten in der richtigen Reihenfolge zu reproduzieren, beschleunigt. Dieses Argument gilt im Übrigen nicht nur für die phonologische, sondern auch für die semantische Kodierbarkeit, denn zusätzlich zur Aussprechbarkeit kann auch die Bedeutung der abzuschreibenden Wörter zu einer effizienteren Nutzung der kognitiven Ressourcen beitragen.

Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass es beim Abschreiben auf das *Reproduzieren relevanter Informationen* des Vorlagentextes ankommt, wobei als wichtigstes Element die inhaltliche Bedeutung des Textes einschließlich der semantischen und phonologischen Kodierbarkeit der zugrunde liegenden Wörter erhalten bleiben soll. Zusätzlich können noch weitere Aspekte, wie die allographische Realisation der Buchstaben, Hervorhebungen, Schriftfarbe sowie die räumliche Gestaltung des Textlayouts relevante zu reproduzierende Elemente sein – insbesondere dann, wenn diese bedeutungstragend sind. Welches sind nun aber die kognitiven Prozesse, die für ein effizientes und fehlerfreies Abschreiben im Sinne dieser Anforderungen notwendig sind? Dies ist eine Frage, die bisher weitestgehend ungeklärt ist.

Ein naheliegender Zugang zur Ableitung von Hypothesen für die Erforschung kognitiver Prozesse beim Abschreiben stellt die *Textproduktion* dar. Hierbei darf allerdings nicht übersehen werden, dass die Aufgabe des Verfassens eigener Texte starke Unterschiede im Vergleich zum Abschreiben aufweist. Wie nachfolgend dargestellt wird, bietet jedoch die Unterscheidung zwischen höheren kognitiven Prozessen (z. B. Diskursplanung) und weniger anspruchsvollen Low-level-Prozessen (z. B. graphomotorische Ausführung) bei der Textproduktion eine entsprechende Schnittstelle. Es lohnt sich also, bei der Textproduktion anzusetzen, um aus zugehörigen gängigen Modellen Erkenntnisse für das Abschreiben abzuleiten. In den folgenden Abschnitten werden kognitive Prozessmodelle der *Textproduktion* dargestellt, die zusammen mit den in Abschnitt 2.2.2 beschriebenen Eigenschaften reproduktiver Schreibaufgaben dazu genutzt werden, um ein kognitives Prozessmodell des Abschreibens abzuleiten. Zu diesem Zweck wird

bei der nachfolgenden Darstellung der theoretischen Grundlagen der Textproduktion eine Auswahl aus der Fülle der Modelle und der empirischen Befunde vorgenommen.

2.3. Die Modellierung des Schreibprozesses bei der Textproduktion

2.3.1. Die Anfänge kognitiver Schreibprozessmodellierung

Die Modellierung des Schreibprozesses stellt ein vergleichsweise junges Teilgebiet der Schreibforschung dar. Pionierarbeit leisteten hier John Hayes und Linda Flower (1980), die ein Schreibprozessmodell formulierten, welches als erstes seiner Art einzelne Subprozesse des Schreibens unterscheidet und in Abhängigkeit von den kognitiven Voraussetzungen des Autors sowie der Schreibaufgabe beschreibt. Grundlage für diese Modellformulierung waren Protokolle der Verbalisierungen von Autoren während des Verfassens eigener Texte (*think aloud protocols*) von den ersten Notizen bis zum endgültigen Endprodukt. Hayes und Flower stießen auf Prozesse, die sich als Schritte einer Problemlöseaufgabe interpretieren lassen, und formulierten auf dieser Grundlage ihr prominentes Schreibprozessmodell, welches in seiner ursprünglichen Form in Abbildung 1 dargestellt ist.

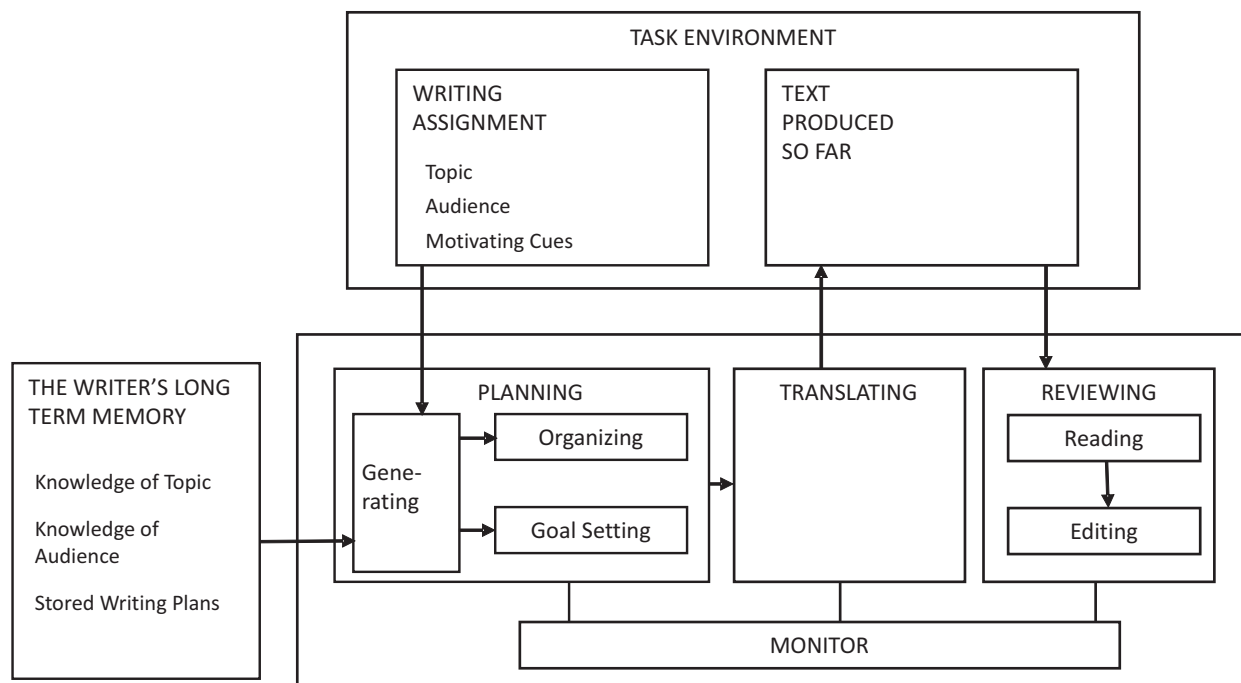


Abbildung 1: Schreibprozessmodell von Hayes und Flower. Adaptiert nach „Identifying the organization of writing processes“ von J. R. Hayes und L. S. Flower, erschienen in L. W. Gregg & E. R. Steinberg (Hrsg.), *Cognitive Processes in Writing*, S. 11. Copyright 1980 Lawrence Erlbaum Associates.

Wie aus Abbildung 1 ersichtlich ist, besteht das Modell von Hayes und Flower (1980) aus den drei Hauptteilen Aufgabenumfeld (*task environment*), Langzeitgedächtnis des Schreibers (*writer's long term memory*) und einer Komponente, die den generellen Schreibprozess repräsentiert. Letztere stellt den Kern des Modells dar und ist in drei weitere Subkomponenten unterteilt, die durch einen übergeordneten Überwachungsprozess (*monitor*) kontrolliert werden. Diese zur Erstellung eines eigenen Textes notwendigen Subkomponenten stellen drei ineinandergreifende Prozesse dar, welche im Folgenden kurz beschrieben werden (für eine kompakte Übersicht siehe auch Alamargot & Chanquoy, 2001):

- Die Komponente des Planens (*planning*) ist für die Erstellung und Steuerung eines Plans zuständig, der den Verlauf der Textproduktion im Sinne eines kommunikativen Ziels steuert. Zu diesem Zweck ist der Planungsprozess in drei weitere Subprozesse binnengegliedert: Der Prozess des Generierens (*generating*) ist dafür zuständig, sowohl Wissensinhalte aus dem Langzeitgedächtnis des Autors als auch Informationen aus der Schreibaufgabe zu entnehmen. Diese Inhalte werden mittels eines Strukturierungsprozesses (*organizing*) so aufbereitet, dass ein geeigneter Schreibplan entworfen werden kann, und es werden mittels eines Zielsetzungsprozesses (*goal setting*) Teilziele gesetzt, welche zur adäquaten Umsetzung des intendierten Kommunikationsziels genutzt werden.
- Der Teilprozess des Formulierens (*translating*) ist in Abhängigkeit von den Planungszielen für die konkrete Übersetzung der Wissensinhalte in Schriftsprache zuständig. Das Aufgabenumfeld unterliegt dadurch einer ständigen Veränderung, da stetig neue Teile des geschriebenen Textes entstehen oder Veränderungen darin vorgenommen werden.
- Die zuletzt genannten Veränderungen sind das Resultat des dritten Prozesses, der für die Überarbeitung (*reviewing*) zuständig ist, indem er die semantische und pragmatische Passung des bisher produzierten Textes zu den Planungszielen evaluiert und etwaige Korrekturen ansteuert. Möglich wird dies durch die beiden Subprozesse des (nochmaligen) Lesens (*reading*) und die Durchführung von Änderungen (*editing*) des bisher produzierten Textes.

Das Zusammenspiel von Planung, Formulierung und Überarbeitung ist jedoch nicht in Form eines sequentiellen Ablaufs, sondern vielmehr in Form eines *zyklischen* Durchlaufens zu verstehen, bei dem es keine zwingende feste Abfolge zwischen den Teilprozessen gibt und bei dem die einzelnen Teilprozesse beliebig oft durchlaufen werden können. Dass Hayes und Flower in ihrem Modell Schreiben als einen Problemlösungsvorgang auffassen, wird u. a. durch diese

Zirkularität, die mit dem Setzen von Teilzielen und einer nachgeschalteten Evaluation der bislang zur Lösung eingesetzten Operatoren einhergeht, widergespiegelt (für einen Überblick zu Problemlösen siehe Funke, 2006).

Die Autoren bezeichnen ihr Modell in dieser frühen Publikation zwar selbst noch als vorläufig, in der Folge erwies es sich aber dennoch als äußerst einflussreich innerhalb der Schreibprozessforschung. Es diente in den letzten 30 Jahren nicht nur als Fundament für einen beträchtlichen Umfang empirischer Forschung, sondern war auch Ausgangspunkt für zahlreiche Weiterentwicklungen bei der Modellierung kognitiver Schreibprozesse. Der Wert dieses frühen Modells erweist sich nicht zuletzt dadurch, dass viele seiner getroffenen Grundannahmen (z. B. der zirkuläre Ablauf der Prozesse) sich auch in aktuelleren Schreibprozessmodellen wiederfinden.

Eine entscheidende Annahme späterer Schreibprozessmodelle ist in dem ursprünglichen Modell von Hayes und Flower jedoch noch nicht repräsentiert: die Abhängigkeit der Schreibprozesse von den limitierten kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses, wie sie beispielsweise McCutchen (1994, 1996) oder auch Olive (2012) beschreiben. Die Annahmen über die Anknüpfung an das menschliche Gedächtnis beziehen sich innerhalb des Modells von Hayes und Flower noch exklusiv auf das Langzeitgedächtnis. In späteren Modellen wurden diese Annahmen elaboriert, und das Arbeitsgedächtnis wurde als zentrales Konstrukt in die Modellarchitektur aufgenommen. Bevor Weiterentwicklungen von Schreibprozessmodellen diskutiert werden, werden im Folgenden zum besseren Verständnis zunächst relevante Grundlagen zum Konstrukt des Arbeitsgedächtnisses vorgestellt. Zwar existieren eine Reihe verschiedener Arbeitsgedächtniskonzeptionen (siehe z. B. Miyake & Shah, 1999), das bei weitem bekannteste und verbreiteteste Modell ist jedoch die Konzeption, die von Alan D. Baddeley vertreten wird (siehe z. B. Baddeley, 2007; Repovš & Baddeley, 2006). Aufgrund der einflussreichen Stellung und des breiten empirischen Fundaments dieses Modells wird der Fokus auf die modalitätsspezifische Multikomponentenkonzeption nach Baddeley gelegt, und es wird nachfolgend auf eine Darstellung anderer Konzeptionen verzichtet.

2.3.2. Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses

Die ursprüngliche Konzeption des Arbeitsgedächtnisses, wie sie von Baddeley und Hitch (1974) vorgestellt wurde, hat wie kaum ein zweites Konstrukt die kognitionspsychologische Forschungslandschaft verändert. In seiner ursprünglichen Form ist das Modell zwar mittlerweile etwas in die Jahre gekommen, dennoch sind die hier getroffenen Grundannahmen zur

Architektur des Arbeitsgedächtnisses vielfach empirisch untermauert worden (für eine Zusammenfassung siehe Baddeley, 2007), so dass das Modell in neueren Überarbeitungen keine globale Umstrukturierung oder eine völlige Neudefinition seiner Bestandteile erfahren hat, sondern stattdessen um zusätzliche Komponenten erweitert wurde. In Abbildung 2 ist das Modell in seiner heute gültigen Form einschließlich aller Erweiterungen dargestellt. In der nachfolgenden Beschreibung werden zunächst die Komponenten der ursprünglichen Konzeption behandelt und die Erweiterungen ergänzend etwas später eingeführt.

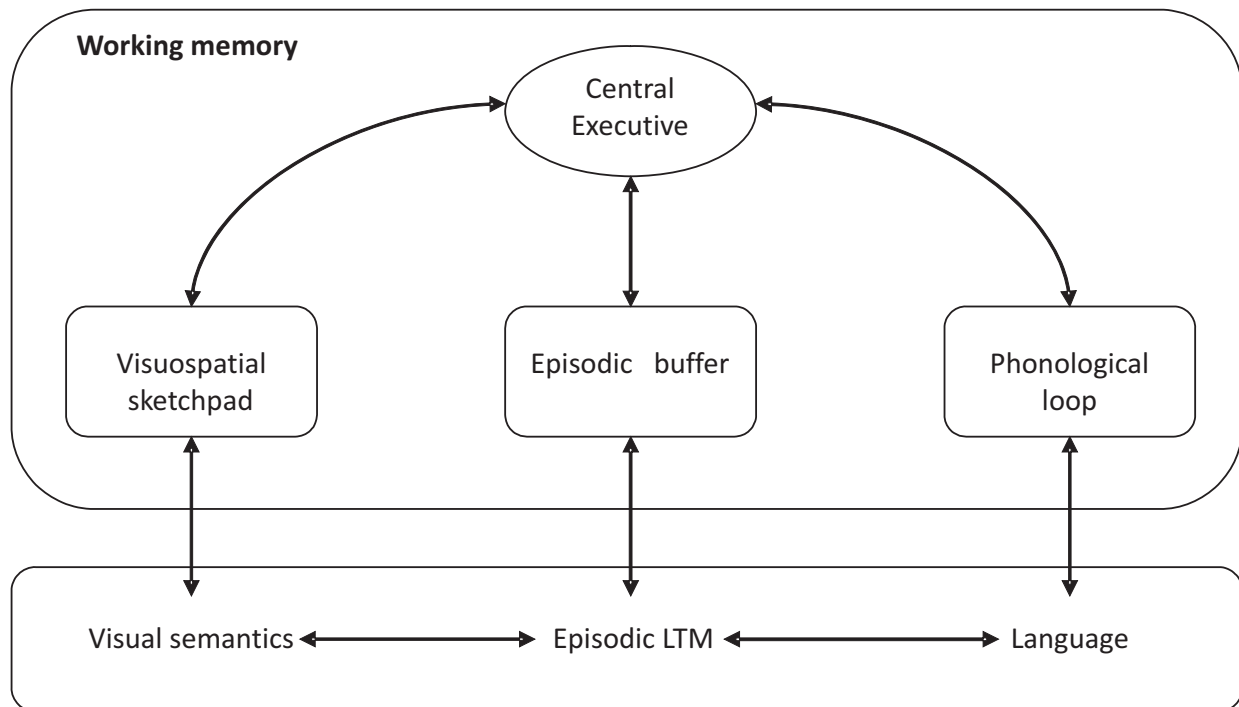


Abbildung 2: Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses. Adaptiert nach „The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology“ von G. Repovš und A. Baddeley, 2006, *Neuroscience*, 139, S. 6. Copyright 2006 Elsevier.

Historisch gesehen war die ursprüngliche Konzeption des Arbeitsgedächtniskonstrukts eine Antwort auf eine Reihe von Unzulänglichkeiten der bis dahin verbreiteten Konzeption des Kurzzeitgedächtnisses im Sinne von Atkinson und Shiffrin (1968). Diese nahmen in ihrem einflussreichen Gedächtnismodell die Existenz eines *short-term store* an, welcher die ausschließliche Funktion einer kurzzeitigen Zwischenspeicherung von Gedächtnisinhalten inne hatte. Um auch Befunde zu erklären, die mit einer solchen einfachen Speicherkonzeption des Kurzzeitgedächtnisses nicht vereinbar sind (z. B. empirische Untermauerungen der Theorie der Verarbeitungstiefe nach Craik & Lockhart, 1972), schufen Baddeley und Hitch (1974) eine Neukonzeption, welche sie Arbeitsgedächtnis (*working memory*) taufte. Die zentrale Neuerung

dieses Konstrukts bestand darin, dass das Arbeitsgedächtnis neben zwei separaten Komponenten zur kurzzeitigen Speicherung von Informationen auch eine übergeordnete Komponente miteinschließt, welche es erlaubt, Gedächtnisinhalte aus verschiedenen Modalitäten zu integrieren und zu manipulieren. In der ursprünglichen Konzeption aus dem Jahre 1974 wurden drei Komponenten angenommen: die zentrale Exekutive (*central executive*) als übergeordnete Komponente ohne eigene Speicherkapazität, welche die beiden Subkomponenten der phonologischen Schleife (*phonological loop*; zuständig für die kurzfristige Speicherung phonologischen Materials) und des visuell-räumlichen Notizblocks (*visuo-spatial sketchpad*; zuständig für die kurzfristige Speicherung visuell-räumlicher Reizkonstellationen) kontrolliert.

Den beiden zuletzt genannten modalitätsspezifischen Subkomponenten ist gemein, dass für beide eine Binnengliederung in eine passive Komponente für die Speicherung von Inhalten und eine aktive Komponente für Rehearsalprozesse angenommen wird. Die phonologische Schleife lässt sich demnach in einen passiven phonetischen Speicher und eine aktive artikulatorische Rehearsalkomponente (Baddeley, 2007) untergliedern und der visuell-räumliche Notizblock in die passive Speicherkomponente *visual cache* und die aktive Rehearsalkomponente *inner scribe* (Logie, 1995). Für die phonologische Schleife, die in der Vergangenheit von den drei ursprünglichen Hauptkomponenten am intensivsten untersucht wurde, liegt bereits eine Reihe bestätigender Befunde für eine solche Binnengliederung vor (Repovš & Baddeley, 2006); die empirische Untersuchung der angenommenen Binnengliederung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses steht derzeit noch im Fokus aktueller Arbeitsgedächtnisforschung (siehe z. B. Quinn, 2008).

Vergleicht man die parallel aufgebaute Binnengliederung der beiden Komponenten genauer, finden sich jedoch auch Unterschiede. Während sowohl der phonetische Speicher als auch die artikulatorische Rehearsalkomponente beide für die Zwischenspeicherung von phonologischem Material zuständig sind (Baddeley, 2007), spiegelt die Unterscheidung in die Komponenten des *visual cache* (statische visuelle Information) und des *inner scribe* (dynamische räumliche Information) eine modalitätsspezifische Untergliederung des visuell-räumlichen Notizblocks in eine visuelle und in eine räumliche Komponente wider (Logie, 1995). Diese modalitätsspezifische Dissoziation des visuell-räumlichen Notizblocks wurde in der Vergangenheit zwar bereits mehrfach empirisch untermauert (z. B. Darling, Della Sala & Logie, 2007; Della Sala, Gray, Baddeley, Allamano & Wilson, 1999; Klauer & Zhao, 2004), dennoch kann deren genaue Natur bisher noch nicht als endgültig geklärt betrachtet werden (Quinn, 2008).

Die zentrale Exekutive als wichtigstes Unterscheidungskriterium zu früheren Kurzzeitgedächtniskonzeptionen ist gleichzeitig auch diejenige Komponente, deren genaue Funktion und mögliche Binnenarchitektur bis heute am wenigsten geklärt ist. Obwohl der Name darauf hindeutet, dass es sich hierbei um ein einzelnes abgegrenztes System handelt, geht Baddeley davon aus, dass die zentrale Exekutive das Zusammenspiel mehrerer aufmerksamkeitsabhängiger Prozesse repräsentiert. Er schlägt in diesem Zusammenhang vier Prozesse vor, die konstitutive Elemente einer möglichen Binnengliederung der zentralen Exekutive sein könnten (Baddeley, 2007): die Fokussierung von Aufmerksamkeit, die Teilung von Aufmerksamkeit, Aufmerksamkeitsverlagerung und die Verbindung zum Langzeitgedächtnis. Eine entsprechende Untergliederung ist Bestandteil aktueller Debatten, angesichts der empirisch noch recht unklaren Lage wird diese jedoch mit Verweis auf die ausführliche Diskussion in Baddeleys Buch aus dem Jahr 2007 hier nicht weiter verfolgt.

Das in Abbildung 2 dargestellte Arbeitsgedächtnismodell besitzt neben den drei ursprünglich formulierten Komponenten einen weiteren Bestandteil, der im Jahr 2000 hinzugefügt wurde: den episodischen Puffer (*episodic buffer*; Baddeley, 2000). Bei dieser Arbeitsgedächtnisstruktur handelt es sich um eine Komponente, die eine modalitätsunspezifische Speicherfunktion innehat. Baddeley nahm diese Komponente als Reaktion auf Kritik auf, die darauf fußte, dass die Funktionszuschreibung der zentralen Exekutive zu breit und allgemein angelegt sei und das Modell somit einem Homunkulus entspreche, der empirisch nicht überprüfbar ist. Baddeley limitierte die Funktion der zentralen Exekutive daraufhin auf die vier oben beschriebenen aufmerksamkeitsbasierten Funktionen. Ohne eine weitere Speicherkomponente waren jedoch eine Reihe empirischer Befunde durch das Modell nicht mehr hinreichend erklärbar (z. B. die Funktionsweise komplexer Spannenmaße wie die *reading span* nach Daneman und Carpenter, 1980). Deswegen wurde der episodische Puffer als Verbindungsglied eingeführt, das modalitätsunabhängig Information aus den anderen drei Subkomponenten sowie dem Langzeitgedächtnis in einer episodisch-szenenhaften Form temporär integriert und zwischenspeichert (für eine ausführliche Diskussion siehe Baddeley, 2007). Die Untersuchung von Rolle und Funktionsweise dieser relativ neuen Komponente (insbesondere in ihrem Zusammenspiel zwischen zentraler Exekutive und dem Langzeitgedächtnis) ist ebenfalls eine Frage, die noch weiterer empirischer Klärung bedarf.

Messung der Arbeitsgedächtniskapazität

Eine zentrale Eigenschaft der klassischen Subkomponenten der phonologischen Schleife und des visuell-räumlichen Notizblocks ist die Begrenzung ihrer Speicherkapazität. Bei der

phonologischen Schleife beispielsweise geht man von einer maximalen Kapazität – der sogenannten Gedächtnisspanne – von circa fünf bis neun Items aus (in etwa der Umfang einer Telefonnummer), die gleichzeitig für kurze Zeit mental aufrechterhalten werden können (Miller, 1956). In der Vergangenheit wurden eine Reihe verschiedener modalitätsspezifischer Gedächtnisspannenmaße entwickelt, um die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses einzelner Personen unter einer differentiellen Perspektive zu messen. Die Messung der Gedächtnisspanne basiert auf dem Prinzip, dass in aufeinanderfolgenden Durchgängen eine aufsteigende Anzahl von zu memorierenden Items vorgegeben wird, wobei es die Aufgabe des untersuchten Probanden ist, die Items bis zu einem Startsignal im Arbeitsgedächtnis aufrechtzuerhalten und diese dann in der exakten Reihenfolge der Präsentation wiederzugeben. Zur Veranschaulichung folgen nun Beispiele verschiedener Spannenmaße für die einzelnen Arbeitsgedächtnis-komponenten.

Ein klassisches Beispiel für die Testung der *phonologischen* Gedächtnisspanne stellt die Zahlenspanne dar, bei der, beginnend mit einer Reihe von vier Ziffern (die im Regelfall jeder Proband wiedergeben kann), zunehmend länger werdende Zahlenreihen wiedergegeben werden sollen, bis eine Länge erreicht wird, ab der die Zahlen nicht mehr vollständig korrekt reproduziert werden können. Ein Beispiel zur Messung der *visuell-räumlichen* Gedächtnisspanne ist die Corsi-Block-Aufgabe (Corsi, 1972), bei der eine unregelmäßige Konstellation von Blöcken auf einem Feld präsentiert wird, die als Stationen für Pfade aufsteigender Länge dienen. In der ursprünglichen Fassung werden die Blöcke zur Präsentation der Pfade einzeln nacheinander vom Versuchsleiter manuell angetippt und müssen vom Probanden ebenfalls mit der Hand in der Reihenfolge des vorgegebenen Pfades nachgetippt werden. Ein Beispiel für phonologische Leistung unter gleichzeitiger Belastung der *zentralen Exekutive* stellt die „Zahlenspanne rückwärts“ dar, bei der, ähnlich wie bei der Zahlenspanne, vorgegebene Zahlen in der richtigen Reihenfolge – diesmal allerdings rückwärts – wiedergegeben werden sollen. Zahlenspanne vorwärts und Zahlenspanne rückwärts sind im Übrigen Bestandteil gängiger Intelligenztests wie dem HAWIE (Tewes, 1991), bei dem diese Aufgabe der Fähigkeitsgruppe „Arbeitsgedächtnis“ zugeordnet ist.

Aus entwicklungspsychologischer Perspektive ließ sich in der Vergangenheit zeigen, dass sich die modalitätsspezifische Modellstruktur sensu Baddeley mittels solcher Spannenmaße bereits im recht frühen Lebensalter nachweisen lässt. Gathercole, Pickering, Ambridge und Wearing (2004) überprüften die differentielle Leistung von Kindern zwischen 4 und 15 Jahren in verschiedenen modalitätsspezifischen Spannenmaßaufgaben mittels linearer Strukturgleichungsmodelle auf Vorliegen einer funktionellen Aufgliederung der Arbeitsgedächtnisleistung in die

drei genannten Komponenten der phonologischen Schleife, des visuell-räumlichen Notizblocks und der zentralen Exekutive. Es zeigte sich, dass ab dem Alter von sechs Jahren drei stabile (wenn auch interkorrelierte) Faktoren nachweisbar sind, die sich im Sinne dieser drei Arbeitsgedächtniskomponenten interpretieren lassen. Mit Einschränkungen wurde eine entsprechende Unterteilung des Arbeitsgedächtnisses mittels Spannenmaßen sogar für noch jüngere Kinder ab vier Jahren berichtet (Roebers & Zoelch, 2005; Schmid, Zoelch & Roebers, 2008). Neben einer Validierung der angenommenen Arbeitsgedächtnisstruktur zeigen diese Arbeiten, dass eine Ausbildung modalitätsspezifischer Komponenten bereits im sehr frühen Kindesalter nachweisbar ist.

Für das *Schreiben* war die Rolle des Arbeitsgedächtnisses bis zur Mitte der 1990er Jahre noch weitgehend unspezifiziert. Im Jahre 1996 änderte sich dies, denn hier war der Startpunkt, in dem das Arbeitsgedächtnis als zentrales Konstrukt für das Schreiben in den Vordergrund gerückt wurde (Hayes, 1996; Kellogg, 1996; McCutchen, 1996). Da das Arbeitsgedächtniskonstrukt eine kapazitätsbeschränkte Ressource darstellt, spielten Überlegungen über die relative Beanspruchung der Arbeitsgedächtniskomponenten durch Schreibprozesse und die daraus erwachsenden Folgen für den Schreiber eine zentrale Rolle. Im folgenden Abschnitt werden zwei Schreibprozessmodelle der Textproduktion – das revidierte Schreibmodell von Hayes (1996) und das Schreibmodell von Kellogg (1996; 1999) – vorgestellt. Beide haben das menschliche Arbeitsgedächtnis als zentrales Konstrukt in ihre Modellarchitektur aufgenommen, wodurch die zentrale Stellung, die dem Arbeitsgedächtnis beim Schreiben zukommt, veranschaulicht wird. Die nachfolgende Darstellung der Modelle verdeutlicht überdies, dass beide unterschiedliche Ansatzpunkte für das Verständnis kognitiver Prozesse beim Abschreiben liefern, da sie unterschiedliche Akzentuierungen in ihrer Architektur aufweisen.

2.3.3. Das revidierte Schreibmodell von Hayes

Im Jahr 1996 publizierte Hayes als Reaktion auf die Kritik, dass das alte Modell von 1980 keine sozialen und affektiven Rahmenbedingungen ins Kalkül ziehe, eine Revision seines einflussreichen Modells, welches neben der Berücksichtigung dieser Kritikpunkte auch das Arbeitsgedächtnis als entscheidende Neuerung integriert. Die Architektur des revidierten Modells ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. Im direkten Vergleich mit dem alten Modell aus dem Jahre 1980 fällt auf, dass auf einer globalen Ebene eine Umstrukturierung stattgefunden hat. Denn Hayes unterscheidet nun explizit zwischen dem Aufgabenumfeld (*task environment*) und dem Autor als Individuum (*individual*). Diese beiden Bereiche, die implizit auch in der ursprünglichen Modellkonzeption vorhanden sind, sind innerhalb dieser Dichotomie in ihrem

Zusammenspiel nun aber klarer verortet. Dies erlaubt eine bessere Darstellung der angenommenen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessen.

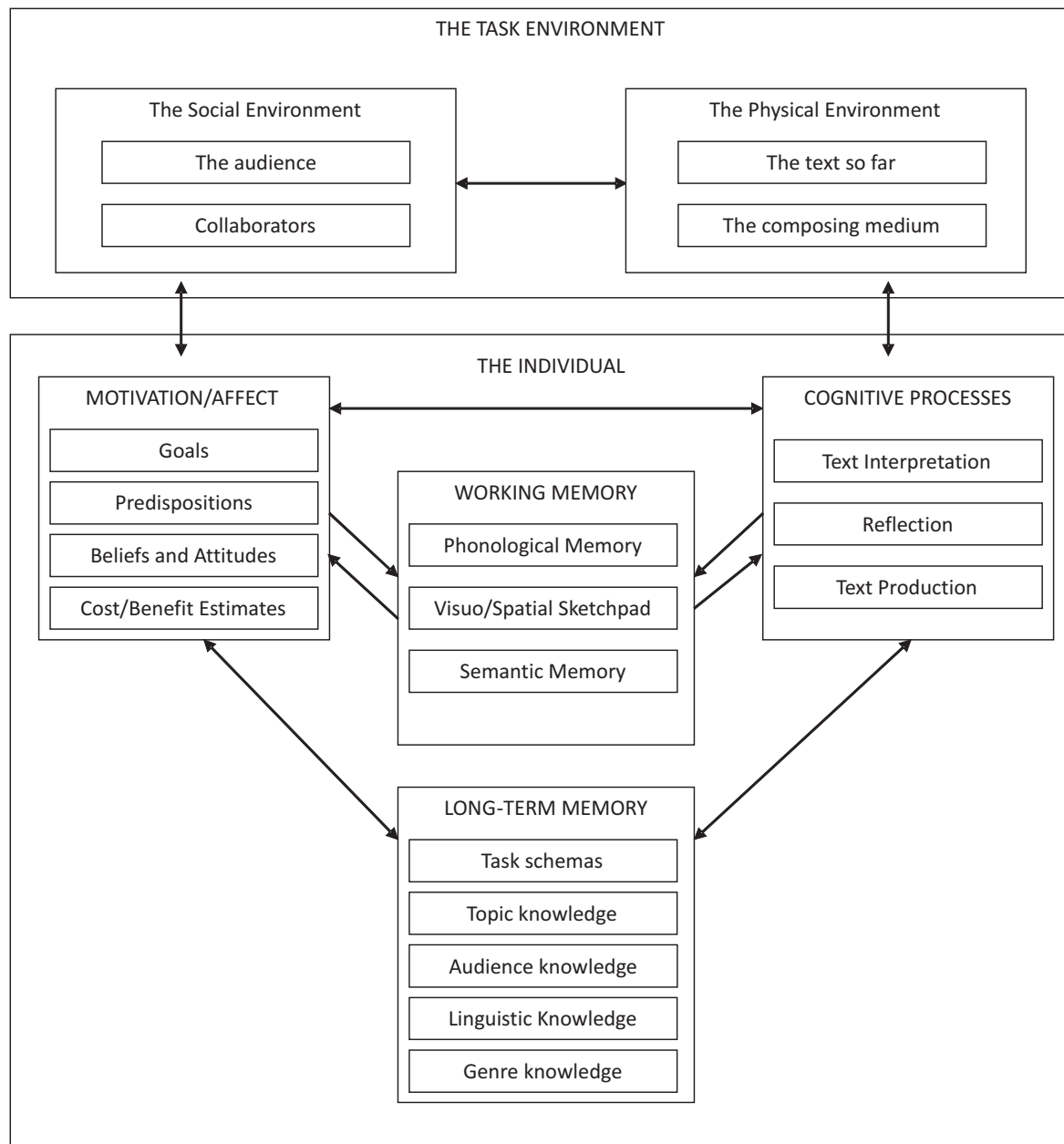


Abbildung 3: Revidiertes Schreibprozessmodell von Hayes. Adaptiert nach „A new framework for understanding cognition and affect in writing“ von J. R. Hayes, erschienen in C. M. Levy & S. E. Ransdell (Hrsg.), *The Science of writing. Theories, methods, individual differences and applications*, S. 4. Copyright 1996 Lawrence Erlbaum Associates.

Innerhalb des Individuums sind vier Hauptbereiche angeordnet, deren Beziehungen untereinander durch Pfeile dargestellt werden. Im Zentrum dieser Anordnung steht (1) das Arbeitsgedächtnis (einschließlich einer phonologischen, einer visuell-räumlichen und einer semantischen Subkomponente), um welches drei weitere Komponenten angeordnet sind, die sowohl mit dem Arbeitsgedächtnis als auch untereinander in wechselseitiger Beziehung stehen. Bei den drei weiteren Komponenten handelt es sich (2) um das bereits im alten Modell vorhandene Langzeitgedächtnis, (3) eine neue Komponente, die motivational-affektive Einflüsse wie Ziele oder Einstellungen berücksichtigt, sowie (4) eine Komponente namens *cognitive processes*, welche die drei im alten Modell vorhandenen Schreibprozesse unter anderem Namen enthält (*reflection* entspricht hierbei der Planung, *text production* der Übersetzung und *text interpretation* der Überarbeitung; zum Vergleich siehe Abschnitt 2.3.1).

Zwei wichtige Unterschiede beziehungsweise Erweiterungen zum alten Modell bestehen darin, dass die motivational-affektive Komponente als neues Element berücksichtigt wird und dass die Schreibprozesse mit ihren Subkomponenten unter etwas generelleren Bezeichnungen zusammengefasst werden. Als den wichtigsten Hauptunterschied jedoch (der auch gleichzeitig für diese Arbeit der bedeutungsvollste ist) bezeichnet Hayes (1996) die Aufnahme des Arbeitsgedächtnisses in das Modell. Die große Bedeutung des Arbeitsgedächtnisses kommt in Abbildung 3 nicht nur dadurch zum Ausdruck, dass es innerhalb des Individuums optisch in der Mitte platziert ist, sondern auch dadurch, dass es mit Doppelpfeilen mit allen drei anderen mentalen Komponenten verbunden ist (also sowohl Input von diesen erhält als auch Informationen an diese weiterleitet). Dies ermöglicht es dem Schreibenden, während der Textproduktion nicht nur sprachliche Aspekte des zu planenden Diskurses, sondern auch visuell-räumliche Repräsentationen (im Text manifestiert z. B. in Form von Abbildungen und Tabellen) zu verarbeiten. Es werden jedoch keine *spezifischen* Zusammenhänge zwischen den einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten und den Schreibprozessen angenommen, sondern es wird davon ausgegangen, dass die einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses von allen Schreibprozesskomponenten gleichermaßen genutzt werden (können).

Hayes (1996) konzentriert sich in seinem Modell zwar auf psychologisch relevante, individuelle Aspekte des Schreibprozesses, mit dem Aufgabenumfeld berücksichtigt er aber auch umgebungsrelevante Aspekte. Innerhalb der revidierten Version kommt dies dadurch zum Ausdruck, dass die soziale Umwelt (*social environment*) als breit gefasstes Konzept aufgenommen wird, welches so unterschiedliche Dinge umfasst wie die Berücksichtigung des Adressaten, die soziale Herkunft des Schreibenden oder den kulturellen Kontext, der die Quelle für das verwendete Schriftsystem darstellt. Auf der anderen Seite steht das physikalische

Umfeld, innerhalb dessen im Vergleich zum ursprünglichen Modell eine Erweiterung vorgenommen wurde. Neben dem bisher produzierten Text, der auch schon in der ursprünglichen Version aus dem Jahr 1980 Bestandteil des Modells war, wird nun auch das Schreibmedium (z. B. Handschrift, Tastatur) berücksichtigt.

Die für diese Arbeit bedeutungsvollsten Aspekte dieses Modells sind die Aufnahme des menschlichen Arbeitsgedächtnisses und die Berücksichtigung des Schreibmediums. Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses ist in Hayes' Modell trotz seiner zentralen Position jedoch sehr allgemein gehalten, obwohl spezifischere Annahmen – zum Beispiel zu selektiven Fragen nach der unterschiedlichen Rolle der modalitätsspezifischen Speicherkomponenten im Kontrast zu aufmerksamkeitsabhängigen Prozessen der zentralen Exekutive – durchaus naheliegend erscheinen. Das nachfolgend dargestellte Schreibprozessmodell nach Kellogg nimmt sich dieser Problematik an und liefert ausgefeilte Annahmen zur Rolle der einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten.

2.3.4. Das Schreibmodell von Kellogg

Das „Arbeitsgedächtnismodell des Schreibens“ von Kellogg (1996, 1999) besteht im Wesentlichen aus zwei Hauptbestandteilen, die in Abbildung 4 dargestellt sind. Hierbei handelt es sich um den (in drei weitere Subprozesse unterteilten) Schreibprozess, der in der oberen Hälfte der Abbildung dargestellt ist, und um das modalitätsspezifische Multikomponentenmodell des Arbeitsgedächtnisses, das in einer vereinfachten Form ohne die Darstellung der Zusammenhänge zwischen den drei Binnenkomponenten in der unteren Hälfte dargestellt ist. Beziehungen zwischen den Schreibprozesskomponenten sind durch (Doppel-)Pfeile dargestellt, und Abhängigkeitsverhältnisse der Schreibprozesskomponenten mit den einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses sind durch nicht gerichtete Linien gekennzeichnet.

Betrachtet man Kelloggs Modellierung der Schreibprozesse, fällt zunächst auf, dass – wie auch in dem ursprünglichen Modell von Hayes und Flower (1980) – drei Prozesskomponenten angenommen werden. Deren Binnenstruktur weicht von dem ursprünglichen Modell jedoch in einigen entscheidenden Punkten ab. So setzt sich die erste Komponente der Formulierung (*formulation*) aus einem Subprozess für Planung (*planning*) und einem für die Übersetzung (*translating*) zusammen, so dass innerhalb der Formulierungskomponente zwei der ursprünglichen Schreibprozesse von Hayes und Flower (1980) in weitestgehend analoger Funktionsweise zusammengefasst sind. Neu dagegen ist die Aufnahme eines Ausführungsprozesses (*execution*), der für die Programmierung und Ausführung

graphomotorischer Schreibbewegungen zuständig ist. (An dieser Stelle befindet sich innerhalb dieses kognitiven Schreibmodells eine Schnittstelle zur Graphomotorikforschung, die in Abschnitt 1.2 beschrieben ist). Weitestgehend analog zur Reviewing-Komponente nach Hayes und Flower (1980) ist die dritte Komponente der Überwachung (*monitoring*), die mittels der Prozesse des Lesens und des Editierens für Revisionen zuständig ist.

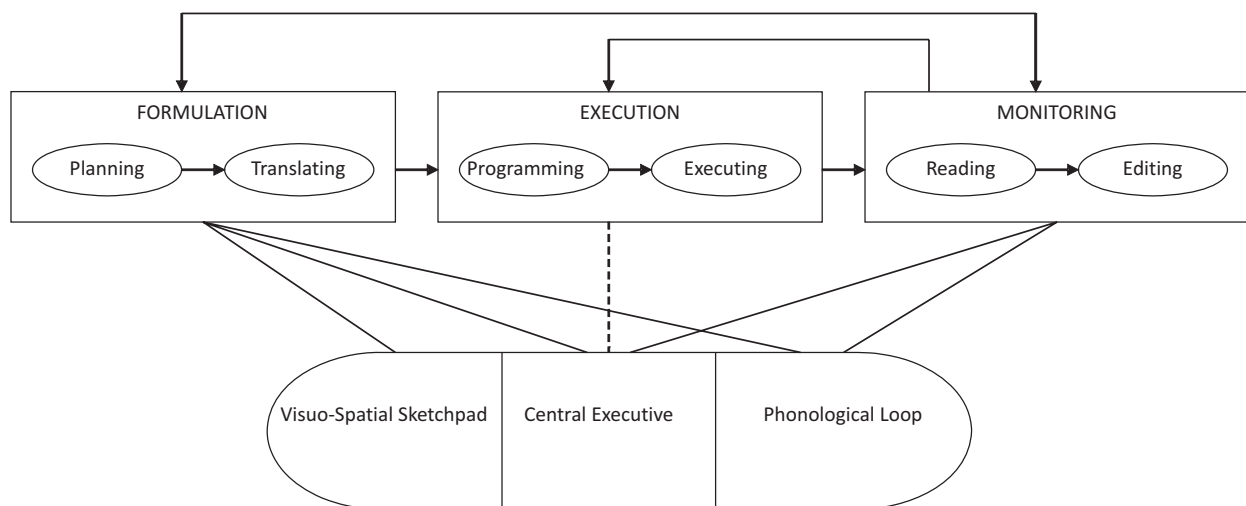


Abbildung 4: Schreibprozessmodell nach Kellogg. Adaptiert nach „A Model Of Working Memory In Writing“ von R. T. Kellogg, erschienen in C. M. Levy & S. E. Ransdell (Hrsg.), *The Science of writing. Theories, methods, individual differences and applications*, S. 59. Copyright 1996 Lawrence Erlbaum Associates.

Auch Kelloggs Modell ist durch Rekursivität der Schreibprozesse und damit durch einen zyklischen Charakter gekennzeichnet. Die drei Prozesse der Formulierung, der Ausführung und der Überwachung sind nach Kellogg zwar einerseits insoweit linear aufzufassen, als sie in dieser Reihenfolge jeweils Input für den nachfolgenden Prozess bereitstellen (was durch die Pfeile zwischen den Kästen dargestellt wird), andererseits müssen diese Prozesse insbesondere bei längeren Texten in der Regel mehrfach durchlaufen werden. Zentral für solche mehrfachen Durchläufe ist die Überwachungskomponente, die für Rückkopplungsprozesse und die Initiierung notwendiger Überarbeitungsschleifen zuständig ist. In Abbildung 4 ist dies durch Verbindungspfeile zwischen der Überwachungskomponente und den beiden anderen Komponenten dargestellt. Auf diese Weise berücksichtigt Kellogg das Vorkommen unterschiedlicher Revisionsprozesse wie lokale Oberflächenrevisionen (durch direkte Ansteuerung der Ausführungskomponente) oder globale, bedeutungsverändernde Revisionen auf Textebene (durch Rückkopplung zur Formulierungskomponente); aber auch die Möglichkeit von

internalen Revisionen (vgl. Lindgren & Sullivan, 2006) ist innerhalb des Modells gegeben, da die Verbindung zwischen Formulierung und Überwachung bidirektional angelegt ist. Letzteres bedeutet, dass Information auch direkt von der Planungs- oder Übersetzungskomponente zur Überwachungskomponente fließen kann und so mental Korrekturen ausgeführt werden können, noch bevor sie tatsächlich auf dem Papier oder dem Bildschirm manifest geworden sind.

Der zweite zentrale Aspekt des Modells ist die Aufnahme des menschlichen Arbeitsgedächtnisses in die Modellarchitektur, wobei spezifische Annahmen zur selektiven Belastung einzelner Komponenten des Arbeitsgedächtnisses durch die verschiedenen Schreibprozesse formuliert sind. Die *Formulierungskomponente* übt nach den Annahmen Kelloggs die größte Belastung auf die kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses aus. Dabei sind alle drei Subkomponenten betroffen: Die zentrale Exekutive wird durch die Anforderung, Ideen zu generieren sowie diese zu strukturieren, durchzudenken und schlussendlich in semantische und syntaktische Strukturen zu überführen, belastet, der visuell-räumliche Notizblock durch Visualisierungen beispielsweise von Ideen, möglichen Grafiken oder Layout des Textes während des Planens und die phonologische Schleife bei der Übersetzung der Ideen in Sprache. Die *Überwachungskomponente* belastet dem Modell zufolge lediglich zwei Komponenten des Arbeitsgedächtnisses, wobei sowohl die phonologische Schleife als auch die zentrale Exekutive durch den Leseprozess Belastung erfahren, während die mannigfaltigen Anforderungen des Editierens (vom oberflächlichen Orthographiefehler bis zu konzeptionellen Änderungen) ausschließlich die zentrale Exekutive belasten.

Für diese Arbeit besonders interessant sind die spezifischen Annahmen, die Kellogg zur Arbeitsgedächtnisbelastung trifft, die durch die *Programmierung und Ausführung graphomotorischer Bewegungssequenzen* zustande kommt. Wie beschrieben, werden motorische Bewegungssequenzen für das Schreiben durch den motorischen Ausführungsprozess angesteuert. Dieser wirkt sich dem Modell zufolge ausschließlich auf die zentrale Exekutive aus und ist in Abbildung 4 durch eine gestrichelte Linie dargestellt. Dies veranschaulicht Kelloggs Annahme, dass eine Belastung bei der Programmierung und Ausführung von Schreibbewegungen nicht zwingend zum Tragen kommen muss, sondern dass graphomotorische Prozesse bei hinreichender Übung ab einem gewissen Automatisierungsgrad wenige bis gar keine Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses beanspruchen.

Die Annahmen, die Kellogg in seinem Arbeitsgedächtnismodell des Schreibens trifft, erlauben klare Vorhersagen. In den letzten Jahren wurden diese Vorhersagen in einer Reihe empirischer Untersuchungen überprüft, wobei die getroffenen Annahmen in großen Teilen bestätigt werden konnten. Es folgt eine Darstellung wichtiger empirischer Erkenntnisse zur Rolle des

Arbeitsgedächtnisses für die Schreibprozesse der Textproduktion; dieser ist eine Vorstellung der hierzu zentralen Methode des Zweitaufgabenparadigmas vorangestellt.

2.3.5. Textproduktion und Arbeitsgedächtnis: Empirische Befunde

Das Zweitaufgabenparadigma

Eine Grundannahme der beiden zuletzt genannten Modelle basiert darauf, dass das reibungslose Funktionieren der Schreibprozesse von einem Pool kapazitätslimitierter kognitiver Ressourcen abhängt (für einen kompakten Überblick über Schreiben und limitierte Gedächtnisressourcen siehe Torrance & Galbraith, 2006). Werden beispielsweise zwei arbeitsgedächtnisbelastende Prozesse gleichzeitig in Gang gesetzt, müssen sich beide die limitierten Arbeitsgedächtnisressourcen teilen. Kommt es dazu, dass die kognitiven Anforderungen die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses übersteigen, ist mit Einbußen in der Verarbeitung der beteiligten kognitiven Prozesse und damit auch mit beobachtbaren Performanzeinbußen zu rechnen. Dies gilt auch für die parallele Ausführung von Schreibprozessen (z. B. gleichzeitige motorische Ausführung und Planung).

Diese Überlegungen stellen die Grundlage für das *Zweitaufgabenparadigma* dar, das bei der empirischen Überprüfung der Rolle des Arbeitsgedächtnisses beim Schreiben vielfach verwendet wurde (für Übersichten siehe z. B. Olive, 2004; Rummer, 1996). Dabei werden Probanden zwei parallel auszuführende Aufgaben (eine Primär- und eine Sekundäraufgabe) gestellt, die beide um eine zugrunde liegende kognitive Ressource konkurrieren. Die parallele Ausführung zweier aufmerksamkeitsbelastender Aufgaben kann beispielsweise eine Überlastung der zentralen Exekutive verursachen, was dazu führt, dass nicht ausreichend Aufmerksamkeitsressourcen für die Bearbeitung der beiden Aufgaben zur Verfügung stehen, so dass es zu einem Leistungseinbruch bei einer der beiden Aufgaben (oder beiden) kommt. Vergleicht man die Leistung einer Primäraufgabe (z. B. möglichst schnelles Drücken einer Taste auf ein Tonsignal) zwischen einer Bedingung, in der die Primäraufgabe allein durchgeführt wird, und einer Bedingung, in der parallel eine Zweitaufgabe (z. B. Kopfrechnen) durchgeführt wird, kann man nicht nur zeigen, dass die Reaktionszeit bei der Primäraufgabe verzögert ist, sondern durch die Berechnung der Differenz zwischen den beiden Bedingungen auch das relative Ausmaß der durch die Zweitaufgabe bedingten Interferenz bestimmen. Als mögliche Zweitaufgaben sind eine ganze Reihe verschiedener Aufgaben denkbar. Im Rahmen der Untersuchung der Rolle des

Arbeitsgedächtnisses für das Schreiben stehen insbesondere die folgenden Zweitaufgaben im Mittelpunkt des Interesses:

- *Memorieraufgaben*: Hierbei werden Probanden aufgefordert, während des Durchführens der Erstaufgabe (z. B. schriftliche Formulierung eines Satzes) ein Set von Items kurzzeitig zu memorieren. Die zu memorierenden Items können aus verschiedenen Modalitäten stammen und so entweder phonologischer (z. B. Memorieren von Wörtern) oder visuell-räumlicher (z. B. Memorieren statischer Matrizenmuster) Natur sein. Je nach Ausmaß der Interferenz, welche die unterschiedlichen Sekundäraufgaben auf die Primäraufgabe ausüben, lässt sich die modalitätsspezifische Natur der Erstaufgabe bestimmen. Es lässt sich auch die relative Höhe der kognitiven Belastung der Primäraufgabe bestimmen, indem man die Schwierigkeit der Sekundäraufgabe durch Veränderung der zu memorierenden Itemzahl manipuliert und den relativen Leistungseinbruch bei der Sekundäraufgabe betrachtet.
- *Probe task*: Bei dieser Aufgabe werden dem Probanden während des Durchführens der Primäraufgabe Reize (*probes*; z. B. Töne) präsentiert, auf die mittels eines Tastendrucks möglichst schnell reagiert werden soll. Bei dieser Aufgabe lässt sich zwar auch die Leistung in der Erstaufgabe überprüfen, allerdings steht diese häufig nicht im Mittelpunkt des Interesses. Stattdessen werden die Auswirkungen auf die Reaktionszeiten in der Zweitaufgabe im Vergleich zu einer Baseline-Reaktionszeit untersucht. Die Logik besteht darin, dass die Reaktionsaufgabe aufmerksamkeitsabhängige Prozesse initiiert, wobei die Reaktionsgeschwindigkeit des Probanden vom momentanen Auslastungszustand der zentralen Exekutive abhängt. Je stärker die zentrale Exekutive von einer Primäraufgabe in Anspruch genommen wird, desto länger fällt die Reaktionszeitdifferenz zur Baseline der Zweitaufgabe aus, wodurch Rückschlüsse auf die Höhe der kognitiven Belastung durch die Erstaufgabe möglich werden.
- *Artikulatorische Suppression*: Hierbei werden die Probanden aufgefordert, während der Durchführung der Erstaufgabe fortwährend die gleiche Silbe wiederholt laut auszusprechen. Dies ist eine Aufgabe, die selektiv die Funktion der phonologischen Schleife beansprucht, ohne gleichzeitig die zentrale Exekutive zu belasten, da man davon ausgehen kann, dass die Durchführung dieser Aufgabe hoch automatisiert erfolgt.
- *Ignorieren irrelevanter Reize*: Durch die Präsentation irrelevanten Sprachschalls (Klatte, Kilcher & Hellbrück, 1995) oder durch irrelevantes visuelles Rauschens (McConnell & Quinn, 2000) parallel zur Durchführung der Erstaufgabe lassen sich die phonologischen und visuellen Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses selektiv belasten. In der Logik des

Zweitaufgabenparadigmas besteht die Sekundäraufgabe dabei darin, die irrelevanten Reize zu ignorieren. Vorhandene Unterschiede der Leistung in der Primäraufgabe, die sich im Vergleich der Zweitaufgabenbedingung mit der Kontrollbedingung ohne irrelevante Reize ergeben, dienen als Nachweis für die Beteiligung der betroffenen Speicherkomponente in der Primäraufgabe.

Neben diesen Aufgaben wurden in der Vergangenheit innerhalb des Zweitaufgabenparadigmas eine ganze Reihe weiterer Sekundäraufgaben zur Belastung des Arbeitsgedächtnisses entwickelt, wie beispielsweise visuell-räumliche Aufgaben, bei denen ein beweglicher visueller Reiz mittels eines Stiftes verfolgt werden soll (*tracking*; siehe z. B. Brown, 1997) oder bei denen blind ein Pfad auf einem Corsi-Block ähnlichen Feld nachgetippt werden soll (*spatial tapping*; siehe z. B. Klauer & Zhao, 2004). Diese Aufgaben kamen jedoch nicht bei der Untersuchung des Schreibens zum Einsatz, sondern in der Hauptsache bei der Überprüfung von Fragestellungen, die das Arbeitsgedächtnismodell selbst betreffen, und werden hier nicht weiter verfolgt. Die in der obigen Auflistung beschriebenen Sekundäraufgaben andererseits wurden zur Untersuchung des Zusammenhangs zwischen kognitiven Schreibprozessen und den Arbeitsgedächtnis-komponenten verwendet. Im Folgenden werden nun zentrale empirische Befunde zur Überprüfung dieser Zusammenhänge dargestellt.

Empirische Befunde zu Kelloggs Schreibmodell

Die nun folgende Beschreibung der empirischen Befundlage zu Kelloggs Modell dient der Untermauerung der Zusammenhänge zwischen kognitiven Prozessen der Textproduktion und dem Arbeitsgedächtnis. Zusätzlich können die nachfolgend beschriebenen Erkenntnisse als Grundlage für Ableitungen zur Modellierung kognitiver Prozesse während des Abschreibens herangezogen werden. Dabei darf allerdings nicht übersehen werden, dass Textproduktionsaufgaben andere kognitive Prozesse bedingen als das bislang kaum untersuchte Abschreiben. Aus diesem Grund wird die Darstellung der empirischen Überprüfung der Komponenten von Kelloggs Modell, die höhere kognitive Prozesse bedingen, überblicksartig vorgenommen, und es wird ein Fokus auf die für die kognitive Modellierung des Abschreibens relevanten Annahmen zu kognitiven Low-level-Prozessen gelegt.

Kellogg (1996, 1999) trifft seine spezifischen Annahmen im Rahmen eines Textproduktionsmodells für geübte Schreiber, in dem insbesondere der effiziente Einsatz höherer kognitiver Prozesse eine wichtige Rolle spielt. Dass Schreiben eine mental höchst anspruchsvolle Aufgabe ist, konnte Kellogg (1994) bereits vor der Publikation dieses Modells zeigen, indem er

Probanden innerhalb des Zweitaufgabenparadigmas verschiedene Tätigkeiten, wie Lesen, Schreiben oder Schachspielen durchführen ließ (Primäraufgabe) und von Zeit zu Zeit einen auditiven Stimulus präsentierte, auf den möglichst schnell mit einem Knopfdruck reagiert werden sollte (Zweitaufgabe mit gleichzeitiger zentraler Belastung). Hierbei handelt es sich um eine typische *probe task*, bei der die Länge der Reaktionszeit die Höhe des kognitiven Aufwands in der Primäraufgabe indiziert. Die Ergebnisse zeigen, dass Planungs-, Übersetzungs- und Überarbeitungsprozesse während des Schreibens einen vergleichbar hohen kognitiven Aufwand erzeugen wie die kognitiv äußerst anspruchsvolle Tätigkeit des Schachspielens, während die anderen von Kellogg verwendeten Erstaufgaben signifikant niedrigere Reaktionszeiten hervorriefen.

Die spezifischen Annahmen, die Kellogg (1996, 1999) über die Abhängigkeit der Formulierungs- und Überwachungsprozesse des Schreibens von den Arbeitsgedächtnis-komponenten trifft, wurden von Levy und Marek (1999) untersucht. Dabei konnte gezeigt werden, dass das Übersetzen der generierten Ideen in Sprache durch die Belastung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses gestört werden kann (Verschlechterung der Exaktheit einer Satzproduktionsaufgabe bei gleichzeitiger Präsentation von irrelevantem Sprachschall). Ähnliche Ergebnisse berichten Chenoweth und Hayes (2003), die eine Verlangsamung innerhalb einer Satzproduktionsaufgabe durch kontinuierlich wiederholtes, lautes Aussprechen der gleichen Silbe (artikulatorische Suppression) fanden. Levy und Marek (1999) konnten außerdem zeigen, dass das Auffinden von grammatikalischen Fehlern und Rechtschreibfehlern in einem vorgegebenen Text durch irrelevanten Sprachschall ebenfalls nicht beeinträchtigt wird, was darauf hinweist, dass das Editieren – wie von Kellogg vorhergesagt – nicht von der phonologischen Arbeitsgedächtniskomponente abhängt. Neuere Befunde untermauern überdies Kelloggs Annahme, dass das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis bei der Planung von Sätzen eine Rolle spielt, wenn die zu planenden Inhalte mentale Visualisierungen hervorrufen (Kellogg, Olive & Piolat, 2007).

Generell lässt sich festhalten, dass der Großteil der empirischen Befunde die Annahmen, die in Kelloggs Modell getroffen werden, untermauern (vgl. Olive, 2004). Allerdings gibt es auch einige Befunde, die mit diesen Annahmen in Widerspruch stehen. So fanden beispielsweise Levy und Ransdell (2001), dass eine phonologische Zweitaufgabe durchaus mit dem Planungsprozess interferieren kann. Sie zeigen, dass sich die Latenzzeiten vor dem Schreibbeginn bei einer Textproduktionsaufgabe verringern, wenn gleichzeitig ein sich kontinuierlich verändernder Buchstabe daraufhin überwacht werden soll, ob der aktuelle und der vorhergehende Reiz dasselbe Phonem kodieren.

Für das Abschreiben interessant ist, dass zu der Annahme, dass die graphomotorische Programmierung und Ausführung der Schreibhandlung ausschließlich zu einer Belastung der zentralen Exekutive führt, ebenfalls widersprüchliche Befunde existieren. Hayes und Chenoweth (2006) fanden, dass beim Abschreiben von Text an der Computertastatur die Geschwindigkeit durch Belastung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses mittels artikulatorischer Suppression signifikant reduziert wurde. Dieser Befund wurde von Hayes (2009) mit einer analogen Aufgabenstellung repliziert, und er schlussfolgert, dass neben dem Übersetzen der generierten Ideen in Sprache in jedem Fall auch die graphomotorische Ausführung durch phonologische Arbeitsgedächtnisbelastung beeinträchtigt wird (Hayes, 2012). Auf der anderen Seite fanden Levy und Marek (1999) bei einer analogen Kopieraufgabe keine Verlangsamung der Schreibrate, wenn sie den Teilnehmenden gleichzeitig irrelevanten Sprachschall vorspielten. Angesichts der inkonsistenten Befundlage bei unterschiedlichen Zweitaufgaben (artikulatorische Suppression vs. irrelevanter Sprachschall) kann die Frage nach der Rolle der phonologischen Schleife für die Ausführung der motorischen Schreibhandlung im Rahmen einer Abschreibaufgabe als noch nicht endgültig geklärt betrachtet werden.

Trotz der teils widersprüchlichen Befunde lässt sich Folgendes bestätigen: Unter der Annahme, dass nicht automatisierte graphomotorische Prozesse die limitierten kognitiven Ressourcen der zentrale Exekutive belasten, liegt es nahe, dass höhere kognitive Prozesse (z. B. die Planung des schriftlichen Diskurses) von der graphomotorischen Geübtheit des Schreibenden abhängen (vgl. hierzu auch Kellogg, 1996; McCutchen, 1996). Dieser Annahme zufolge hat eine nicht vorhandene Automatisierung Konsequenzen für die erfolgreiche Bewältigung von Schreibaufgaben, da Ressourcen der zentralen Exekutive bei einer entsprechenden Belastung für höhere kognitive Prozesse nicht mehr zur Verfügung stehen. Dies wirkt sich auf Planungs-, Übersetzungs- und Überarbeitungsprozesse aus, da deren reibungslose Funktion von den zur Verfügung stehenden Ressourcen der zentralen Exekutive abhängen. Eine Belastung der zentralen Exekutive ist beispielsweise bei Personen zu erwarten, die das Schreiben erst erlernen, wie beispielsweise Kinder in der Primarstufe beim Erlernen des handschriftlichen Schreibens oder erwachsene Personen, die in einem Kurs das Zehn-Finger-System an der Tastatur erlernen möchten, dieses aber noch nicht hinreichend beherrschen.

Die Effizienz höherer kognitiver Prozesse des Schreibens hängt also vom Vorliegen einer Automatisierung basaler motorischer Prozesse ab. Zur Abgrenzung werden innerhalb der kognitiven Schreibforschung höhere kognitive Prozesse wie Planung, Formulierung und Überarbeitung als *High-level-Prozesse* und kognitiv weniger aufwendige Prozesse wie die graphomotorische Übersetzung oder der lexikalische Zugriff unter Berücksichtigung

orthographischer Regeln als *Low-level-Prozesse* getrennt betrachtet (siehe z. B. Olive & Kellogg, 2002). Das beschriebene Abhängigkeitsverhältnis höherer kognitiver Prozesse von Low-level-Prozessen und dessen Auswirkungen auf das resultierende Textprodukt war Gegenstand mehrerer empirischer Untersuchungen, die sich zum Ziel gesetzt hatten, den relativen Anteil kognitiver Belastung durch höhere kognitive beziehungsweise basale motorische Anforderungen während des Schreibens zu bestimmen und in Beziehung zum resultierenden Produkt zu setzen. Zentrale Erkenntnisse hierzu werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

2.3.6. Die Bedeutung von Low-level Prozessen für die Textproduktion

Die Vorteile, die für die Durchführung höherer kognitiver Prozesse durch die Automatisierung motorischer Low-level-Prozesse entstehen, wurden u. a. von Olive und Kellogg (2002) untersucht. Im Rahmen des Zweitaufgabenparadigmas verwendeten sie auditive Reize, welche Probanden während des Schreibens präsentiert wurden und nach deren Präsentation die gerade durchgeführte Handlung unterbrochen und möglichst schnell mit dem Drücken eines Knopfes reagiert werden sollte. Mit dieser Methode untersuchten Olive und Kellogg (2002) drei Gruppen: Kinder der dritten Jahrgangsstufe beim Schreiben in ihrer gewohnten Schrift, Erwachsene beim Schreiben in gewohnter Schrift und Erwachsene beim Schreiben in einer ungewohnten Großschrift. Analysiert wurde die Reaktionsgeschwindigkeit auf einen Ton während der drei folgenden Bedingungen/Phasen: (1) während des Durchführens einer Kopieraufgabe (motorische Schreibhandlung allein; nur Low-level-Prozesse), (2) während des Ausführens der Schreibhandlung einer Textproduktionsaufgabe (konzeptionelle Gestaltung des Textes während motorischer Schreibhandlung; Low-level- und High-level-Prozesse) und (3) während Unterbrechungen der Schreibhandlung bei einer Textproduktionsaufgabe (konzeptionelle Gestaltung des Textes; nur High-level-Prozesse). In den Ergebnissen zeigte sich u. a., dass während der Kopieraufgabe bei Kindern signifikant höhere Reaktionszeiten vorlagen als bei Erwachsenen beider Gruppen, während es bei Erwachsenen, die in der ungewohnten Handschrift schrieben, zu signifikant längeren Reaktionszeiten kam als bei Erwachsenen, die in ihrer gewohnten Handschrift schrieben. Die Autoren zeigen damit, dass die motorische Ausführung ungeübter Schriftsysteme eine beträchtliche kognitive Belastung der zentralen Exekutive nach sich zieht.

In derselben Studie konnten Hinweise auf die relative Belastung durch High- und Low-level-Prozesse dadurch gefunden werden, dass sich bei Erwachsenen, die in einer ungewohnten Schrift schreiben, keine Unterschiede zwischen den Reaktionszeiten der Kopierbedingung (nur Low-level-Prozesse) und der Pausenbedingung (nur High-level-Prozesse) ergaben, während es bei

Erwachsenen, die in gewohnter Schrift schreiben, zu signifikant kürzeren Reaktionszeiten und bei Kindern zu signifikant längeren Reaktionszeiten bei der Kopieraufgabe kam. Bei Kindern ist die kognitive Belastung durch motorische Low-level-Prozesse also größer als beim Pausieren während einer Textproduktionsaufgabe. Wie die Autoren attestieren, deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass Kinder Schreibpausen nicht oder nicht effizient dazu nutzen, um kognitiv anspruchsvolle High-level-Prozesse zu initiieren, während Erwachsene durchaus höhere kognitive Prozesse für das Verfassen des schriftlichen Diskurses während solcher Schreibpausen zu aktivieren scheinen.

Erwachsenen scheint es bei hinreichender Automatisierung sogar möglich zu sein, High-level-Prozesse wie Planung, Übersetzung und Überarbeitung gleichzeitig zu motorischen Low-level-Prozessen auszuführen. Dies zeigt sich bei Olive und Kellogg (2002) dadurch, dass während des Ausführens der Schreibhandlung in der Textproduktionsaufgabe (Kombination aus High- und Low-level-Prozessen) nur bei den Erwachsenen, die in gewohnter Schrift schreiben, die Reaktionszeiten bei der Zweitaufgabe signifikant ansteigen. Dieses Ergebnis ist ein Hinweis darauf, dass Erwachsene während einer Schreibhandlung parallel höhere kognitive Prozesse ausführen können, was es einem geübten Schreiber beispielsweise ermöglicht, während des Ausführens der Schreibhandlung über den Inhalt des Folgesatzes nachzudenken (zu parallelen Prozessen siehe Alamargot, Chesnet, Dansac & Ros, 2006; Alamargot, Dansac, Chesnet & Fayol, 2007).

Weitere Indizien für die negativen Auswirkungen nicht automatisierter Low-level-Prozesse kommen aus experimentellen Studien, in welchen der Einfluss der Antwortmodalität (schriftlich vs. mündlich) auf die Erinnerungsleistung in Wortspannenaufgaben untersucht wurde (Bourdin & Fayol, 1994, 2000). Hier zeigte sich, dass Grundschulkinder bis zur 4. Klasse schlechter bei Wortspannenaufgaben abschneiden, wenn die memorierten Items handschriftlich niedergeschrieben werden sollen, als bei mündlicher Antwortgabe. Bei Erwachsenen kommt es zu keinem solchen Effekt, wenn diese in ihrer gewohnten Handschrift schreiben; schreiben sie jedoch in einer ungewohnten großbuchstabigen Schönschrift, kommt es auch hier zu einer signifikanten Verschlechterung der Erinnerungsleistung. Grabowski (2010) überprüfte innerhalb dieses Designs, ob dieser Effekt sich auch beim Schreiben an einem Computerkeyboard zeigen lässt, da die Annahme naheliegt, dass nicht automatisierte motorische Prozesse auch beim Tippen an einer Tastatur zu einer interferierenden Arbeitsgedächtnisbelastung führen. Die Ergebnisse für diese Modalität waren zwar inferenzstatistisch nicht nachweisbar, aber es konnte zumindest eine deskriptive Tendenz in die erwartete Richtung gezeigt werden.

Bourdin und Fayol (2002) konnten überdies für Erwachsene zeigen, dass auch höhere kognitive Prozesse des Schreibens (z. B. Ideengenerierung) durch die Modalität (handschriftlich vs. mündlich) negativ beeinflusst werden können. Sie präsentierten Probanden eine ansteigende Anzahl von zu memorierenden Wörtern (analog zu einer Wortspannenaufgabe), wobei bei einer Hälfte der Durchgänge die Wörter semantisch verbunden waren (indem sie Bestandteil eines psychologischen Skripts waren; z. B. „Einkaufen im Supermarkt“) und bei der anderen Hälfte nicht. Die Aufgabe der Probanden bestand darin, kurze Texte zu bilden, in denen diese Wörter vorkommen sollten. In der schriftlichen Antwortmodalität zeigte sich in der Bedingung, in der die Wörter semantisch nicht verbunden waren, ein signifikanter Unterschied in der Anzahl der generierten Ideen und in der Textkohärenz (nicht jedoch in der Anzahl der erinnerten Wörter).

Es wurde auch untersucht, welche Auswirkungen es auf die Qualität des Produkts beim Schreiben *längerer* Texte hat, wenn die Graphomotorik nicht hinreichend automatisiert ist. Olive und Kellogg (2002) konnten zeigen, dass sowohl bei Kindern, die noch dabei sind ihre graphomotorischen Fertigkeiten zu automatisieren, als auch bei Erwachsenen, die in ungewohnter Handschrift schreiben, bei Textproduktions- und Abschreibaufgaben die *Schreibflüssigkeit* (gemessen in Wörtern pro Minute) sinkt. Des Weiteren ergab sich in derselben Studie, dass Erwachsene bei der Verwendung ungewohnter Handschrift Texte mit *niedrigerer Textqualität* verfassen als Erwachsene, die in ihrer gewohnten Schrift schreiben. Olive, Alves und Castro (2009) berichten, dass Erwachsene, die in einer ungewohnten Großschrift schreiben, ebenfalls Texte mit einer niedrigeren Qualität produzieren als beim Schreiben in ihrer gewohnten Schrift. Indizien für den Zusammenhang zwischen der Automatisiertheit motorischer Prozesse mit Textqualität finden sich auch bei Connelly, Gee und Walsh (2007), die zeigen, dass die Textqualität von Fünft- und Sechstklässlern beim Schreiben an einer Tastatur (niedrige graphomotorische Automatisiertheit) im Vergleich zum handschriftlichen Schreiben (hohe graphomotorische Automatisiertheit) signifikant sinkt. Auch für das Tastaturschreiben bei Studierenden werden negative Auswirkungen von geringen motorischen Schreibfertigkeiten auf die Textqualität narrativer Erzählungen berichtet (Alves, Castro & Olive, 2008), und für das handschriftliche Schreiben narrativer Geschichten von Viertklässlern konnte bei Kindern mit niedrigen *handwriting skills* ein negativer Effekt auf die Textqualität sowie das Vorliegen kürzerer *bursts* nachgewiesen werden (Alves, Branco, Castro & Olive, 2012).

Es finden sich also vielfach Hinweise darauf, dass sich kognitive Belastung durch motorische Prozesse auf quantitative *und* qualitative Aspekte bei der Produktion längerer Texte auswirken kann. Dieser Wirkzusammenhang wurde von Graham, Berninger, Abbott, Abbott und Whitaker (1997) systematisch untersucht. Mittels linearer Strukturgleichungsmodelle untersuchten die

Autoren den Einfluss mechanischer Low-level-Prozesse auf qualitative und quantitative Produktvariablen. Als vorherzusagende Kriterien wurden Textqualität und Schreibflüssigkeit beim handschriftlichen Verfassen eigener Texte von Kindern aus niedrigen (1. bis 3. Klasse) und mittleren (4. bis 6. Klasse) Klassenstufen erhoben. Für die Operationalisierung mechanischer Low-level-Prozesse (*mechanics*) erhoben die Autoren sowohl graphomotorische Aspekte der Handschrift (*handwriting*; gemessen durch Korrektheit in der Durchführung einer Abschreibaufgabe und durch die sogenannte *alphabet task*, bei der alle Buchstaben des Alphabets möglichst schnell niedergeschrieben werden sollen, wobei die Anzahl korrekt geschriebener Buchstaben nach einem bestimmten Zeitintervall gewertet wird) als auch Rechtschreibung (*spelling*; gemessen durch Rechtschreibungsfehlermaße bei einem Diktat und bei spontaner Textproduktion). Die Konstrukte „Handschrift“ und „Rechtschreibung“ dienten in den Strukturgleichungsmodellen als Prädiktoren für die Textqualität sowie für die Schreibflüssigkeit bei zwei selbst verfassten Texten, wobei für jede Klassenstufengruppe separate Modelle für Qualität und Flüssigkeit erstellt wurden.

Bei der „Handschrift“ ergaben sich sowohl für Schreibflüssigkeit als auch für Qualität bei beiden Klassenstufen signifikante Zusammenhänge mit einer beträchtlichen Varianzaufklärung, während sich für das Konstrukt „Rechtschreibung“ lediglich in einem der vier Modelle ein signifikanter Zusammenhang ergab, und zwar bei der Vorhersage der Schreibflüssigkeit in den niedrigen Klassenstufen. (Die Zusammenhänge zwischen Rechtschreibung und Handschrift waren innerhalb aller Modelle allerdings ebenfalls signifikant, weswegen die Autoren von einer indirekten Auswirkung der Rechtschreibung ausgehen.) In jedem Fall wird mit diesen Ergebnissen gezeigt, dass die Geübtheit in motorischen Low-level-Aspekten der Handschrift nicht nur in frühen, sondern auch in mittleren Klassenstufen einen starken Einfluss sowohl auf die Quantität als auch auf die Qualität des resultierenden Textprodukts haben kann und dass dieser Einfluss deutlich stärker ausgeprägt ist als der durch mechanische Fertigkeiten der Rechtschreibung. Die Wichtigkeit von Low-level-Prozessen wird von Virginia Berninger in späteren Aufsätzen weiter unterstrichen, in denen sie beschreibt, wie fundamentale Prozesse des Schreibens (*handwriting*, *keyboarding* und *spelling*) im Zusammenspiel mit exekutiven Fähigkeiten das Fundament für eine erfolgreiche Textproduktion innerhalb der begrenzten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses bilden (Berninger & Winn, 2006; siehe auch Berninger et al., 2002).

Zusammengefasst zeigt sich also, dass eine Belastung der Arbeitsgedächtnisressourcen durch nicht automatisierte Low-level-Prozesse zu Leistungseinbußen bei Schreibaufgaben führt. Sowohl die Qualität selbst produzierter Texte als auch die Erinnerungsleistung bei einer

schriftlich durchgeführten Spannenaufgabe sinken, wenn die limitierten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses kaum oder nicht optimal genutzt werden können. Umgekehrt kommt es bei einer hinreichenden Automatisierung zu einer effizienteren Nutzung des Arbeitsgedächtnisses, da die parallele Aktivierung von High- und Low-level-Prozessen möglich wird. Passend zu den Annahmen von Kelloggs Schreibprozessmodell (1996, 1999) legen diese empirischen Ergebnisse nahe, dass automatisierte Low-level-Prozesse notwendig für das effiziente Funktionieren höherer kognitiver Prozesse beim Schreiben sind. Aus welchen (Teil-)Fertigkeiten setzen sich Low-level-Prozesse aber genau zusammen? In Frage kommen hierbei Fertigkeiten, die von Graham et al. (1997) unter dem Begriff *mechanics* zusammengefasst werden (z. B. die Fertigkeit korrekt abzuschreiben) und indirekt vermittelt auch Fertigkeiten der Rechtschreibung. Andere Studien legen nahe, dass auch die graphomotorische Geübtheit eine Rolle spielen könnte. Im Rahmen dieser Arbeit interessieren insbesondere diejenigen kognitiven Prozesse, die für das Abschreiben relevant sind, denn deren Erforschung hat bisher besonders wenig Beachtung gefunden – obwohl sie als wichtige Einflussgrößen für Qualität und Effizienz bei der Textproduktion in Betracht kommen.

Bevor eine ausführliche Auseinandersetzung mit den kognitiven (Low-level-)Prozessen während des Abschreibens vorgenommen wird, folgen als letztes noch Ausführungen zu entwicklungsrelevanten Aspekten des Schreibens, die für die anschließenden Betrachtungen zur Frage nach relevanten Prozessen und Strategien während des *Erlernens* der Durchführung von Abschreibaufgaben wichtige Grundlagen bilden.

2.3.7. Entwicklungsrelevante Aspekte

Der Entwicklungsverlauf des Erwerbs von Schreibfertigkeiten lässt sich vom Kritzeln in der frühen Kindheit als Vorläufer des Schreibens bis hin zum Erwerb automatisierter Routinen auch für höhere kognitive Prozesse zur Textproduktion bei professionellen Autoren nachzeichnen (siehe z. B. MacArthur, Graham & Fitzgerald, 2006). Im Folgenden werden hierzu zwei Forschungsstränge kurz skizziert. Zum einen werden Stufenmodelle für den *Erwerb basaler Schreibfertigkeiten* betrachtet, welche – angelehnt an Leseentwicklungsmodelle – insbesondere auf das Erlernen von Graphem-Phonem-Korrespondenzen und das Entstehen von Rechtschreibstrategien fokussieren. Andererseits werden wichtige kognitive Modelle des Entstehens von *Strategien für die Textproduktion* (einschließlich kommunikativ-pragmatischer Gesichtspunkte) vorgestellt, wobei insbesondere der Zusammenhang zwischen fortgeschritteneren Textproduktionsstrategien und der Nutzung limitierter kognitiver Ressourcen betont wird.

Die Entwicklung basaler Schreibfertigkeiten

Modelle, die den Erwerb von Strategien zur Bewältigung basaler Schreibfertigkeiten nachzeichnen, also die Entwicklung von den ersten Vorformen des Schreibens im vorschulischen Kindesalter bis hin zum Schreiben orthographisch korrekter Wörter, ähneln in den Grundannahmen stark Stufenmodellen zur Entwicklung von Lesestrategien (vgl. hierzu Scheerer-Neumann, 1996, Tolchinsky, 2006). Die Entwicklung des Schreibens zeichnet sich durch drei grobe Entwicklungsphasen (z. B. vertreten durch Frith, 1985) aus: Bereits im Kindergartenalter entwickelt sich (1) das *logographische Schreiben*, bei dem Kinder die Schrift Erwachsener durch Kritzelpbotschaften imitieren, wobei Buchstaben und buchstabenähnliche Symbole verwendet werden und teils auch schon erste Wörter (z. B. der eigene Name) geschrieben werden. Das Schreiben von Wörtern ist in dieser Phase in der Regel durch den Abruf rein *graphemischer* Information gekennzeichnet. Dies bedeutet, dass den Kindern Phonem-Graphem-Korrespondenzen in der Regel nicht bewusst sind und dass die Verschriftlichung eine vergleichsweise hohe Gedächtnisbelastung nach sich zieht, da die Symbole in ihrer graphischen Gestalt direkt abgerufen müssen. Kinder sind überdies in dieser Phase nicht in der Lage, Wörter selbstständig schriftlich zu generieren, und produzieren lediglich arbiträre Buchstabenfolgen, wenn ihnen kein Modell als Vorbild dient.

Als nächste Phase schließt sich während des frühen Vorschulalters (2) das *phonographische Schreiben* an, in dem Kinder nun Phoneme zu Graphemen zuordnen, was dazu führt, dass sie nun auch Wörter schreiben können, die ihnen nicht bekannt sind. Typischerweise besteht das Schreiben zunächst in unvollständigen konsonantischen Skelettformen (z. B. „BT“ für Bett), bis es im Verlauf des ersten Schuljahres zu einer zunehmenden Vervollständigung der geschriebenen Wörter kommt. Die Geschwindigkeit der Entwicklung weist hierbei allerdings eine hohe Variation auf (Scheerer-Neumann, 1996).

Als letzte Phase schließt (3) eine zunehmende *Nutzung orthographischer und morphematischer* Strukturen an, was zu orthographisch korrekten Schreibungen (z. B. Morphemkonstanz, Groß- und Kleinschreibung, etc.) führt. Frith (1985) betrachtet diese Veränderungen als eine direkt anschließende Strategie, was allerdings nicht von allen Autoren geteilt wird, da es auch sein kann, dass verschiedene Strategien zusammenwirken, welche nach und nach die phonographische Strategie ablösen. Die Nutzung orthographischer und morphematischer Strukturen führt schließlich zu einer zunehmenden Automatisierung lexikalischer Abrufprozesse, während phonembasierte Konstruktionsprozesse weitestgehend abgelöst werden.

Die Entwicklung von Strategien zur Textproduktion

Die soeben vorgestellten Entwicklungsstufen bilden mit Strategien zur Rechtschreibentwicklung einen Aspekt ab, der sich den Low-level-Prozessen des Schreibens (oder *mechanics* sensu Graham et al., 1997) zuordnen lässt. Wie verhält es sich aber mit der Entwicklung von Strategien für höhere kognitive Prozesse beim Schreiben ganzer Texte? Bereiter (1980) hat hierzu ein fünfstufiges Modell vorgelegt, welches die Schreibentwicklung über die folgenden hierarchisch gegliederten Strategieformen abbildet: assoziatives Schreiben (*associative writing*; einfache Befähigung, sich schriftlich ausdrücken zu können), regelgeleitetes Schreiben (*performative writing*; u. a. Einbezug von Normen Mustern und Konventionen), kommunikatives Schreiben (*communicative writing*; zunehmende Berücksichtigung des Adressaten), reflektiertes Schreiben (*unified writing*; zunehmender Fokus auf inhaltlich-logische Gestaltung des Textes) und epistemisches Schreiben (*epistemic writing*; Schreiben zur Erkenntnisbildung). In dem Modell wird davon ausgegangen, dass bei der Schreibentwicklung die *Automatisierung* einfacherer Strategien eine Voraussetzung für die Entwicklung höherer Strategien darstellt.

Passend dazu haben Bereiter und Scardamalia im Jahr 1987 ein weiteres Modell vorgelegt, welches die Entwicklung vom Schreibnovizen zum Schreibexperten nachzeichnet und zwei unterschiedliche Strategien für das Produzieren eigener Texte in den Vordergrund stellt – eine für junge Schreibanfänger und eine für fortgeschrittene, heranwachsende bis erwachsene Schreiber. Die Grundannahme der ersten dieser beiden Strategien besteht darin, dass jüngere Kinder zu Beginn der Schreibentwicklung den Text, den sie schreiben, weder sprachlich noch inhaltlich strukturieren und ihre Gedanken und Ideen stattdessen so aus dem Langzeitgedächtnis übernehmen, wie sie ihnen gerade in den Sinn kommen. Die unorganisierte, narrative Natur dieser Strategie wird durch die Bezeichnung *knowledge telling* unterstrichen. Die resultierende mangelnde Strukturierung des Textes führt zu einer Aneinanderreihung von Ideen, die sich zwar lokal (in unmittelbar benachbarten Sätzen) aufeinander beziehen können, aber letztendlich durch mangelnde sprachliche, konzeptuelle und inhaltliche Kohärenz gekennzeichnet sind. Fortgeschrittenere Schreiber dagegen verwenden eine Strategie, die Bereiter und Scardamalia (1987) als *knowledge transforming* bezeichnet haben und die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Schreiber sowohl auf konzeptuell-inhaltlicher als auch auf sprachlicher Ebene ihren Text so lange reorganisieren, bis er mit ihren pragmatischen und rhetorischen Zielen in Einklang steht. Wie auch das ursprüngliche Schreibprozessmodell von Hayes und Flower (1980) verstehen Bereiter und Scardamalia das Schreiben als eine Problemlöseaufgabe, die auf einer Interaktion zwischen Problemräumen beruht (in denen einerseits der Inhalt wie intendiert niedergelegt,

andererseits aber innerhalb der Rahmenbedingungen und Grenzen der vorhandenen rhetorischen Möglichkeiten realisiert werden muss). Die beiden Strategien des *knowledge telling* und des *knowledge transforming* sind allerdings nicht als Stufen zu verstehen, die im Sinne einer Sprungfunktion erreicht werden können, sondern sie bezeichnen vielmehr Start- und Endpunkt einer Entwicklung auf einem Kontinuum, welches in der Regel durch ein Durchlaufen verschiedener Zwischenstufen gekennzeichnet ist.

Die Entwicklung hin zu einer Knowledge-transforming-Strategie passt gut zu den Annahmen, die die Rolle limitierter kognitiver Ressourcen für das Schreiben betonen. Ein Erklärungsansatz für die Verwendung der mangelhaften Strategie des *knowledge telling* kann darin bestehen, dass nicht automatisierte Low-level-Prozesse bei jungen Schreibern ein so großes Ausmaß kognitiver Ressourcen verbrauchen, dass eine (Re-)Organisation des Textes nicht möglich ist, was in der Folge dazu führt, dass Planungs- und Überarbeitungsprozesse vollständig fehlen und es stattdessen zu einer direkten ungeordneten Übersetzung der Ideen aus dem Langzeitgedächtnis kommt (McCutchen, 1996). *Knowledge transforming* auf der anderen Seite lässt sich als eine adaptive Strategie betrachten, die sich erst auf Grund des Freiwerdens kognitiver Ressourcen bei zunehmender motorischer Automatisierung entfalten kann.

Kürzlich wurde eine Ergänzung zu dem Modell von Bereiter und Scardamalia vorgenommen, die konsistent mit diesen Überlegungen ist. Kellogg (2008) formuliert eine dritte Schreibstrategie, die er als *knowledge crafting* bezeichnet und die nur von professionellen Schreibexperten erreicht werden kann. Diese Strategie ist dadurch gekennzeichnet, dass multiple Repräsentationen – insbesondere der geplante Inhalt, der bisher geschriebene Text sowie Annahmen über die Interpretation des Adressaten – und die Schreibprozesse als (zunehmend automatisierte) Routinen im Arbeitsgedächtnis koordiniert werden. Die Besonderheit dieser Strategie ist dadurch gekennzeichnet, dass (1) der intendierte Adressat noch stärker in den mentalen Fokus des Autors rückt und dass (2) auch höhere kognitive Prozesse eine zunehmende Automatisierung in Form von Routinen erfahren.

Diese zuletzt genannte Strategie kann zwar empirisch noch nicht als bestätigt gelten, aber es existieren bereits untermauernde Befunde neuerer Studien. So scheint es beispielsweise so zu sein, dass das in Abschnitt 2.3.6 beschriebene parallele Auftreten von High-level- und Low-level-Prozessen bei zunehmendem Expertisegrad des Schreibens häufiger und effizienter vorkommt. Vergleichende Einzelfallstudien von Schülern verschiedener Klassenstufen, eines Studierenden sowie einer professionellen Autorin, die den vorgegebenen Beginn einer narrativen Geschichte vollenden sollten, zeigen, dass mit zunehmendem Expertisegrad (vor allem bei der professionellen Autorin) parallel zur Schreibhandlung stattfindendes Lesen des bislang

produzierten Textes zunimmt (Alamargot, Plane, Lambert & Chesnet, 2010). Ein mit steigendem Expertisegrad zunehmendes Auftreten solcher paralleler Ereignisse lässt sich sehr gut im Lichte der Automatisierung von Routinen auch höherer kognitiver Prozesse interpretieren. Zusammengefasst zeigen die bestehenden Erkenntnisse zur Entwicklung von Schreibstrategien, dass die zunehmende Automatisierung sowohl basaler als auch höherer kognitiver Prozesse grundlegend für die Entwicklung einer zunehmenden Schreibexpertise ist.

2.3.8. Ein Zwischenfazit

Es lässt sich also auch im Rahmen von Entwicklungskontexten festhalten, dass (neben dem Erlernen basaler Schreibfertigkeiten im Kindergartenalter) eine automatisierte Beherrschung von Low-level-Prozessen des Schreibens eine notwendige Grundlage für die erfolgreiche Bewältigung von Textproduktionsaufgaben darstellt. Aus den vorgestellten empirischen Erkenntnissen lässt sich ableiten, dass die Entwicklung fortgeschrittener Schreibstrategien begünstigt wird, wenn Low-level-Prozesse die kognitiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses möglichst wenig belasten. Dies wirkt sich auf Aspekte der Schreibflüssigkeit und bis in mittlere Klassenstufen sogar auf die Textqualität beim Verfassen eigener Texte aus (Graham et al., 1997).

Obwohl die Automatisierung kognitiver Low-level-Prozesse ein entscheidender Faktor für die Produktion guter Texte ist, sind die kognitiven Grundlagen der für eine Operationalisierung dieser Low-level-Prozesse verwendeten Aufgaben bisher vielfach nicht erforscht. Abschreibaufgaben beispielsweise werden in diesem Kontext zwar häufig als Methode verwendet, jedoch nicht eigenständig betrachtet. Wie in den Teilabschnitten 2.2.1 und 2.2.2 gezeigt wurde, gibt es jedoch gute Gründe, auch die kognitiven Grundlagen und die spezifischen Eigenschaften von Abschreibaufgaben selbst zu untersuchen. Welches sind nun aber die kognitiven Prozesse, die für ein effizientes und fehlerfreies Abschreiben notwendig sind? Diese Frage wird im folgenden Kapitel behandelt, in welchem relevante Subprozesse des Abschreibens definiert werden und deren enges Zusammenspiel mit dem menschlichen Arbeitsgedächtnis betont wird.

3. Kognitive Prozesse beim Abschreiben

3.1. Ein Prozessmodell des Abschreibens

Eine wichtige Grundvoraussetzung von Abschreibaufgaben besteht darin, dass der Inhalt des abzuschreibenden Textes vom Abschreibenden nicht verändert wird. Eine abschreibende Person ist nicht Autor des Textes, so dass diejenigen (höheren) kognitiven Prozesse beim Abschreiben wegfallen, die für die Planung (beispielsweise des Diskursziels) notwendig sind. Für das Abschreiben dagegen sind in erster Linie die effiziente kognitive Verarbeitung der Vorlage und motorische Ausführungsprozesse von Belang. Angesichts dieser Überlegungen lassen sich Abschreibaufgaben hauptsächlich durch Low-level-Prozesse des Schreibens charakterisieren (vgl. Grabowski, 2008; Grabowski et al., 2010).

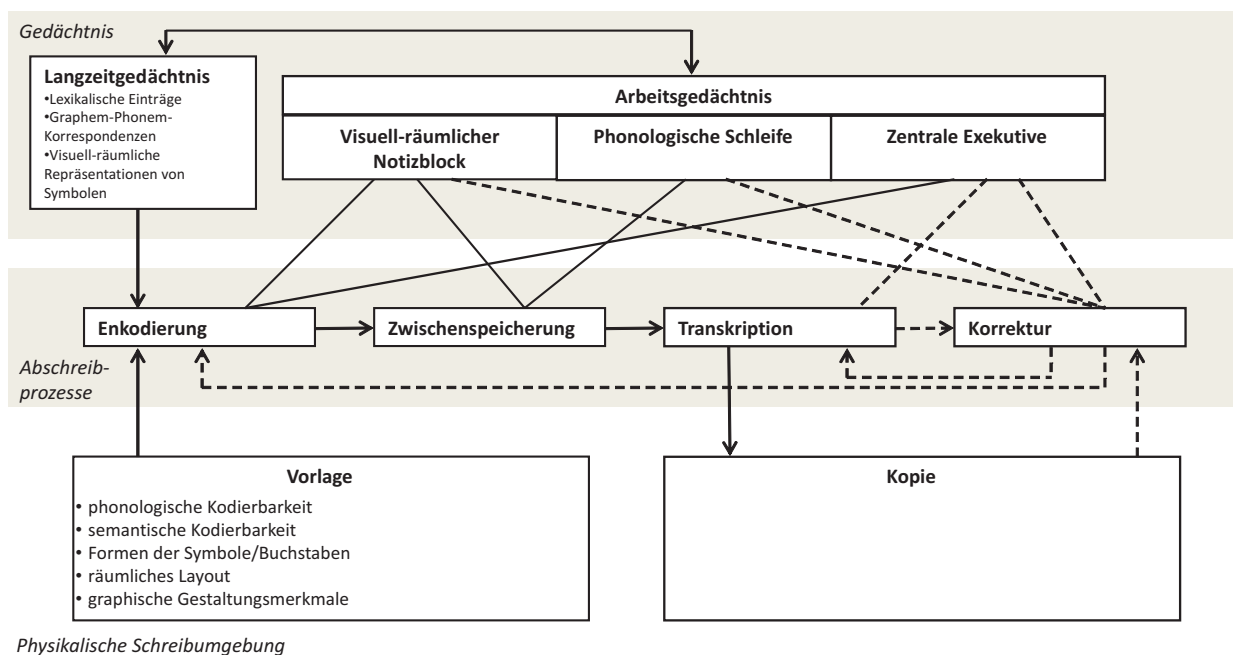


Abbildung 5: Prozessmodell des Abschreibens unter Berücksichtigung langzeit- und arbeitsgedächtnisrelevanter Prozesse.

Es würde allerdings zu kurz greifen, sich Abschreiben als eine von höheren kognitiven Prozessen befreite Textproduktionsaufgabe vorzustellen. Es ist vielmehr sinnvoll, Abschreiben als Zusammenspiel mehrerer Subprozesse aufzufassen, die zwar – wie die Subprozesse der Textproduktion auch – innerhalb des Arbeitsgedächtnisses koordiniert werden müssen, jedoch anders beschaffen sind. Im Folgenden wird eine mögliche Modellierung der Subprozesse des

Abschreibens innerhalb eines kognitiven Prozessmodells vorgeschlagen, welches in Abbildung 5 schematisch dargestellt ist. Ähnlich wie in Kelloggs (1996, 1999) Schreibprozessmodell für die Textproduktion werden darin spezifische Annahmen zur Anbindung an das menschliche Arbeitsgedächtnis getroffen.

Das Modell ist in drei Bereiche unterteilt, die sich graphisch auf ebenfalls drei Ebenen verteilen: Das Herzstück des Modells stellt die mittlere Ebene dar, welche die *Subprozesse des Abschreibens* enthält. Die obere Ebene repräsentiert die für das Abschreiben relevanten *Langzeit- und Arbeitsgedächtnisfunktionen*, und die untere Ebene repräsentiert die *physikalische Schreibumgebung*, die aus der abzuschreibenden Vorlage und aus der (in der Entstehung begriffenen) Kopie besteht. Verbindungen zwischen den Komponenten des Modells werden sowohl durch Pfeile, die für die Übertragung von Information stehen, als auch durch einfache Linien dargestellt. Gestrichelte Linien stehen für Verbindungen, die bei geübten Abschreibern nur optional zum Einsatz kommen, bei ungeübten Schreibern aber Relevanz besitzen. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Komponenten und die zugehörigen Annahmen beschrieben.

Subprozesskomponenten des Abschreibens

Ein Blick auf die mittlere Ebene von Abbildung 5 zeigt, dass beim Abschreiben basale Aspekte der Informationsverarbeitung eine erhebliche Rolle spielen, die im Kontext von Abschreibeaufgaben aber spezifischen Anforderungen unterliegen. So muss zunächst die abzuschreibende Botschaft der Vorlage einschließlich der relevanten visuell-räumlichen Merkmale *enkodiert* werden. Danach muss die enkodierte Information innerhalb der Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses kurzzeitig *zwischengespeichert* werden, um diese dann im Anschluss mittels der Ansteuerung graphomotorischer Bewegungsmuster innerhalb des jeweiligen Schreibmediums in physikalisch manifeste Schriftzeichen zu übertragen (*Transkription*). Falls ein Fehler entdeckt wird, kann dieser mittels eines *Korrekturprozesses* behoben werden.

Betrachtet man die angenommenen Subprozesse genauer, zeigt sich im Vergleich zu Schreibprozessmodellen der Textproduktion eine Verschiebung hin zu kognitiv weniger aufwendigen Prozessen. Ein entscheidender Unterschied besteht darin, dass in dem hier vorgestellten Modell ein Prozess zur *Enkodierung der Vorlage* an die Stelle höherer kognitiver Planungsprozesse getreten ist. Beim Abschreiben ist es nicht Teil der Aufgabe, den verbalen Diskurs auf einer konzeptionellen Ebene zu planen und hierfür die passenden Wörter selbst zu

finden, sondern es muss schon vorhandener Text reproduziert werden (im Regelfall im genauen Wortlaut sowie gegebenenfalls unter Berücksichtigung der räumlichen Konfiguration und der graphischen Gestaltung; siehe Abschnitt 2.2.2). Um die notwendigen Informationen der Vorlage zu verarbeiten, muss zunächst die visuelle Aufmerksamkeit auf den aktuell abzuschreibenden Teil der Vorlage gelenkt werden; anschließend muss im Abgleich mit dem Langzeitgedächtnis unter Berücksichtigung von Lexikalität und Phonologie eine mentale Repräsentation des entsprechenden Abschnitts aufgebaut werden. Graphisch wird dies in Abbildung 5 durch den Pfeil von der Vorlage hin zum Prozess der Enkodierung dargestellt.

Auch bei dem anschließenden Prozess der *Zwischenspeicherung im Arbeitsgedächtnis* handelt es sich um einen Subprozess, der ohne höhere kognitive Anforderungen auskommt. Während innerhalb von Modellen der Textproduktion die Übersetzung eines selbst geplanten Inhalts in Sprache notwendig ist, ist beim Abschreiben lediglich eine Zwischenspeicherung von bereits in sprachlicher Form vorliegendem Inhalt notwendig. Der Pfeil zwischen Enkodierung und Zwischenspeicherung zeigt an, dass ein entsprechender Informationsfluss zwischen diesen beiden Komponenten in jedem Falle stattfinden muss, bevor nachfolgende Subprozesse greifen können.

Im Gegensatz zu den beiden soeben beschriebenen Subprozessen des Abschreibens findet man für die beiden verbleibenden Prozesse ähnliche Subprozesse bei Modellen der Textproduktion wieder. Sowohl bei Textproduktions- als auch bei Abschreibaufgaben wird ein motorischer Ausführungs- oder *Transkriptionsprozess* benötigt, um den (geplanten oder abzuschreibenden) Inhalt mittels graphomotorischer Schreibhandlungen (wieder) in physikalisch manifeste Schriftzeichen zu überführen. Innerhalb des hier vorgestellten Abschreibmodells steht der Prozess der Transkription – analog zu dem Ausführungsprozess des Schreibprozessmodells nach Kellogg (1996, 1999; siehe Abschnitt 2.3.4) – für die motorische Programmierung und Ausführung der konkreten Schreibhandlung. Der Verbindungspfeil zwischen Transkription und der Kopie innerhalb der physikalischen Schreibumgebung repräsentiert, dass die Kopie bei Durchführung einer Schreibhandlung verändert wird.

Für den *Korrekturprozess* gilt die Analogie zu Schreibprozessmodellen der Textproduktion ebenfalls, allerdings in eingeschränkter Form. So ist der Korrekturprozess zwar – wie der Überarbeitungsprozess bei Kellogg (1996, 1999) oder der Revisionsprozess bei Hayes und Flower (1980) – für die Überarbeitung des niedergeschriebenen Produktes zuständig, jedoch ausschließlich im Sinne von Fehlerkorrekturen der Oberfläche, welche sich sowohl in ihrer Auftretenshäufigkeit als auch in ihrer Beschaffenheit von Revisionen bei der Textproduktion unterscheiden. Bei der Textproduktion können Revisionen sowohl auf lokaler Oberflächenebene

(z. B. Orthographie) als auch auf inhaltlich-konzeptioneller Ebene ansetzen (*surface changes* vs. *text base changes*; Faigley & Witte, 1981; für eine aktuelle Übersicht zu Revisionen siehe MacArthur, 2012). Korrekturen bei Abschreibaufgaben andererseits können keine inhaltlich-konzeptionellen Änderungen beinhalten, da die Natur der Abschreibaufgabe ja darin besteht, den vorgegebenen Text inhaltlich exakt zu reproduzieren. Korrekturen beim Abschreiben beschränken sich somit grundsätzlich auf lokale Revisionen der Oberfläche, wie beispielsweise orthographische Fehlerkorrekturen oder Änderungen des graphischen Erscheinungsbildes.

Zumindest bei geübten Abschreibern sind Korrekturen jedoch kein zwingender Bestandteil des Abschreibprozesses, da diese nur dann durchgeführt werden müssen, wenn eine relevante Abweichung von der vorgegebenen Vorlage auftritt. Dies steht im Gegensatz zur Produktion selbst verfasster Texte, bei der Revisionsprozesse aufgrund des kognitiv anspruchsvollen Charakters der Aufgabe eine integrale Komponente darstellen (siehe Abschnitt 2.3). Revisions- und Korrekturprozesse kommen bei Abschreibaufgaben somit mutmaßlich seltener vor. Des Weiteren verringert die Abwesenheit kognitiv aufwendiger Prozesse die Wahrscheinlichkeit einer kognitiven Überlastung und damit einhergehender revisionsbedürftiger Stellen im Abschreibprodukt. Bei geübten Abschreibern mit gut automatisierten Routinen ist es wahrscheinlich, dass Korrekturvorgänge sehr selten bis gar nicht vorkommen.

Die optionale Natur von Korrekturprozessen wird durch die Verwendung eines gestrichelten Verbindungspfeils zwischen Transkription und Korrektur gekennzeichnet. Kommt es dazu, dass ein Korrekturprozess eingeleitet wird, kann es notwendig werden, dass zum weiteren Abgleich mit der Kopie nochmals der Blick auf die Vorlage gelenkt werden muss, was durch den gestrichelten Pfeil zurück auf den Enkodierungsprozess symbolisiert wird. Es kann aber auch sein, dass beispielsweise ein Orthographiefehler gemacht wird, der während des Ausführens der Schreibhandlung unmittelbar auffällt und ohne nochmaligen Blick auf die Vorlage korrigiert wird, was durch den gestrichelten Pfeil direkt zum Transkriptionsprozess gekennzeichnet ist.

Die Rolle des Langzeitgedächtnisses

Innerhalb des hier vorgestellten Prozessmodells des Abschreibens werden mit Blick auf das Gedächtnis zwar in der Hauptsache Annahmen getroffen, die sich auf das Arbeitsgedächtnis beziehen, zumindest beim Vorgang der Enkodierung spielt jedoch auch das Langzeitgedächtnis eine wichtige Rolle. Im Regelfall ist eine Abschreibaufgabe so beschaffen, dass die abzuschreibenden Schriftzeichen und Symbole dem Abschreibenden vertraut sind, so dass die aus den Zeichen gebildeten Wörter von diesem auch *gelesen* werden können. Nach dem

einflussreichen Dual-route-Modell des Lesens (Coltheart, 2005) werden visuell wahrgenommene Wörter beim Lesen auf zwei Weisen verarbeitet: (1) auf einer lexikalischen Route, mit der ein Wort direkt aus dem mentalen Lexikon ausgelesen werden kann, und (2) auf einer nichtlexikalischen Route unter Zuhilfenahme von Graphem-Phonem-Zuordnungen. Folgt man dieser Theorie, greift diese auch bei der Durchführung von Abschreibaufgaben, da es – zumindest bei geübten Lesern – während des Enkodierungsprozesses automatisch zu Leseprozessen und damit auch zu einer Nutzung dieser beiden Routen innerhalb des Langzeitgedächtnisses kommt. Des Weiteren liegt abseits von Leseprozessen die Annahme nahe, dass auch im Langzeitgedächtnis gespeicherte, visuell-räumliche Informationen während der Enkodierung der Vorlage abgerufen werden (z. B. graphische Aspekte der Schriftzeichen). Der Einfluss des Langzeitgedächtnisses ist in Abbildung 5 durch einen Verbindungspfeil vom Langzeitgedächtnis hin zum Subprozess der Enkodierung dargestellt. Für die übrigen Subprozesse des Abschreibens werden innerhalb des vorgestellten Modells keine weiteren direkten Abhängigkeiten vom Langzeitgedächtnis berücksichtigt.

Die Rolle des Arbeitsgedächtnisses

Wie in den in den Abschnitten 2.3.3 und 2.3.4 vorgestellten kognitiven Schreibprozessmodellen der Textproduktion (Hayes, 1996; Kellogg, 1996, 1999) stellt auch in dem hier vorgeschlagenen Modell das Arbeitsgedächtnis eine wichtige Grundlage für das Funktionieren der Subprozesse dar. Welche genaue Rolle spielen aber die Komponenten des Arbeitsgedächtnisses für die einzelnen Subprozesse des Abschreibens? Der Prozess der Enkodierung führt zu einer Belastung zweier Komponenten des Arbeitsgedächtnisses: Die zentrale Exekutive wird beansprucht, da eine Aufmerksamkeitsausrichtung auf die aktuell abzuschreibende Stelle der Vorlage erfolgen muss. Die hierdurch entstehende zentrale Belastung kann des Weiteren verstärkt werden, wenn für das Auffinden der aktuellen Stelle zusätzlich visuelle Suchprozesse notwendig werden. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn die aktuelle Stelle sich inmitten eines längeren Absatzes befindet und der Abschreiber „in der Zeile verrutscht“. Visuelle Suchprozesse führen des Weiteren mutmaßlich zu einer Belastung des visuell-räumlichen Notizblocks (vgl. Beck, Peterson & Vomela, 2006). Das Zusammenspiel des Enkodierungsprozesses mit den drei Arbeitsgedächtniskomponenten ist in Abbildung 5 durch nicht gerichtete Verbindungen gekennzeichnet.

Für den Prozess der Zwischenspeicherung sind die beiden modalitätsspezifischen Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses zuständig, was durch einfache Verbindungen dieser beiden Komponenten und dem Zwischenspeicherungsprozess gekennzeichnet ist. Die

enkodierten, phonologischen Inhalte werden innerhalb des phonetischen Speichers zwischengespeichert und mittels des artikulatorischen Rehearsalprozesses aufrechterhalten; die visuell-räumlichen Eigenschaften werden innerhalb des *visual cache* zwischengespeichert. Die Inhalte werden in den Speicherkomponenten so lange aufrechterhalten, bis entweder der aktuell bearbeitete Textteil vollständig übertragen worden ist oder der unerwünschte Fall eintritt, dass die Information in den Speichern wieder zerfällt, bevor es zu einer vollständigen Übertragung gekommen ist.

Da sowohl der visuell-räumliche Notizblock als auch die phonologische Schleife limitierte Kapazitäten aufweisen, stellt die Zwischenspeicherung im Arbeitsgedächtnis eine entscheidende Engstelle bei der kognitiven Verarbeitung der schriftsprachlichen Vorlage dar. Dies hat zur Folge, dass die einzelnen Subprozesse immer wieder durchlaufen werden müssen, bis die Vorlage vollständig abgeschrieben worden ist. Denn bei längeren Textpassagen wird die Gesamtmenge des abzuschreibenden Textes immer größer sein als die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Dies macht es unumgänglich, dass mehrere Arbeitsgänge für das Abschreiben des kompletten Textes aufgewendet werden müssen, in denen sukzessive kleinere Textportionen enkodiert, zwischengespeichert und schließlich niedergeschrieben werden. Beim Abschreiben handelt es sich also – wie bei der Textproduktion auch – um einen *zyklischen Prozess*, bei dem die einzelnen Subprozesse immer wieder durchlaufen werden müssen, bis die Aufgabe komplett beendet ist. Im Gegensatz zur Textproduktion ist beim Abschreiben der Grund hierfür jedoch weniger darin zu suchen, dass nach und nach Teilziele im Rahmen einer komplexen Problemlösungsaufgabe bearbeitet werden müssen, sondern vielmehr darin, dass die begrenzten Kapazitäten der Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses das repetitive Durchlaufen der Subprozesse unumgänglich machen.

Wie bereits erwähnt, ist der Prozess der Transkription analog zu dem Ausführungsprozess im Schreibprozessmodell nach Kellogg (1996, 1999) beschaffen. Dies erstreckt sich auch auf die Annahmen, die die Belastung des Arbeitsgedächtnisses betreffen, und so ist auch beim Abschreiben eine zentral-exekutive Belastung zu erwarten, wenn die graphomotorischen Prozesse noch nicht hinreichend geübt worden sind. Ist die graphomotorische Programmierung und Ausführung der Schreibhandlung jedoch hinreichend automatisiert, ist keine Belastung des Arbeitsgedächtnisses zu erwarten. Die Verbindung zwischen Transkriptionsprozess und der zentralen Exekutive ist in Abbildung 5 aus diesem Grund durch eine gestrichelte einfache Linie dargestellt.

Kommt es zu einem Korrekturprozess, können wiederum alle drei Komponenten des Arbeitsgedächtnisses betroffen sein. Von einer Beteiligung der zentralen Exekutive ist

auszugehen, da die Detektion eines Fehlers oder einer Abweichung von der Vorlage eine Verlagerung der Aufmerksamkeit auf die betroffene Stelle der Kopie bedingt. Abhängig davon, welcher Art der entdeckte Fehler ist, kommt es des Weiteren zu einer Belastung der phonologischen (z. B. falsches Wort abgeschrieben) und/oder der visuell-räumlichen Komponente (z. B. Zeilenumbruch nicht berücksichtigt) des Arbeitsgedächtnisses. Da das Auftreten von Korrekturprozessen optionaler Natur ist, sind die Verbindungen zu den drei Arbeitsgedächtniskomponenten durch drei einfache gestrichelte Linien gekennzeichnet.

Zwar sind manche Annahmen des hier vorgestellten Modells aus bereits bestehenden Modellen der Textproduktion entlehnt (z. B. Annahmen zum Transkriptionsprozess), doch besitzt die hier vorgestellte Modellarchitektur eine neuartige Form und beschreibt erstmalig das mentale Prozessgefüge, das dem Durchführen von Abschreibeaufgaben zugrunde liegt. Viele der hier getroffenen Annahmen bedürfen jedoch noch der empirischen Überprüfung. Dies gilt sowohl für die Beschaffenheit der angenommenen Subprozesse als auch für die spezifischen Annahmen zur Rolle des Arbeits- und Langzeitgedächtnisses. Im folgenden Abschnitt wird die (noch nicht sehr umfangreiche) aktuelle empirische Forschungslage zu kognitiven Prozessen während des Abschreibens vorgestellt. Anschließend werden diese Erkenntnisse zu den Annahmen des soeben vorgestellten kognitiven Prozessmodells des Abschreibens in Beziehung gesetzt und offene Forschungsfragen abgeleitet.

3.2. Kognitive Prozesse beim Abschreiben: Empirische Befunde

Sichtet man die innerhalb der kognitiven Schreibprozessforschung publizierte Literatur, ist das Durchführen von Abschreibeaufgaben zwar relativ häufig anzutreffen, allerdings in den meisten Fällen als Methode zur Klärung anderer Fragestellungen und nicht zur Untersuchung des Abschreibens selbst. Abschreibeaufgaben wurden beispielsweise bei so unterschiedlichen Fragestellungen wie der Modellierung von Strategien während des Erwerbs von Lesefertigkeiten (Rieben & Saada-Robert, 1991), der Überprüfung der Rolle des Arbeitsgedächtnisses bei Modellen zur Textproduktion (Levy & Marek, 1999) oder der Klärung der Rolle von Silbengrenzen beim Rechtschreiberwerb (Kandel & Valdois, 2006) eingesetzt. Welche kognitiven Prozesse es aber sind, die Abschreibeaufgaben selbst zugrunde liegen, ist nur selten Gegenstand des Forschungsinteresses gewesen.

Umgekehrt existieren auch relevante Erkenntnisse für das Verständnis kognitiver Prozesse während des Abschreibens, die innerhalb von Forschungsarbeiten erbracht wurden, in denen das Abschreiben *nicht* das primäre Interessensfeld darstellte. So ist die Forschung der Arbeitsgruppe

um Laurence Rieben aus den 1990er Jahren zwar primär mit dem Zusammenhang früher Schreib- und Lesefertigkeiten in der Grundschule befasst, führt aber gleichzeitig auch interessante Ergebnisse zu Strategien von Grundschulkindern beim Abschreiben einzelner Wörter an (Rieben & Saada-Robert, 1997; Rieben, Meyer & Perregeaux, 1991). In den zitierten Studien wurde Kindern in der ersten Jahrgangsstufe der Grundschule die Aufgabe gestellt, eine eigene Version einer bekannten Geschichte zu verfassen, die als Volltext auf Postern innerhalb des Klassenraums angebracht war. Diese Texte wurden von den Kindern als Referenz genutzt, um Wörter „nachzuschlagen“ und diese innerhalb ihrer eigenen Texte zu verwenden. Da sich der Referenztext nicht am Arbeitsplatz der Kinder befand, mussten diese zwangsläufig ihren Platz verlassen, das gewünschte Wort im Referenztext suchen und dieses (beziehungsweise einen Teil davon) memorieren, bis sie wieder an ihren Platz zurückgekehrt waren, um niederzuschreiben, was sie sich gemerkt hatten. Auf diese Weise war es möglich, die genaue Menge der Zeichen zu ermitteln, welche die Kinder während eines solchen einzelnen Arbeitsgangs übertragen konnten.

Die Auswertung der Daten führte zur Identifikation sieben verschiedener Strategien: Das Abschreiben von (1) einzelnen Buchstaben, (2) identischen Buchstabenpaaren, (3) Bigrammen, die keine eigene linguistische Einheit bilden, (4) Silben, (5) Morphemen, (6) ganzen Wörtern und (7) anderen Buchstabenfolgen. Da die Kinder zwischen der Zeit vom Ende der Vorschule bis zum Ende der ersten Klasse mehrfach mit dieser Methode untersucht wurden, war es den Autoren möglich zu zeigen, dass die Kinder im Verlauf der Zeit Strategien vom Abschreiben einzelner Buchstaben hin zum Abschreiben größerer linguistischer Einheiten entwickelten. Diese Ergebnisse werden von den Autoren zwar primär im Lichte von Stufenmodellen des frühen Lese- und Schreiberwerbs diskutiert, aber sie liefern gleichzeitig auch direkte Implikationen für den Erwerb kognitiver Strategien zur effizienten Bewältigung von Abschreibaufgaben. Das zunehmende Memorieren immer größer werdender linguistischer Einheiten (Silben, Morpheme, ganze Wörter) deutet darauf hin, dass Kinder *linguistische* Informationen nutzen, um immer größere Zeichenfolgen im Arbeitsgedächtnis zu halten.

Ähnliches lässt sich auch aus einer Untersuchung von Kandel und Valdois (2006) ableiten, die Kinder verschiedener Klassenstufen Wörter und Pseudowörter von Vorlagen abschreiben ließen. Die Autoren zeigten anhand der Auftretenshäufigkeit von Blickwechseln von dem geschriebenen Produkt auf die Vorlage, dass Kinder aus ersten und zweiten Klassen die einzelnen Wörter silbenweise abschrieben, während ältere Kinder aus dritten, vierten und fünften Klassen für das Schreiben eines einzelnen Wortes keinen zweiten Blickwechsel auf die Vorlage vornahmen und die Wörter als ganze orthographische Einheiten verarbeiteten. Pausenanalysen des Schreibprozesses zeigten des Weiteren, dass die Silbenstruktur von Wörtern bei älteren Kindern

zwar nicht mehr während der Reizenkodierung, wohl aber noch für die motorische Programmierung eine Rolle spielt. Diese Ergebnisse sprechen ebenso wie die von Rieben et al. (1991, 1997) dafür, dass die linguistische Kodierbarkeit bei der Enkodierung von Wörtern beim Abschreiben bereits von sehr jungen Kindern genutzt wird und dass ältere Kinder die Fähigkeit entwickelt haben, größere linguistische Einheiten beim Abschreiben zu verarbeiten.

Aber welche Eigenschaften der abzuschreibenden Wörter ermöglichen nun diese Entwicklung zur Verarbeitung zunehmend größerer linguistischer Einheiten? Berücksichtigt man Lesemodelle wie das Dual-route-Modell, kommen als mögliche Kandidaten die phonologische und semantische Kodierbarkeit der abzuschreibenden Wörter in Betracht, welche den Abruf aus dem verbalen Lexikon und/oder von Graphem-Phonem-Korrespondenzen aus dem Langzeitgedächtnis während der Enkodierung der Vorlage ermöglichen. Die Annahme, dass semantische und phonologische Kodierungsprozesse von Grundschulkindern strategisch genutzt werden, wird von den Ergebnissen einer im Jahr 2010 erschienenen Studie untermauert (Grabowski et al., 2010). Hierbei war es die Aufgabe von Schülern zweiter und vierter Grundschulklassen, längere Passagen von „Texten“ abzuschreiben, welche aus unterschiedlichen Sets von Schriftzeichen-beziehungsweise Symbolsystemen zusammengesetzt waren, die hinsichtlich ihrer phonologischen und semantischen Kodierbarkeit systematisch variiert waren. Diese werden nun mit Blick auf die strategische Nutzung für effizienteres Abschreiben kurz charakterisiert.

- (1) Das Symbolsystem „Text“ zeichnet sich dadurch aus, dass es maximale semantische und phonologische Kodierbarkeit aufweist. Sinnvoller Text besteht aus Schriftzeichen, die zu Wörtern gruppiert sind und naturgemäß aussprechbar sind sowie eine eigene Bedeutung (oder auch mehrere) besitzen. Diese Wörter formen aussagehaltige Sätze, die sich aufeinander beziehen und innerhalb des Textes ein sinnvolles Gefüge bilden. Es ist davon auszugehen, dass geübte Abschreiber beim Kopieren von Text Wörter lexikalisch als Ganzes verarbeiten und darüber hinaus den Kontext des Sinnzusammenhangs nutzen, um möglichst viele Wörter innerhalb eines Arbeitsgangs beim portionsweisen Abschreiben zu übertragen. Sollten dem Schreiber Wörter unbekannt sein, können diese über die phonologische Route verarbeitet werden, was ebenfalls zu einer Verarbeitung ganzer Wörter führt.
- (2) Das Symbolsystem „Ziffernfolgen“ besteht aus Zifferngruppen, die wie sinnvoller Text durch Leerzeichen in verschieden lange Einheiten unterteilt und ebenfalls in mehreren Zeilen angeordnet sind. Ziffernfolgen sind phonologisch kodierbar, da sowohl die einzelnen Ziffernzeichen (z. B. „sechs“) als auch Gruppen mehrerer Zahlenzeichen (z. B. „Einhundertsiebenundsechzig“) aussprechbar sind. Ziffernfolgen weisen nur eingeschränkte

semantische Kodierbarkeit auf. Zwar tragen die einzelnen Ziffernzeichen und -gruppen eine semantische Bedeutung, da sie auf die exakte Größe abzählbarer Einheiten verweisen, allerdings sind die semantischen Unterschiede im Vergleich zu Wörtern eher klein, da verschiedene Zifferngruppen lediglich Größer-Kleiner-Relationen ausdrücken. Es liegt nahe, dass die phonologische Kodierbarkeit von Ziffernfolgen strategisch beim Abschreiben kürzerer Zifferngruppen genutzt wird. Bei längeren Zifferngruppen sinkt der strategische Nutzen der phonologischen Kodierbarkeit, da diese eine zu lange Aussprechdauer aufweisen (z. B. „Siebenhundertdreiundvierzigtausendfünfhundertsiebenunddreißig“). Die Nutzung von Größer-Kleiner-Informationen ist zumindest bei längeren Zifferngruppen unwahrscheinlich, da eine Vorstellung konkreter Größenordnungen bei größeren, vielstelligen Zahlen kaum vorhanden sein dürfte.

- (3) Das Symbolsystem „Konsonantenreihen“ besteht aus den Konsonanten des deutschen Alphabets (ausgenommen „y“, da dieses auch wie ein Vokal verwendet werden kann). Konsonantenreihen sind ebenfalls in Zeilen mit Zeichengruppen unterschiedlicher Länge unterteilt, die durch Leerzeichen voneinander abgetrennt sind. Konsonantenreihen sind dadurch gekennzeichnet, dass eine semantische Kodierbarkeit weitestgehend ausgeschlossen werden kann. Es könnte allenfalls vereinzelt die Möglichkeit bestehen, dass (zufällig entstandene) Abkürzungen bedeutungshaltig verarbeitet werden (z. B. „fpd“, „spss“ oder „hdgdl“ als Chat-Jargon für „Hab Dich ganz doll lieb“). Diese Gelegenheiten erscheinen aufgrund ihrer relativen Seltenheit jedoch vernachlässigbar, so dass eine semantische Verarbeitung dieses Symbolsystems nahezu ausgeschlossen werden kann. Ansonsten sind die einzelnen Konsonanten für sich zwar phonologisch kodierbar, gruppiert lassen sich diese jedoch kaum zu aussprechbaren Einheiten zusammenfassen. Es liegt nahe, stattdessen dazu überzugehen, die einzelnen Buchstaben einzeln auszusprechen. Die phonologische Kodierbarkeit dieses Symbolsystems lässt sich lediglich auf Ebene der einzelnen Zeichen nutzen, was im Vergleich zu den beiden zuletzt genannten Symbolsystemen lediglich einen marginalen Vorteil für effizienteres Abschreiben einbringt.
- (4) Das Symbolsystem „geometrische Objekte“ schließlich besteht aus graphischen Symbolen wie Dreiecken und Kreisen, die ebenfalls durch Leerzeichen in wortartige Zeichengruppen untergliedert sind, die in Zeilen stehen. Die abstrakten Symbole weisen keinerlei semantische und phonologische Kodierbarkeit auf, die über die bloße Kodierung der Beschreibung der verwendeten geometrischen Formen (z. B. „Kreis mit Punkt in der Mitte“) hinausgeht. Eine semantisch-phonologische Verarbeitung der graphischen Gestalt der Zeichen würde lediglich auf Ebene der Einzelzeichen greifen, was angesichts der langen

Aussprechdauer mancher Zeichen (z. B. „Dreieck mit Spitze nach unten und Punkt in der Mitte“) für effizientes Abschreiben nicht besonders vorteilhaft erscheint. Da den geometrischen Objekten für den Abschreibenden keine weitergehende phonologische oder semantische Bedeutung innewohnt, wird sich dieser mutmaßlich damit behelfen, eine visuell-räumliche Enkodierung der graphischen Gestalt der abzuschreibenden Zeichen vorzunehmen.

Die Zeit, die den Kindern für das Abschreiben der Symbolsysteme gegeben wurde, war auf ein Maß limitiert, in dem keine der Vorlagen vollständig abgeschrieben werden konnte. Es wurde die Produktvariable „abgeschriebene Zeichen pro Minute“ varianzanalytisch untersucht, um Unterschiede beim Abschreiben der verschiedenen Symbolsysteme und zwischen den Klassenstufen zu vergleichen. Hierbei ergaben sich hochsignifikante Unterschiede sowohl zwischen den Klassenstufen als auch zwischen den Symbolsystemen sowie eine hochsignifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“.

Die Richtung der Effekte untermauert die Hypothese, dass Kinder in der Grundschule die semantische und phonologische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials als Abschreibestrategie nutzen. Die jüngeren Kinder schrieben in allen Symbolsystemen insgesamt signifikant weniger Zeichen ab als die älteren, was die größere Geübtheit der älteren Kinder widerspiegelt; des Weiteren wurden in beiden Klassenstufen mehr Zeichen bei Symbolsystemen mit hoher linguistischer Kodierbarkeit abgeschrieben als bei Symbolsystemen mit niedriger linguistischer Kodierbarkeit. Dieser Haupteffekt der Symbolsysteme wirkt sich deutlich stärker bei den älteren Kindern der vierten Klassenstufe aus, was zu einer signifikanten Interaktion führt. Dieses Ergebnismuster spricht – ähnlich wie die Ergebnisse von Rieben (Rieben & Saada-Robert, 1997; Rieben et al., 1991) – dafür, dass Kinder im Verlauf der Grundschule die linguistische Kodierbarkeit von Vorlagen zunehmend nutzen, um effizienter abzuschreiben.

Die Ergebnisse unterstreichen die Wichtigkeit der Rolle der semantischen und phonologischen Kodierbarkeit beim Abschreiben und sind vollständig kompatibel mit den Annahmen, die in dem hier vorgelegten kognitiven Schreibprozessmodell des Abschreibens (siehe Abschnitt 3) getroffen werden. Dennoch bleibt festzuhalten, dass viele Fragen zu den kognitiven Grundlagen des Abschreibens noch der Klärung bedürfen. Lassen sich die im vorliegenden Modell getroffenen spezifischen Annahmen zur Anbindung der Subprozesse des Abschreibens an die Arbeitsgedächtnisgedächtniskomponenten bestätigen? Welche Auswirkungen auf kognitive Anforderungen haben Veränderungen der Schreibinstruktion und/oder des abzuschreibenden Materials (z. B. wenn starkes Gewicht auf die Erhaltung visuell-räumlicher Eigenschaften gelegt wird)? Lassen sich die bisherigen empirischen Befunde zur Rolle phonologischer und

semantischer Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials für die Entwicklung von Strategien zum effizienten Abschreiben auch auf Ebene des Schreibprozesses untermauern? Und welcher Zusammenhang besteht zwischen diesen Strategien und dem Arbeitsgedächtnis?

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die beiden zuletzt gestellten Fragen empirisch genauer zu fokussieren, wobei insbesondere die Frage nach der Rolle des Arbeitsgedächtnisses im Zusammenhang mit der Nutzung der linguistischen Kodierbarkeit beleuchtet wird. Nachdem Analysen des Abschreibproduktes hierzu schon interessante Erkenntnisse erbracht haben (Grabowski et al., 2010), werden zur weiteren Untersuchung Variablen des handschriftlichen Schreibprozesses analysiert (wobei die zugehörigen Daten im Rahmen eines Forschungsprojektes erhoben wurden, dem auch die Produktvariablen der zuletzt genannten Publikation entstammen). Es wird erwartet, dass sich durch die Betrachtung *mehrerer schreibprozessbezogener Variablen* (insbesondere Schreibpausen) *Ergebnismuster* ergeben, die ein besseres Verständnis zur Klärung dieser Fragestellung eröffnen, als es die alleinige Analyse des Schreibprodukts vermag.

Bevor innerhalb des empirischen Teils Hypothesen zur Klärung dieser Forschungsfragen abgeleitet werden, wird im Folgenden aber zunächst noch ein zweiter Fragenkomplex angesprochen. Denn im Rahmen dieser Arbeit soll auch die methodologische Frage beantwortet werden, warum gerade Schreibprozessvariablen und Pausenanalysen beim handschriftlichen Schreiben besonders gewinnbringend erscheinen und welche Möglichkeiten und Stolpersteine bei der zugehörigen Datenerhebung bestehen. Die methodologischen Ableitungen, die innerhalb des anschließenden Kapitels 4 getroffen werden, dienen als Grundlage für eine spätere integrierte Diskussion sowohl der inhaltlichen Fragestellung als auch der zugrunde liegenden Methodologie.

4. Methodologische Betrachtungen

Im Folgenden werden zunächst aus einer allgemeinen Perspektive Vor- und Nachteile unterschiedlicher methodischer Zugänge zur Erforschung kognitiver Prozesse während des Schreibens (einschließlich verbaler Äußerungen und Befragungen) diskutiert. Im Anschluss werden diejenigen Methoden fokussiert betrachtet, die die Analyse zeitabhängiger Variablen des *Prozesses* sprachlicher Äußerungen in den Blick nehmen, und die Besonderheiten, die sich bei der Erhebung von Prozessvariablen während des *Schreibens* innerhalb unterschiedlicher Schreibmedien (Handschrift und Tastatur) ergeben, verglichen. Diese Erkenntnisse dienen als Basis, um abzuwägen, inwiefern die Findung der optimalen Methode zur Erfassung des

handschriftlichen Schreibprozesses von der Fragestellung, dem Design der Studie, den zu erhebenden Variablen sowie den konkreten Rahmenbedingungen des Erhebungs- und Projektumfeldes abhängt und welche möglichen Probleme und Fallstricke hierbei bedacht werden sollten.

4.1. Untersuchungszugänge zur Erfassung kognitiver Prozesse während des Schreibens

Bevor die Vorteile der Untersuchung von Schreibprozessvariablen herausgearbeitet werden, wird zunächst auf einer allgemeinen Ebene eine Abgrenzung möglicher Methoden zur Untersuchung kognitiver Schreibprozesse vorgenommen. Hierbei findet nochmals ein Rückgriff auf die Forschung zur Textproduktion statt. Eine Klassifikation möglicher Methoden zur Erforschung kognitiver Prozesse während des Schreibens wurde von Janssen (1996; vgl. auch Spelman Miller, 2006) vorgelegt, bei der eine Einteilung der Methoden anhand der zwei Achsen „synchrone vs. asynchrone Datenerhebung“ und „direkte vs. indirekte Beobachtung“ getroffen wird. Diese Einteilung resultiert in einem Vier-Felder-Schema, welches in Tabelle 1 dargestellt ist. Es werden die folgenden vier Methoden unterschieden:

- *Think-aloud-Protokolle* stellen eine Kombination aus direkter Beobachtung der kognitiven Prozesse und synchroner Erhebung parallel zum Schreibakt dar. Die schreibende Person ist dazu angehalten, ihre Gedanken während der Durchführung einer Schreibaufgabe laut zu verbalisieren. Auf diese Weise findet eine direkt beobachtbare Explikation der kognitiven Prozesse statt, welche mittels Tonband- oder Videoaufzeichnungen online aufgezeichnet und später ausgewertet werden kann.
- *Retrospektive Interviews* stellen eine Kombination aus direkter Beobachtung und asynchroner Datenerhebung (zu einem späteren Zeitpunkt nach dem Schreibakt) dar. Die teilnehmenden Personen werden gebeten, im Nachhinein über ihre kognitiven Prozesse während des Schreibens zu reflektieren. Dies kann unter Zuhilfenahme von (Video-)Aufzeichnungen des Schreibprozesses oder auch anhand der Betrachtung des Produktes geschehen.

Tabelle 1. *Klassifikationsschema von Methoden zur Erfassung kognitiver Prozesse während des Schreibens (in Anlehnung an Janssen, van Waes & van den Bergh, 1996).*

	Direkte Beobachtung	Indirekte Beobachtung
Synchrone Datenerhebung	Think-aloud-Protokolle	Prozessmerkmale
Asynchrone Datenerhebung	Retrospektive Interviews	Produktmerkmale

- Die Auswertung objektivierbarer *Produktmerkmale* stellt eine Kombination aus indirekter Beobachtung und asynchroner Datenerhebung dar. Bei dieser Methode wird das resultierende Schreibprodukt herangezogen, und es werden Merkmale wie beispielsweise die Textlänge, die Reichhaltigkeit des Wortschatzes, Häufigkeit und Beschaffenheit von sichtbaren Textrevisionen oder globale Beurteilungen der Textqualität erhoben. Die Aufdeckung kognitiver Prozesse ist auf diese Weise nur auf indirektem Wege möglich, da bei der Auswertung der Daten zugrunde liegende mentale Vorgänge indirekt erschlossen werden müssen.
- Die Auswertung objektivierbarer *Prozessmerkmale* stellt eine Kombination aus indirekter Beobachtung und synchroner Datenerhebung dar. Im Analysefokus steht der Schreibprozess, und es werden zeitabhängige Variablen während des Entstehens des Schreibprodukts online erfasst. Mögliche Variablen sind beispielsweise Häufigkeit und Zeitdauer von Schreibpausen oder die Erfassung sogenannter *bursts* (Anzahl neu produzierter Wörter, die durch Pausen segmentiert werden). Auch hier können kognitive Prozesse nicht unmittelbar beobachtet werden, sondern müssen indirekt erschlossen werden.

Eine Einteilung wie diese stellt zwar eine nützliche Systematisierung der möglichen Methoden dar, allerdings kann es auch sinnvoll sein, mehrere der genannten Methoden zu kombinieren. Die gleichzeitige Betrachtung von objektivierbaren Produkt- und Prozessvariablen kann eine reichhaltigere Analysebasis bieten als deren alleinige Betrachtung. Interessiert man sich beispielsweise für Revisionen, kann man auf diese Weise sichtbare Produktvariablen wie Durchstreichungen und Einfügungen unter dem Gesichtspunkt ihres Entstehens untersuchen. Dies kann beispielsweise durch Analysen von Schreibpausen vor Revisionsereignissen geschehen oder durch die Untersuchung von *bursts*, die einer Revision vorausgehen (sogenannte *R-bursts*; diese werden von *P-bursts*, denen ein Pausenereignis ohne Revision folgt, abgegrenzt; siehe Chenoweth & Hayes, 2001).

Das in Tabelle 1 dargestellte Schema stellt eine Grundlage zur Abwägung der zentralen Vor- und Nachteile der genannten Methoden dar, die im Folgenden kurz umrissen werden. Direkte Methoden wie Think-aloud-Protokolle und retrospektive Interviews besitzen den Vorteil, dass sie einen *unmittelbaren* Zugang zu kognitiven Prozessen gewähren. So bildeten die Verbalisierungen von Schreibern bei Think-aloud-Protokollen beispielsweise die Grundlage für die Formulierung des ersten Schreibprozessmodells von Hayes und Flower (1980). Vielfach wird jedoch angeführt, dass ein entscheidender Nachteil von Think-aloud-Protokollen darin besteht, dass diese zu Reaktivität bei Probanden führen und dadurch die Reliabilität und Validität der resultierenden Daten eingeschränkt wird (siehe z. B. Kowal & O'Connell, 1987; Janssen et al.,

1996; Spelman Miller, 2000). Retrospektive Interviews auf der anderen Seite, die alternativ als direkte Methode eingesetzt werden können, umgehen dieses Problem, indem sie die Befragung der Teilnehmer zeitlich vom Schreiben trennen. Allerdings führt auch diese Methode zu einem Problem, denn die Schreiber müssen ihre Gedanken im Nachhinein (und häufig zusätzlich unter der gleichzeitigen aktiven Befragung einer dritten Person) rekonstruieren. Dies kann ebenfalls zu nicht zu vernachlässigenden Reliabilitätsproblemen führen, und es ist letztlich nicht eindeutig überprüfbar, ob die Rekonstruktionen vollständig sind beziehungsweise ob die ursprünglichen Kognitionen korrekt wiedergegeben werden (vgl. auch Levy, Marek & Lea, 1996; Spelman Miller, 2000).

Methoden der indirekten Beobachtung unterliegen diesen speziellen Nachteilen nicht, da sie keine introspektiven Äußerungen von der schreibenden Person verlangen. Die Daten sind somit weder durch reaktive Einflüsse beeinflusst noch können Verzerrungen durch fehlerhafte Rekonstruktionen entstehen. Indirekte Beobachtungsmethoden unterliegen allerdings einer anderen Einschränkung. Da die kognitiven Prozesse nicht direkt beobachtet werden können, müssen diese *indirekt erschlossen* werden, was potenziell die Gefahr von Fehlschlüssen in sich birgt, insbesondere wenn die Indikatoren einen großen Spielraum für Interpretationen bieten. Der beobachtbaren Tatsache, dass es an einer bestimmten Stelle während des Schreibens zu einer Unterbrechung des Schreibflusses gekommen ist, ist beispielsweise nicht per se zu entnehmen, ob der Schreiber gerade einen komplexen Überleitungssatz plant, den bisher geschriebenen Text auf Fehler durchliest oder ob er gerade kognitiven „Leerlauf“ betreibt.

Dieser Nachteil indirekter Methoden wird zwar von manchen Autoren durchaus kritisch gesehen (siehe z. B. Knoblochs Vergleich mit der Aussagekraft von Trinkpausen über das Trinken aus dem Jahr 1996), lässt sich jedoch durch eine umsichtige Untersuchungsplanung ausgleichen, die den Interpretationsspielraum gering hält und möglichst eindeutige Ableitungen über kognitive Prozesse während des Schreibens ermöglicht. Hierzu bedarf es gut durchdachter Operationalisierungen und hochkontrollierter Forschungsdesigns (vgl. hierzu auch Kowal & O'Connell, 1987), und nicht zuletzt spielt die Auswahl der Variablen eine entscheidende Rolle, die als Indikatoren für die jeweils interessierenden kognitiven Prozesse verwendet werden. Wie bereits angesprochen, bietet es sich an, Produkt- und Prozessvariablen zueinander in Beziehung zu setzen. So deutet einiges darauf hin, dass die motorische Geübtheit (z. B. gemessen durch Schreibgeschwindigkeit pro Zeichen) einen positiven Zusammenhang mit der Textqualität des resultierenden Produkts aufweist (siehe hierzu beispielsweise die Befunde von Graham et al., 1997) oder dass die Anzahl von Schreibpausen während einer Abschreibaufgabe negativ mit der Produktvariable „abgeschriebene Zeichen pro Minute“ zusammenhängt.

In dieser Arbeit wird ein Schwerpunkt gesetzt, der zwar auch objektivierbare Variablen des Schreibprodukts mit berücksichtigt, das Hauptaugenmerk aber auf indirekt beobachtbare Variablen legt, die den zeitlichen Verlauf des *Schreibprozesses* abbilden. Dies birgt besondere Implikationen für den methodologischen Teil dieser Arbeit in sich, da die Entscheidung für die Erhebung von Prozessvariablen des Schreibens unmittelbar mit der Frage der technischen Umsetzung der *Aufzeichnung* des Schreibprozesses verknüpft ist. Eine ausführliche Diskussion der verschiedenen technischen Lösungen zur Aufzeichnung des Schreibprozesses ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

4.2. Die Untersuchung objektivierbarer Prozessvariablen

4.2.1. Mündliche vs. schriftliche Sprachproduktion

Bevor die technischen Möglichkeiten zur Untersuchung des *Schreibprozesses* erörtert werden, lohnt es sich zunächst, nicht direkt bei der Schreibforschung anzusetzen, sondern eine Ebene höher bei der *Sprachproduktionsforschung*. Hierbei lassen sich die mündliche Sprachproduktion und die schriftliche Sprachproduktion voneinander unterscheiden. Beiden Modalitäten ist gemein, dass die Untersuchung von Prozessvariablen – und hierbei insbesondere die Untersuchung von Verzögerungen der Sprachproduktion (im Folgenden als „Pausen“ bezeichnet) – eine verbreitete Methode zur empirischen Untersuchung psychologischer und psycholinguistischer Fragestellungen darstellt. Der Vergleich der Herangehensweisen zur Untersuchung von Prozessvariablen zwischen mündlicher und schriftlicher Sprachproduktion scheint für einen systematischen Zugang besonders geeignet. Für die Entwicklung einer pauseologischen Schreibprozessforschung können etablierte Methoden und Erkenntnisse aus der mündlichen Sprachproduktionsforschung genutzt werden (vgl. Spelman Miller, 2006).

Besonders wichtige Erkenntnisse können vor allem aus der Erforschung von *Sprechpausen* gezogen werden, die in der mündlichen Sprachproduktion länger Gegenstand empirischer Untersuchungen sind als *Schreibpausen* in der schriftlichen Modalität. Phänomene wie das Auftreten gefüllter (z. B. „äh“) und stiller Pausen (welche häufig unter den Begriffen *hesitation phenomena* oder *non-fluencies* zusammengefasst werden) werden in der mündlichen Sprachproduktionsforschung schon seit den 1950er Jahren untersucht (z. B. Goldman-Eisler, 1973; Maclay & Osgood, 1959) und können hier als etablierte Methode gelten (für eine kompakte Zusammenfassung siehe Spelman Miller, 2006). Ein für die Schreibforschung besonders interessanter methodischer Zugang stellt die Untersuchung von Sprechpausen an verschiedenen *Auftretensorten* (z. B. Pausen zwischen Wörtern, Phrasen, Sätzen, etc.) dar, da

diese Unterscheidung einen Zugang dazu bietet, auf die Natur zugrunde liegender kognitiver Prozesse zu schließen.

Den beiden Sprachproduktionsmodalitäten Sprechen und Schreiben ist gemein, dass sie sich durch zyklische Abfolgen von Subprozessen (z. B. Planung und Ausführung) beschreiben lassen, die im Verlauf der Zeit immer wieder zu Unterbrechungen des Sprech- beziehungsweise Schreibflusses führen. Goldman-Eisler (1973) geht davon aus, dass spontane mündliche Sprachäußerungen typischerweise von einer zyklischen Abfolge von Pausenereignissen geprägt sind, welche auf Planungsvorgänge zurückzuführen sind, die entweder konzeptueller Natur sind und/oder auf lexikalischen Entscheidungsvorgängen beruhen. Allerdings lassen sich Pausen nicht nur dazu verwenden, diese kognitiven Planungsvorgänge zu indizieren, sondern es können auch deren Eigenschaften (Auftretenshäufigkeit unter verschiedenen Bedingungen, Pausenlänge, Auftretensort) herangezogen werden, um Rückschlüsse über die Natur der zugrunde liegenden Planungsvorgänge zu ziehen. Spelman Miller (2006) fasst hierzu Befunde aus der mündlichen Sprachproduktionsforschung wie beispielsweise die Häufung des Auftretens von Pausen zwischen größeren linguistischen Einheiten (in Gestalt von Satz und Nebensatzgrenzen) und den Zusammenhang zwischen Pausenlänge und Auftretensort (lange Pausen zwischen größeren linguistischen Einheiten wie kompletten Sätzen, kurze Pausen zwischen kleineren linguistischen Einheiten wie Wörtern innerhalb von Sätzen) zusammen. Sie zieht den Schluss, dass insbesondere Auftretensort und Pausenlänge Hinweisgeber für zugrunde liegende kognitive (Planungs-)Prozesse sind: Bei mündlicher Sprachproduktion ist eine *längere Pause zwischen zwei kompletten (Neben-)Sätzen* mit hoher Wahrscheinlichkeit auf inhaltlich-konzeptuell geprägte Planungsprozesse zurückzuführen, die auf das Kommunikationsziel gerichtet sind, während *kurze Pausen innerhalb eines Satzes* eher durch lokale Planungsprozesse, wie die Beachtung der Einhaltung syntaktischer Regeln oder lexikalische Entscheidungsprozesse, verursacht sind.

Die Untersuchung von *Schreibpausen* dagegen fand erst Ende der 1970er Jahre innerhalb der Textproduktionsforschung erstmals Verwendung (siehe hierzu die Pionierarbeiten von Matsuhashi & Cooper, 1978, sowie Matsuhashi, 1981, 1982, 1987) und weist zwar einen noch nicht sehr umfangreichen, aber dennoch wachsenden Stamm empirischer Forschung auf. Da die schriftliche Textproduktion durch ein zyklisches Auftreten von Planungs-, Ausführungs- und Überarbeitungsprozessen gekennzeichnet ist (siehe Abschnitt 2.3), liegt es auch hier nahe, auftretende Pausenereignisse als Indikatoren für kognitive Prozesse zu verwenden und deren genauere Natur unter Berücksichtigung ihres Auftretensortes zu untersuchen (vgl. Spelman Miller, 2006). Es existieren bereits empirische Befunde, die in eine ähnliche Richtung deuten

wie die soeben kurz umrissenen Ergebnisse der mündlichen Sprachproduktion. Zwischen größeren linguistischen Einheiten (z. B. ganze Sätze) sind Pausen auch beim Schreiben länger und treten häufiger auf als zwischen kleineren linguistischen Einheiten wie einzelnen Wörtern (Chanquoy, Foulin & Fayol, 1996; Wengelin, 2001). Andere Untersuchungen beschäftigen sich mit Verzögerungen *innerhalb* von Wörtern. Hierbei zeigt sich ebenfalls, dass Pausen beziehungsweise Bewegungsverzögerungen verstärkt an Grenzen zwischen linguistisch definierten Einheiten wie Silben- und Morphemgrenzen auftreten (Kandel & Valdois, 2006; Weingarten, Nottbusch & Will, 2004).

Mündliche und schriftliche Sprachäußerungen unterscheiden sich aber auch in einem entscheidenden Punkt: in ihrer Signalbeschaffenheit. Während mündliche Sprache aus auditiv wahrnehmbaren Signalen besteht, die mit dem menschlichen Artikulationsapparat generiert werden, sich in der Zeit ausdehnen und flüchtiger Natur sind, bestehen schriftliche Sprachäußerungen aus visuell wahrnehmbaren Zeichenketten, die mittels motorischer Schreibbewegungen der Hände generiert werden, sich im Raum ausdehnen und nicht flüchtiger Natur sind (Günther & Pompino-Marschall, 1996). Dies wirkt sich unmittelbar auf die Erhebung des Sprech- beziehungsweise Schreibprozesses aus. So müssen zur Aufzeichnung des Prozesses mündlicher Sprachäußerungen die auditiven Sprachsignale in einer geeigneten Form festgehalten (z. B. per Tonbandaufzeichnung) und später transkribiert werden. Für die Aufzeichnung des Schreibprozesses müssen dagegen andere Methoden angewandt werden, um den Entstehungsprozess des visuell wahrnehmbaren Produkts festzuhalten. Im folgenden Teilkapitel werden unterschiedliche Methoden zur Erfassung des Schreibprozesses vorgestellt, wobei insbesondere die Erhebung von Pausenereignissen und die effiziente Erfassung zugehöriger Eigenschaften wie Länge und Auftretensort fokussiert wird.

4.2.2. Die Rolle der Schreibmodalität

Bei der Aufzeichnung des Schreibprozesses hängt die Wahl der Methode zunächst davon ab, innerhalb welchen Mediums die Schreibaufgabe durchgeführt wird. Heutzutage kommen hierzu drei verschiedene Medien beziehungsweise Modalitäten in Betracht: das handschriftliche Schreiben mit Stift und Papier, das Schreiben an einer Schreibmaschine oder an einer Computertastatur und das Diktieren. In dieser Arbeit wird der Fokus auf die ersten beiden Modalitäten gelegt. Diktieren fällt im Vergleich zu den anderen beiden Schreibmodalitäten insofern aus dem Rahmen, als es auf *mündlichen* Sprachäußerungen basiert, die mittels Audioaufnahmen zum Zwecke der späteren Verschriftlichung aufgezeichnet werden. Die anderen beiden Modalitäten bedingen graphomotorische Ausführungsprozesse, die zu einem

visuell wahrnehmbaren Produkt führen. In den folgenden methodologischen Betrachtungen wird das Diktieren mit Verweis auf die Übersichtsarbeit von Schilperoord (1996) nicht weiter behandelt.

Trotz vieler Gemeinsamkeiten unterscheiden sich das handschriftliche Schreiben und das Schreiben an einer Tastatur stark voneinander. Dies betrifft einerseits die Beschaffenheit des finalen Produktes, andererseits aber auch die Natur des Schreibprozesses beziehungsweise der zugrunde liegenden graphomotorischen Schreibhandlung. So entsteht beim handschriftlichen Schreiben eine *kontinuierliche Schreibspur*, die mittels Arm-, Hand- und Fingerbewegungen in Form von Trajektorien koordiniert wird, während es beim Schreiben an einer Tastatur mit den einzelnen Tastaturanschlägen zu einer Abfolge *diskreter Ereignisse* kommt (vgl. Gentner, 1983; Grabowski, 2008). Dieser grundsätzliche Unterschied führte in der Vergangenheit zur Entwicklung unterschiedlicher Methoden zur Aufzeichnung des Schreibprozesses: Für den handschriftlichen Schreibprozess steht die *Videographie* und alternativ die *digitale Aufzeichnung mittels eines Schreibtablets* zur Verfügung, während sich für das Tastaturschreiben seit den 1990er Jahren die Methode des *keystroke logging* am Computer etabliert hat.

Darüber hinaus existieren grundsätzlich noch weitere mögliche Methoden (z. B. die Verwendung von Bewegungssensoren, die an der Hand angebracht werden), die jedoch für die kognitive Schreibprozessforschung kaum eine Rolle spielen und nachfolgend nicht weiter betrachtet werden. Des Weiteren ist anzumerken, dass videographische Methoden nicht auf die handschriftliche Modalität beschränkt sind, sondern auch zur Aufzeichnung des Schreibens an Computer- oder Schreibmaschinentastaturen eingesetzt werden können (beispielsweise zur Registrierung von Blick- und Bewegungsverhalten oder bei kooperativ ausgeführten Schreibaufgaben). Da das Schreiben an der Computertastatur das Schreibmaschineschreiben jedoch weitestgehend abgelöst hat, kommen zur Erfassung des Schreibprozesses an einem Computer heutzutage Keystroke-logging-Tools zum Einsatz. Diese können den Schreibprozess digital aufzeichnen und gleichzeitig bereits in Teilen auswerten, so dass die Videographie (oder andere Methoden) für die Untersuchung des Tastaturschreibens kaum noch eingesetzt wird.

Die drei Methoden „Videographie der Handschrift“, „Aufzeichnung mittels Schreibtablett“ und „Keystroke-logging“ werden nun in den nachfolgenden Abschnitten diskutiert. Hierbei werden Stärken und Schwächen der einzelnen Methoden hervorgehoben, es wird aber auch aufgezeigt, inwieweit die Vorzüge der bereits ausgereiften Keystroke-logging-Methode für die Verfeinerung der genannten Methoden im handschriftlichen Bereich genutzt werden können und welche Grenzen bei einer solchen Übertragung bestehen. Aus diesem Grund wird zunächst die etablierte Methode des Keystroke-logging zur Erfassung des Schreibprozesses an der Computertastatur

vorgestellt und anschließend folgen Ausführungen zu den beiden Methoden für die Aufzeichnung des handschriftlichen Schreibprozesses.

4.2.3. Keystroke logging

Wie bereits beschrieben, besteht der Schreibprozess an einer Tastatur aus einzelnen Tastaturanschlägen und damit aus einer sukzessiven Abfolge von distinkten Ereignissen. Beim Schreiben an einer Computertastatur können diese Tastaturereignisse drei verschiedene Funktionen haben: (1) neuen Text produzieren, (2) den bisher geschriebenen Text überarbeiten oder (3) bereits geschriebenen Text formatieren. Wenn Tasten angeschlagen werden, um *neuen Text zu produzieren*, führt jedes dieser Tastaturereignisse zur Produktion eines Schriftzeichens, also entweder zu einem Buchstaben, einem Interpunktionszeichen oder einem sonstigen Symbol; ebenfalls durch Tastaturanschlag erzeugt werden Leerzeichen, die beim Tastaturschreiben im Gegensatz zum handschriftlichen Schreiben aktiv erzeugt werden müssen. Einen Sonderfall beim Produzieren von Text stellen Schriftzeichen und Symbole dar, welche durch das kombinierte Drücken mehrerer Tasten erzeugt werden. Hierunter fallen beispielsweise Großbuchstaben oder Sonderzeichen (z. B. @ oder €), bei denen gleichzeitig zu der Taste, die das gewünschte Zeichen anspricht, eine Funktionstaste bedient werden muss, deren singuläres Drücken zu keinem eigenständigen Zeichen führen würde (z. B. die Shift- oder die Alt-Graph-Taste).

Werden Tasten gedrückt, um *Text zu überarbeiten*, kommen im Regelfall Funktionstasten zum Einsatz. Besonders wichtig sind hierbei die Pfeiltasten, die es ermöglichen, mittels des Cursors innerhalb des bisher geschriebenen Textes zu navigieren; des Weiteren wichtig sind die Backspace- beziehungsweise die Entfernen-Taste, mit denen bereits geschriebene Zeichen wieder gelöscht werden können. Beim Überarbeiten des Textes können jedoch auch die „regulären“ Tasten zum Produzieren von Text zum Einsatz kommen, beispielsweise wenn Einfügungen oder Ersetzungen innerhalb des bereits produzierten Textes vorgenommen werden. Zusätzlich können bei kompetenten Tastaturnutzern beim Überarbeiten auch andere Tastaturkombinationen zum Einsatz kommen, wie beispielsweise die Kombination von der Steuerungs-, der Shift- und einer der Pfeiltasten zum schnellen Markieren von Textteilen oder Tastaturkombinationen zum Ausschneiden, Kopieren und Einfügen ganzer Textteile. Tastaturkombinationen wie diese dürften in der Mehrzahl aber eher von fortgeschritteneren Schreibern genutzt werden, was ebenso für die Kombinationen zur *Textformatierung* gilt. So können abhängig von der Textverarbeitungssoftware auch Tastenkombinationen genutzt werden, um beispielsweise geschützte Leerzeichen oder weiche Zeilenumbrüche zu erzeugen, markierte

Textteile in Fett- beziehungsweise Kursivschrift darzustellen oder um Textteile in ein bestimmtes Format (z. B. Flattersatz, Blocksatz) zu setzen.

Möchte man den Entstehungsprozess eines mit einer Tastatur geschriebenen Textes festhalten, kommt es in erster Linie darauf an, die zeitliche Abfolge der zugrunde liegenden Tastaturereignisse aufzuzeichnen, wobei grundsätzlich alle der soeben beschriebenen Tasten(-kombinationen) vorkommen können und erfasst werden sollten. Beim Schreiben an einer Computertastatur besteht der große Vorteil darin, dass der Computer als natürliches Schreibmedium gleichzeitig ein multifunktionales digitales Gerät darstellt, bei welchem es mittels entsprechender Software möglich ist, eine Liste chronologischer Log-Einträge der eingehenden Signale von angeschlossenen Eingabegeräten – und damit auch der gedrückten Tasten der Computertastatur – anzulegen.

Da häufig temporale Variablen wie Schreibpausen für die weiteren Analysen von Interesse sind, müssen die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Tastaturereignissen gemessen werden. Dies lässt sich ebenfalls vergleichsweise einfach realisieren, da die zeitliche Abfolge der Tastaturereignisse dadurch geprägt ist, dass zwischen jedem einzelnen Tastaturanschlag immer ein gewisses Maß an Zeit verstreichen muss, da der ausführende Finger entweder von einer zuvor angeschlagenen Taste oder von einem Ruhepunkt aus zu der aktuell anzuschlagenden Taste transportiert werden muss. Der Tastaturanschlag selbst wird dabei gängigerweise als Ereignispunkt behandelt, welcher die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Tastaturanschlägen voneinander abtrennt. Die zeitliche Abfolge der Tastaturanschläge beim Schreiben lässt sich auf diese Weise durch die Abfolge von Zeitintervallen abbilden, die *zwischen jeweils zwei Tastaturereignissen liegen* (vom Auslösen eines Tastaturanschlags bis zum Auslösen des nächsten Tastaturanschlags). Diese Zeitintervalle werden im Folgenden als „Inter-key-Intervalle“ bezeichnet.

Keystroke-logging-Programme nutzen diese Zeitstruktur, indem sie eine Liste der nacheinander angeschlagenen Tasten anlegen und zusätzlich die Zeitspanne jedes Inter-key-Intervalls messen. Technisch lassen sich dabei abhängig von Hardware- und Softwarekonfiguration hohe Messgenauigkeiten realisieren. Für Windows-Betriebssysteme werden beispielsweise Messgenauigkeiten zwischen 25 und 8 ms berichtet (Sampling-Raten zwischen 40 und 125 Hz; siehe Cernich, Brennana, Barker & Bleiberg, 2007; Spezialtastaturen für den Computerspielebereich werden sogar mit noch höheren Sampling-Raten von bis zu 1000 Hz beworben). Die zeitlich aufgelösten Inter-key-Intervalle lassen sich in einer Rohdatenmatrix darstellen, in welcher jeder einzelne Tastenanschlag (beziehungsweise eine Kombination gleichzeitig gedrückter Tasten) einen Merkmalsträger darstellt und innerhalb der Rohdaten in einer eigenen

Zeile steht. Die einzelnen Tastaturanschläge als Merkmalsträger lassen sich dann mittels verschiedener Variablen beschreiben, wobei den gemessenen Inter-key-Intervallen für die temporale Repräsentation des Schreibprozesses eine zentrale Rolle zukommt. Eine beispielhafte Rohdatenmatrix einer Keystroke-Logging-Datei mit Informationen über die gedrückte(n) Taste(n) und die Inter-key-Intervalle ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2. Vereinfachte Darstellung einer Rohdatendatei der Keystroke-logging-Software ScriptLog (linke Spalte: Zeitindex; rechte Spalte: gedrückte Taste)

Time	Key
15.31.759	W
15.32.050	A
15.32.661	H
15.32.851	S
15.34.844	<BACKSPACE>
15.35.425	<BACKSPACE>
15.36.616	H
15.37.057	R
15.37.978	S
15.38.629	T
15.38.760	E
15.39.090	N
15.39.250	
15.39.601	S
15.39.831	I

Anmerkung. Angabe des Zeitindexes in der Spalte „time“: erste zwei Ziffern: Minuten; mittlere zwei Ziffern: Sekunden; letzte drei Ziffern: Millisekunden.

Ein großer Vorteil der Keystroke-logging-Methode besteht somit darin, dass sich eine exakte zeitliche Repräsentation des Schreibprozesses mittels einer geeigneten Software automatisch erstellen lässt. Des Weiteren bietet die automatische Erstellung einer solchen Rohdatenmatrix die Möglichkeit für weitere automatisierte Auswertungsschritte. Interessiert man sich beispielsweise für Pausenereignisse, dann lassen sich die Inter-key-Intervalle anhand eines Längenkriteriums automatisiert filtern und aggregieren. Allerdings muss vor einer solchen Filterung das Problem gelöst werden, dass jedes Inter-key-Intervall als Pausenereignis in Betracht kommt, da alle ein gewisses Maß Zeit für sich beanspruchen. Deshalb muss ein Grenzwert festgelegt werden, ab

dem ein Inter-key-Intervall als Schreibpause interpretiert wird. Hierzu wurden in der Vergangenheit unterschiedliche Lösungen vorgeschlagen, die von der Festlegung eines festen Grenzwertes (z. B. alle Intervalle, die länger als zwei Sekunden sind) bis hin zur Berechnung individueller Pausengrenzwerte für einzelne Personen reichen (Wengelin, 2006).

Tabelle 3. *Übersicht über alle Keystroke-logging-Programme, die für die Schreibforschung entwickelt wurden, und deren wichtigste Eigenschaften (nach van Waes et al., 2012).*

	Tracelt/Jedit	ScriptLog	Inputlog	Translog	uLog	EyeWrite
Logging						
Tastatur	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Maus	✓	✓	✓	✓	✓	
Augenbewegungen		✓	(✓)	✓		✓
Sprache			✓			
Software-identifikation			✓		✓	
Software und Hardware						
Betriebssystem	Macintosh	Windows	Windows	Windows	Windows	Windows
Textverarbeitungs-umgebung	Trace-it-Editor	ScriptLog-Editor	Microsoft Word XP oder höher	Translog-Editor	Windows-Programme generell	EyeWrite-Editor
Output						
Übersicht der Prozessdaten	✓	✓	✓		✓	
Lineare Ablaufdatei	✓	✓	✓	✓		
Übersicht Tasten-übergänge		✓				
Pausenanalysen	✓	✓	✓		(✓)	(✓)
Revisionsanalysen	(✓)		✓			
Abspielfunktion	✓	✓	(✓)	✓		✓
Website						
	nada.kth.se/ iplab/trace-it	scriptlog.net	inputlog.net	translog.dk	noldus.com	

✓ vorhanden.

(✓) eingeschränkt unterstützt.

Eine Grundvoraussetzung für die Verwendung von Schreibpausen als empirischen Betrachtungsgegenstand ist die Annahme, dass sich der Schreiber während der erfassten Pausen aktiv mit der Schreibaufgabe auseinandersetzt. Trifft dies zu, ist gleichzeitig auch die Länge der Pausen für die Interpretation der zugrunde liegenden kognitiven Prozesse entscheidend. Dies gilt gleichermaßen für das Schreiben an der Tastatur wie für das Schreiben mit Stift und Papier. Längere Pausen (z. B. länger als zwei Sekunden) indizieren andere Prozesse (z. B. Planungs-

prozesse, Lesen des bislang produzierten Textes) als kürzere Pausen (z. B. kürzer als eine Sekunde), die während des normalen Schreibablaufs auftreten können (z. B. Inter-Key-Intervalle, die entstehen, während die nächste Taste gesucht wird oder Phasen, in denen der Stift das Papier verlässt, um in die nächste Zeile zu wechseln). Gängige Keystroke-logging-Programme bieten die Option, den Grenzwert für Pausenereignisse manuell einzugeben, woraufhin die Daten anhand des gewählten Pausenkriteriums gefiltert und aggregiert ausgegeben werden. Zwei prominente Keystroke-logging-Programme zur Analyse des Schreibprozesses, die solche automatisierten Pausenanalysen anbieten, sind beispielsweise die Programme „ScriptLog“ (Strömqvist & Karlsson, 2002) und „Inputlog“ (Leijten & van Waes, 2006). Weitere Keystroke-logging-Programme, die zum Zweck der Schreibforschung erhältlich sind, sind die Programme „Jedit“ (Severinson Eklundh & Kollberg, 1996), „Translog“ (Jakobsen, 2006), „uLog“ (van Drunen, van den Broek & Heffelaar, 2008) und „EyeWrite“ (Torrance, 2012; Wengelin et al., 2009). Eine Übersicht über die unterschiedlichen Funktionen dieser Keystroke-logging-Programme wird in Tabelle 3 gegeben.

Aus den Rohdaten lassen sich aber auch noch weitere Informationen extrahieren. Es ist beispielsweise möglich, Pausenereignisse nach ihrem Auftretensort automatisiert zu kategorisieren, da jedes Tastaturereignis innerhalb eines Kontextes steht, der durch die vorhergehenden und nachfolgenden Tastaturereignisse bestimmt ist. Ein Inter-key-Intervall beispielsweise, welches aufgrund seiner Länge als Pause identifiziert wird und zwischen zwei einzelnen Kleinbuchstaben aufgetreten ist, lässt sich als Pause innerhalb eines Wortes klassifizieren; ist eine Pause aber vor dem Erzeugen eines Großbuchstaben entstanden, dessen unmittelbar vorhergehendes Zeichen ein Leerzeichen war, dem wiederum ein satzabschließendes Zeichen (Punkt, Ausrufezeichen, Fragezeichen) vorausgegangen ist, dann lässt sich dieses Ereignis als eine Pause interpretieren, die zwischen zwei Sätzen angesiedelt ist. Da alle Informationen über vorhergehende und nachfolgende Zeichen direkt aus der Rohdatenmatrix ausgelesen werden können, lassen sich auch die unterschiedlichen Auftretensorte von Pausen einschließlich aggregierter Statistiken automatisiert erfassen. Die Keystroke-logging-Software „ScriptLog“ beispielsweise bietet entsprechende Auswertungsroutinen zur Erfassung von Schreibpausen an verschiedenen linguistischen Grenzen (sogenannte *micro contexts*) an.

Eine ebenfalls gängige Funktion von Keystroke-logging-Programmen ist die Implementierung eines Wiedergabemoduls, welches es ermöglicht, den Verlauf einer Schreibsituation nochmals in Echtzeit abzuspielen. Für die Wiedergabe wird basierend auf der Information der Rohdatenmatrix das sukzessive Entstehen des geschriebenen Textes in exakt demselben zeitlichen Verlauf, in dem die Tasten während des Schreibens gedrückt worden waren, auf dem Bildschirm

nachgestellt. Auf diese Weise ist es nicht nur möglich, das Entstehen des Produktes in Echtzeit wie einen Film anzusehen, sondern es besteht auch die Möglichkeit der Wahl zwischen unterschiedlichen Abspielgeschwindigkeiten und es kann an jede beliebige Stelle innerhalb des Zeitverlaufs gesprungen werden. Diese Funktion erlaubt es, das „tatsächliche Geschehen“ eines bestimmten Ereignisses (z. B. das Auftreten einer bestimmten Pause oder der Ablauf eines Revisionsereignisses) in Echtzeit auf dem Bildschirm zu betrachten, was u. a. für qualitative Herangehensweisen nützlich sein kann.

Die soeben beschriebenen Funktionen stellen nur eine Auswahl einer Bandbreite weiterer möglicher und in den unterschiedlichen Keystroke-logging-Programmen auch teils schon implementierter Funktionen dar (vgl. Tabelle 3). So ist beispielsweise das Tool „Input Log“ spezifisch für die Erfassung des Schreibprozesses innerhalb von Microsoft Word entwickelt worden und erfasst neben dem Schreibprozess auch Mausbewegungen und -klicks (einschließlich zugehöriger Koordinaten auf dem Bildschirm) und ermöglicht es so, auch per Mausklick erfolgende Ansteuerungen von Menüfunktionen (z. B. Formatierungsbefehle) mit aufzuzeichnen. Die Softwarelösungen „Script Log“, „EyeWrite“ und „Translog“ andererseits besitzen ein Modul für den gleichzeitigen Betrieb einer Blickbewegungskamera, was es ermöglicht, parallel auftretende Leseprozesse zu analysieren.

Es lässt sich festhalten, dass die Grenzen der Möglichkeiten, die Keystroke-logging-Programme für Schreibprozessanalysen bieten, zwar noch nicht ausgelotet sind, dass aber bereits eine ganze Reihe elaborierter Lösungen – insbesondere im Bereich von Pausenanalysen – vorliegen. Für Analysen handschriftlicher Prozesse existieren andererseits bereits Methoden und Tools, jedoch hat deren Entwicklung noch nicht den Reifegrad von Keystroke-logging-Programmen erreicht. In den folgenden beiden Abschnitten werden mit der Videographie und der digitalen Aufzeichnung mittels Schreibtablett die beiden Hauptmethoden für die Aufzeichnung des handschriftlichen Schreibprozesses diskutiert, wobei ein Vergleich mit der Keystroke-logging-Methode dazu dient, die besonderen Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden konturiert darzustellen.

4.2.4. Videographie der Handschrift

Historisch gesehen stellt die videographische Aufzeichnung des handschriftlichen Schreibprozesses innerhalb der kognitiven Schreibprozessforschung eine früh verwendete Methode dar. Matsuhashi und Cooper (1978) verwendeten bereits in den 1970er Jahren im Rahmen von Einzelfallstudien Filmaufnahmen, auf denen der Verlauf des handschriftlichen

Schreibprozesses erwachsener Probanden aufgezeichnet war. Diese Filmaufnahmen dienten den Autoren als Grundlage zur Erfassung von Schreibpausen zur Indizierung kognitiver Prozesse. Das Vorgehen, welches in dieser frühen Veröffentlichung beschrieben wird, kann als prototypisches Beispiel zur Grundlage einer kritischen Diskussion über die videographische Methode verwendet werden.

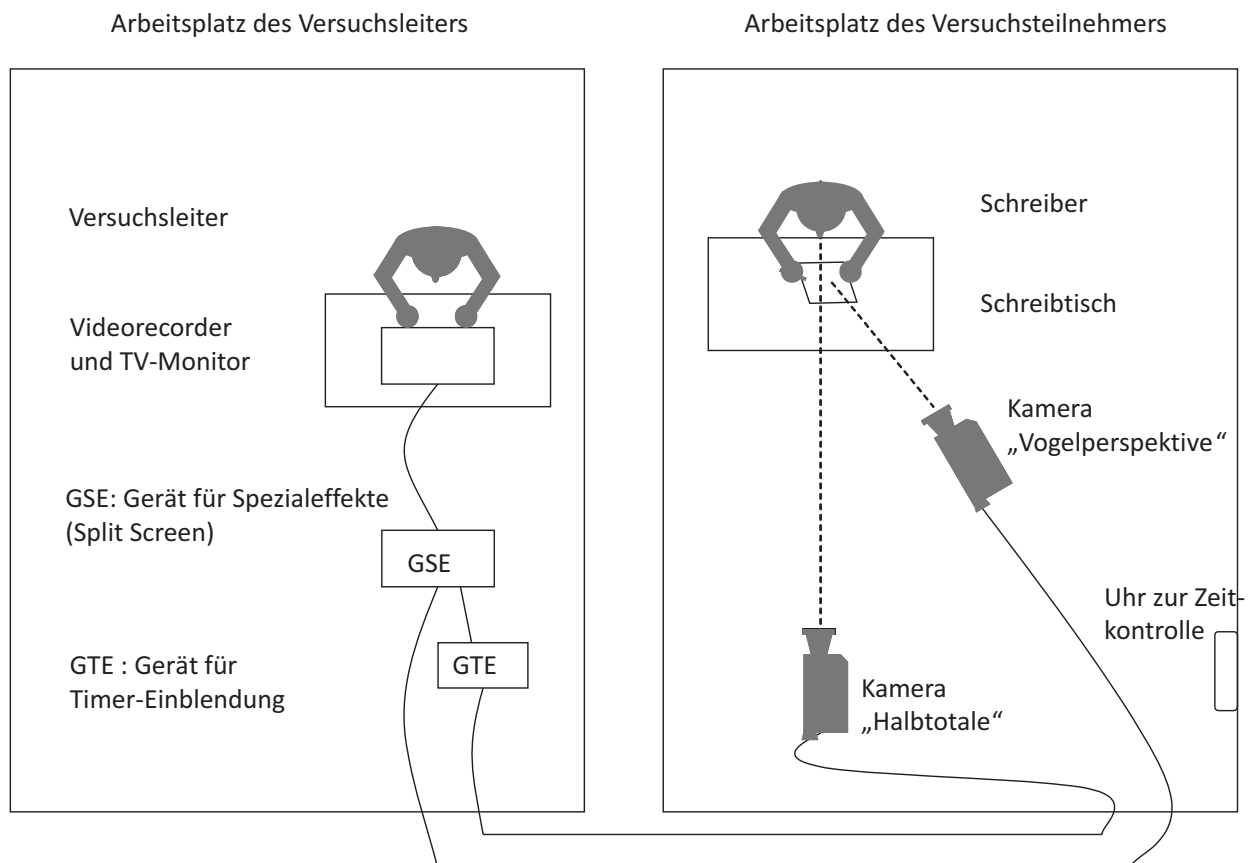


Abbildung 6: Versuchsaufbau der Einzelfallstudien zur videographierten Schreibprozessanalyse von Matsuhashi und Cooper (1978). Adaptiert nach „A Video Time-Monitored Observational Study: The Transcribing Behavior and Composing Processes of a Competent High School Writer“, von A. Matsuhashi und C. Cooper, S. 17. US Department of Health, Education & Welfare, National Institute of Education.

Matsuhashi und Cooper (1978) nahmen in ihrer Studie die schreibende Person aus zwei Perspektiven auf. Eine Kamera fokussierte aus einer Vogelperspektive den Papierbogen, auf dem geschrieben werden sollte, und eine zweite nahm die schreibende Person und die Tischoberfläche samt physikalischer Schreibumgebung in einer Halbtotale auf (siehe Abbildung 6). Beide Winkel wurden mittels eines Gerätes für Spezialeffekte in einer Split-

screen-Darstellung während der Aufnahme zusammengeführt, so dass beide Kamerawinkel bei der Wiedergabe für spätere Analysen auf einem einzelnen Bildschirm zeitlich synchronisiert dargestellt werden konnten. Zwar wurden beide Kameraperspektiven für die Analysen herangezogen, allerdings ist für die primäre Analyse des Entstehens der Schreibspur und für die Identifizierung von Schreibpausen die erste Kameraperspektive informativer, da diese den Ort des Entstehens der Schreibspur im Blick hält.

Die Aufzeichnungen dieser Perspektive fokussieren den Verlauf der graphomotorischen Aktivität des Schreibers, was es ermöglicht, im Nachhinein das Entstehen der Schreibspur Bild für Bild nachzuvollziehen und relevante Ereignisse zu kodieren. Bevor eine solche Kodierung vorgenommen werden kann, muss im Vorfeld eine Entscheidung getroffen werden, welche Aspekte der gefilmten Schreibhandlung sich für die Erhebung eignen und welche Variablen erhoben werden sollen. Im Gegensatz zur Keystroke-logging-Methode ist es bei Filmaufnahmen jedoch technisch kaum möglich, automatisierte Routinen zur Identifizierung von Pausenereignissen einzusetzen. Für Matsuhashi und Cooper, die in den 1970er Jahren mit analogen Aufnahmen auf VHS-Kassetten arbeiteten, bedeutete dies, dass die Filmaufnahmen mittels VHS-Videoabspielgerät unter Verwendung von Timer-Einblendung und Zeitlupenfunktion manuell von menschlichen Kodierern auf relevante Ereignisse überprüft werden mussten. Die Notwendigkeit einer zeitlich aufwendigen, manuellen Kodierung zur Analyse temporaler Prozessvariablen aus videographischen Aufzeichnungen besteht bis heute fort, auch wenn heutzutage auf digitale Aufzeichnungen sowie computerisierte Hilfsmittel zurückgegriffen werden kann.

Die kontinuierliche Natur des handschriftlichen Schreibprozesses führte dazu, dass in der Vergangenheit verschiedene Zugangsweisen zur Bestimmung von Pausenereignissen entwickelt wurden. Ein Beispiel hierfür stellt die Verwendung sogenannter *Pen-up-Phasen* als Pausenkriterium dar. Diese Herangehensweise basiert darauf, dass der Entstehungsprozess der kontinuierlichen Schreibspur beim handschriftlichen Schreiben durch eine stetige Abfolge zweier möglicher Zustände gekennzeichnet ist: Entweder berührt der Stift gerade das Papier (*pen down*) oder der Stift befindet sich in der Luft (*pen up*). Matsuhashi und Cooper (1978) verwendeten diese Herangehensweise zur Bestimmung von Pausen für ihre videographierten Schreibsitzen und bestimmten alle Pen-up-Phasen zwischen Wortgrenzen sowie deren Längen manuell. Für die weiteren Analysen wurden im Anschluss diejenigen Pen-up-Phasen herausgefiltert, die länger als eine Sekunde dauerten und wurden von den Autoren in Anlehnung an Goldman-Eislers Terminologie innerhalb der mündlichen Sprachproduktion als sogenannte *hesitant pauses* bezeichnet.

Vorgehensweisen wie diese stellten die Grundlage auch für weitere Nachfolgestudien (Matsuhashi, 1981, 1982) dar, in denen die Arbeitsgruppe um Ann Matsuhashi erste Schritte auf dem Gebiet der handschriftlichen Schreibprozessanalyse unternahm, indem sie anhand von Pausenlängen und Auftretensorten von Pausen Planungsprozesse und deren Beschaffenheit während des Schreibens in verschiedenen Textgenres indizierte. Das beschriebene Vorgehen von Matsuhashi und Cooper (1978) stellt somit zwar einen wichtigen methodischen Schritt für die Untersuchung kognitiver Prozesse während des Schreibens dar, es lassen sich aber auch Kritikpunkte vorbringen. Die Beschränkung auf Pausen zwischen Wortgrenzen, die länger als eine Sekunde dauern, kann dazu führen, dass relevante Pausenereignisse möglicherweise gar nicht erfasst werden, was nicht zuletzt darin begründet liegt, dass innerhalb der beschriebenen Studie ausschließlich erwachsene, geübte Schreiber untersucht wurden. Zur Erfassung von Schreibpausen von Schreibnovizen (z. B. Grundschulern) erscheint diese Vorgehensweise aus den folgenden Gründen weniger geeignet: (1) Pausenereignisse müssen nicht zwingenderweise an Wortgrenzen auftreten, sondern können bei wenig routinierten Schreibern auch innerhalb von Wörtern, bei sehr ungeübten Schreibern möglicherweise sogar innerhalb einzelner Schriftzeichen auftreten. Des Weiteren können Pausen (2) auch dann auftreten, wenn der Stift sich nicht in der Luft befindet, sondern an einem festen Punkt auf dem Papier ruht. Ein vorliegender Pen-Down-Zustand ist nicht automatisch mit dem aktiven Ausführen einer Schreibhandlung gleichzusetzen, sondern kann auch während eines Pausenereignisses vorliegen. Umgekehrt ist aber auch nicht jedes Abheben der Stiftspitze von der Blattoberfläche zwingend mit einer Pause assoziiert, da der Stift natürlicherweise auch während des normalen motorischen Schreibflusses immer wieder vom Papier abgehoben werden muss (z. B. um Lücken zwischen den einzelnen Wörtern zu lassen oder um einen i-Punkt zu setzen).

Eine zur Nutzung von Pen-up- und Pen-down-Phasen alternative Herangehensweise, die den genannten Problemen begegnet, ist die Definition von Schreibpausen als *Unterbrechung der Bewegung*. Eine solche Definition nimmt unabhängig vom bestehenden Kontakt der Stiftspitze mit der Schreiboberfläche all jene Ereignisse in den Blick, in denen die Stiftspitze an einem festen Punkt ruht und sich über einen gewissen Zeitraum hinweg nicht bewegt. Aber auch diese Herangehensweise hat ihre Nachteile, da bei einer starren Anwendung dieser Regel bestimmte Pausenereignisse ebenfalls entweder gar nicht oder falsch erfasst werden. So ist es möglich (und mit zunehmender Pausenlänge auch zunehmend wahrscheinlich), dass es *während* einer Schreibpause zu Bewegungen der Schreibhand kommt, die *nicht* Bestandteil einer Schreibhandlung sind. Lange Schreibpausen (z. B. aufgrund intensiver kognitiver Planungsprozesse oder während des Durchlesens einer längeren Passage des bisher geschriebenen Textes) können beispielsweise

dazu führen, dass das Verharren in derselben Haltung vom Schreiber als unangenehm empfunden wird und er seine Haltung – und damit auch den aktuellen Ruhepunkt der Stiftspitze – verlagert. Auf diese Weise entstehen Stiftbewegungen, die nicht als Teil des Schreibprozesses, sondern vielmehr im Rahmen einer Pause zu betrachten sind. Auch die Untersuchung des Schreibprozesses bei motorisch unruhigen Probanden (z. B. sehr jungen Kindern in der frühen Primarstufe) oder bei bestimmten klinischen Stichproben (z. B. Ruhetremor bei Parkinson) kann unter diesem Aspekt besonders anspruchsvoll sein.

Die starre Anwendung des Kriteriums „Bewegung vorhanden oder nicht“ würde also in Fällen, in denen es zu Bewegungen kommt, die nicht als Bestandteil der Schreibhandlung aufzufassen sind, zu falschen Ergebnissen führen. Eine weitere Alternative zur Erfassung von Pausenereignissen besteht darin, die Zeitspanne zwischen *Beendigung und Wiederaufnahme der graphomotorischen Aktivität* als Kriterium heranzuziehen und Pausen als Unterbrechungen der Schreibhandlung zu definieren. Um Pausenereignisse im Sinne dieser Definition möglichst lückenlos zu erfassen, reichen einfache Kriterien wie die Betrachtung aller Pen-up-Ereignisse oder die Betrachtung der Zeitspannen, in denen keine Bewegung stattfindet, nicht aus. Stattdessen müssen die Ereignisse im Auftretenskontext betrachtet werden, was eine Leistung darstellt, die mittels manueller Kodierung gelöst werden muss. Angesichts dieses Umstands rückt der Nachteil, dass die Kodierung temporaler Variablen bei videographierten Aufnahmen zeitaufwendig manuell erfolgen muss, in den Hintergrund.

Die Erfassung von Schreibpausen ist häufig die Grundlage zur Erfassung weiterer wichtiger Prozessvariablen. Viele dieser Variablen lassen sich verhältnismäßig einfach berechnen, nachdem Pausenereignisse (und deren Länge) sowie die Gesamtanzahl geschriebener Zeichen vorliegen. Zur Erhebung der Schreibgeschwindigkeit beispielsweise kann man durch Abzug der kumulierten Pausenzeit von der Gesamtbearbeitungszeit die kumulierte Schreibzeit berechnen und diese an der Anzahl aller abgeschriebener Zeichen relativieren, wodurch sich die durchschnittliche Schreibzeit pro Zeichen ergibt. Andere Variablen, wie beispielsweise die Anzahl geschriebener Wörter zwischen zwei Pausen, sind zwar etwas aufwendiger zu erfassen, basieren aber ebenfalls auf der vorherigen Erfassung von Schreibpausen.

Zusätzlich ist es möglich, relevante Aspekte beim handschriftlichen Schreiben abzubilden, die nicht am unmittelbaren Entstehungsort der Schreibspur zu beobachten sind. Zu diesem Zweck bietet es sich an, den Schreiber aus zwei Kamerawinkeln zu filmen, wie es beispielsweise Matsushita und Cooper in dem bereits beschriebenen Beispiel aus dem Jahre 1978 getan haben (siehe Abbildung 6). Mittels videographischer Aufnahmen wird es somit möglich, auch breitere Ausschnitte der Untersuchungssituation festzuhalten, die für die Klassifizierung und Analyse

temporaler Prozessvariablen wichtige Informationen enthalten können (z. B. Erfassung von *gaze lifts*). Zusätzlich bieten videographische Aufnahmen den Vorteil, dass neben dem Bild standardmäßig auch eine zeitlich synchrone Tonaufnahme erfolgt. Dies kann dazu genutzt werden, um relevante auditive Ereignisse oder auditiv wahrnehmbare Reaktionen des Probanden (z. B. im Rahmen von Zweitaufgaben) ebenfalls als temporale Variablen zu erfassen.

Bei der Erfassung von Schreibpausen beim handschriftlichen Schreiben handelt es sich im Vergleich zum Schreiben an der Tastatur also um eine ungleich komplexere Aufgabe. Beim handschriftlichen Schreiben müssen zwei aufeinanderfolgende Arten von Zuständen gegenübergestellt werden, die jeweils eigenständige Zeitanteile für sich beanspruchen (*pen up* vs. *pen down*; Bewegung der Stiftspitze vs. keine Bewegung der Stiftspitze; motorische Schreibhandlung vs. keine motorische Schreibhandlung), während es beim Schreiben an der Tastatur mit den Inter-key-Intervallen zu einer Abfolge nur einer Kategorie von Zeitintervallen kommt. Beim Schreiben an der Tastatur führt dies wie in Abschnitt 4.2.3 beschrieben dazu, dass für Schreibpausen ein Cut-off-Kriterium definiert werden muss, welches die Zeitdauer festlegt, ab dem Inter-key-Intervalle als Pause gelten sollen. Auch beim handschriftlichen Schreiben hängt die Notwendigkeit, ein Cut-off-Kriterium festzulegen, häufig von der Definition der Schreibpause ab. Stützt man sich auf Kriterien wie die Betrachtung aller Pen-up-Phasen oder die Betrachtung von Phasen, in denen keine Stiftbewegung zu verzeichnen ist, ist es sinnvoll, ein zeitliches Cut-off-Kriterium zur Bestimmung von Pausenereignissen heranzuziehen. Definiert man eine Pause jedoch als Unterbrechung der motorischen Schreibhandlung, ist ein Cut-off-Kriterium aufgrund der Pausendefinition nicht unbedingt notwendig (wobei dies die Filterung der Pausenereignisse nach Pausenlängen zu Zwecken weiterer Unterscheidungen natürlich nicht ausschließt).

Die Bestimmung von Pausenlängen

Bisher wurde betrachtet, welche Kriterien beim handschriftlichen Schreiben herangezogen werden können, um Pausenereignisse zu *erfassen*. Es kann jedoch auch die *Pausenlänge* herangezogen werden, um kognitive Prozesse differenzierter zu erfassen. Hierfür müssen die Pausenlängen allerdings möglichst präzise gemessen werden. Die Genauigkeit dieser zeitlichen Messungen hängt jedoch von der maximalen zeitlichen Auflösung der zugrunde liegenden Messmethode ab. (Tatsächlich hängt auch die Erfassung der Pausen von der Messgenauigkeit ab, da nur Ereignisse erfasst werden können, deren Dauer überhalb der Genauigkeitsschwelle der verwendeten Messmethode liegt.) Bei der Videographie spielen hierzu zwei wichtige Einflussfaktoren eine tragende Rolle:

(1) Zunächst einmal hängt die zeitliche Auflösung davon ab, wie viele Bilder pro Sekunde (*frames per minute* – fpm) bei der Filmaufnahme aufgezeichnet werden. Dies stellt die technische Grundlage für die maximale zeitliche Auflösung dar, welche mittels videographischer Pausenkodierung überhaupt erreicht werden kann. Verwendet man für entsprechende Zwecke handelsübliche digitale Kameras, erhält man Aufnahmen, die mit 25 Bildern pro Sekunde aufgezeichnet sind. Dies ergibt – eine bildgenaue Analyse vorausgesetzt – eine maximale Auflösung von 40 Millisekunden. (Grundsätzlich sind auch zeitlich höher aufgelöste Filmaufnahmen mit Frameraten von bis zu 1000 fpm bei Verwendung von High-Speed-Kameras mit Superzeitlupenfunktion technisch realisierbar. Wie die nachfolgenden Ausführungen zum Einsatz menschlicher Kodierer jedoch verdeutlichen, erscheint neben weiteren Nachteilen, wie hohen Kosten und Speicherbedarf, ein zielführender Einsatz solcher Geräte jedoch fraglich.) (2) Für die Beurteilung von Pausenlängen innerhalb videographierter Aufnahmen müssen des Weiteren menschliche Kodierer herangezogen werden. Inwieweit die Durchführung einer einzelbildgenauen Kodierung oder die Betrachtung größerer Zeitfenster für die Kodierung besser geeignet sind, hängt auch hier nicht zuletzt von der Art des kodierten Ereignisses ab. Eine Kodierung von Pen-up-Phasen ist auch anhand der Betrachtung einzelner statischer Bilder denkbar, da das relevante Kriterium lediglich darin besteht zu beurteilen, ob die Stiftspitze auf dem jeweiligen Bild Kontakt zur Schreiboberfläche besitzt oder nicht. Die Detektion einer Bewegung kann jedoch nur durch die Betrachtung eine *Abfolge* von Bildern erkannt werden, was bedeutet, dass mindestens zwei Einzelbilder miteinander verglichen werden müssen. Je größer die verwendeten Zeitfenster sind, die für eine eindeutige Kodierung benötigt werden, desto größer ist das Maß, mit dem die Länge von Pausenereignissen bestimmt werden kann.

Wichtig ist auch der Aspekt der Untersuchungsökonomie, denn je kleiner die einzeln zu kodierenden Zeitfenster sind, desto größer ist der Zeitaufwand der Datenerhebung. Die Problematik des hohen Zeitaufwands, welcher für die manuelle Kodierung von Pausenereignissen benötigt wird, wurde bereits in der frühen Studie von Matsushashi und Cooper (1978) thematisiert, wobei hier die Datenerhebung noch zusätzlich durch den Umstand erschwert war, dass diese mittels VHS-Videoabspielgeräten realisiert werden musste. Die heutigen Möglichkeiten der Verwendung digitaler Videotechnik sowie der softwaregestützten Kodierung erleichtern und verkürzen den Kodierungsprozess zwar, die Grundproblematik bleibt jedoch weiterhin bestehen. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass bei der Analyse des videographierten Schreibprozesses eine Trade-off-Situation zwischen der Höhe der angestrebten zeitlichen Auflösung und den aufzuwendenden Zeit- und Personalressourcen für die Datenerhebung besteht.

Die Rolle des Kamerawinkels

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen videographischer Analysen bedacht werden sollte und welcher die Erfassung von Pausenereignissen und -länge erschwert, besteht darin, dass ein Pausenereignis nur dann beobachtet werden kann, wenn die Position des Kamerawinkels dies auch erlaubt. Wie weiter oben beschrieben, wurde bei der Untersuchungsanordnung von Matsunashi und Cooper (1978) ein Kamerawinkel gewählt, der den Schreibprozess aus einer „Vogelperspektive“ filmt (siehe Abbildung 6). Eine zu jedem Zeitpunkt vollständige Beobachtung des Schreibprozesses ist aus dieser Kameraposition in vielen Fällen jedoch nicht möglich, da es vorkommen kann, dass andere Körperteile des Schreibenden die Schreibhand und den Stift verdecken, was dazu führt, dass (möglicherweise auch größere) Teile des Schreibprozesses nicht kodiert werden können.

Besonders augenfällig wird diese Problematik, wenn der Schreibprozess von Linkshändern aufgezeichnet werden soll. Da die Schreibrichtung im Deutschen von links nach rechts verläuft, stehen Linkshänder vor dem Problem, dass der Arm der Schreibhand beim Nachführen über den soeben geschriebenen Text geführt werden muss, was zum Verwischen noch nicht vollständig getrockneter Teile der Schreibspur führen kann. Zwar verwenden Linkshänder zur Umgehung dieses Problems in der Regel Schreibtechniken, die ein Verdecken des gerade geschriebenen Textes weitestgehend vermeiden, dennoch zeigen Erfahrungen aus Vorgängerstudien der früher an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg, jetzt an der Leibniz Universität Hannover beheimateten Schreibkompetenz-Arbeitsgruppe (z. B. Grabowski et al., 2010), dass bei Aufnahmen aus der Vogelperspektive der Schreibprozess insbesondere von Linkshändern aufgrund von Verdeckung über beträchtliche Zeiträume nur schlecht beurteilbar ist.

Es existieren Möglichkeiten zur Umgehung dieses Problems. Eine solche Möglichkeit für eine möglichst störungsfreie und vollständige Aufzeichnung des videographierten Schreibprozesses wurde von der schon genannten Schreibkompetenz-Arbeitsgruppe (der auch der Autor angehört) entwickelt. Diese Methode basiert auf der Nutzung einer neuartigen Kombination von Vorgehensweisen, die sowohl die Aufzeichnung des Schreibprozesses als auch die Kodierung der Pausenereignisse betreffen.



Abbildung 7: Spezial-Untersuchungstisch für video-graphische Aufnahmen des Schreibprozesses.

Zur Aufzeichnung des Schreibprozesses wird hierbei ein spezieller Tisch verwendet, welcher es erlaubt, den Schreibprozess von der Unterseite der Tischplatte aufzuzeichnen. Hierzu ist auf der Arbeitsfläche des Tisches eine Plexiglasplatte eingelassen, unter welcher ein Spiegel in einem Winkel von 45 Grad angebracht ist (siehe Abbildung 7). Die Plexiglasplatte fungiert als Arbeitsfläche, auf der ein einzelnes Blatt dünnen Schreibpapiers fixiert wird, welches mit einer Lichtquelle von oben beleuchtet wird. Die Beleuchtung hat neben der Ausleuchtung der Arbeitsfläche einen zweiten Effekt, denn es dringt auch Licht *durch* Schreibblatt und Plexiglasplatte, so dass das Entstehen der Schreibspur beim Schreiben von der Unterseite beobachtbar wird (siehe Abbildung 8). Die Betrachtung von der Unterseite führt zu einer spiegelverkehrten Ansicht, welche mittels des angebrachten Spiegels aber wieder korrigiert wird, so dass es durch die Aufzeichnung der Spiegelreflektion möglich wird, das Entstehen der Schreibspur zu filmen, ohne dass die Sicht durch andere Körperteile des Schreibenden blockiert wird.

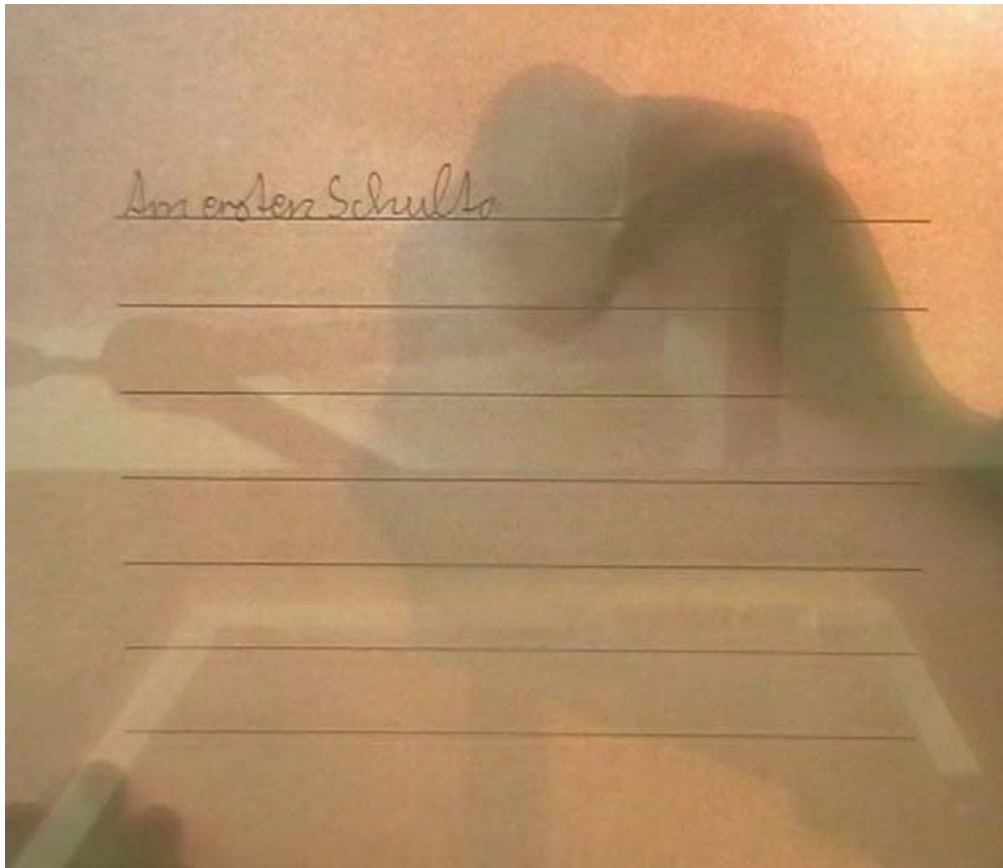


Abbildung 8: Einzelbild aus einer videographierten Aufnahme des Schreibprozesses (aufgenommen von der Unterseite des Untersuchungstisches).

Die genannte Methode erlaubt aber auch eine neuartige Vorgehensweise zur Kodierung der temporalen (Pausen-)Ereignisse. Hierzu kommt die Software „Interact“ (Mangold, 2010) zum Einsatz, welche speziell für die Verhaltensbeobachtung und -kodierung videographierter Filmsequenzen konzipiert wurde. Diese Software stellt zwar kein Spezialprogramm zur Kodierung von Schreibprozessvariablen dar, ist aber dennoch zur effizienten Kodierung temporaler Variablen des Schreibprozesses bestens geeignet. Die Software bietet die Möglichkeit, videographierte Sequenzen in gleich lange Abschnitte zu unterteilen und diese Abschnitte als Merkmalsträger in einer frei konfigurierbaren Datenmatrix zur Kodierung zu nutzen. Auf diese Weise ist es beispielsweise möglich, eine videographierte Schreibsequenz in halbsekündige Abschnitte zu unterteilen, welche separat abgespielt und innerhalb der Datenmatrix kodiert werden können. Werden beim Abspielen der einzelnen Abschnitte relevante Ereignisse (z. B. Unterbrechung der motorischen Schreibhandlung) identifiziert, können diese innerhalb der Datenmatrix mit einem entsprechenden Code versehen werden. Da die Datenmatrix frei definierbar ist, lässt sich der Schreibprozess auf diese Weise durch beliebig

viele Variablen beschreiben. Dies ermöglicht es, Ereignisse auch sehr genau zu beschreiben und so beispielsweise auch den Auftretensort einer Pause zu kodieren. Die entstehenden Rohdatenmatrizen können in weiterführende Tabellenkalkulations- beziehungsweise Statistikanwendungen zur weiteren Auswertung exportiert werden.

Wie bereits erwähnt, muss bei Verwendung dieser Methode ein entsprechender personaler und zeitlicher Aufwand eingeplant werden, da die Erstellung der Rohdaten auf manuellem Weg erfolgt. Dass das Bestehen der Notwendigkeit manueller Kodierungsvorgänge aber keine alleinige Eigenschaft videographischer Methoden darstellt, wird im folgenden Abschnitt 4.2.5 deutlich werden, in welchem Vor- und Nachteile der Aufzeichnung des handschriftlichen Schreibprozesses mittels eines Schreibtablets diskutiert werden.

4.2.5. Digitale Aufzeichnung der Handschrift mittels Schreibtablett

Die zweite prominente Möglichkeit, den handschriftlichen Schreibprozess festzuhalten, besteht in der Verwendung eines digitalen Schreibtablets (auch Grafiktablett oder *digitizing tablet* genannt). Wie bei einer Computertastatur oder einer Computermaus handelt es sich bei einem Schreibtablett um ein Zeigegerät zur Einspeisung von Steuersignalen, die von einem menschlichen Nutzer erzeugt werden, in einen Computer. Dies geschieht mittels eines digitalen Stifts, dessen relative Position während einer Schreib- oder Zeichenbewegung an das Tablett gesendet und von dort an den angeschlossenen Computer weitergeleitet wird, welcher unter Zuhilfenahme einer geeigneten Software die sich über die Zeit verändernden räumlichen Koordinaten der Stiftspitze aufzeichnet. Auf diese Weise ist es möglich, eine digitale Kopie des entstehenden Schreibproduktes als graphisches Resultat festzuhalten. Hierdurch bietet sich jedoch auch die technische Möglichkeit, den Verlauf des zugrunde liegenden Schreibprozesses aufzuzeichnen. So kann neben den räumlichen Koordinaten zusätzlich auch für jeden der einzeln aufgezeichneten Punkte ein Zeitstempel mit festgehalten werden. Dies ermöglicht es, graphomotorisch relevante kinematische Variablen (z. B. Beschleunigungsmuster) zu berechnen, es besteht aber auch die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf des Entstehens der graphischen (Schreib-)Spur zu rekonstruieren und diesen mittels einer geeigneten Software in Echtzeit so nachzustellen, dass beim Betrachten der annähernde Eindruck entsteht, eine Filmaufnahme vorgespielt zu bekommen.



Abbildung 9: Ein Standard-Schreibtablett im 16:10-Format mit digitalem Stift.

Ein Schreibtablett besteht aus zwei Komponenten: einem elektronischen Stift und einer digitalen Schreiboberfläche (dem eigentlichen Tablett). Standard-Schreibtablets bestehen aus einem flachen Gehäuse mit einer großflächigen Schreiboberfläche, die sich auf der Oberseite des Tablets befindet und vom Rest des Gehäuses optisch abgehoben ist (siehe Abbildung 9). Innerhalb des Gehäuses sind unterhalb der Schreiboberfläche eine Kontroll- und eine Sensorenplatine verbaut. Letztere enthält eine matrixartige Anordnung aus Magnetspulen, die während des Betriebs zum Aufbau eines elektromagnetischen Feldes dient. Der Stift enthält eine Resonanzschleife, welche das vom Tablett aufgebaute Magnetfeld nutzt, um magnetische Signale zu senden, die von der Oberfläche des Tablets empfangen werden (*Electo-Magnetic Resonance Technology*). Auf diese Weise ist es möglich, sowohl räumliche Koordinaten des Stiftes als auch die Stärke des Aufdrückens der Stiftspitze auf der Schreiboberfläche zu registrieren und diese Daten einschließlich Zeitstempel an den Computer zu senden. Von außen ist der elektronische Stift wie ein normaler Kugelschreiber beschaffen, und es ist möglich, diesen mit einer Kugelschreibermine zu bestücken, um zusätzlich zur digitalen Aufzeichnung auch eine physikalische Schreibspur zu erzeugen. Nach Befestigung eines Blattes Papier auf der

Schreiboberfläche kann mit dem elektronischen Stift wie mit einem normalen Kugelschreiber auf Papier geschrieben werden, während gleichzeitig der Verlauf des Schreibprozesses digital im Hintergrund aufgezeichnet wird.

Digitale Schreibtablets werden mittlerweile in einer beachtlichen Produktpalette auf dem freien Verkaufsmarkt angeboten. Neben unterschiedlichen Größen und Ausstattungen besteht beispielsweise auch die Wahl zwischen Tablets mit einer Kunststoffoberfläche (auf der wie beschrieben ein Blatt Papier zum Schreiben befestigt werden kann) und LCD-Tablets, bei denen die Schreiboberfläche aus einem Flüssigkristallbildschirm besteht. Einer der Vorteile der Verwendung von LCD-Tablets besteht darin, dass die gerade erzeugte Schreibspur während des Schreibens auf der Flüssigkristalloberfläche digital dargestellt werden kann. Auf diese Weise kann die gerade erzeugte Schreibspur mittels einer geeigneten Software manipuliert werden (z. B. indem ein Teil des geschriebenen Textes maskiert wird, um dem Schreiber die externale Repräsentation des bisher geschriebenen Textes zu entziehen). Auf diese Weise ermöglichen LCD-Tablets die experimentelle Manipulation der Schreibsituation. Gegenüber regulären Tablets, bei denen gleichzeitig auf einem Blatt Papier geschrieben werden kann, weist das Schreiben auf einem LCD-Tablet jedoch auch den Nachteil auf, dass die Schreibsituation eine geringere ökologische Validität besitzt. Des Weiteren haben reguläre Tablets den Vorteil, dass sie höhere Sampling-Raten und eine höhere graphische Auflösung für die Aufzeichnung der Daten aufweisen als LCD-Tablets.

Softwarelösungen

Für die Aufzeichnung und Analyse des handschriftlichen Schreibprozesses wurden in der Vergangenheit zwar bereits eine Reihe verschiedener Softwarelösungen entwickelt, die meisten davon wurden allerdings für Fragestellungen zur Untersuchung der Graphomotorik konzipiert (z. B. „OASIS“, de Jong, Hulstijn, Kostermann & Smits-Engelsman, 1996; „MovAlyzeR“, Teulings, 2011) und sind nicht für Analysen beim Schreiben längerer Texte ausgelegt. Eine Ausnahme stellt die Software „Eye and Pen“ (Alamargot et al., 2006) dar, welche in der Arbeitsgruppe um Denis Alamargot in Poitiers entwickelt wurde. Diese Software wurde speziell zur Analyse temporaler Variablen beim Schreiben auch längerer Texte entwickelt und ermöglicht eine synchronisierte parallele Aufzeichnung von (1) temporalen Schreibprozessdaten, die an einem Grafiktablett erhoben werden, und (2) Blickbewegungsdaten, die während des Schreibens mit einer Eye-tracking-Kamera aufgezeichnet werden. Ähnlich wie bei ScriptLog im Keystroke-logging-Bereich ist die Verwendung von Blickbewegungsmessung innerhalb von „Eye and Pen“ jedoch nicht obligatorisch, so dass die speziellen Funktionen des Programms zur

Aufzeichnung des Schreibprozesses auch bei der alleinigen Nutzung eines Schreibtablets genutzt werden können. Da die Analyse von Schreibprozessvariablen wie Schreibpausen in dieser Arbeit im Vordergrund steht, findet im Folgenden eine Fokussierung auf die Funktionen der Software statt, die für die Analyse von Tablett-Variablen zur Verfügung stehen, während die Blickbewegungsfunktionen mit Verweis auf relevante Literatur (Alamargot, 2012; Alamargot et al., 2006; Alamargot et al., 2007; Alamargot et al., 2010; ein Demo-Film findet sich unter http://www.cost-lwe.eu/sites/www.cost-lwe.eu/IMG/mp4/Final_E_P_Anglais.mp4) nicht weiter behandelt werden.

Für die Erhebung und Analyse von Tablett-Daten bietet „Eye and Pen“ vorgefertigte Funktionen zur Steuerung von Untersuchungen sowie automatische Routinen für die Analyse und Aggregation der aufgezeichneten Daten an. Für die Untersuchungssteuerung besteht sowohl die Option, vorgefertigte Bausteine zu verwenden, die über die Menüführung der graphischen Oberfläche der Software angesteuert werden können, als auch die Möglichkeit, mittels einer eigenen Scriptsprache eigene, auch komplexere Abläufe selbst zu programmieren. Die Routinen, die über die graphische Oberfläche ansteuerbar sind, bieten aber bereits eine breite Palette nützlicher Funktionen an, so dass eigene Programmierleistungen häufig nicht notwendig sind. Es ist beispielsweise möglich, über die graphische Oberfläche visuelle Reize anzusteuern, die zur Unterstützung einer Schreibaufgabe auf dem Bildschirm präsentiert werden. Dies können beispielsweise Bildfolgen sein, die als Impulse für eine narrative Phantasiegeschichte vorgegeben werden, oder auch Vorlagen, deren Inhalt im Rahmen einer Abschreibaufgabe kopiert werden soll. Eine zweite prominente Funktion zur Unterstützung der Versuchssteuerung besteht in der Möglichkeit, die Schreibfläche des Tablets in unterschiedliche Funktionsbereiche zu unterteilen. Auf diese Weise ist es möglich, einen Teil der Aktionsfläche des Tablets für die Aufzeichnung des Schreibprozesses zu reservieren und die verbleibende Fläche in sogenannte *trigger zones* zu unterteilen, welche dazu dienen, bei Berührung mit der Stiftspitze Ablauffunktionen innerhalb der Schreibaufgabe auszuführen (z. B. das Weiterschalten einzelner Bilder innerhalb einer Bilderfolge, die schriftlich beschrieben werden soll).

Die Verwendung eines Schreibtablets bietet aber auch die Möglichkeit, automatisierte Routinen zur Auswertung der aufgezeichneten Rohdaten einzusetzen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit besonders interessant ist die automatische Erfassung von Pausenereignissen. Hierbei kommt vor allem die Verwendung zweier Kriterien in Frage: die Pausenidentifizierung anhand von Pen-up-Ereignissen oder anhand eines Bewegungskriteriums. *Pen-up-Ereignisse* lassen sich dadurch automatisiert erfassen, dass eine Filterung der Rohdaten des Schreibtablets nach Sampling-Punkten erfolgt, in denen die Variable, welche den Druck der Stiftspitze auf der

Schreiboberfläche wiedergibt, den Wert Null annimmt – was immer dann vorkommt, wenn sich die Stiftspitze in der Luft befindet. Werden Pausenereignisse anhand eines *Bewegungskriteriums* bestimmt, müssen diejenigen Sampling-Punkte herausgefiltert werden, in denen die Stiftspitze ruht. Dies lässt sich dadurch realisieren, dass die räumlichen X- und Y-Koordinaten eines Sampling-Punktes mit den räumlichen Koordinaten des folgenden Sampling-Punktes verglichen werden. Unter Zuhilfenahme des Unterschieds der räumlichen Koordinaten sowie der Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Sampling-Punkten lässt sich algorithmisch berechnen, ob eine Bewegung der Stiftspitze stattgefunden hat (und falls dies zutrifft, auch wie schnell diese gewesen ist) oder nicht.

Mittels X- und Y-Koordinaten, die über die Zeit erhoben werden, sowie Informationen über den Schreibdruck lassen sich Pausenereignisse also anhand zweier der in Abschnitt 4.2.4 beschriebenen Ereigniskategorien automatisch erfassen. Allerdings unterliegt diese automatische Aufzeichnung ähnlichen Einschränkungen, wie sie für die Bestimmung von Schreibpausen mittels videographischer Aufnahmen gilt: Denn sowohl bei der Verwendung eines Pen-up-Kriteriums als auch bei der Verwendung eines Bewegungskriteriums kann es dazu kommen, dass bestimmte Pausenereignisse nicht oder nicht korrekt erfasst werden. Hat man es beispielsweise mit Schreibern zu tun, die eine längere Schreibpause einlegen und während dieser Pause die Stiftspitze bewegen, führt eine automatisierte Pausenerfassung allein nach einem Bewegungskriterium zur Erfassung mehrerer kürzerer Pausen anstatt einer einzigen langen. Bei aller Zeitersparnis, die eine automatische Pausenerfassung mit sich bringt, sollte nicht übersehen werden, dass bei zunehmender „Verrauschung“ der Schreibprozessdaten durch irrelevante Bewegungen der Stiftspitze (z. B. bei Tremor der Schreibhand oder bei motorisch sehr unruhigen Schreibern) auch Validität und Reliabilität der automatisiert erfassten Daten sinkt und dass eine manuelle Kodierung zur Erfassung der Schreibpausen notwendig werden kann.

Ein Zeitersparnisvorteil durch die automatisierte Erfassung von Schreibpausen kommt jedoch auch unter günstigen Bedingungen nicht immer in vollem Umfang zum Tragen. Denn möchte man Pausenereignisse beispielsweise nach deren Auftretensort klassifizieren, ist es auch bei Tablett-Daten notwendig, zeitaufwendige manuelle Kodierungsvorgänge durchzuführen. Für eine automatische Erfassung bedürfte es eines Algorithmus, der es ermöglicht, einzelne Zeichen und Buchstaben in handschriftlichen Aufzeichnungen automatisch zu segmentieren. Zwar ist es möglich, anhand von Beschleunigungsmustern automatisiert die Grenzen zwischen einzelnen *Strichen* zu bestimmen, aus welchen sich die Schriftzeichen zusammensetzen, aber ob zwei aufeinanderfolgende Striche zu einem einzelnen Zeichen gehören oder ob sie Bestandteil zweier unterschiedlicher Zeichen sind (was die Grundlage zur automatischen Bestimmung der Grenze

zwischen zwei Zeichen wäre), lässt sich nicht ohne Weiteres per Algorithmus bestimmen. Ein Problem hierbei besteht beispielsweise darin, dass die Anzahl benötigter Striche naturgemäß zwischen den unterschiedlichen Zeichen (z. B. W vs. T) variiert. Dazu kommt, dass auch dieselben Schriftzeichen abhängig von den individuellen Eigenheiten der Handschrift einzelner Personen interindividuell stark unterschiedlich sein können. Individuelle Handschriften stellen des Weiteren auch häufig Mischformen aus Druck- und Schreibschrift dar. Dies kann die Erkennung der Zeichen zusätzlich erschweren, wenn innerhalb eines Wortes mehrere Zeichen in einem Zug geschrieben, andere aber räumlich voneinander getrennt werden. Schließlich können noch Besonderheiten in den graphomotorischen Routinen einzelner Schreiber vorliegen, die ebenfalls die automatische Erkennung einzelner Zeichen erschweren. Es gibt beispielsweise Schreiber, die komplette Wörter zunächst in einem Zug durchzuschreiben pflegen und erst nachträglich i-Punkte und/oder t-Querstriche in einem Extra-Arbeitsgang setzen.

Von Cheng und Rojas-Anaya (2005) wurde eine Methode vorgestellt, welche die genannten Probleme dadurch umgeht, dass die Probanden angewiesen werden, die einzelnen Zeichen als Druckbuchstaben in separate Kästchen einzutragen (ganz ähnlich wie beim Ausfüllen mancher Formularvordrucke). Durch die dadurch vorgerasterte räumliche Segmentierung ist es möglich, beim Schreiben an einem Schreibtablett mittels einer speziell programmierten Software Pausen innerhalb von Zeichen, zwischen Zeichen und zwischen einzelnen Wörtern automatisiert zu erfassen. Allerdings besteht dabei die Einschränkung, dass die Verwendung einer solchen räumlichen Vorsegmentierung einen Sonderfall darstellt, welcher von den Rahmenbedingungen der meisten üblichen Schreibaufgaben abweicht. Somit ist diese Methode nur eingeschränkt generalisierbar, und eine Übertragung beispielsweise auf Schreibsituationen in schulischen Kontexten erscheint eher fraglich.

Die beschriebenen Probleme, die bei der Klassifikation von Schreibpausen nach deren Auftretensort vorliegen, verdeutlichen, dass – auch bei der Verwendung eines Schreibtablets – in vielen Fällen eine manuelle Kodierung nicht umgangen werden kann. Aus diesem Grund ist innerhalb der Software „Eye and Pen“ auch eine spezielle manuelle Kodierungsfunktion implementiert. Da manuelle Kodierungsprozesse auch bei Tablett-Daten häufig zu einem hohen Zeitaufwand führen, wird der Vorteil der Automatisierung, der grundsätzlich gegenüber Methoden wie der Videographie besteht, in vielen Fällen wieder eingeschränkt.

Ein großer Vorteil digitaler Schreibtablets, der durch videographische Methoden in dieser Form kaum erreicht werden kann, besteht in der hohen zeitlichen Auflösung, die bei der Aufzeichnung des Schreibprozesses anliegt. So lassen sich bei optimaler Konfiguration Sampling-Raten von bis zu 200 Hz erreichen, was eine Bestimmung von Pausenlängen in einer Genauigkeit von bis zu

fünf Millisekunden ermöglicht. Allerdings ist auch mit diesem Vorteil eine Einschränkung verknüpft, denn der soeben genannte Wert bezieht sich ausschließlich auf die Daten des Schreibtablets. Möchte man dagegen noch eine zusätzliche Signalquelle (oder mehrere) zusammen mit den Tablett-Daten gleichzeitig analysieren, wird es notwendig, die unterschiedlichen Signale, die aus verschiedenen technischen Quellen stammen, zeitlich zu synchronisieren. Dies ist letztlich nur durch den Einsatz von Spezialsoftware für die jeweilige Hardwarekombination zu realisieren. „Eye and Pen“ als Spezialsoftware zur synchronisierten Aufzeichnung und Analyse von Tablett-Daten *und* Blickbewegungsdaten stellt ein prototypisches (und nach Kenntnisstand des Autors innerhalb der Schreibforschung auch das bislang einzige) Beispiel für eine solche Lösung dar.

Der bisherige Einsatz dieser Software zeigt allerdings, dass die Kombination von Augenbewegungen und Schreibpausen ein mächtiges Tool darstellt, mit dem sich komplexe Phänomene empirisch erfassen lassen, die durch den alleinigen Einsatz von Tablett- oder Blickbewegungsdaten nicht fassbar sind (siehe hierzu z. B. die in Abschnitt 2.3.6 beschriebenen Ergebnisse zu parallelen Ereignissen; Alamargot et al., 2010). Möchte man darüber hinaus aber noch weitere Signale in Kombination erheben, bedarf dies ebenfalls spezifischer Lösungen, die für das Zusammenspiel der entsprechenden Hardwarekomponenten erst programmiert werden müssen. Ein Beispiel für eine solche Situation liefert diese Arbeit: Im Rahmen der empirischen Untersuchungen, die die Datengrundlage für den empirischen Teil dieser Arbeit liefern, wurden im Rahmen einer Dual-task-Aufgabe Kindern während einer Abschreibaufgabe Sinustöne vorgespielt, auf welche sie mit einem Fußtippen reagieren sollten. Um diese Reaktionen zur späteren Kontrolle kombiniert mit der Prozessaufzeichnung des Tablets zu erfassen, bedarf es einer digitalen, mit Zeitstempel versehenen Aufzeichnung der Reaktionen des Fußtippens (realisiert z. B. über ein angeschlossenes Fußpedal für Reaktionszeitmessungen) sowie der auditiv präsentierten Töne, welche beide zeitlich mit dem gesendeten Input-Signal des Schreibtablets synchronisiert werden müssen. Eine technische Lösung für die synchrone Erfassung einer solchen Konfiguration von Signalquellen existiert unseres Wissens nicht. Nach Rücksprache mit dem hauptverantwortlichen Programmierer gibt es für die zukünftige Entwicklung der Software „Eye and Pen“ zwar Überlegungen, auch synchrone Schnittstellen für reaktionszeitmessende Eingabegeräte wie Fußpedale zu implementieren, bislang steht diese Entwicklung jedoch noch aus (D. Chesnet, persönliche Kommunikation, 16. Juni 2011).

Zusammenfassend lässt sich soweit festhalten, dass die drei vorgestellten Methoden (*keystroke logging* beim Tastaturschreiben, Videographie beim handschriftlichen Schreiben, Verwendung eines Schreibtablets beim handschriftlichen Schreiben) allesamt ihre spezifischen Vor- und

Nachteile aufweisen. Dies unterstreicht, dass die jeweiligen Rahmenbedingungen eines konkreten Forschungsprojektes (z. B. Besonderheiten der Probanden, Besonderheiten der zu bearbeitenden Aufgaben, zu erhebende Variablen) und die damit in Zusammenhang stehenden Anforderungen genau ins Kalkül genommen werden sollten, bevor die Entscheidung für eine bestimmte Methode getroffen wird. Im empirischen Teil wird neben der inhaltlichen Fragestellung gleichzeitig ein Beispiel für konkrete Rahmenbedingungen eines Projekts geliefert, welche dazu genutzt werden können, um die im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen eingesetzte Methode der Videographie kritisch zu diskutieren.

5. Strategien für effizientes Abschreiben: Ableitung von Fragestellung und Hypothesen

Ausgehend von den in Kapitel 2 vorgenommenen Herleitungen werden nun drei Hauptfragestränge vorgestellt. Im Vordergrund steht die Frage nach kognitiven Strategien, die bei der Durchführung von Abschreibaufgaben durch geübte Schreiber zum Einsatz kommen, sowie deren Entwicklung über die Grundschulzeit.

- (1) Es wurde herausgearbeitet, dass bei der Enkodierung einer abzuschreibenden Vorlage Strukturen des menschlichen Langzeitgedächtnisses eine wichtige Rolle spielen, die im Rahmen von Leseprozessen für den lexikalischen Abruf von Wörtern und die phonologische Enkodierung zuständig sind. Die semantische und phonologische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials (also der Grad der Bedeutung und der Aussprechbarkeit) ist nicht nur die Grundlage für Leseprozesse, sondern sie kann auch dazu genutzt werden, mentale Ressourcen effizienter auszunutzen (z. B. indem größere Chunks des abzuschreibenden Textes in den Speicherkomponenten des Arbeitsgedächtnisses gehalten werden; siehe Abschnitt 2.2.2). Die erste Frage, die es zu klären gilt, lautet: Welche Rolle spielt die semantische und phonologische Kodierbarkeit von Vorlagentexten für Abschreibestrategien, und kann diese zur möglichst effizienten Ausnutzung der limitierten Arbeitsgedächtnisressourcen genutzt werden?
- (2) Die zweite Fragestellung beschäftigt sich mit der Bedeutung der einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses für die Durchführung von Abschreibaufgaben (hierzu siehe auch Abschnitt 2.2.2 und Kapitel 3). Es wird von der Annahme ausgegangen, dass sowohl zentrale, aufmerksamkeitsbindende Prozesse als auch modalitätsspezifische Speicherprozesse zwingend notwendig für die Enkodierung und Zwischenspeicherung der abzuschreibenden Wörter und Sätze sind. Die zweite Frage lautet somit: In welchem

relativen Ausmaß sind die einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses beim Abschreiben beteiligt, und lassen sich modalitätsspezifisch bedingte Unterschiede ausmachen?

- (3) Schließlich ist von Interesse, wie sich Strategien für effizientes Abschreiben in jungen Jahren entwickeln. Die Annahme liegt nahe, dass Kinder im Verlauf der Grundschulzeit zunehmend lernen, die linguistische Kodierbarkeit von Vorlagentexten zu nutzen, um die beim Abschreiben notwendigen Prozesse im Arbeitsgedächtnis effizienter zu gestalten (z. B. Chunking-Prozesse). Um dies herauszufinden, werden Schüler der zweiten und der vierten Jahrgangsstufe der Grundschule vergleichend untersucht. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich zwischen der zweiten und der vierten Jahrgangsstufe zunehmend effizientere Abschreibfertigkeiten ausbilden. Es stellt sich folgende Frage: Wie unterscheidet sich die Effizienz des Schreibprozesses von Grundschulern der zweiten und der vierten Klassenstufe, wenn sie Vorlagen abschreiben, die in unterschiedlichem Ausmaß linguistisch kodierbar sind?

Zur Klärung dieser Fragen werden Daten verwendet, die aus videographierten Aufnahmen des Schreibprozesses gewonnen wurden, die im Rahmen des Forschungsprojekts „Abschreiben als schulische Arbeitstechnik“² mit erhoben wurden. Erste Untersuchungen von Produktvariablen aus diesem Projekt unterstützen bereits die innerhalb der drei Fragekomplexe genannten Annahmen (Grabowski et al., 2010; Weinzierl, Grabowski & Schmitt, 2012). Ziel dieser Arbeit ist es, diese Fragen nun anhand *schreibprozessbezogener* Variablen zu untersuchen, um dadurch ein differenzierteres Bild der mentalen Prozesse zu erhalten, die effizientem Abschreiben zugrunde liegen. In diesem Zusammenhang erscheinen Analysen von Variablen vielversprechend, die mit Unterbrechungen der Schreibhandlung assoziiert sind (Schreibpausen). Durch separate Analysen von Schreibpausen an verschiedenen linguistisch definierten Grenzen (z. B. innerhalb eines Wortes vs. zwischen Wörtern) lassen sich beispielsweise Rückschlüsse auf die Rolle der linguistischen Kodierbarkeit für die Größe der Informationseinheiten ziehen, die während des sukzessiven portionsweisen Abschreibens innerhalb des Arbeitsgedächtnisses memoriert werden können. Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Analysestrategie gewählt, die auf eine *kombinierte Betrachtung verschiedener Prozessvariablen* (u. a. Pausenhäufigkeit, Pausendauer, Schreibgeschwindigkeit) abzielt, da die Betrachtung von *Ergebnismustern* über mehrere Variablen hinweg eine bessere Basis für solide Interpretationen bietet, als dies bei der singulären Betrachtung einer einzelnen Variable der Fall ist.

² Das Forschungsprojekt „Abschreiben als schulische Arbeitstechnik“ unter der Leitung von Professor Dr. Joachim Grabowski wurde von der Pädagogischen Hochschule Heidelberg von 2007 bis 2009 unterstützt.

Auch wenn hier die Betrachtung von Ergebnismustern verschiedener Prozessvariablen im Vordergrund steht, sollten Merkmale des resultierenden Abschreib**produktes** dennoch nicht vollständig außer Acht gelassen werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn kognitive Strategien für effizientes Abschreiben im Vordergrund stehen. Denn ein Hauptkriterium zur Bestimmung von Effizienz besteht darin, wie *schnell* eine (möglichst fehlerfreie) Reproduktion einer Vorlage entsteht. Ein mögliches Effizienzmaß beim Durchführen von Abschreibaufgaben besteht somit in der Bestimmung, wie viele Zeichen innerhalb eines gegebenen Zeitraumes abgeschrieben werden können.

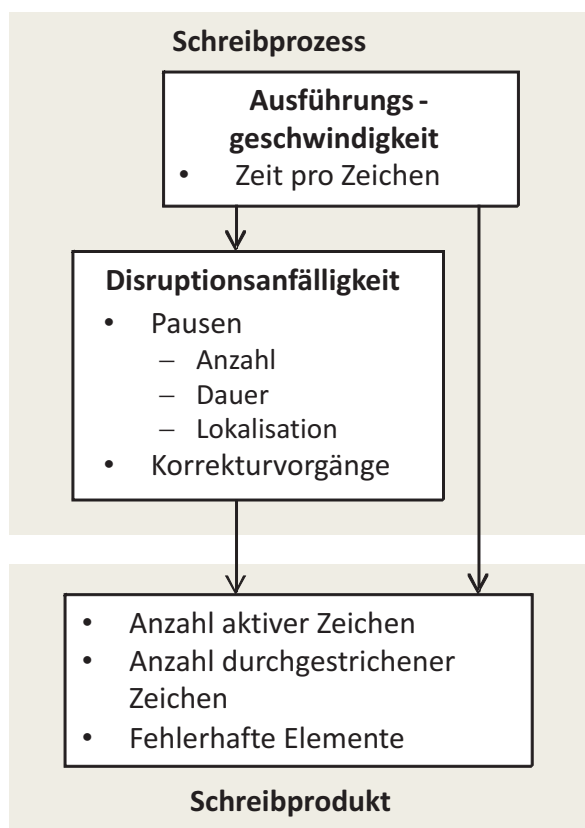


Abbildung 10: Darstellung des Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Prozess- und Produktvariablen bei der Messung der Effizienz beim Abschreiben.

Beim Abschreiben besteht ein Abhängigkeitsverhältnis zwischen Produkt und Prozess. In dieser Arbeit stehen Effizienzmerkmale im Mittelpunkt, die den geübten Abschreiber vom ungeübten unterscheiden, und bei denen das genannte Abhängigkeitsverhältnis immer mit berücksichtigt werden sollte. Wenn Effizienz beim Abschreiben abgebildet werden soll, spielt Zeit als Maßstab

eine wichtige Rolle. Wie viele Zeichen innerhalb eines bestimmten Zeitabschnitts aber abgeschrieben werden können, hängt maßgeblich vom Verlauf des Schreibprozesses ab. Dies zeigt Abbildung 10, in der dargestellt ist, wie sich verschiedene Indikatoren des Schreibprozesses auf Effizienzmerkmale des Produktes auswirken. Effizienzmerkmale (z. B. die Anzahl abgeschriebener Zeichen während einer Minute) hängen demnach zumindest von zwei globalen Prozessmerkmalen ab: der *Ausführungsgeschwindigkeit* während des Durchführens der Schreibhandlung, welche die graphomotorische Geübtheit widerspiegelt und beispielsweise durch die Messung der durchschnittlichen Schreibzeit eines Zeichens gemessen werden kann, und der *Anfälligkeit für Unterbrechungen* der Schreibhandlung, welche sich in erster Linie durch die Auftretenshäufigkeit und Dauer von Pausen- beziehungsweise Korrekturereignissen indizieren lässt. Innerhalb dieses Zusammenhangsgeflechts wirkt sich die Ausführungsgeschwindigkeit auch auf indirektem Wege auf Produktmerkmale aus, da sie auch direkt auf die Unterbrechungsanfälligkeit einwirkt. Dies kommt vor allem dann zum Tragen, wenn (z. B. aufgrund graphomotorischer Ungeübtheit) das Ausführen der Schreibhandlung viel Zeit und gleichzeitig mentale Ressourcen in Anspruch nimmt. Beides führt dazu, dass Interferenzneigung und der Zerfall von Gedächtnisspuren innerhalb des Arbeitsgedächtnisses begünstigt werden. Es ist anzunehmen, dass entsprechende Störungen bei der Zwischenspeicherung ein gehäufteres Auftreten von Pausen nach sich ziehen, da nun kleinere „Portionen“ des Vorlagetextes verarbeitet werden; zusätzlich wird die Fehleranfälligkeiten erhöht, was ein verstärktes Auftreten von fehlerhaft übertragenen Zeichen und Korrekturereignissen nach sich zieht.

Die in Abbildung 10 dargestellten Zusammenhänge verdeutlichen, dass für ein vollständiges Bild zur Beurteilung der Abschreibeffizienz neben produktbezogenen Variablen (z. B. Anzahl abgeschriebener Zeichen) zusätzlich auch Ausführungsgeschwindigkeit und Unterbrechungsneigung mit ins Kalkül gezogen werden sollten. Umgekehrt kommt man angesichts dieser Zusammenhänge bei der Analyse von Schreibprozessvariablen (z. B. Anzahl aufgetretener Pausenereignisse während einer Minute) nicht umhin, gleichzeitig auch zu berücksichtigen, wie viele Zeichen beziehungsweise Wörter während dieser Minute abgeschrieben worden sind. So macht es für die Beurteilung der Abschreibleistung eines Probanden mit dem Resultat von zehn innerhalb einer Minute aufgetretenen Pausenereignissen einen frappierenden Unterschied, ob dieser Proband während dieser Minute zehn oder zwanzig Zeichen abgeschrieben hat. Interessiert man sich für die Beschaffenheit kognitiver Prozesse und Strategien, sind Unterschiede wie diese von großer Bedeutsamkeit, da das Verhältnis von Pausenereignissen zu abgeschriebenen Zeichen einen Rückschluss darüber erlaubt, wie viele Zeichen beim portionsweisen Abschreiben während eines einzelnen Arbeitsschrittes im Arbeitsgedächtnis gehalten

werden können. (Im angeführten Beispiel wird bei zehn abgeschriebenen Zeichen nach jedem einzelnen Zeichen pausiert und bei zwanzig Zeichen nach – durchschnittlich – jedem zweiten Zeichen.)

Zusammenhänge wie diese werden in den nachfolgenden empirischen Analysen nicht nur berücksichtigt, sondern dazu genutzt, um ein möglichst klares Bild über zugrunde liegende mentale Prozesse und Strategien zu erhalten. Ziel ist es zu zeigen, dass sich die Ergebnismuster verschiedener schreibprozessrelevanter Indikatoren beim Abschreiben systematisch verändern, (1) wenn unterschiedliche Vorlagen abgeschrieben werden, die in ihrer linguistischen Kodierbarkeit systematisch variiert worden sind, und (2) wenn es zu zusätzlichen Belastungen des Arbeitsgedächtnisses durch Zweitaufgaben kommt. Da Kinder aus der zweiten und der vierten Jahrgangsstufe untersucht worden sind, ist es darüber hinaus möglich, die Rolle des Arbeitsgedächtnisses sowie der linguistischen Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials auch unter einem Entwicklungsaspekt zu untersuchen. Abgeleitet aus diesen Überlegungen werden die folgenden Hypothesen aufgestellt:

- (1a) Je höher der Grad an semantischer und phonologischer Kodierbarkeit der Vorlage, desto stärker spiegelt sich eine höhere Effizienz beim Abschreiben darin wider, dass Unterbrechungen des Schreibflusses seltener auftreten und kürzer ausfallen.
- (1b) Je höher der Grad an semantischer und phonologischer Kodierbarkeit der Vorlage, desto größer ist der Anteil an Pausenereignissen zwischen größeren linguistischen Einheiten. Es kommt zu einer Zunahme von Pausen an Wortgrenzen, während Pausen innerhalb von Wörtern seltener auftreten.
- (1c) Je höher der Grad an semantischer und phonologischer Kodierbarkeit der Vorlage, desto größere Mengen an Zeichen können während eines einzelnen Arbeitsgangs (durchgängige Schreibhandlung zwischen zwei Pausen) beim portionsweisen Abschreiben übertragen werden.
- (1d) Je geringer der Grad an linguistischer Kodierbarkeit der Vorlage und je unvertrauter das abzuschreibende Symbolsystem, desto stärkere Auswirkungen zeigen sich auf graphomotorischer Ebene. Dies zeigt sich generell in einem Absinken der Schreibgeschwindigkeit und bei unbekannten Symbolen zusätzlich in einem gehäuftem Auftreten von Pausen innerhalb einzelner Zeichen.
- (2a) Störungen des Arbeitsgedächtnisses durch Zweitaufgaben zeigen sich durch Belastung sowohl der zentralen Exekutive als auch durch Belastung beider modalitätsspezifischer Subsysteme (phonologische Schleife, visuell-räumlicher Notizblock).

Dabei kommt es zu einem Absinken der Effizienz, welche sich in den Ergebnismustern der Schreibprozessvariablen widerspiegelt (vermehrte Pausenneigung, vermehrtes Auftreten von Pausen innerhalb größerer linguistischer Einheiten, geringere Menge übertragener Zeichen während eines einzelnen Arbeitsgangs).

- (2b) Die modalitätsspezifische Belastung der Speicherkomponenten wirkt sich auf die verschiedenen Symbolsysteme in Abhängigkeit von der vorliegenden linguistischen Kodierbarkeit unterschiedlich aus. Bei linguistisch gut kodierbaren Symbolsystemen kommt es verstärkt zu Störungen durch phonologische Arbeitsgedächtnisbelastung, während bei linguistisch nicht kodierbaren Symbolsystemen Störungen verstärkt durch visuell-räumliche Belastung auftreten.
- (3) Die genannten Auswirkungen beim Abschreiben der verschiedenen Symbolsysteme auf die Schreibprozessvariablen führen bei Viertklässlern zu größeren Veränderungen als bei Zweitklässlern, da letztere die linguistische Kodierbarkeit in weit geringerem Maße nutzen können. Dies wirkt sich so aus, dass die Unterschiede, die sich zwischen den einzelnen Symbolsystemen in den verschiedenen Schreibprozessvariablen ergeben, bei Zweitklässlern geringer ausfallen.

6. Methode

Versuchsteilnehmer

Die analysierten Schreibprozessvariablen wurden im Rahmen der Untersuchungen des bereits genannten Projektes „Abschreiben als schulische Arbeitstechnik“ der Pädagogischen Hochschule Heidelberg erhoben, welches nun an der Leibniz Universität Hannover weitergeführt wird. Untersucht wurden 182 Grundschüler aus insgesamt acht Schulklassen zweier Mannheimer Grundschulen, und zwar jeweils alle Kinder von vier kompletten Klassen der vierten und der zweiten Klassenstufe. 38 Kinder der Gesamtstichprobe mit unvollständigen Datensätzen aufgrund von Fehlzeiten, Störungen des Untersuchungsablaufs (z. B. durch Feueralarm, Störungen durch dritte Personen), Verhalten während der Untersuchungsdurchführung, welches die Validität der Daten beeinflusst haben könnte (z. B. mehrfaches Stellen von Nachfragen während der Aufgabenbearbeitung) oder technischen Problemen bei der Filmaufnahme (z. B. Ausfall der Kamera) wurden von den Analysen ausgeschlossen. Da

der Ausschluss der Kinder auf Ereignissen beruht, die dem Zufall zuzurechnen sind, kann ein systematischer Einfluss auf die Ergebnisse ausgeschlossen werden. Von den verbleibenden 144 Kindern stammten 79 aus der zweiten (39 Jungen; 40 Mädchen; mittleres Alter = 7;8 Jahre; zwischen 6;7 und 9;1 Jahren) und 65 aus der vierten Klassenstufe (38 Jungen; 27 Mädchen; mittleres Alter = 9;11 Jahre; zwischen 8;9 und 11;5 Jahren). Alle Teilnehmer hatten entweder eine normale oder korrigierte Sehschärfe.

Untersuchungsanordnung

Die Untersuchungen fanden in einem laborartig eingerichteten Raum der jeweiligen Schule statt, der für den Untersuchungszeitraum zur Verfügung gestellt wurde. Es wurde ein Untersuchungsaufbau gewählt, der einer Klassenraumsituation nachempfunden ist, in der von der Tafel abgeschrieben wird. Hierzu wurden drei Posterstellwände in einer wahlkabinen-ähnlichen räumlichen Konfiguration aufgebaut, an deren offenem Ende der in Abschnitt 4.2.4 beschriebene Untersuchungstisch platziert wurde. Unterhalb des Untersuchungstisches war eine digitale Kamera installiert, die den Verlauf des Schreibprozesses während der Durchführung der Abschreibaufgaben festhielt (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8). Zum Schreiben wurde extradünnes Papier (60 g/qm) verwendet, um optimale Bedingungen für die Aufzeichnung des Schreibprozesses zu gewährleisten. Als Schreibgeräte dienten schwarze Fineliner-Filzstifte. Die präsentierten Abschreibvorlagen lagen einzeln auf DIN-A4-Papier gedruckt vor und waren während des Abschreibens an der mittleren Stellwand mit einer Pinboard-Nadel befestigt. Zur Präsentation der während der Untersuchungsdurchführung visuell und auditiv präsentierten Reize wurde ein Windows-PC verwendet, an den ein 15-Zoll-Röhrenbildschirm und Aktiv-Boxen angeschlossen waren. Da keine visuellen Reize während des Abschreibens präsentiert wurden und um die Ablenkung möglichst gering zu halten, war der Bildschirm rechter Hand des Probanden platziert. Zur Aufzeichnung des Schreibprozesses sowie aller auditiven Ereignisse diente eine digitale DV-Kamera, die über ein Stativ so unter dem Tisch positioniert war, dass nur der für das Schreiben relevante Bildausschnitt von unten gefilmt wurde.

Abschreibvorlagen

Als Abschreibvorlagen wurden jeweils vier verschiedene „Texte“ vier verschiedener Symbolsysteme konstruiert, die anhand ihrer linguistischen Kodierbarkeit variiert waren. Verwendet wurden sinnvoller deutscher Text (30 verschiedene Zeichen – Alphabet und ä, ö,

ü, ß; ohne Berücksichtigung allographischer Varianten), Ziffernfolgen (bestehend aus den Ziffern von 0 bis 9 = zehn verschiedene Zeichen), Konsonantenreihen (im Deutschen verwendete Konsonanten mit Ausnahme des Buchstaben „y“, der aufgrund der Möglichkeit diesen phonologisch als Vokal zu kodieren und aufgrund seiner Seltenheit ausgeschlossen wurde = 20 verschiedene Zeichen) sowie geometrische Objekte (Kreis mit oder ohne Punkt; Dreieck mit nach oben gerichteter Spitze mit oder ohne Punkt; Dreieck mit nach unten gerichteter Spitze mit oder ohne Punkt; Quadrat mit und ohne Ankreuzung; Raute mit und ohne senkrechten Halbierungsstrich = zehn verschiedene Zeichen). Beispielhafte Ausschnitte der Symbolsysteme aus der vierten Klassenstufe sind in Abbildung 11 dargestellt (vgl. Anhang A1.1 und A1.2 für die vollständigen Materialien). Eine genauere Beschreibung der Variation der linguistischen Kodierbarkeit der Symbolsysteme wurde weiter oben in Abschnitt 3.2 vorgenommen.

Thomas spielt auf dem Gehweg
401845 197755 739 308 879974
tjxgg1 pgkfkq dtd rtt mpwdvf
 ▽○□◆⊙△ ☒⊙▽△△△ ▽□◇ △△□ ▽▽⊙▽○◇

Abbildung 11: Aufeinander abgestimmte Beispielsequenzen der vier verwendeten Symbolsysteme: deutscher Text, Ziffernfolgen, Konsonantenreihen, geometrische Objekte.

Basis für die Konstruktion der Symbolsysteme waren die jeweils vier deutschen Texte, die unter Berücksichtigung des Sprachniveaus der verschiedenen Klassenstufen anhand von Schulbuchtexten für die vierte beziehungsweise die zweite Klassenstufe konstruiert wurden und innerhalb der einzelnen Klassenstufen in Gesamtextlänge (Textlänge vierte Klasse: 39 Wörter, 210 Buchstaben; Textlänge 2. Klasse: 26 Wörter, 132 Buchstaben) und Wortlänge (mittlere Wortlänge vierte Klasse = 5,36; mittlere Wortlänge zweite Klasse = 5,08) aufeinander abgestimmt waren. Die Gruppierungen von Zeichenclustern, die sich bei diesen Texten ergaben, wurden für die jeweiligen Pendants der drei übrigen Symbolsysteme übernommen. Den dadurch festgelegten einzelnen Zeichenpositionen wurden randomisiert Zeichen aus dem jeweiligen Symbolsystem zugewiesen, so dass für jedes der Symbolsysteme

vier einzelne „Texte“ resultierten, deren Zeichencluster mit jeweils einem der vier Basistexte korrespondierten.

Die abzuschreibenden Vorlagen waren im Querformat auf Din-A4-Papier gedruckt, wobei die Schriftart „Courier New“ in Schriftgröße 28 für deutschen Text, Ziffernfolgen und Konsonantenreihen und für die geometrischen Objekte die Schriftart „SPSS Marker Set“ mit Schriftgröße 19 verwendet wurde. Die Vorlagen wurden vom Versuchsleiter vor jeder neuen Abschreibeaufgabe an einem markierten Ort auf halber Höhe der zentralen Stellwand befestigt, so dass eine Situation simuliert wurde, die einer Klassenraumsituation, bei der von der Tafel abgeschrieben werden soll, möglichst nahe kommt.

Zweitaufgaben

Zur selektiven Belastung der Komponenten des Arbeitsgedächtnisses wurden drei verschiedene Zweitaufgaben parallel zum Schreiben durchgeführt. Zur Belastung der *phonologischen Schleife* kam eine artikulatorische Suppressionsaufgabe zum Einsatz, bei der die Kinder angehalten waren, während des Schreibens ununterbrochen die Silbe „ba“ wiederholt auszusprechen. Um die *visuell-räumliche Komponente* zu belasten, sollten die Kinder das Bild einer abstrakten Konfiguration von verschiedenfarbigen Dreiecken (vgl. Anhang A1.3) memorieren, die unmittelbar vor dem Abschreiben für eine Sekunde auf dem Computerbildschirm präsentiert wurden. Danach folgte ein kurzer Sinus-Ton, welcher als Startsignal für den Beginn des Schreibens fungierte. Aufgabe der Kinder war es, den zuvor präsentierten visuellen Reiz während des Schreibens zu memorieren. Unmittelbar nach dem Abschreiben wurde den Kindern ein Arrangement von sechs untereinander sehr ähnlichen Dreiecks-Konfigurationen (fünf Distraktoren, ein Zielreiz; vgl. Anhang A1.3) präsentiert, und die Kinder waren angehalten, den ursprünglich präsentierten Reiz zu identifizieren. Für die Belastung der *zentralen Exekutive* wurden den Kindern während des Abschreibens im Rahmen einer Go/Nogo-Aufgabe in randomisierten Zeitabständen hohe und tiefe Sinustöne vorgespielt, wobei die Kinder auf tiefe Töne mit einem kurzen Fußtippen reagieren sollten, während hohe Töne zu ignorieren waren.

Kovariaten

Zur separaten Erhebung der Arbeitsgedächtniskapazität wurden drei verschiedene Gedächtnisspannen-Aufgaben durchgeführt, die jeweils eine der drei Arbeitsgedächtnis-komponenten belasteten. Zum einen wurde eine einfache *Wortspannenaufgabe* durchgeführt,

mit der die Speicherkapazität des Kurzzeitgedächtnisses für phonologisches Material gemessen werden kann. Hierzu verlas der Versuchsleiter Wortlisten (sechsbuchstabige, zweisilbige Wörter; vgl. Anhang A1.4) mit aufsteigender Länge (zwischen drei und sieben zu memorierende Wörter; ein Wort pro Sekunde; drei Durchgänge pro Setgröße). Aufgabe der untersuchten Kinder war es, die Wörter zu memorieren und unmittelbar nach Verlesen in der richtigen Reihenfolge wiederzugeben. Die Aufgabe wurde abgebrochen, wenn drei komplette Durchgänge einer Setgröße nicht korrekt wiedergegeben werden konnten.

Zur Messung der visuell-räumlichen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses wurde eine selbst erstellte, computerisierte Variante der *Corsi-Block-Aufgabe* verwendet. Im Gegensatz zur Originalversion wurden dabei innerhalb der Software Microsoft Powerpoint sechs unregelmäßig auf einem weißen Feld angeordnete Blöcke präsentiert (siehe Anhang A1.6). Den Kindern wurde berichtet, dass es sich hierbei um Häuser handelt, durch die ein Dieb flüchtet (graphisch realisiert durch ein Cartoon-Bild, welches im Abstand von jeweils einer Sekunde nacheinander innerhalb der einzelnen Blöcke aufleuchtete). Die Aufgabe bestand darin, in die Rolle eines „Detektivs“ zu schlüpfen und nach der Präsentation einer Blocksequenz mit einem Stift die Route des Diebes nachzutippen, um diesen zu „verfolgen“ (ein ähnliches Verfahren zur Durchführung einer Corsi-Block-Aufgabe mit Kindern berichten Schmid et al., 2008). Insgesamt wurden drei Durchgänge pro Blocklänge präsentiert, und es gab kein Abbruchkriterium.

Zur Messung der Arbeitsgedächtniskapazität unter zentral-exekutiver Belastung wurde eine *komplexe Listening-span-Aufgabe* im Sinne von Daneman und Carpenter (1980) durchgeführt. Dabei wurden vom Versuchsleiter zwei bis fünf einfache Aussagesätze (drei Sätze pro Setgröße; vier Übungsdurchgänge: zwei mit nur einem Satz und zwei mit zwei Sätzen; vgl. Anhang A1.5) vorgelesen, die von den Kindern zum einen auf ihren Wahrheitsgehalt überprüft werden sollten (indem das Kind unmittelbar nach dem Verlesen der einzelnen Sätze mit „richtig“ oder „falsch“ antwortete) und deren jeweils letztes Wort zum anderen still memoriert werden sollte, bis alle Sätze des jeweiligen Durchgangs verlesen worden waren. Anschließend sollten die memorierten Wörter auf ein visuelles Signal in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden. Die Aufgabe wurde abgebrochen, wenn drei komplette Durchgänge mit derselben Satzanzahl unvollständig oder fehlerhaft wiedergegeben wurden.

Ablauf

Die Untersuchungen der Teilnehmer erfolgten im Rahmen von Einzelsitzungen in separaten Räumen vor Ort innerhalb der jeweiligen Grundschulen. Jedes untersuchte Kind bearbeitete die Aufgaben in zwei Einzelsitzungen von jeweils 45 Minuten, die an getrennten Tagen stattfanden, um Ermüdungseffekte zu minimieren. Die Zeitplanung der Sitzungen war an den Stundenablauf der Schulen gekoppelt. Die beiden Einzelsitzungen waren jeweils zweigeteilt, wobei in der ersten Hälfte demographische Daten und Kovariaten erhoben wurden, und in der zweiten Hälfte geblockt jeweils zwei komplette Symbolsystem-Aufgabenpakete mit allen vier Arbeitsgedächtnisbedingungen durchgeführt wurden (insgesamt ergaben sich also acht Abschreibaufgaben pro Sitzung). Vor jeder Abschreibaufgabe wurde die neue Vorlage vom Versuchsleiter am markierten Ort der zentralen Stellwand befestigt, und es wurde ein neues Blatt Papier für das Kind zum Schreiben aufgelegt. Danach wurde ein akustisches Startsignal gegeben, und das Kind war angewiesen, daraufhin in seiner normalen Schreibgeschwindigkeit solange von der Vorlage abzuschreiben, bis ein akustisches Stoppsignal gegeben wurde. Nach dem Stoppsignal wurde vom Schüler die Schreibhandlung unmittelbar unterbrochen.

Design

Bei den Abschreibaufgaben wurden zwei Bedingungen variiert. Zum einen wurden den Kindern die vier beschriebenen Symbolsysteme zum Abschreiben vorgelegt (vierfach gestufter Faktor „Symbolsystem“), und zum anderen wurden die Kinder gebeten, gleichzeitig während des Abschreibens jeweils eine der drei beschriebenen Zweitaufgaben durchzuführen, so dass sich – ergänzt um eine Kontrollbedingung, in der keine Zweitaufgabe durchgeführt werden sollte – vier unterschiedliche Zweitaufgabenbedingungen ergeben (vierfach gestufter Faktor „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“). In Kombination ergeben die beiden Faktoren ein zweifaktorielles, abhängig gemessenes 4×4 -Design mit insgesamt 16 möglichen Bedingungskombinationen, die alle von jedem einzelnen Kind je einmal bearbeitet wurden.

Die Länge einer einzelnen Abschreibaufgabe belief sich in der vierten Klasse auf zwei und in der zweiten Klasse auf eineinhalb Minuten. Die Zeiten wurden mit einer Stoppuhr kontrolliert und waren so bemessen, dass die Zeit in keinem Falle ausreichte, eine ganze Vorlage komplett abzuschreiben. Die Reihenfolge der Kombinationen der Symbolsystem- und Arbeitsgedächtnisbedingungen war systematisch permutiert, so dass etwaige Einflüsse durch Reihenfolge- oder Übungseffekte auf die später durchgeführten Analysen ausgeschlossen werden können.

Datenaufbereitung

Die Filmaufnahmen, mit denen der Schreibprozess während der Abschreibaufgaben festgehalten wurde, dienten als Grundlage für die Erfassung von Schreibprozessvariablen. Zu diesem Zweck wurden die digitalen Filmaufnahmen auf einen Computer überspielt und mit der Software „Interact“ (Mangold, 2010) weiterverarbeitet. Die Filmaufnahmen wurden in einzelne Ausschnitte von jeweils 480 ms (entspricht zwölf Einzelbildern) unterteilt, welche als Grundlage für die Erstellung einer Kodierungsmatrix innerhalb von „Interact“ dienten (vgl. Abschnitt 4.2.4 zur generellen Funktionalität von „Interact“). Innerhalb dieser Matrix wurden Beginn und Ende von Schreibhandlungen und Pausenereignissen manuell kodiert, wobei als Kriterium für Pausen die Unterbrechung der graphomotorischen Schreibhandlung diente. Das bedeutet, dass alle Ereignisse als Pause kodiert wurden, (1) bei denen ein Pen-up-Zustand vorlag, der länger als 480 ms andauerte, oder (2) bei denen ein Pen-Down-Zustand vorlag, bei dem die Stiftspitze für einen Zeitraum von 480 ms (oder größer) nicht bewegt wurde. Zusätzlich erfolgte eine Kodierung der Pausenereignisse auf einer Reihe binärer Variablen, mit denen markiert wurde, an welcher Stelle eine Pause aufgetreten war (u. a. innerhalb Zeichen, an Zeichengrenzen innerhalb von Wörtern, zwischen Wörtern). Außerdem wurde kodiert, wie viele Zeichen seit dem letzten Pausenereignis abgeschrieben worden waren. Aus den entstandenen Rohdatenmatrizen wurden im Anschluss aggregierte Werte der verschiedenen Schreibprozessvariablen erstellt, auf deren Grundlage die im nun folgenden Ergebnisteil berichteten Analysen beruhen.

7. Ergebnisse

In den nun folgenden Analysen stehen Variablen im Vordergrund, die den Schreibprozess in seinem zeitlichen Verlauf abbilden. Wie Abbildung 10 nahelegt, ist es jedoch nicht sinnvoll, diese Variablen vollständig abgekoppelt vom Schreibprodukt zu betrachten, da erst das Zusammenspiel von Ergebnismustern über prozess- und produktbezogene Variablen hinweg ein vollständiges Bild verspricht. Aus diesem Grund wird in den nun folgenden Analysen auch das Schreibprodukt berücksichtigt. Die Analysen der folgenden Teilabschnitte 7.1 bis 7.7 erstrecken sich über die folgenden Variablen, die nun in der Reihenfolge ihrer Präsentation vorab kurz beschrieben werden.

- *abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute* (Abschnitt 7.1): die Anzahl an Schriftzeichen, die innerhalb einer Minute abgeschrieben werden kann (abzüglich

durchgestrichener Zeichen und Interpunktionszeichen). Hierbei handelt es sich um ein Maß, welche die Effizienz des Abschreibens unmittelbar über das Produkt abbildet.

- *Pausen pro Zeichen* (Abschnitt 7.2): diese Variable entsteht dadurch, dass die Anzahl an Pausen pro Minute an der Anzahl abgeschriebener Zeichen pro Minute relativiert wird. Dieses Prozessmaß bildet Abschreibeffizienz über die Auftretenshäufigkeit von Pausenereignissen ab.
- *abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen* (Abschnitt 7.3): die mittlere Anzahl an Zeichen, die in einem einzelnen Arbeitsgang zwischen zwei Schreibpausen abgeschrieben wurde. Hierbei handelt es sich um ein direktes Maß für den Umfang an Schriftzeichen, der beim portionsweisen Abschreiben im Arbeitsgedächtnis zwischengespeichert werden kann.
- *Prozentuale Anteile von Pausen an linguistischen Grenzen* (Abschnitt 7.4): Prozentanteil der Schreibpausen nach Untergliederung in die Kategorien (1) Pausen zwischen Wortgrenzen, (2) Pausen zwischen Zeichengrenzen und (3) Pausen innerhalb von Zeichen. Diese Untergliederung erlaubt den Nachweis einer Strategie, die darauf abzielt, bei der Enkodierung der Vorlage größere linguistische Einheiten im Arbeitsgedächtnis zwischenzuspeichern. Pausen innerhalb von Zeichen sind ein Indikator für eine mangelnde Vertrautheit mit den Schriftzeichen und/oder graphomotorische Probleme.
- *Pausenzeit pro Minute* (Abschnitt 7.5): der in Sekunden gemessene Anteil einer Minute, der während des Durchführens einer Abschreibaufgabe durch Schreibpausen eingenommen wird. (Der verbleibende Anteil der Minute wird durch graphomotorische Schreibhandlungen eingenommen, da entweder der Zustand „Pause“ oder „Schreibhandlung“ vorliegt.) Pausenzeit pro Minute ist ein Maß für die effektive Ausnutzung der Bearbeitungszeit beim Abschreiben.
- *mittlere Schreibzeit pro Zeichen* (Abschnitt 7.6): die durchschnittliche Zeit, die für das Schreiben eines einzelnen Zeichens benötigt wird. Hierbei handelt es sich um ein Maß für die graphomotorische Ausführungsgeschwindigkeit.
- *mittlere Pausenlänge* (Abschnitt 7.7): die durchschnittliche Dauer einer Schreibpause. Dies ist ein weiteres Maß, das die effektive Ausnutzung der Bearbeitungszeit widerspiegelt.

Ausgespart bleiben Variablen, die mit Korrekturvorgängen (z. B. Durchstreichungen) zusammenhängen, da diese nur äußerst selten während des Schreibens vorgekommen sind. Dasselbe gilt für Analysen von Fehlern innerhalb des Produktes, da diese einen eigenen

produktbezogenen Analysestrang bilden würden, der den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

Die für die nachfolgend vorgestellten Varianzanalysen ausgewählten Variablen beleuchten die Datenlage aus verschiedenen Perspektiven, so dass im Sinne des in Abbildung 10 dargestellten Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Prozess- und Produktvariablen ein möglichst umfassendes Gesamtbild entsteht. Um die Ergebnisse möglichst verständlich darzustellen und den Überblick über die Ergebnislage zu möglichst jedem Zeitpunkt aufrechtzuerhalten, sind innerhalb der Ergebnisdarstellung nach zusammengehörigen Analyseblöcken kurze zusammenfassende Zwischendiskussionen eingestreut. Eine integrierte Gesamtdiskussion aller Ergebnisse erfolgt in Kapitel 8.

Vor der Darstellung der Ergebnisse gilt es noch drei Aspekte zu den varianzanalytischen Untersuchungen anzumerken. (1) Bei den nachfolgend analysierten Variablen liegt häufig keine Normalverteilung vor (siehe Anhang A2.1 bis A2.9). Die Varianzanalyse gilt zwar als robust gegen die Verletzung der Normalverteilungsannahme (vgl. Bortz, 2005), dennoch wird der Empfehlung von Zöfel (2003) gefolgt und das Signifikanzniveau in diesen Fällen auf $p = .04$ abgesenkt. Treten Grenzfälle auf (p zwischen .04 und .05 bei verletzter Normalverteilungsannahme), werden diese Ergebnisse lediglich als Tendenz gewertet. (2) Es kommt bei den nachfolgend analysierten Variablen häufig zu Verletzungen der Varianzhomogenität. In den betroffenen Analysen wird eine Korrektur der Freiheitsgrade nach Greenhouse-Geisser vorgenommen, und es werden entsprechend nach unten korrigierte Signifikanzen angegeben. (3) Als Effektgrößenmaß wurde nachfolgend durchgängig das partielle η^2 berechnet, welches im Text aus Platzgründen abgekürzt als „ η^2 “ ausgewiesen ist

7.1. Untersuchung der Variable „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“

Analog zu den Analysen von Grabowski et al. (2010) wurde für die nun folgende Analyse die Netto-Anzahl aller fertiggestellten Schriftzeichen abzüglich aller durchgestrichenen und Interpunktionszeichen verwendet. Wie in Abschnitt 6 berichtet, war die Bearbeitungszeit der einzelnen Schreibaufgaben für beide Klassenstufen nicht gleich lang. Um die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurde deswegen ein Durchschnittswert der abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute gebildet. In den Analysen wird überprüft, wie sich variierende linguistische Kodierbarkeit und selektive Arbeitsgedächtnisbelastung in Abhängigkeit von der Klassenstufe auf die Anzahl an Netto-Zeichen, die innerhalb einer Minute abgeschrieben werden können, auswirken. Hierbei ist zu erwarten, dass niedrigere linguistische

Kodierbarkeit, Arbeitsgedächtnisbelastung und geringere Geübtheit (in der niedrigeren Klassenstufe) zu einer geringeren Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen führt. Da durch zusätzliche Arbeitsgedächtnisbelastung mutmaßlich Strategien gestört werden, die auf der linguistischen Kodierbarkeit des Symbolsystems beruhen, wird erwartet, dass Zweitaufgaben in beiden Klassenstufen stärker stören, wenn linguistisch besser kodierbare Symbolsysteme beschrieben werden. Außerdem sollten sich negative Einflüsse niedrigerer linguistischer Kodierbarkeit stärker bei den älteren Kindern zeigen, die diese Strategien schon besser nutzen können. In Abbildung 12 sind Mittelwerte und Standardfehler der Variable „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.1).

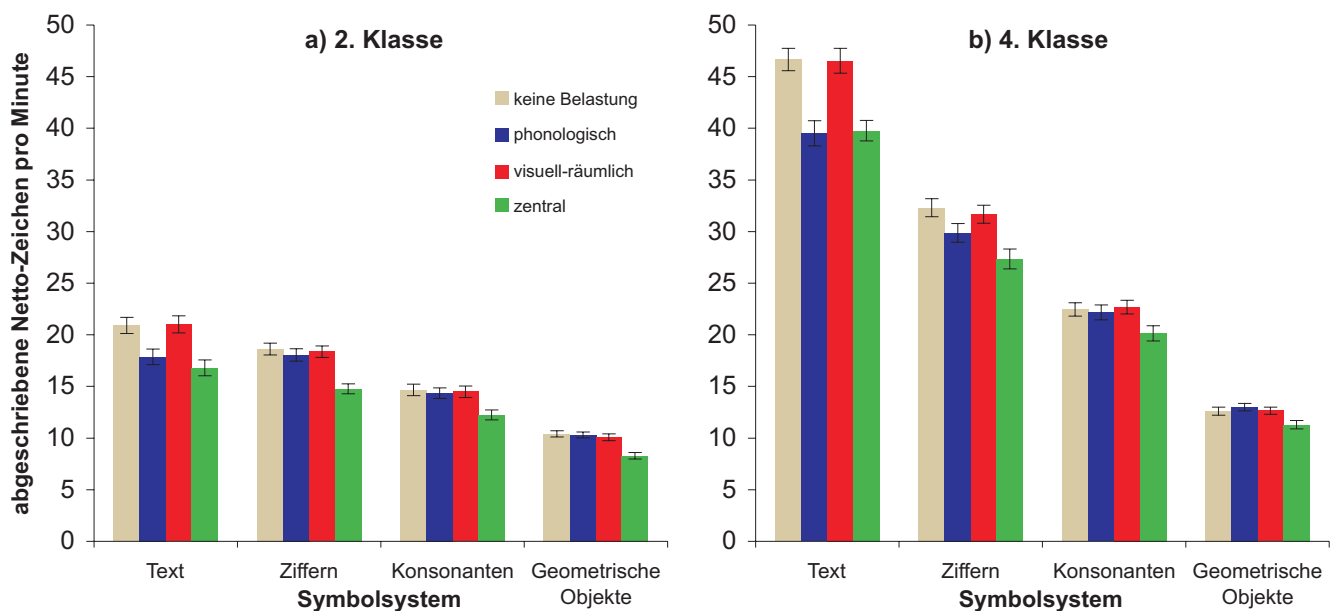


Abbildung 12: Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Hierbei ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.36, 334.81) = 1025.84$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.88$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3, 426) = 112.45$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.44$) sowie „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 266.00$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.65$). Mit Blick auf die Richtung der Effekte (vgl. Abbildung 13) zeigt sich, dass bei

linguistisch besser kodierbarem Material mehr abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute resultieren, dass das Durchführen einer Zweitaufgabe ein Absinken der abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute nach sich zieht und dass die älteren Kinder mehr Netto-Zeichen pro Minute abschreiben als die jüngeren.

Die Interaktionseffekte sind ebenfalls signifikant. Dies gilt für die einfachen Interaktionen zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(6.38, 906.30) = 28.07$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.17$), „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.36, 334.81) = 291.22$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.67$) sowie „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3, 426) = 4.74$; $p = .003$; $\eta^2 = 0.03$), ebenso wie für die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren ($F(6.38, 906.30) = 4.56$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.03$).

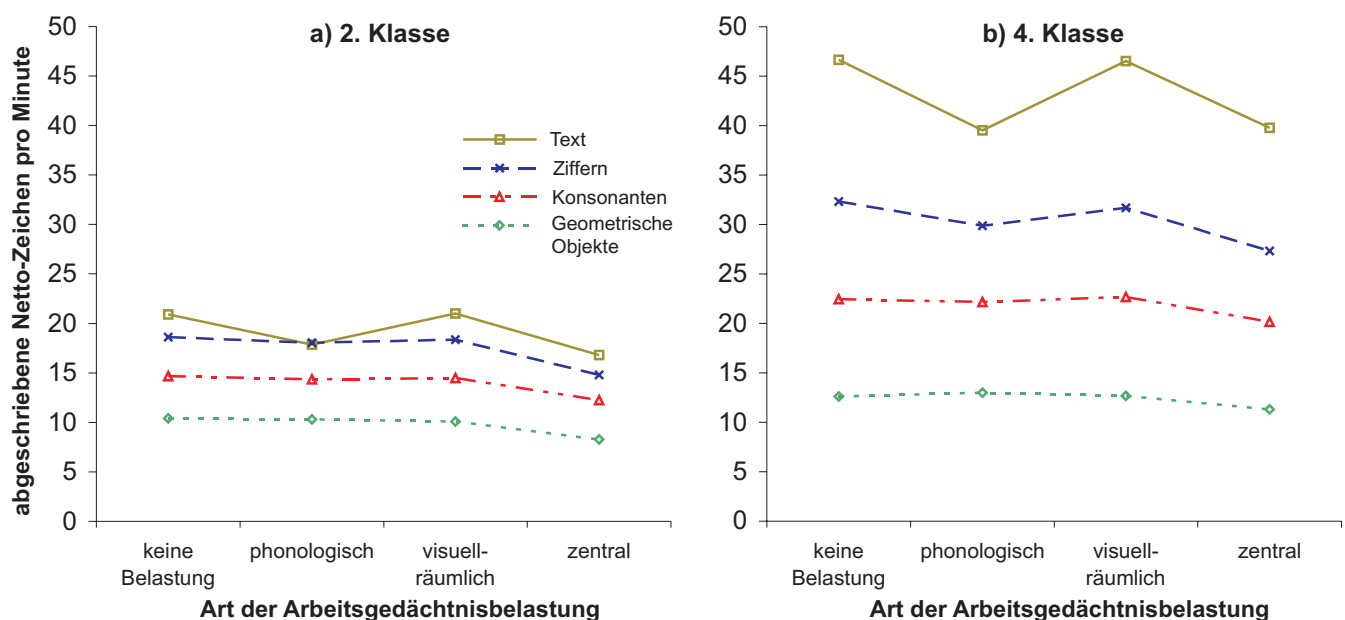


Abbildung 13: Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Zur weiteren Aufschlüsselung der Effekte wurden für die beiden Klassenstufen auch separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen durchgeführt, bei denen für die beiden Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ folgende orthogonale geplante Vergleiche berechnet wurden:

- Um zu überprüfen, ob graduell geringere linguistische Kodierbarkeit zu einem signifikanten Absinken der abgeschriebenen Netto-Zeichen führt, wurden innerhalb des Faktors „Symbolsystem“ diejenigen Bedingungen einzeln miteinander verglichen,

die bei Bildung einer Rangreihe der Symbolsysteme nach dem Grad ihrer linguistischen Kodierbarkeit benachbarte Plätze einnehmen. Dies führt zu Einzelvergleichen (1) zwischen Text und Ziffernfolgen, (2) zwischen Ziffernfolgen und Konsonantenreihen sowie (3) zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten.

- Innerhalb der Bedingung „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ wurde überprüft, ob die Belastung der einzelnen Zweitaufgaben im Vergleich zur Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung zu einer geringeren Anzahl der abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute führt. Zu diesem Zweck wurden Einzelvergleiche (1) zwischen der Kontrollbedingung und der phonologischen Zweitaufgabenbedingung, (2) zwischen der Kontrollbedingung und der visuell-räumlichen Zweitaufgabenbedingung sowie (3) zwischen der der Kontrollbedingung und der zentral-exekutiven Zweitaufgabenbedingung durchgeführt.

Bei den beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen der Variablen „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ ergeben sich für beide Klassenstufen jeweils signifikante Haupteffekte des Faktors „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(2.06, 160.70) = 200.69$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.72$; 4. Klasse: $F(2.41, 153.98) = 775.96$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.92$) und des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(3, 234) = 88.73$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.53$; 4. Klasse: $F(3, 192) = 43.16$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.40$) sowie ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(6.99, 545.52) = 8.43$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.10$; 4. Klasse: $F(5.39, 345.23) = 18.51$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.22$). Die *geplanten Vergleiche* für den Faktor „Symbolsystem“ zeigen in beiden Klassenstufen, dass diese Unterschiede signifikant für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 11.78$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.13$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 354.72$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.85$), Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 170.61$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.69$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 231.96$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.78$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 193.06$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.71$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 383.38$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.86$) ausfallen. Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen signifikante Unterschiede für den Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 18.88$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.20$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 35.58$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.36$) und für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 207.81$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.73$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 94.53$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.60$), nicht jedoch für den

Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.63$; $p = .429$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.08$; $p = .786$; $\eta^2 < 0.01$).

Zwischendiskussion

Die zu Beginn dieses Abschnitts getroffenen Vorhersagen werden durch die vorliegenden Analysen klar bestätigt. Der in allen drei Analysen signifikante Haupteffekt „Symbolsystem“ rührt daher, dass beim Abschreiben von Text die meisten Zeichen niedergelegt werden, gefolgt von Ziffernfolgen, Konsonantenreihen und schließlich geometrischen Objekten. Dies ist ein Indiz dafür, dass die linguistische Kodierbarkeit der Symbolsysteme von den Kindern beider Klassenstufen genutzt wird, um effizienter (mehr Zeichen bei gleicher Zeit) abzuschreiben. Alle drei für den Faktor „Symbolsystem“ berechneten Einzelvergleiche unterscheiden sich ebenfalls in beiden Klassenstufen signifikant voneinander. Allerdings sind die Effektgrößen in der zweiten Klassenstufe durchgängig geringer ausgeprägt als in der vierten Klassenstufe, wobei der Effektgrößenunterschied zwischen den beiden Klassenstufen für den Einzelvergleich der Text- und der Ziffernbedingung besonders stark ausfällt. Die Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute setzt sich in der Textbedingung bei den Viertklässlern von den übrigen Symbolsystemen also besonders deutlich ab, während derselbe Vergleich bei den Zweitklässlern zu deutlich geringeren Unterschieden führt. Dies deutet darauf hin, dass Viertklässler im Gegensatz zu den Zweitklässlern die hohe linguistische Kodierbarkeit der Textbedingung besser für sich zu nutzen wissen.

Der ebenfalls in allen drei Analysen gefundene Haupteffekt „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ untermauert die Annahme, dass effizientes Abschreiben von den verfügbaren Arbeitsgedächtnisressourcen abhängt. Wie die geplanten Vergleiche der beiden 4×4 -Analysen zeigen, kommt der Effekt dadurch zustande, dass sich bei phonologisch und zentral-exekutiv belastenden Zweitaufgaben in beiden Klassenstufen die Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute verringert. Es spielen also die phonologische Speicherkomponente und die zentrale Exekutive eine relevante Rolle für effizientes Abschreiben. Für die visuell-räumliche Zweitaufgabe lässt sich unerwarteterweise kein solcher Nachweis finden.

Die Nutzung der linguistischen Kodierbarkeit für effizienteres Abschreiben scheint von den limitierten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses abzuhängen. Dies zeigt sich durch den Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“, welcher sich dadurch auszeichnet, dass Arbeitsgedächtnisbelastung

sich weniger stark auf die Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen auswirkt, wenn die linguistische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Symbolsystems geringer ist. Dieser Befund kann dahingehend gedeutet werden, dass die Kinder beim Abschreiben linguistische Information in einer strategischen Weise genutzt haben, um die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses besser zu nutzen (z. B. um größere Chunks während des sukzessiven, portionsweisen Übertragens im Arbeitsgedächtnis zu halten).

Bei den Ergebnissen der dreifaktoriellen Varianzanalyse finden sich Hinweise, die auf die Entwicklung dieser Strategie während der Grundschulzeit hindeuten. Viertklässler schreiben signifikant mehr Netto-Zeichen pro Minute ab (Haupteffekt „Klassenstufe“), wobei die Unterschiede zwischen den einzelnen Symbolsystemen in der vierten Klassenstufe durchgängig größer sind als in der zweiten Klassenstufe (Interaktionseffekt zwischen „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“). Viertklässler sind also deutlich versierter darin, die linguistische Kodierbarkeit der Symbolsysteme strategisch für effizienteres Abschreiben zu nutzen als die Zweitklässler. Dazu kommt, dass eine störende Auswirkung durch Zweitaufgaben in der vierten Klassenstufe zu einer stärkeren Verringerung der abgeschriebenen Netto-Zeichen führt als in der zweiten Klasse (Interaktionseffekt zwischen „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“), was damit zusammenhängen könnte, dass die Strategie unter zusätzlicher Arbeitsgedächtnisbelastung nicht mehr gut angewendet werden kann.

Die ebenfalls gefundene Interaktion zweiter Ordnung zwischen den drei Faktoren „Klassenstufe“, „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ rührt daher, dass die Interaktion zwischen „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (stärkere Auswirkung von Arbeitsgedächtnisbelastung beim Abschreiben linguistisch besser kodierbarer Symbolsysteme) sich in der vierten Klasse stärker auswirkt. Veranschaulichen lässt sich dies am besten beim Vergleich der Text- und der Ziffernbedingung: In der Textbedingung kommt es durch eine wirksame Belastung des Arbeitsgedächtnisses in beiden Klassenstufen zu einem vergleichsweise starken Absinken der abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute. In der Ziffernbedingung ist ebenfalls in beiden Klassenstufen ein solches Absinken zu verzeichnen, dieses ist aber in beiden Klassenstufen deutlich geringer ausgeprägt. Vergleicht man das Ausmaß des Absinkens abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute, zeigt sich, dass die Differenz zwischen Text und Ziffernfolgen für die vierte Klassenstufe größer ausfällt. Dieser Befund lässt sich dadurch erklären, dass die von den Viertklässlern bereits vergleichsweise erfolgreich angewandte strategische Nutzung der

linguistischen Kodierbarkeit aufgrund blockierter Arbeitsgedächtnisressourcen nicht mehr effizient angewandt werden kann.

Zusammengefasst liefern die Analysen der Produktvariable „Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute“ eine Reihe von Indizien, die auf mögliche Strategien für effizienteres Abschreiben und deren Entwicklung verweisen. Ziel der nachfolgenden Analysen ist es, die kognitiven Mechanismen dieser Strategie nachzuzeichnen. Zu diesem Zweck werden Variablen untersucht, die den Schreibprozess aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchten.

7.2. Untersuchung der Variable „Pausen pro Zeichen“

Als erstes Merkmal des Schreibprozesses wird die Anzahl der aufgetretenen Pausenereignisse untersucht. Hierbei gilt es zu berücksichtigen, dass die Anzahl möglicher Pausenereignisse von der Anzahl abgeschriebener Zeichen abhängt, denn es bestehen umso mehr potenzielle Auftretensorte für Pausenereignisse, je mehr Zeichen abgeschrieben werden. Damit die Interpretation der Daten nicht unnötig erschwert wird, wurde für jeden Probanden die Anzahl aufgetretener Schreibpausen pro Minute an der Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute relativiert. Die entsprechende Variable wird nachfolgend mit der Bezeichnung „Pausen pro Zeichen“ versehen.

In den Hypothesen (siehe Abschnitt 5) wird angenommen, dass effizienteres Abschreiben mit einem Absinken von Pausenereignissen einhergeht. Demzufolge ist damit zu rechnen, dass es bei den weniger geübten Abschreibern der zweiten Klassenstufe, bei linguistisch weniger gut kodierbaren Symbolsystemen und bei Arbeitsgedächtnisbelastung zu einem signifikanten Anstieg in der Variable „Pausen pro Zeichen“ kommt. Außerdem ist zu erwarten, dass Unterschiede, die aufgrund niedrigerer linguistischer Kodierbarkeit und aufgrund störender Arbeitsgedächtnisbelastung zustande kommen, für die vierte Klassenstufe stärker ausgeprägt sind. In Abbildung 14 sind die Mittelwerte und Standardfehler, die sich bei der Variable „Pausen pro Zeichen“ innerhalb des $2 \times 4 \times 4$ -Designs ergeben, graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.2).

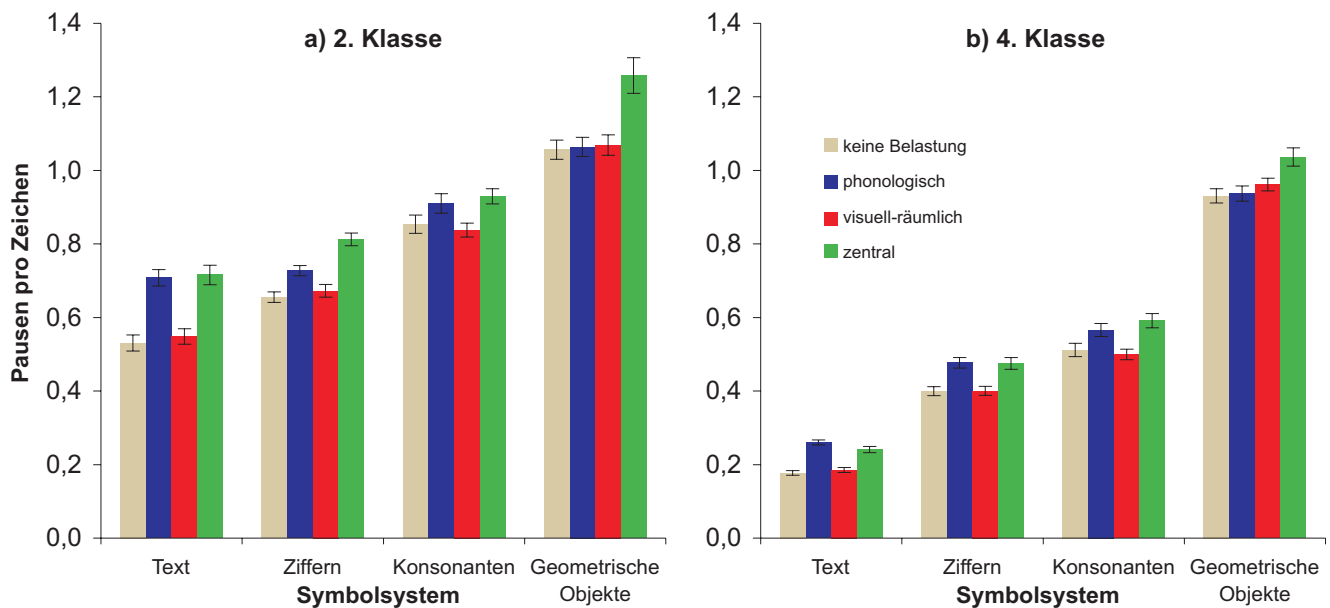


Abbildung 14: Pausen pro Zeichen für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Für die Variable „Pausen pro Zeichen“ wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Dabei ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.41, 342.62) = 767.65; p < .001; \eta^2 = 0.84$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.51, 356.29) = 83.43; p < .001; \eta^2 = 0.37$) und „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 292.46; p < .001; \eta^2 = 0.67$). In beiden Klassenstufen treten beim Abschreiben von linguistisch schlechter kodierbarem Material mehr Pausen pro Zeichen auf, und signifikante Veränderungen beim Durchführen einer Zweitaufgabe gehen mit einem Anstieg von Pausen pro Zeichen einher. Außerdem zeigt sich, dass bei den älteren Kindern der vierten Klassenstufe weniger Pausen pro Zeichen auftreten als bei den jüngeren Kindern. Ebenfalls signifikant sind die einfachen Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(5.56, 789.61) = 7.98; p < .001; \eta^2 = 0.05$), „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.41, 342.62) = 35.04; p < .001; \eta^2 = 0.20$) sowie „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.51, 356.29) = 8.11; p < .001; \eta^2 = 0.05$). Die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren wird aufgrund der Verletzung der Normalverteilungsvoraussetzung lediglich als Tendenz gewertet ($F(5.56,$

789.61) = 2.20; $p = .046$; $\eta^2 = 0.02$). Die resultierenden Effektmuster sind in Abbildung 15 veranschaulicht.

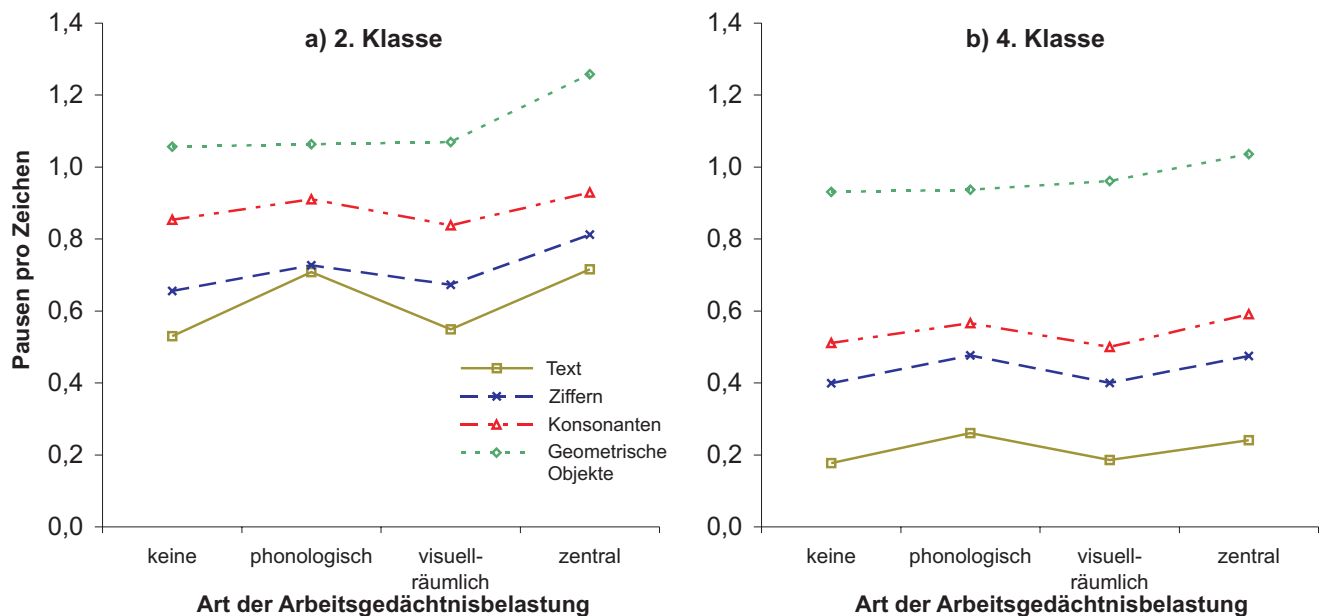


Abbildung 15: Pausen pro Zeichen für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Auch für die Variable „Pausen pro Zeichen“ wurden zusätzlich für die beiden Klassenstufen separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen jeweils signifikante Haupteffekte des Faktors „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(2.29, 178.40) = 191.54$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.71$; 4. Klasse: $F(2.58, 164.96) = 1146.10$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.95$) und des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(2.38, 185.63) = 56.01$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.42$; 4. Klasse: $F(2.69, 171.84) = 36.89$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.37$); außerdem ergibt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(5.30, 413.62) = 5.81$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.07$; 4. Klasse: $F(5.42, 346.70) = 5.24$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.08$). Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ zeigt sich in beiden Klassenstufen, dass diese Unterschiede signifikant für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 26.31$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.25$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 605.70$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.90$), Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 110.82$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.59$; 4. Klasse: $F(1,$

64) = 55.91; $p < .001$; $\eta^2 = 0.47$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 72.16$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.48$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 733.07$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.92$) ausfallen. Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen signifikante Unterschiede für den Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 51.67$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.40$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 71.12$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.53$) und für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 100.60$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.56$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 71.13$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.53$), nicht jedoch für den Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.64$; $p = .427$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.56$; $p = .458$; $\eta^2 < 0.01$).

Zwischendiskussion

Die resultierenden Effektmuster der Schreibprozessvariablen „Pausen pro Zeichen“ lassen sich ebenfalls klar im Sinne der Hypothesen interpretieren. In allen drei Analysen zeigen sich Haupteffekte mit hohen Effektstärken, die in der erwarteten Richtung ausfallen. Der in allen drei Analysen signifikante Haupteffekt „Symbolsystem“ ist darauf zurückzuführen, dass es in beiden Klassenstufen zu zunehmend mehr Pausen pro Zeichen kommt, je geringer der Grad an phonologischer und semantischer Kodierbarkeit ausgeprägt ist. Es finden sich also auch auf Ebene des Schreibprozesses Hinweise, dass das Abschreiben von Symbolsystemen mit höherer linguistischer Kodierbarkeit effizienter vonstattengeht. Dies wird dadurch unterstrichen, dass alle vier Symbolsysteme sich in beiden Klassenstufen auch in den Einzelvergleichen der geplanten Kontraste signifikant voneinander unterscheiden.

Der in allen drei Analysen signifikante Haupteffekt „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ lässt sich dadurch erklären, dass phonologische und zentral-exekutive Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Zweitaufgaben sich dadurch störend auswirken, dass es in diesen Bedingungen zu einem verstärkten Auftreten von Pausen pro Zeichen kommt. Eine signifikante Auswirkung der visuell-räumlichen Zweitaufgabe lässt sich jedoch entgegen der Annahme, dass Abschreibaufgaben auch merkliche visuell-räumliche Anforderungen an den Schreiber stellen, auch hier nicht nachweisen. Es liegt nahe, dass der in der phonologischen und der zentral-exekutiven Bedingung beobachtete Rückgang in der Produktvariable „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ auf das verstärkte Auftreten von Pausenereignissen zurückzuführen ist.

Der Haupteffekt „Klassenstufe“ der dreifaktoriellen Varianzanalyse zeigt, dass sich erfahrenere und weniger erfahrene (Ab-)Schreiber in der zu erwartenden Richtung voneinander unterscheiden. Bei den erfahreneren Viertklässlern treten in allen Symbolsystemen weniger Pausen pro Zeichen auf als dies bei Zweitklässlern der Fall ist. Das geringere Auftreten von Schreibpausen ist ein Indiz dafür, dass die älteren Kinder eine höhere Expertise besitzen und effizienter abschreiben.

Die ebenfalls in beiden Klassenstufen signifikanten Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ weisen im Vergleich zu den Haupteffekten zwar geringere, aber dennoch beachtenswerte Effektstärken auf. Diese sind insbesondere darauf zurückzuführen, dass eine phonologische Arbeitsgedächtnisbelastung in semantisch und phonologisch besser kodierbaren Symbolsystemen zu stärkeren Einbußen in Form von vermehrt auftretenden Pausen führt. Die zentrale Belastung des Arbeitsgedächtnisses führt dagegen bei allen Symbolsystemen zu Beeinträchtigungen.

Die beiden anderen einfachen Interaktionseffekte der dreifaktoriellen Varianzanalyse sind ebenfalls signifikant, weisen im Vergleich aber eher geringe Effektgrößen auf. Die Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ spiegelt wider, dass in der zweiten Klassenstufe die Unterschiede der Variable „Pausen pro Zeichen“ zwischen den Symbolsystemen geringer ausgeprägt sind als in der vierten Klasse. Es zeigt sich also, dass die Viertklässler im Vergleich zu den Zweitklässlern bei zunehmend höherer linguistischer Kodierbarkeit auch zunehmend effizienter abschreiben. Dies ist ein weiteres Indiz, dass die linguistische Kodierbarkeit von den älteren Kindern effizienter strategisch genutzt wird.

Die Interaktion zwischen dem Faktor „Klassenstufe“ und dem Faktor „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ kommt dadurch zustande, dass eine wirksame Arbeitsgedächtnisbelastung in der zweiten Klassenstufe stärkere Auswirkungen auf das Entstehen von Pausenereignissen hat, als dies in der vierten Klassenstufe der Fall ist. Hierbei handelt es sich um einen vergleichsweise kleinen Effekt, der angesichts der bisher vorgestellten Ergebnisse aufgrund seiner Richtung jedoch von besonderem Interesse ist: In Abschnitt 7.1 zeigte sich im Vergleich der Klassenstufen ein durch Arbeitsgedächtnisbelastung bedingtes stärkeres Absinken des Effizienzindikators „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ bei den *vierten* Klassen. Man hätte annehmen können, dass diese stärkere arbeitsgedächtnisbedingte Verringerung der Anzahl abgeschriebener Zeichen bei den Viertklässlern gleichzeitig auch mit einer stärkeren Pausenneigung einhergeht. Dies ist jedoch nicht der Fall, so dass das

beobachtete Effektmuster in der Produktvariable eine andere Ursache haben muss. Dieser Frage wird in den nachfolgenden Analysen weiter auf die Spur gegangen.

Insgesamt liefern die Ergebnisse der Variable „Pausen pro Zeichen“ ein gut interpretierbares Gesamtbild. Die Ergebnislage spricht dafür, dass die linguistische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials von Grundschulern zunehmend strategisch für effizienteres Abschreiben genutzt wird. Allerdings geben die bisherigen Ergebnisse noch keine eindeutige Auskunft über die Natur der angenommenen Strategie, die sich hinter der effizienteren Abschreibleistung von linguistisch besser kodierbaren Symbolsystemen verbirgt. Eine Möglichkeit besteht darin, dass höhere linguistische Kodierbarkeit die Bildung größerer Chunks abzuschreibender Zeichen innerhalb des Arbeitsgedächtnisses begünstigt. Diese Hypothese wird im folgenden Abschnitt überprüft.

7.3. Untersuchung der Variable „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“

Um einen Anhaltspunkt über die Größe von Chunks zu erhalten, die bei einem einzelnen Arbeitsgang im Arbeitsgedächtnis zwischengespeichert werden, wurde erfasst, wie viele Zeichen zwischen zwei Schreibpausen niedergeschrieben wurden. Diese Variable wird im Folgenden als „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ bezeichnet. Dabei besteht eine Analogie zu Burst-Variablen bei der Textproduktion, bei denen die Anzahl neu produzierter Wörter gemessen wird, die durch eine Pause abgeschlossen werden. Die Variable „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ unterscheidet sich von *bursts* jedoch dadurch, dass Wortsegmentierungen bei der Zählung der Zeichen keine Rolle spielen. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass im Gegensatz zu der Unterscheidung zwischen „P-bursts“ und „R-bursts“ (Chenoweth & Hayes, 2001; siehe auch Abschnitt 4.1) keine weitere Differenzierung vorgenommen wird. In den Hypothesen in Abschnitt 5 wird angenommen, dass effizienteres Abschreiben zu einer höheren Anzahl an Zeichen führt, die zwischen zwei Pausen abgeschrieben werden. In den nachfolgenden Analysen ist somit zu erwarten, dass bei den weniger geübten Abschreibern der zweiten Klassenstufe, bei linguistisch weniger gut kodierbaren Symbolsystemen und bei Arbeitsgedächtnisbelastung signifikant weniger abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen resultieren. Außerdem ist zu erwarten, dass Unterschiede, die aufgrund niedrigerer linguistischer Kodierbarkeit und aufgrund störender Arbeitsgedächtnisbelastung zustande kommen, für die vierte Klassenstufe stärker ausgeprägt sind. In Abbildung 16 sind Mittelwerte und Standardfehler, die sich bei der Variable

„abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ innerhalb $2 \times 4 \times 4$ -Designs ergeben, graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.3).

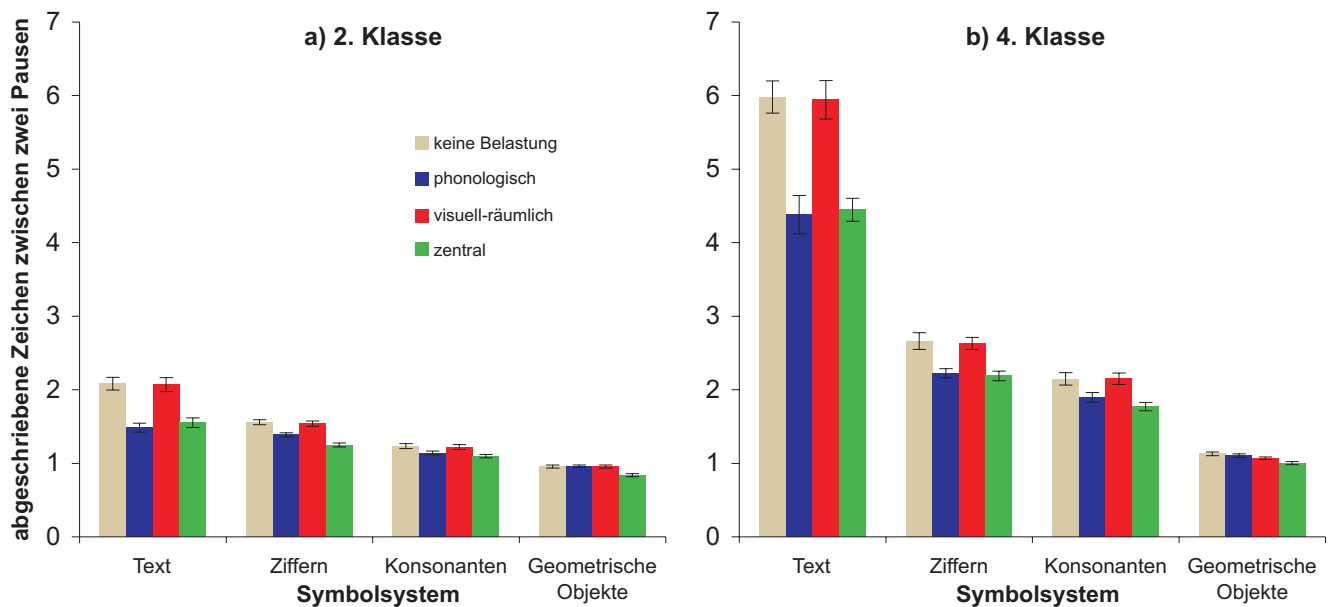


Abbildung 16: Abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Für die Variable „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Hierbei ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(1.41, 199.59) = 666.38$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.82$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.79, 395.57) = 123.44$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.47$) und „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 403.39$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.74$). Wie die Veranschaulichung der Effektmuster in Abbildung 17 zeigt, führt das Abschreiben von linguistisch besser kodierbarem Material in beiden Klassenstufen zu mehr abgeschriebenem Zeichen zwischen zwei Pausen. Hat eine Zweitaufgabe eine störende Auswirkung, zieht dies ein Absinken der abgeschriebenem Zeichen zwischen zwei Pausen nach sich. Die Klassenstufen unterscheiden sich dadurch, dass ältere Kinder mehr Zeichen zwischen zwei Pausen niederlegen als die jüngeren.

Ebenfalls signifikant sind die einfachen Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3.99, 566.75) = 47.62$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.25$), „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(1.41, 199.59) = 294.64$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.68$) sowie „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.79, 395.57) = 21.90$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.13$); auch die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren zeigt hochsignifikante Werte ($F(3.99, 566.75) = 11.83$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.08$). Eine Veranschaulichung der zugehörigen Effektmuster findet sich in Abbildung 17.

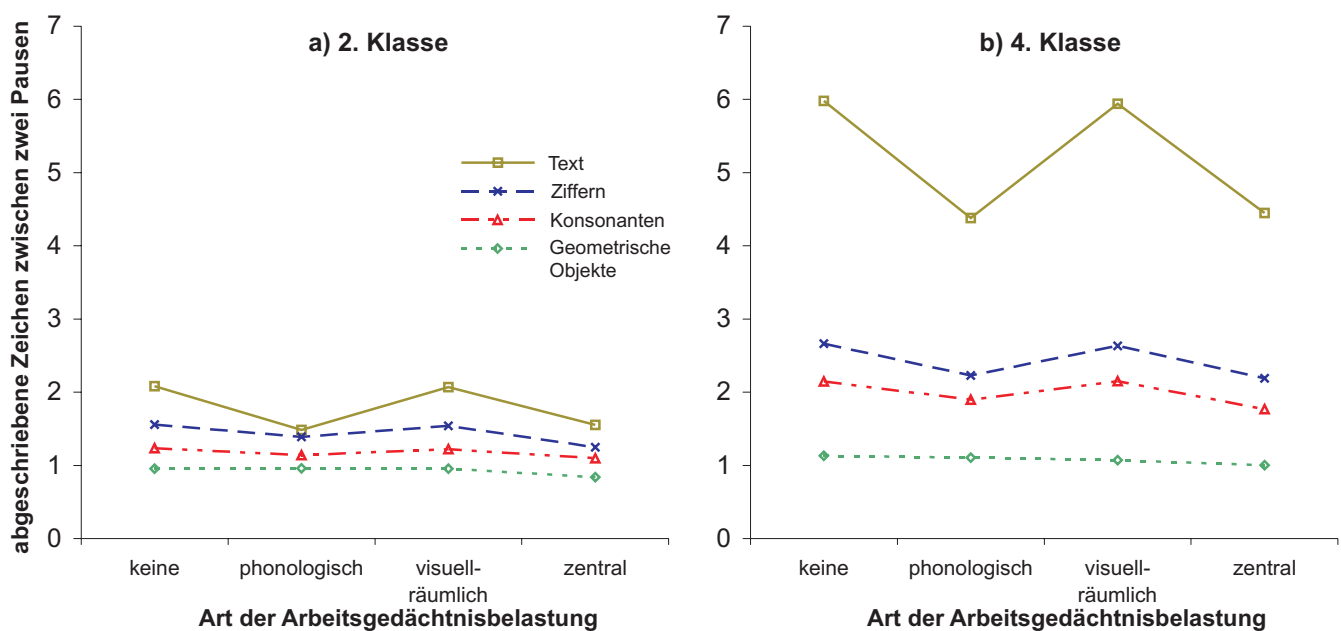


Abbildung 17: Abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Zur weiteren Aufschlüsselung der Effekte wurden auch für die Variable „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ zusätzlich für die beiden Klassenstufen separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Bei beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben sich für beide Klassenstufen Haupteffekte der Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(1.36, 105.98) = 140.47$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.64$; 4. Klasse: $F(1.40, 89.38) = 458.83$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.88$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(2.63, 205.12) = 74.59$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.49$; 4. Klasse: $F(3, 192) = 61.64$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.49$) sowie ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2.

Klasse: $F(4.68, 364.92) = 25.52$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.25$; 4. Klasse: $F(3.69, 235.93) = 25.76$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.29$). Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ kommt es in beiden Klassenstufen zu signifikanten Unterschieden für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 36.85$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.32$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 412.59$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.87$), Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 170.94$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.69$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 44.01$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.41$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 147.36$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.65$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 260.07$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.80$). Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen signifikante Unterschiede für den Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 70.63$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.48$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 93.42$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.59$) und für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 140.88$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.64$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 96.57$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.60$). Der Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung überschreitet die Signifikanzgrenze nicht (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.35$; $p = .554$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.26$; $p = .610$; $\eta^2 < 0.01$).

Zwischendiskussion

Auch die Ergebnisse der Variablen „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ lassen eine eindeutige Interpretation im Sinne der Hypothesen zu, wobei das resultierende Effektmuster dem der Variable „abgeschriebene Zeichen pro Minute“ in vielerlei Hinsicht ähnelt. In beiden Klassenstufen werden bei Symbolsystemen mit höherer semantischer und phonologischer Kodierbarkeit größere Mengen von Zeichen in einem einzelnen Arbeitsgang kopiert. Die Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen sinkt dabei in beiden Klassenstufen mit geringer werdender linguistischer Kodierbarkeit des abzuschreibenden Symbolsystems immer weiter ab, bis in der geometrischen Objektbedingung ein Punkt erreicht ist, bei dem in beiden Klassenstufen nur noch ein einzelnes Zeichen pro Arbeitsgang abgeschrieben wird. Wie an den signifikanten Kontrasten ersichtlich ist, unterscheiden sich die Symbolsysteme alle signifikant voneinander.

Diese Ergebnisse untermauern, dass die semantische und phonologische Kodierbarkeit abzuschreibender Vorlagen bereits in der zweiten Klasse zur Unterstützung von Chunking-Prozessen herangezogen wird, damit größere „Portionen“ des abzuschreibenden Textes in einem einzelnen Arbeitsgang abgeschrieben werden können. Mit sinkender linguistischer

Kodierbarkeit des Symbolsystems geht der Vorteil einer solchen Strategie zunehmend verloren. Schreiben Grundschüler ein Symbolsystem ab, in dem die linguistische Kodierbarkeit nicht zielführend einsetzbar beziehungsweise nicht vorhanden ist (hier: geometrische Objekte), geht das portionsweise Abschreiben Zeichen für Zeichen vonstatten.

Auch die Ergebnislage zu den Auswirkungen durch Zweitaufgaben spricht für das Vorliegen einer solchen Strategie. Kommt es zu einer wirksamen Belastung des Arbeitsgedächtnisses (die sich auch bei dieser Analyse nur bei phonologischer und zentral-exekutiver Belastung zeigt), führt dies zu einer Reduktion der Menge an Zeichen, die während eines einzelnen Arbeitsganges zwischen zwei Pausen abgeschrieben werden. Dieser störende Einfluss wirkt sich in linguistisch gut kodierbaren Symbolsystemen stärker aus, was durch die signifikanten Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ widerspiegelt wird. In der geometrischen Objektbedingung ist kein beeinträchtigender Einfluss durch zusätzliche Arbeitsgedächtnisbelastung mehr nachzuweisen, was mutmaßlich darauf zurückzuführen ist, dass in dieser Bedingung mit einer Portionsgröße von einem Zeichen pro Arbeitsgang in beiden Klassenstufen ein Bodeneffekt erreicht worden ist.

Wie die hohe Effektstärke des Haupteffekts „Klassenstufe“ zeigt, scheinen Viertklässler in der Nutzung der linguistischen Kodierbarkeit deutlich fortgeschrittener zu sein als Zweitklässler. Die Interaktionseffekte, die sich in der dreifaktoriellen Varianzanalyse zwischen dem Faktor „Klassenstufe“ und den anderen beiden Faktoren ergeben, liefern Hinweise auf die Entwicklung dieses Vorsprungs.

(1) Bei Viertklässlern kommt es bei besserer linguistischer Kodierbarkeit zu einem stärkeren Anstieg in der Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen als bei Zweitklässlern (Interaktionseffekt zwischen „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“). Die hohe Effektgröße dieses Interaktionseffekts ist zu großen Teilen darauf zurückzuführen, dass der Unterschied zwischen der Text- und der Ziffernbedingung in der vierten Klassenstufe im Vergleich zur zweiten Klasse besonders groß ist. Dies spricht dafür, dass die älteren Kinder im Verlauf der Grundschulzeit gelernt haben, die linguistische Kodierbarkeit von Text in besonderer Weise zu nutzen, um beim Abschreiben größere Mengen von Zeichen im Arbeitsgedächtnis zwischenspeichern zu können.

(2) Eine zusätzliche Arbeitsgedächtnisbelastung durch phonologisch und zentral-exekutiv belastende Zweitaufgaben zieht – ähnlich wie bei der Variable „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ – in der vierten Klassenstufe eine stärkere Verringerung der Anzahl

abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen nach sich als in der zweiten Klasse (Interaktionseffekt zwischen „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“). Dies stützt die in Abschnitt 7.1 getroffene Vermutung, dass eine von den Viertklässlern bereits mit Erfolg angewandte strategische Nutzung der linguistischen Kodierbarkeit (die bei linguistisch gut kodierbaren Symbolsystemen zu einer entsprechend hohen Effizienzsteigerung führt) durch die zusätzliche Arbeitsgedächtnisbelastung gestört wird. Die in der Textbedingung bei den versierteren Viertklässlern beobachteten höheren Einbrüche bei der Variable „Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute“ (die nicht auf ein verstärktes Auftreten von Pausen pro Zeichen zurückführbar sind – siehe Abschnitt 7.2) könnten aufgrund einer unmittelbaren Störung von Chunking-Prozessen zustande gekommen sein: Kommt es beispielsweise zu einem interferenzbedingten „Verlust“ eines ganzen zwischengespeicherten Chunks, ist automatisch eine größere Anzahl von Zeichen betroffen. Ähnlich lässt sich die signifikante Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren interpretieren, die zeigt, dass sich bei Viertklässlern eine Störung des Arbeitsgedächtnisses in linguistisch besser kodierbaren Symbolsystemen stärker auswirkt als bei Zweitklässlern.

Zusammengenommen sprechen die Analysen der Variable „abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen“ also dafür, dass Grundschüler zwischen der zweiten und vierten Klasse zunehmend lernen, die linguistische Kodierbarkeit einer Vorlage zu nutzen, um effizienter abzuschreiben. Hierbei scheint die linguistische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials dazu zu dienen, Chunking-Prozesse im Arbeitsgedächtnis zu unterstützen. Es liegt nahe, dass die Bildung dieser Chunks darauf abzielt, dass ganze Wörter als linguistische Einheiten zwischengespeichert werden. Um diese Annahme genauer zu überprüfen, bietet es sich an, Pausen anhand hierarchisch unterscheidbarer, linguistisch definierter Kriterien genauer zu kategorisieren und getrennt voneinander zu untersuchen. Dies geschieht im folgenden Abschnitt, in dem Pausen getrennt nach drei unterschiedlichen Auftretensorten analysiert werden.

7.4. Untersuchung der prozentualen Pausenanteile an linguistischen Grenzen

Bei der Analyse der *prozentualen Anteile* der Pausenereignisse getrennt nach Auftretensort werden die drei folgenden Pausenkategorien verwendet:

- *Pausen an Wortgrenzen*: Pausenereignisse, die nach dem Niederschreiben des letzten Zeichens eines Wortes und vor Schreibbeginn des ersten Zeichens des nachfolgenden Wortes auftreten.

- *Pausen an Zeichengrenzen*: Pausenereignisse, die innerhalb eines Wortes zwischen der Fertigstellung eines Zeichens und vor Schreibbeginn eines neuen Zeichens auftreten.
- *Pausen innerhalb von Zeichen*: Pausenereignisse die während der graphomotorischen Ausführung eines Einzelzeichens (vor dessen Fertigstellung) auftreten.

Die Gesamtmenge aller Pausen setzt sich in allen Bedingungen des Designs nahezu ausschließlich aus diesen drei Pausenkategorien zusammen: Für die zweiten Klassen kommt es zu summierten Pausenanteilen der drei Kategorien zwischen 94,91 % und 97,25 % und für die vierten Klassen zwischen 95,43 % und 98,78 %. Die verbleibenden Restanteile setzen sich aus Sonderkategorien (z. B. Pausen vor oder nach Korrekturereignissen) zusammen, die jedoch so selten vorkommen, dass sich eine eigene Analyse dieser Kategorien nicht lohnt. In Abbildung 18 findet sich zur Veranschaulichung eine Darstellung der prozentualen Anteile getrennt nach Klassenstufe und Symbolsystem für die Kontrollbedingung.

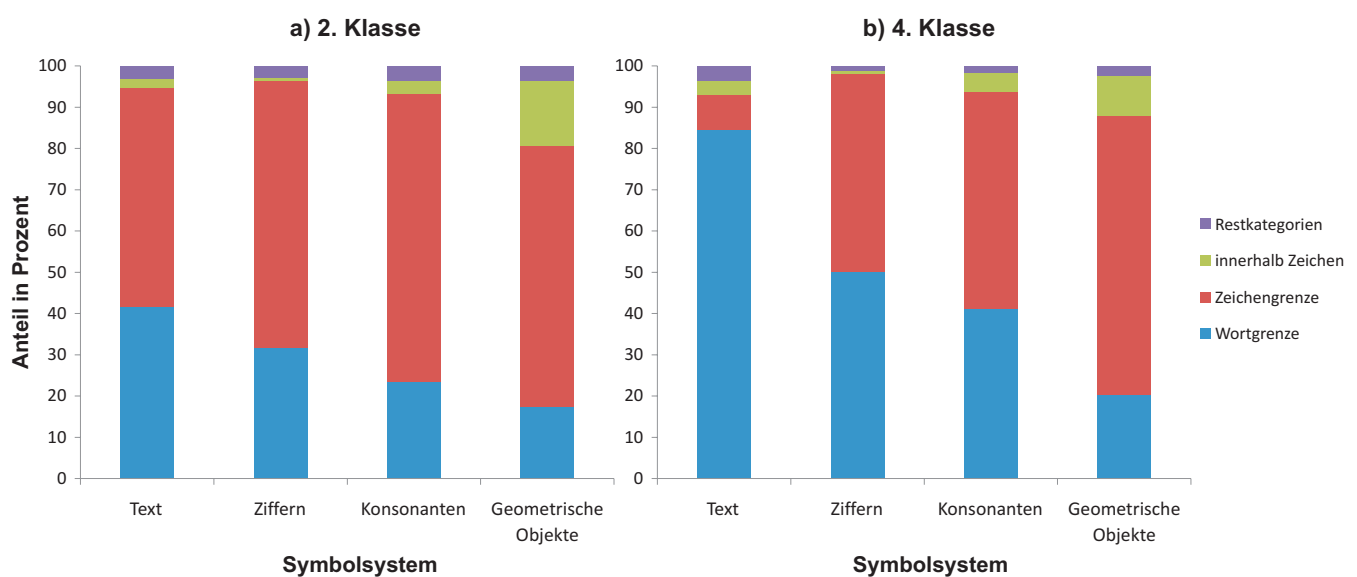


Abbildung 18: Darstellung der prozentualen Anteile der Pausenkategorien für die vier Symbolsysteme in der Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Im Folgenden werden getrennte Varianzanalysen für die Variablen „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“, „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ und „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“ vorgestellt. Da die prozentualen Anteile der Pausen voneinander abhängen, erfolgt die Zwischendiskussion zu diesen Analysen in einer integrierten Form, nachdem die Ergebnisdarstellung für alle drei Variablen abgeschlossen ist. Bei den Ergebnissen ist zu erwarten, dass effizienteres Abschreiben zu einem höheren prozentualen Anteil von Pausen an Wortgrenzen und zu einem niedrigeren prozentualen Anteil von Pausen an Zeichengrenzen führt (wobei die kopierten Chunks eines oder mehrere komplette Wörter umfassen). Entsprechend ist zu erwarten, dass bei den weniger geübten Abschreibern der zweiten Klassenstufe, bei linguistisch weniger gut kodierbaren Symbolsystemen und bei Arbeitsgedächtnisbelastung ein signifikant höherer Prozentanteil von Pausen an Zeichengrenzen resultieren sollte. Umgekehrt ist zu erwarten, dass bei den geübteren Abschreibern der vierten Klassenstufe bei linguistisch gut kodierbaren Symbolsystemen und in der Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung ein signifikant höherer Prozentanteil von Pausen an Wortgrenzen auftreten sollte. Ein signifikanter Anstieg des prozentualen Anteils von Pausen innerhalb von Zeichen sollte lediglich in der geometrischen Objektbedingung auftreten, da die Zeichen dieses Symbolsystems den Kindern im Vorfeld völlig unbekannt waren. Des Weiteren ist zu erwarten, dass Unterschiede in dem relativen Auftreten der Pausenkategorien, die aufgrund der Variation der linguistischen Kodierbarkeit und aufgrund störender Arbeitsgedächtnisbelastung zustande kommen, für die vierte Klassenstufe stärker ausgeprägt sind als für die zweite Klassenstufe.

Analyse der Variable „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“

In Abbildung 19 sind Mittelwerte und Standardfehler für die Variable „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“ graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken vgl. auch Anhang A.2.4). Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Hierbei ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.38, 338.37) = 956.63$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.87$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3, 426) = 120.55$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.46$) sowie „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 532.40$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.79$). In beiden Klassenstufen führt das Abschreiben von linguistisch besser kodierbarem Material zu einem höheren Prozentanteil von Pausen an Wortgrenzen (vgl. auch

Abbildung 20). Hat eine Zweitaufgabe eine störende Auswirkung, zieht dies in beiden Klassenstufen ein Absinken der Prozentanteile von Pausen an Wortgrenzen nach sich. Der Vergleich der Klassenstufen zeigt, dass es bei älteren Kindern zu einem höheren Prozentanteil von Pausen an Wortgrenzen kommt als bei den Zweitklässlern.

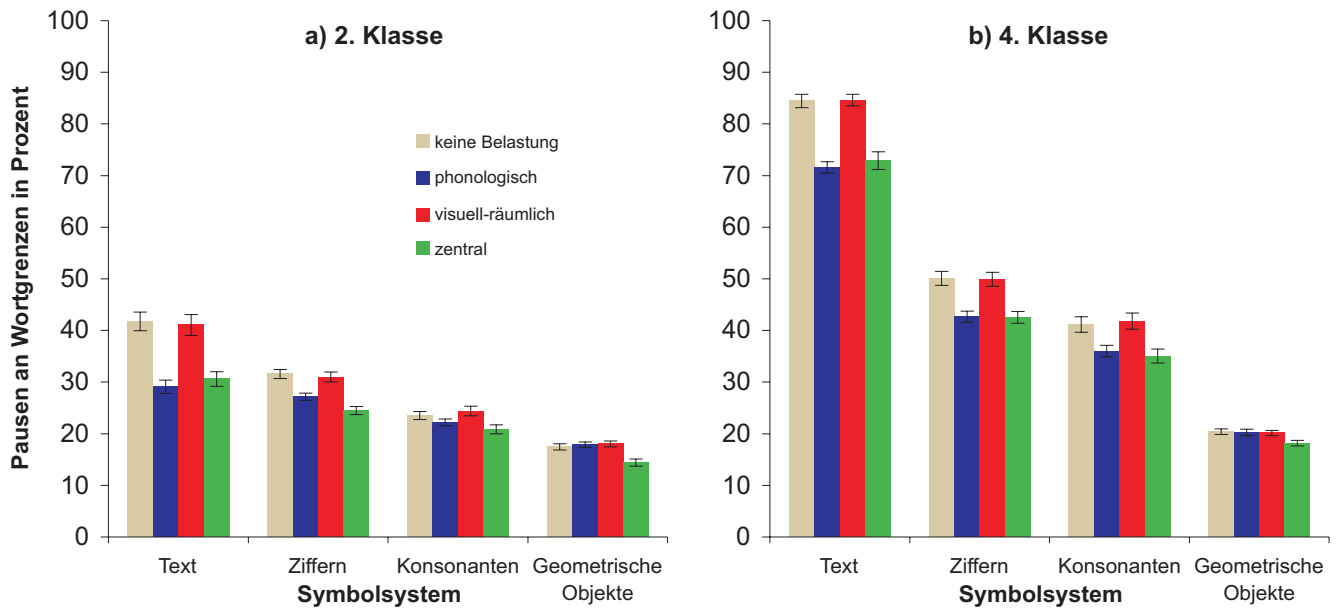


Abbildung 19: Prozentanteile von Pausen an Wortgrenzen für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Ebenfalls signifikant sind die einfachen Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(5.99, 850.86) = 19.55$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.12$) sowie „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.38, 338.37) = 254.92$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.64$), während die Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3, 426) = 2.01$; $p = .101$; $\eta^2 = 0.01$) sowie die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren ($F(5.99, 850.86) = 0.91$; $p = .487$; $\eta^2 < 0.01$) die Signifikanzgrenze nicht überschreiten. Eine Veranschaulichung der zugehörigen Effektmuster findet sich in Abbildung 20.

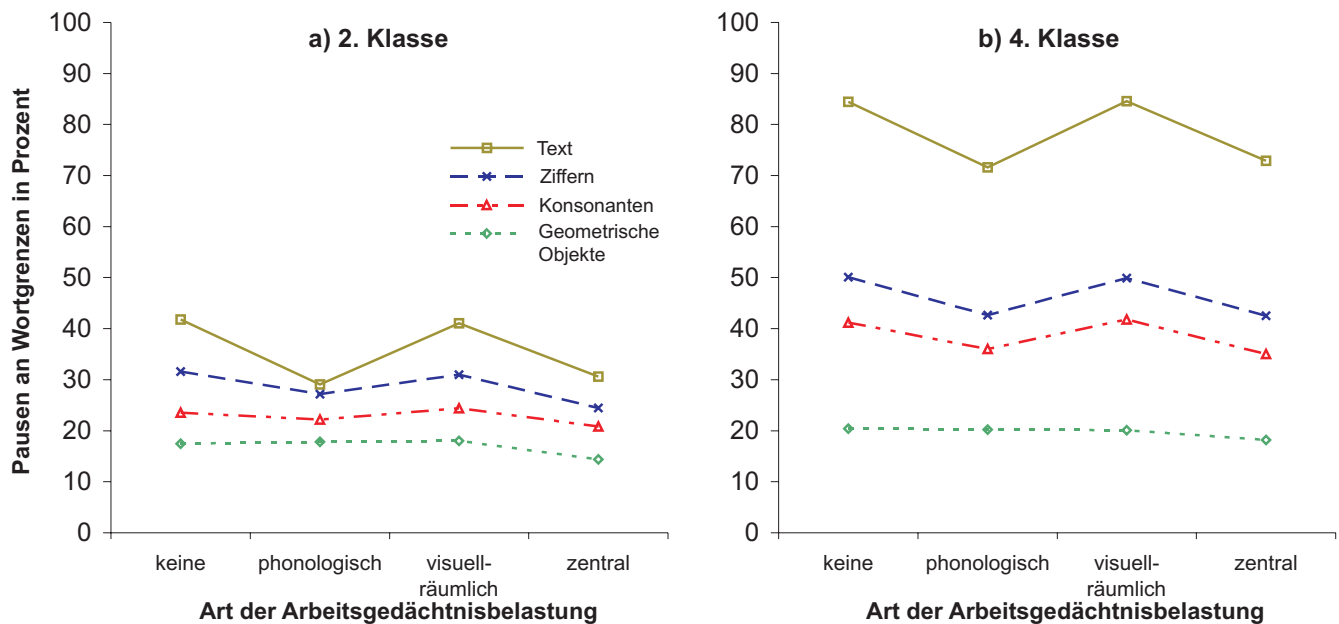


Abbildung 20: Prozentanteile von Pausen an Wortgrenzen für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Für die Variable „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“ wurden für beide Klassenstufen zusätzlich separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen signifikante Haupteffekte der Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(1.55, 120.93) = 149.51$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.66$; 4. Klasse: $F(3, 192) = 859.72$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.93$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(2.74, 213.79) = 65.10$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.46$; 4. Klasse: $F(3, 192) = 55.64$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.47$). Zusätzlich kommt es auch zu einem signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(4.83, 376.62) = 12.07$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.13$; 4. Klasse: $F(5.54, 354.54) = 8.68$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.12$). Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ kommt es in beiden Klassenstufen zu signifikanten Unterschieden für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 34.27$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.31$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 797.36$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.93$), Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 135.74$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.64$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 36.63$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.36$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 121.72$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.61$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 260.73$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.80$). Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen signifikante Unterschiede für den Vergleich der Kontroll- mit der

phonologischen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 71.00$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.48$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 78.48$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.55$) und für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 110.01$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.59$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 75.85$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.54$), nicht jedoch für den Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.01$; $p = .922$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.02$; $p = .883$; $\eta^2 < 0.01$).

Analyse der Variable „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“

In Abbildung 21 sind Mittelwerte und Standardfehler für die Variable „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.5).

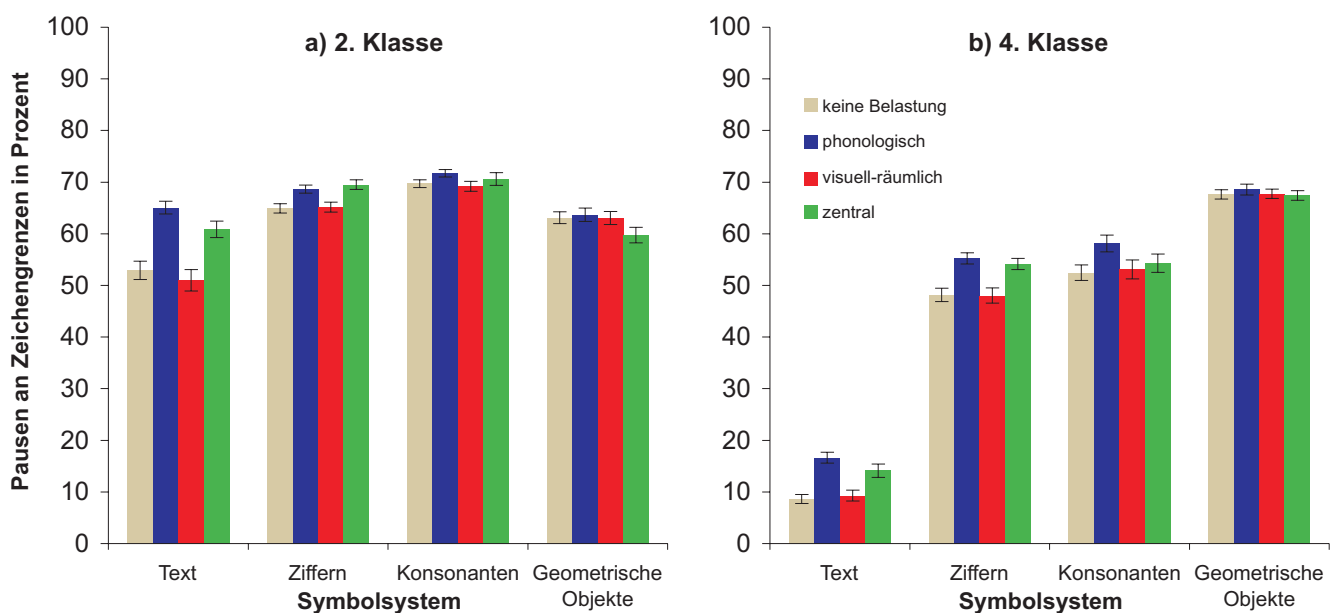


Abbildung 21: Prozentanteile von Pausen an Zeichengrenzen für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Für die Variable „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Hierbei ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.60, 369.72) = 470.49$;

$p < .001$; $\eta^2 = 0.77$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.80, 397.32) = 51.43$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.27$) sowie „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 490.80$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.78$). Es zeigt sich, dass es bei geringerer linguistischer Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials zu höheren Prozentanteilen von Pausen an Zeichengrenzen kommt. Hat eine Zweitaufgabe eine störende Auswirkung, führt dies in beiden Klassenstufen zu einem Anstieg des Prozentanteils von Pausen an Zeichengrenzen. Im Vergleich der Klassenstufen zeigt sich, dass es bei den Viertklässlern zu einem geringeren Prozentanteil von Pausen an Zeichengrenzen kommt als bei Zweitklässlern.

Ebenfalls signifikant sind die einfachen Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(6.70, 950.67) = 10.77$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.07$) sowie „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.60, 369.72) = 263.44$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.65$), ebenso wie die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren ($F(6.70, 950.67) = 2.53$; $p = .015$; $\eta^2 = 0.02$). Die Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ist nicht signifikant ($F(2.80, 397.32) = 0.36$; $p = .781$; $\eta^2 < 0.01$). Eine Veranschaulichung der zugehörigen Effektmuster findet sich in Abbildung 22.

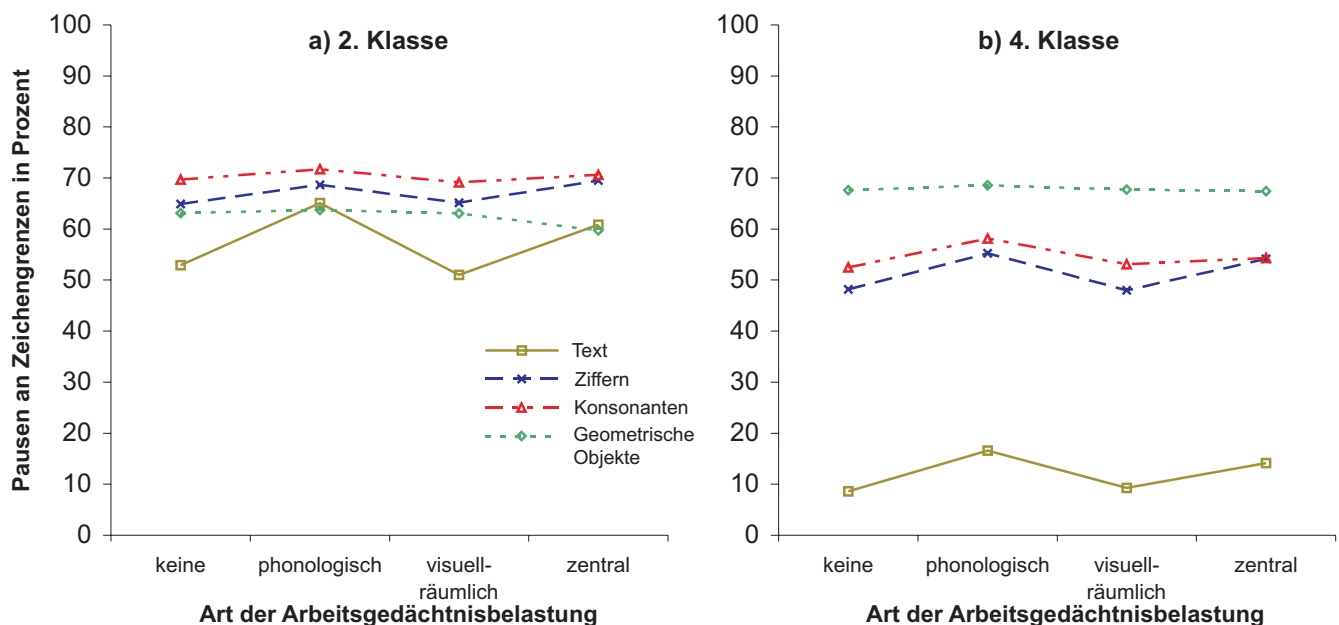


Abbildung 22: Prozentanteile von Pausen an Zeichengrenzen für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Auch für die Variable „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ wurden für beide Klassenstufen zusätzlich separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen signifikante Haupteffekte der Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(1.80, 140.60) = 44.88$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.37$; 4. Klasse: $F(2.62, 167.93) = 589.56$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.90$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(3, 234) = 23.77$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.23$; 4. Klasse: $F(2.51, 160.48) = 29.58$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.32$). Außerdem ergibt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den beiden Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(5.28, 411.80) = 9.75$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.11$; 4. Klasse: $F(6.57, 420.24) = 3.53$; $p = .001$; $\eta^2 = 0.05$). Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ kommt es in beiden Klassenstufen zu signifikanten Unterschieden für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 60.69$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.44$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 1273.18$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.95$), Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 25.67$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.25$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 4.02$; $p = .049$; $\eta^2 = 0.06$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 72.77$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.48$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 69.76$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.52$). Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen signifikante Unterschiede für den Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 43.30$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.36$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 50.17$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.44$) und für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 14.85$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.16$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 24.84$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.28$). Der Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung ist nicht signifikant (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.89$; $p = .349$; $\eta^2 = 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.33$; $p = .569$; $\eta^2 < 0.01$).

Analyse der Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“

Für die Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“ wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. In Abbildung 23 sind Mittelwerte und Standardfehler für die Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von

Zeichen“ graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.6).

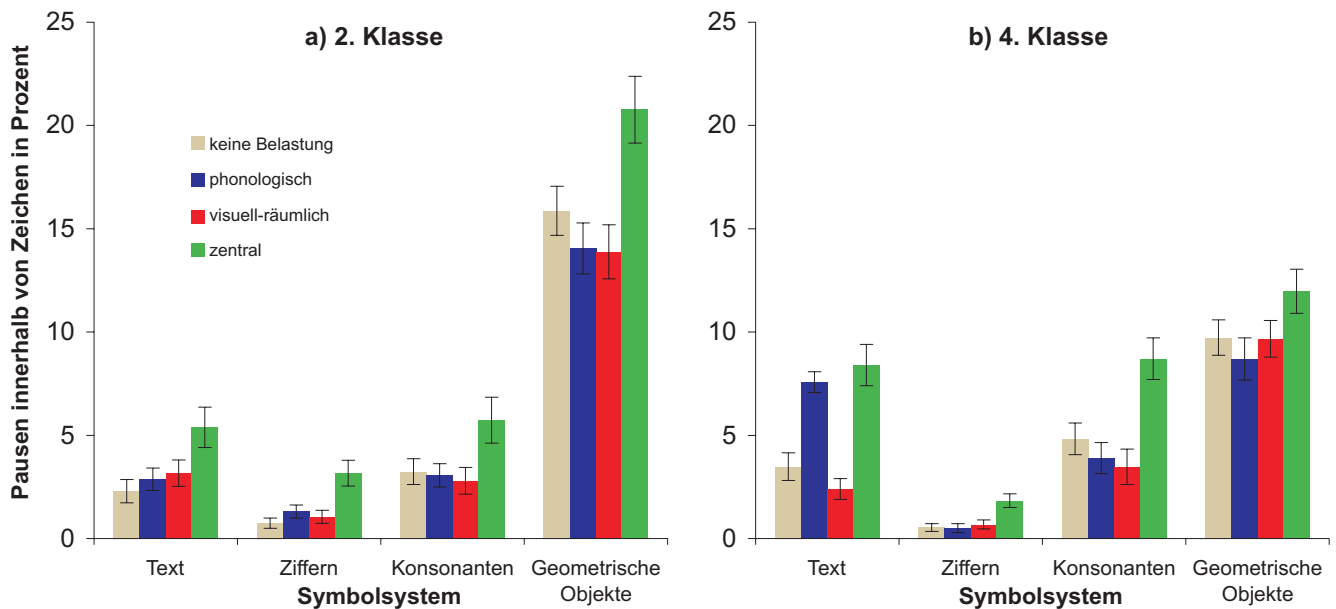


Abbildung 23: Prozentanteile von Pausen innerhalb von Zeichen für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Es ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(1.93, 273.94) = 191.05$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.57$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.58, 365.80) = 36.73$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.21$), jedoch nicht für den Faktor „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 2.82$; $p = .095$; $\eta^2 = 0.2$). Es zeigt sich, dass in beiden Klassenstufen die Ziffernbedingung zu den geringsten und die geometrische Objektbedingung zu den höchsten Prozentanteilen von Pausen innerhalb von Zeichen führt; zwischen diesen Bedingungen liegen die anderen beiden Symbolsysteme in einem mittleren Bereich etwa gleichauf. Treten signifikante Veränderungen beim Durchführen einer Zweitaufgabe auf, steigt in beiden Klassenstufen der Prozentanteil von Pausen innerhalb von Zeichen an.

Ebenfalls signifikant sind die einfachen Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(6.32, 897.09) = 3.13$; $p = .004$; $\eta^2 = 0.02$), „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(1.93, 273.94) = 25.74$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.15$) sowie wie die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren ($F(6.32,$

897.09) = 3.11; $p = .004$; $\eta^2 = 0.02$). Die Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ist nicht signifikant ($F(2.58, 365.80) = 0.70$; $p = .534$; $\eta^2 < 0.01$). Eine Veranschaulichung der zugehörigen Effektmuster findet sich in Abbildung 24.

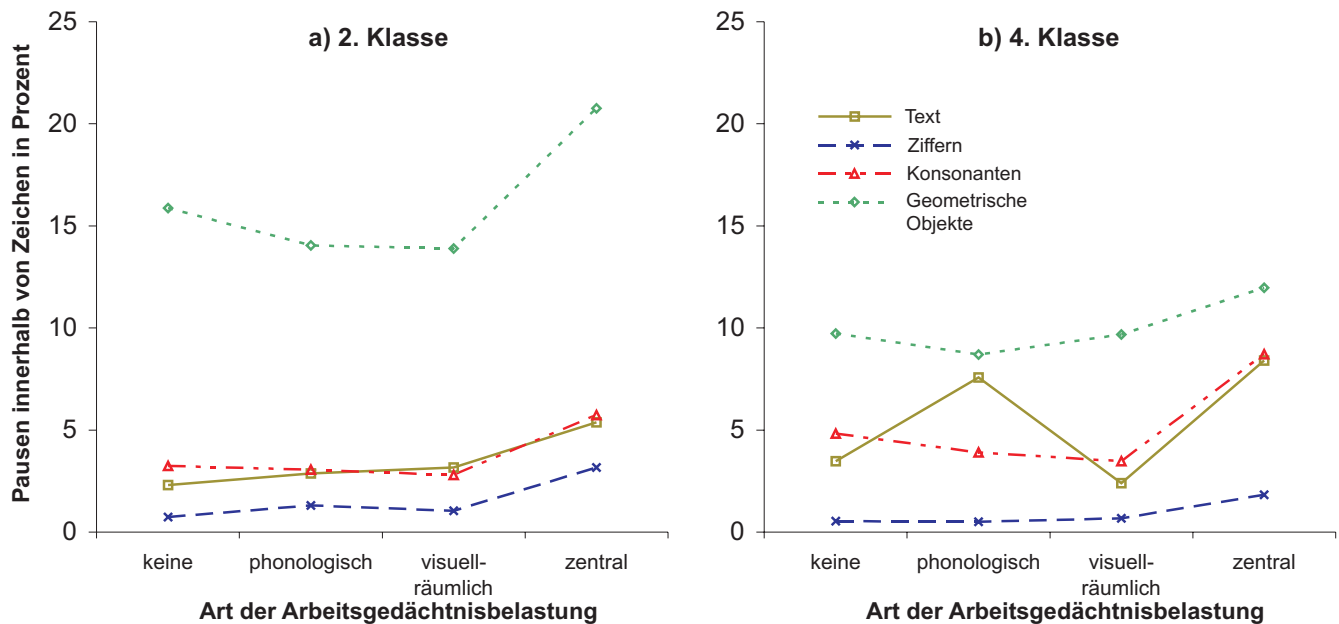


Abbildung 24: Prozentanteile von Pausen innerhalb von Zeichen für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Zur weiteren Aufschlüsselung der Effekte wurden für die Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“ für beide Klassenstufen zusätzlich separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen signifikante Haupteffekte der Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(1.72, 134.05) = 153.30$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.66$; 4. Klasse: $F(2.23, 142.95) = 61.46$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.49$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(2.30, 179.10) = 19.07$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.20$; 4. Klasse: $F(3, 192) = 19.59$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.23$). In der vierten Klassenstufe ergibt sich zusätzlich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(6.48, 414.92) = 4.34$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.06$), während die statistische Bedeutsamkeit dieser Interaktion in der zweiten Klassenstufe angesichts einer

vorliegenden Verletzung der Normalverteilungsvoraussetzung lediglich im Sinne einer Tendenz betrachtet wird ($F(5.39, 420.60) = 2.18$; $p = .050$; $\eta^2 = 0.03$).

Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ kommt es in beiden Klassenstufen zu signifikanten Unterschieden für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 20.03$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.20$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 72.17$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.53$), Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 21.29$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.21$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 71.16$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.53$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 169.17$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.68$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 37.10$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.37$). Auffällig ist, dass die signifikanten Unterschiede der Vergleiche „Text-Ziffernfolgen“ und „Ziffernfolgen-Konsonantenreihen“ *beide* darauf beruhen, dass in der Ziffernbedingung weniger Pausen innerhalb von Zeichen aufgetreten sind als in der Vergleichsbedingung. Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen lediglich einen signifikanten Unterschied für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 24.90$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.24$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 30.79$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.33$), nicht jedoch für den Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.22$; $p = .641$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.89$; $p = .350$; $\eta^2 = 0.01$) und der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.60$; $p = .441$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 1.94$; $p = .169$; $\eta^2 = 0.03$).

Zwischendiskussion

Die Ergebnismuster der Analysen für die prozentualen Anteile der drei Pausenkategorien unterstützen die Annahme, dass bei linguistisch besser kodierbaren Symbolsystemen eine Strategie verwendet wird, bei der Wörter als linguistisch definierte Einheiten als Grundlage für Chunking-Prozesse herangezogen werden. In den Analysen der Variablen „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“ und „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ ergibt sich durchgängig ein signifikanter Haupteffekt des Faktors „Symbolsystem“ mit hohen Effektstärken. Die Unterschiede zwischen den Symbolsystemen weisen hierbei hypothesenkonforme Richtungen auf. Die Prozentanteile von Pausen an Wortgrenzen sind umso größer, je höher die phonologische und semantische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Symbolsystems ausgeprägt ist. Für Prozentanteile von Pausen an Zeichengrenzen ist dieses Effektmuster nahezu spiegelbildlich umgedreht (je geringer die semantische und

phonologische Kodierbarkeit, desto höher der Prozentanteil von Pausen an Zeichengrenzen). Bei Symbolsystemen mit höherer linguistischer Kodierbarkeit treten also signifikant mehr Pausenereignisse auf, die an Wortgrenzen liegen, während es bei geringerer linguistischer Kodierbarkeit zu signifikant mehr Pausenereignissen an Zeichengrenzen innerhalb von Wörtern kommt. Dies spricht dafür, dass Grundschüler beim portionsweisen Abschreiben auf die Strategie abzielen, ganze Wörter im Arbeitsgedächtnis halten, die als größere linguistische Einheiten mehrere Schriftzeichen zu einem informationshaltigen Chunk zusammenfassen. Dadurch wird es möglich, mehr Zeichen in einem einzelnen Arbeitsgang zu übertragen. Die einzige Abweichung von diesem Muster findet sich bei den Zweitklässlern, bei denen es beim Abschreiben des linguistisch am schlechtesten kodierbaren Symbolsystems „geometrische Objekte“ zu einem geringeren Prozentanteil von Pausen an Zeichengrenzen kommt als in den linguistisch besser kodierbaren Bedingungen „Konsonantenreihen“ und „Ziffernfolgen“. Dieser Befund ist jedoch nicht auf ein größeres Geschick der Zweitklässler zurückzuführen, da es beim Abschreiben geometrischer Objekte stattdessen zu einem signifikanten Anstieg des Prozentanteils von Pausen innerhalb von Zeichen kommt. Zweitklässler zeigen beim Abschreiben geometrischer Objekte also eine besonders niedrige Abschreibeffizienz. Der signifikante Anstieg von Pausen innerhalb von Zeichen in dieser Bedingung könnte auf einer mangelnden mentalen Repräsentation der graphischen Gestalt der unbekannten Symbole und/oder auf graphomotorischen Problemen der Zweitklässler beruhen.

Der Haupteffekt „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ zeigt sich bei allen drei Variablen. Erwartungsgemäß führt eine Störung des Arbeitsgedächtnisses in beiden Klassenstufen zu einem relativen Anstieg von Pausen innerhalb kleinerer linguistischer Einheiten und zu einem Abfall von Pausen zwischen größeren linguistischen Einheiten. Dies ist ein weiteres Indiz dafür, dass eine arbeitsgedächtnisabhängige Strategie von den Kindern angewandt wird, die darauf beruht, Chunks größerer linguistischer Einheiten in Form von Wörtern im Arbeitsgedächtnis zwischenspeichern. Auffällig ist überdies der Anstieg des Prozentanteils von Pausen innerhalb von Zeichen, der sich unter zentral-exekutiver Belastung in beiden Klassenstufen zeigt und in allen Symbolsystemen zu einem Anstieg von Pausenereignissen innerhalb von Zeichen führt. Bei den Symbolsystemen „Text“, „Ziffernfolgen“ und „Konsonantenreihen“, die alle drei auf bekannten Schriftzeichen (Buchstaben, Ziffernzeichen) basieren, könnte dieser Befund eine Folge von Interferenz sein, die bei zusätzlicher Arbeitsgedächtnisbelastung während der Enkodierung der Vorlage auftritt. Dies könnte in der Folge zu einer unzureichenden Repräsentation der graphischen Gestalt der abzuschreibenden Zeichen geführt haben. Bei dem unbekannten Symbolsystem der geometrischen Objekte

könnte zusätzlich auch eine Störung der graphomotorischen Schreibhandlung während der Transkription ursächlich sein.

Die signifikanten Haupteffekte des Faktors „Klassenstufe“ in den dreifaktoriellen Varianzanalysen der Variablen „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“ und „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ zeigen erwartungsgemäß, dass die Strategie der Enkodierung ganzer Wörter von den älteren Kindern wesentlich intensiver genutzt wird. Bei der Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“ lässt sich ein solcher Klassenstufeneffekt nicht ausmachen, obwohl der Anteil von Pausen innerhalb von Zeichen in der geometrischen Objektbedingung in der zweiten Klassenstufe erhöht erscheint.

Zur Erklärung der signifikanten Interaktionen zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ können für die verschiedenen Variablen unterschiedliche Erklärungen herangezogen werden. Bei der Variable „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“ führt das gleichzeitige Durchführen von phonologisch und zentral-exekutiv belastenden Zweitaufgaben bei Symbolsystemen mit höherer linguistischer Kodierbarkeit zu einem stärkeren prozentualen Abfall und bei der Variable „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ zu einem stärkeren prozentualen Anstieg. Dies unterfüttert die Hypothese, dass bei hoher linguistischer Kodierbarkeit zumindest die phonologische und die zentral-exekutive Arbeitsgedächtniskomponente benötigt werden, um unter Zuhilfenahme der linguistischen Kodierbarkeit die kapazitätsbeschränkten Arbeitsgedächtnisressourcen besser auszunutzen. Die visuell-räumliche Zweitaufgabe hat wie in allen anderen vorherigen Analysen keinen beeinträchtigenden Einfluss auf diese Variablen.

Dass die phonologische Kodierbarkeit der Vorlage eine besondere Rolle beim Abschreiben spielt, lässt sich auch daraus ableiten, dass die phonologische Zweitaufgabe nur dann störenden Einfluss auf das Abschreiben ausübt, wenn die jeweiligen Symbolsysteme hinreichend linguistisch kodierbar sind. Bei dem linguistisch schlecht kodierbaren Symbolsystem „geometrische Objekte“ lässt sich dagegen kein störender Einfluss durch die phonologische Zweitaufgabe nachweisen. Eine zentral-exekutive Belastung des Arbeitsgedächtnisses ist dagegen bei *allen* Symbolsystemen festzustellen – wenn auch mit unterschiedlichen Implikationen. Beim Abschreiben von deutschem Text, Ziffernfolgen und Konsonantenreihen scheinen sich die Veränderungen durch zentral-exekutive Belastung sowohl auf linguistische Kodierungsprozesse auszuwirken (Absinken des Anteils von Pausen zwischen Wörtern zugunsten von Pausen innerhalb von Wörtern) als auch auf Prozesse, die unterhalb der Ebene einzelner Schriftzeichen liegen und möglicherweise graphomotorischer

Natur sind (leichter Anstieg von Pausen innerhalb von Zeichen). Beim Abschreiben *geometrischer Objekte* andererseits wirkt sich der störende Einfluss zentral-exekutiver Belastung exklusiv auf Pausen unterhalb der Zeichenebene aus und führt ausschließlich zu einem verstärkten relativen Auftreten von Pausen innerhalb von Zeichen. Dieser zuletzt genannte Befund spricht gegen das Vorhandensein linguistischer Kodierungsprozesse beim Abschreiben der geometrischen Objekte.

Bei der Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“ kommt es in den beiden Klassenstufen außerdem zu unterschiedlichen Effektmustern bei den Interaktionseffekten zwischen „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“. In der zweiten Klassenstufe rührt die Interaktion daher, dass es in der geometrischen Objektbedingung zu einem stärkeren Anstieg des Prozentanteils von Pausen innerhalb von Zeichen unter zentraler Belastung kommt. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass sich Defizite in der nicht hinreichend automatisierten graphomotorischen Ausführung beim Schreiben der unbekannten Symbole manifestieren, wenn gleichzeitig die zentrale Exekutive durch eine Zweitaufgabe belastet wird. In der vierten Klassenstufe kommt es in der Textbedingung unter phonologischer Belastung zu einem Anstieg des prozentualen Anteils von Pausen innerhalb von Zeichen, der in den anderen Symbolsystembedingungen nicht auftritt. Zusätzlich zeigt sich unter zentraler Belastung ein im Vergleich zu den anderen Symbolsystemen stärkerer Anstieg des Prozentanteils von Pausen innerhalb von Zeichen in der Text- und Konsonantenbedingung. Diese unterschiedlichen Auswirkungen zwischen den Klassenstufen dürften auch für das Auftreten der Interaktion zweiter Ordnung bei der Variable „Prozentanteil von Pausen innerhalb von Zeichen“ verantwortlich sein. Da die Erklärung dieser unerwarteten Besonderheiten in der vierten Klasse sehr spekulativ ausfallen würde und die Effektstärken der betreffenden Effekte niedrig sind, wird dem an dieser Stelle jedoch nicht weiter nachgegangen.

Die signifikanten Interaktionseffekte zwischen dem Faktor „Klassenstufe“ und dem Faktor „Symbolsystem“ in den dreifaktoriellen Varianzanalysen zeigen, dass bessere linguistische Kodierbarkeit bei Viertklässlern zu einem stärkeren relativen Anstieg von Pausen an Wortgrenzen und einem stärkeren relativen Abfall von Pausen an Zeichengrenzen führt. Daraus lässt sich schließen, dass die Viertklässler als die geübteren Schreiber besser dazu in der Lage sind, die linguistischen Eigenschaften semantisch und phonologisch besser kodierbarer Vorlagen strategisch zu nutzen, um größere Chunks im Arbeitsgedächtnis beim portionsweisen Abschreiben zu bilden. In der Textbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung führt dies dazu, dass bei Viertklässlern bis zu 84 Prozent aller Pausen an

Wortgrenzen auftreten, während Zweitklässler hier lediglich einen Wert von 42 Prozent erreichen. Dieser Unterschied nimmt über die verbleibenden Symbolsysteme mit sinkender linguistischer Kodierbarkeit bis hin zur Geometriebedingung sukzessive ab, wobei der Unterschied in der zuletzt genannten Bedingung zwischen den beiden Klassenstufen mit einer Differenz von drei Prozentpunkten nur noch marginal ausfällt.

Insgesamt zeichnen die bisherigen Analysen ein Bild, welches klar für das Vorliegen einer Strategie spricht, die darauf basiert, größere linguistische Einheiten beim Abschreiben zu enkodieren, um die limitierten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses effizienter zu nutzen. In den bisherigen Analysen wurde jedoch noch nicht geklärt, wie sich zeitbezogene Effizienzkriterien innerhalb des vorliegenden Designs verhalten. Eine effiziente Nutzung der zur Verfügung stehenden Zeit ist sicherlich ein Faktor, welcher ebenfalls zur Ausbildung von Expertise beim Abschreiben beiträgt.

7.5. Untersuchung der Variable „Pausenzeit pro Minute“

In diesem Abschnitt wird die Variable „Pausenzeit pro Minute“ untersucht, die gebildet wurde, indem die gemessenen Längen der einzelnen Pausenereignisse für jeden Probanden aufsummiert und auf eine Minute standardisiert wurden. Dadurch resultiert für jede der Bedingungen die Zeit in Sekunden, die während einer Minute durch Schreibpausen eingenommen wird. (Der nach Subtraktion des Pausenzeitanteils verbleibende Zeitanteil der Bearbeitungszeit wird durch das Ausführen graphomotorischer Aktivität eingenommen. Diese Variable wird nicht extra analysiert, da dies lediglich spiegelbildliche Ergebnisse ohne zusätzlichen Erkenntnisgewinn liefern würde.)

Es wird erwartet, dass effizientes Abschreiben dazu führt, dass geringere Anteile der zur Verfügung stehenden Bearbeitungszeit von Schreibpausen eingenommen werden. Demzufolge wird vorhergesagt, dass bei den weniger geübten Abschreibern der zweiten Klassenstufe, bei linguistisch weniger gut kodierbaren Symbolsystemen und bei Arbeitsgedächtnisbelastung signifikant höhere Werte der Variable „Pausenzeit pro Minute“ resultieren. In Abbildung 25 sind Mittelwerte und Standardfehler, die sich bei der Variable „Pausenzeit pro Minute“ innerhalb $2 \times 4 \times 4$ -Designs ergeben, graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.7).

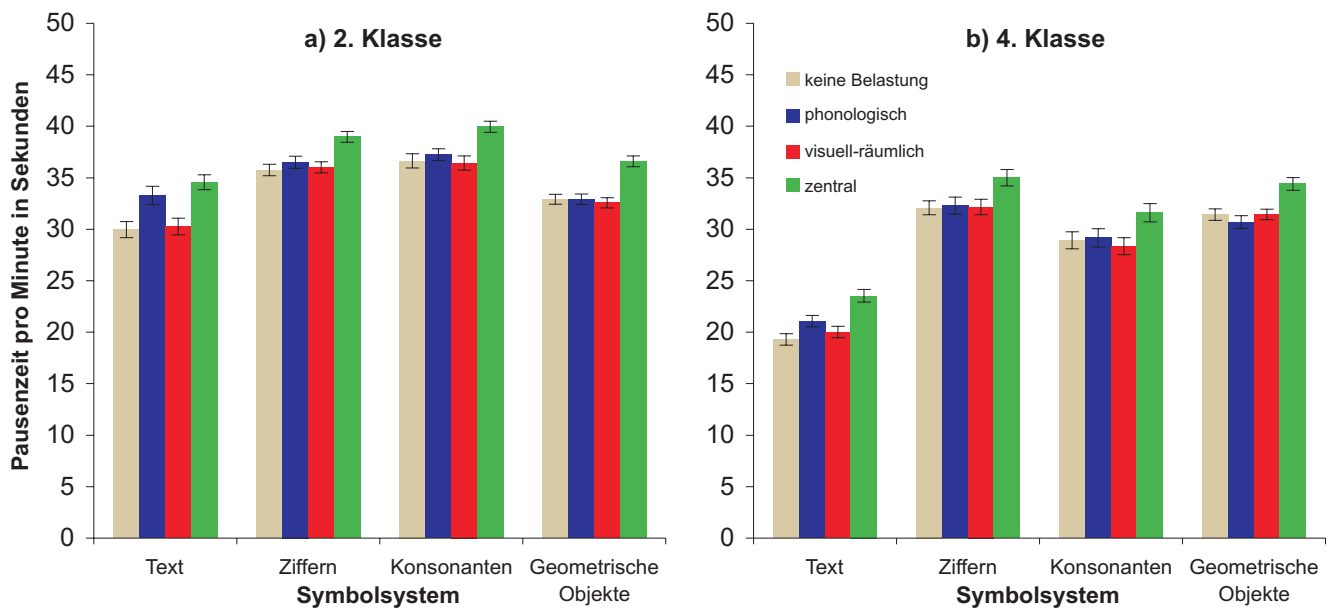


Abbildung 25: Pausenzeit pro Minute für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Für die Variable „Pausenzeit pro Minute“ wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Es ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.73, 388.67) = 187.88; p < .001; \eta^2 = 0.57$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3, 426) = 127.04; p < .001; \eta^2 = 0.47$) sowie „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 81.32; p < .001; \eta^2 = 0.36$). In beiden Klassenstufen folgt das Ergebnismuster in den meisten Fällen der vorhergesagten Richtung, bei der das Abschreiben von linguistisch besser kodierbarem Material zu einem geringeren Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“ führt. Aus dem Rahmen fallen die geometrische Objektbedingung in der zweiten Klassenstufe mit einem unerwartet niedrigen Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“ und die Ziffernbedingung in der vierten Klassenstufe mit einem unerwartet hohen Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“. Kommt es zu signifikanten Veränderungen beim Durchführen einer Zweitaufgabe, erhöht sich in beiden Klassenstufen die Pausenzeit pro Minute. Der Vergleich der Klassenstufen zeigt, dass bei älteren Kindern hypothesenkonform ein geringerer Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“ resultiert als bei den Zweitklässlern.

Ebenfalls signifikant sind die einfachen Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(7.43, 1055.24) = 4.71$;

$p < .001$; $\eta^2 = 0.03$) sowie „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.73, 388.67) = 58.59$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.29$). Nicht signifikant fallen die Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(3, 426) = 1.99$; $p = .115$; $\eta^2 = 0.01$) sowie die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren ($F(7.43, 1055.24) = 0.56$; $p = .798$; $\eta^2 < 0.01$) aus. Eine Veranschaulichung der zugehörigen Effektmuster findet sich in Abbildung 26.

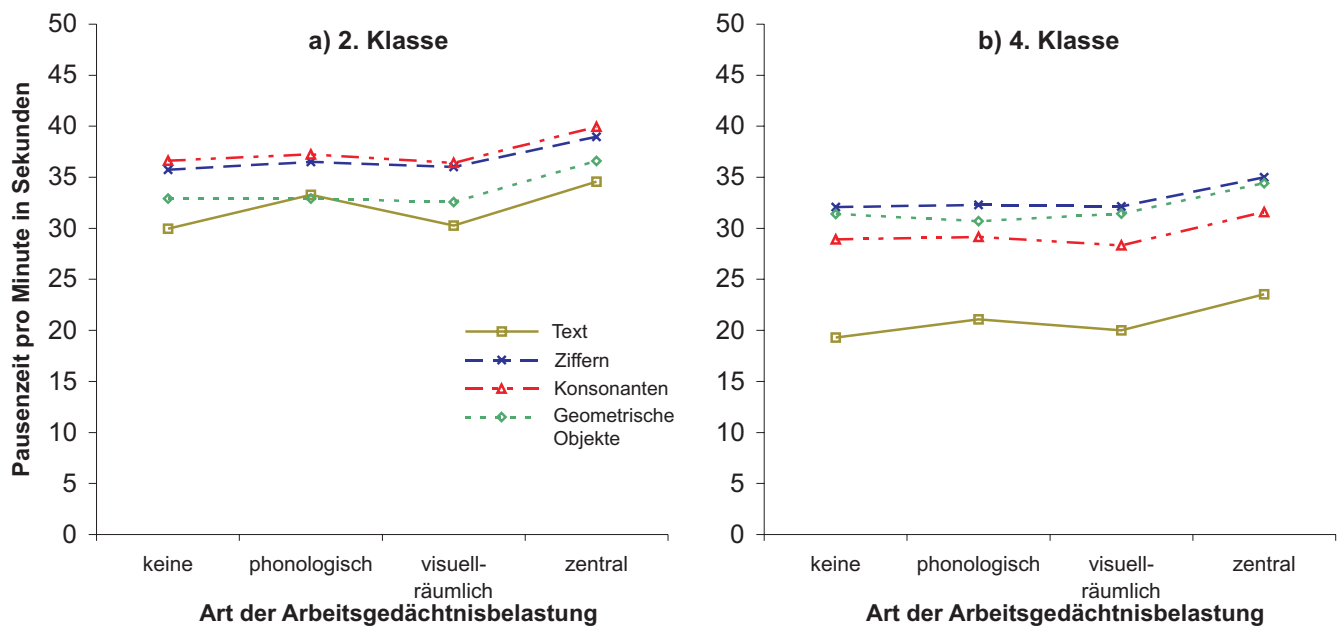


Abbildung 26: Pausenzeit pro Minute für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Für die Variable „Pausenzeit pro Minute“ wurden für beide Klassenstufen zusätzlich separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen signifikante Haupteffekte der Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(2.39, 186.69) = 51.37$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.40$; 4. Klasse: $F(2.61, 167.33) = 180.78$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.74$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(3, 234) = 75.25$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.49$; 4. Klasse: $F(3, 192) = 56.12$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.47$); außerdem ergibt sich ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(6.86, 535.24) = 3.02$; $p = .004$; $\eta^2 = 0.04$; 4. Klasse: $F(7.10, 454.44) = 2.45$; $p = .018$; $\eta^2 = 0.04$).

Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ kommt es in beiden Klassenstufen zu signifikanten Unterschieden für die Vergleiche zwischen Text und Ziffernfolgen (2. Klasse: $F(1, 78) = 76.03$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.49$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 585.80$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.90$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 70.57$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.48$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 17.07$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.21$). Der Kontrast zwischen Ziffernfolgen und Konsonantenreihen ist lediglich für die vierte Klassenstufe signifikant (4. Klasse: $F(1, 64) = 27.62$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.30$), nicht jedoch für die zweite (2. Klasse: $F(1, 78) = 3.39$; $p = .069$; $\eta^2 = 0.04$). Geplante Vergleiche, bei denen die einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Bedingung ohne Zweitaufgabe verglichen werden, ergeben in beiden Klassenstufen signifikante Unterschiede für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 180.19$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.70$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 117.66$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.65$), während der Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung nur in der zweiten Klasse signifikant ausfällt (2. Klasse: $F(1, 78) = 16.36$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.17$), nicht jedoch in der vierten Klasse (4. Klasse: $F(1, 64) = 1.86$; $p = .177$; $\eta^2 = 0.03$). Für den Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung ergibt sich in keiner der beiden Klassenstufen ein signifikanter Effekt (2. Klasse: $F(1, 78) < 0.01$; $p = .991$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.07$; $p = .797$; $\eta^2 < 0.01$).

Zwischendiskussion

Die Ergebnismuster der Analysen für die Variable „Pausenzeit pro Minute“ ergänzen das Bild aus den bisherigen Analysen und geben weiteren Aufschluss über die Natur der kognitiven Prozesse, die effizientem Abschreiben zugrunde liegen. Als aufschlussreich erweisen sich die in allen drei Analysen signifikanten Haupteffekte des Faktors „Symbolsystem“. Beide Klassenstufen teilen die Gemeinsamkeit, dass beim Vergleich der Symbolsystem-Bedingungen der geringste Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“ beim Abschreiben von Text entsteht. Auch die anderen Symbolsysteme folgen dem Trend, dass höhere linguistische Kodierbarkeit zu niedrigeren Werten der Variable „Pausenzeit pro Minute“ führt. Es gibt jedoch zwei Ausnahmen, bei denen die geometrische Objektbedingung in der zweiten und die Ziffernbedingung in der vierten Klasse aus diesem Gesamtmuster ausscheren. Dies führt in der dreifaktoriellen Varianzanalyse zusätzlich zu einem signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Klassenstufe“.

Wie lassen sich diese Abweichungen interpretieren? Bei der ersten Auffälligkeit – dem Abschreiben *geometrischer Objekte* in der zweiten Klasse – zeigt sich ein auffällig geringer Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“, obwohl es sich um das Symbolsystem handelt, welches im Vergleich zu den übrigen die geringste linguistische Kodierbarkeit aufweist. Hinweise zur Erklärung dieses Befundes ergeben sich bei der gleichzeitigen Betrachtung weiterer Prozessvariablen. Beim Abschreiben der geometrischen Objekte kommt es auch zu einer hohen Anzahl an Pausen pro Zeichen (siehe Abschnitt 7.2), da nach nahezu jedem einzelnen Zeichen eine Schreibpause resultiert, und es werden pro Minute nur sehr wenige Zeichen abgeschrieben (siehe Abschnitt 7.1). Trotzdem ist die Pausenzeit pro Minute niedrig und der Zeitanteil, der durch aktive Schreibhandlungen eingenommen wird, vergleichsweise groß. Diese Kombination von Befunden lässt sich dadurch erklären, dass die unbekannten graphischen Symbole von jungen Kindern sehr *langsam abgeschrieben* wurden. Dies würde bedeuten, dass sich in dieser Bedingung Schwierigkeiten auf der graphomotorischen Ebene widerspiegeln.

Bei der zweiten Auffälligkeit – dem Abschreiben von *Ziffernfolgen* in der vierten Klassenstufe – kommt es zu einem umgekehrten Muster. Trotz vergleichsweise hoher linguistischer Kodierbarkeit kommt es hier zu einem sehr hohen Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“ (vgl. Abbildung 26). Gleichzeitig liegt eine eher geringe Anzahl von Pausen pro Zeichen und eine vergleichsweise hohe Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen vor (jeweils zweiter Rangplatz nach der Textbedingung). Es liegt nahe, dass die Ausführungsgeschwindigkeit beim Schreiben auch hier die Erklärung liefert. Wenn die Zeichen in der vierten Klassenstufe vergleichsweise *schnell* geschrieben wurden (was sich gut erklären ließe, da es sich bei Ziffernfolgen um ein hoch überlerntes Symbolsystem handelt, welches aus nur zehn verschiedenen Einzelzeichen besteht), fallen der Zeitanteil für das Ausführen von Schreibhandlungen gering und der Pausenzeitanteil entsprechend höher aus.

Zusätzlich könnte auch noch eine zweite Variable Einfluss auf die beschriebenen Auffälligkeiten haben, die die Variable „Pausenzeit pro Minute“ ebenfalls direkt beeinflusst: die mittlere Pausenlänge. Zur weiteren Untermauerung dieser Überlegungen schließen sich nach dieser Zwischendiskussion die Analysen der mittleren Schreibgeschwindigkeit pro Zeichen und der mittleren Pausenlänge an.

Der Haupteffekt des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ist ebenfalls in allen Analysen signifikant. Eine wirksame Belastung des Arbeitsgedächtnisses führt erwartungsgemäß zu einem Anstieg der Pausenzeit pro Minute. Welche Arbeitsgedächtnisbedingungen

für das Entstehen der gefundenen Haupteffekte jeweils verantwortlich sind, ist für die beiden Klassenstufen jedoch unterschiedlich. Während die Belastung der zentralen Exekutive zu einem Anstieg von Pausenzeit in beiden Klassenstufen führt, kommt es bei phonologischer Belastung des Arbeitsgedächtnisses nur in der zweiten Klassenstufe zu einer signifikant erhöhten Pausenzeit pro Minute; die visuell-räumliche Zweitaufgabe führt – wie in den vorherigen Analysen – auch bei dieser Variable in keiner der beiden Klassenstufen zu einem Unterschied im Vergleich zur Kontrollbedingung. Diese Unterschiede reichen jedoch nicht, um zu einer signifikanten Interaktion zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ oder gar zu einer Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren zu führen. Die unterschiedliche Wirkung von phonologischer Belastung auf die Symbolsysteme führt jedoch in allen drei Analysen zu signifikanten Interaktionseffekten zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass es in beiden Klassenstufen zu einem abnehmenden Störeinfluss bei der phonologischen Arbeitsgedächtnisbedingung bei linguistisch schlechter kodierbaren Vorlagen kommt, während der störende Einfluss bei zentral-exekutiver Belastung sich bei allen Symbolsystemen ähnlich stark auswirkt.

Der signifikante Haupteffekt „Klassenstufe“ spricht klar für die Hypothesen. Bei den erfahreneren Abschreibern der vierten Klasse wird ein geringerer Teil der Bearbeitungszeit für Schreibpausen aufgewendet. Auch wenn es beim Haupteffekt „Symbolsystem“ zu teils gegenläufigen Effektmustern kommt, zeigt der Haupteffekt „Klassenstufe“ dennoch, dass geringere Werte der Variable „Pausenzeit pro Minute“ mit höherer Abschreibeffizienz assoziiert sind.

Allgemein fällt auf, dass in beiden Klassenstufen in fast allen Bedingungen (Ausnahme: Textbedingung in der vierten Klasse) relativ hohe Werte der Variable „Pausenzeit pro Minute“ resultieren. Bei Zweitklässlern wird über die Hälfte der Zeit (zwischen 30 und 36 Sekunden) von Schreibpausen eingenommen und in der vierten Klasse kommt es in drei Bedingungen ebenfalls zu hohen Werten zwischen 28 und 33 Sekunden. Die hohen Werte deuten darauf hin, dass das Abschreiben (insbesondere von ungewohnten, linguistisch eingeschränkt kodierbaren Symbolsystemen) für beide Klassenstufen eine anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Es zeigt sich aber auch, dass sich in der vierten Klassenstufe beim Abschreiben von Text der Anteil an Pausenzeit auf weniger als ein Drittel einer Minute verringert hat. Dies führt zu dem bereits angesprochenen signifikanten Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“. Diese Befunde deuten darauf

hin, dass eine entscheidende Entwicklung in der vierten Klassenstufe stattgefunden hat, die zu effizienteren Routinen beim Abschreiben von linguistisch kodierbarem Material geführt hat.

Insgesamt zeigt sich bei beiden Klassenstufen also, dass Erhöhungen der benötigten Pausenzeit pro Minute mit einer geringeren Effizienz beim Abschreiben assoziiert sind. Wie die gegenläufigen Effekte des Faktors „Symbolsystem“ jedoch zeigen, ist die alleinige Betrachtung der Variable „Pausenzeit pro Minute“ nicht ausreichend, um die Abschreibeffizienz in jedem Fall adäquat zu beurteilen. Es ist vielmehr sinnvoll, zusätzlich die Variablen „mittlere Schreibgeschwindigkeit pro Zeichen“ und „mittlere Pausenlänge“ zu betrachten. Dies geschieht in den beiden nun folgenden Abschnitten.

7.6. Untersuchung der Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“

Die Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ ist ein Indikator der Schreibgeschwindigkeit. Zur Bildung dieser Variable wurde die für Schreibhandlungen aufgewendete Zeit durch die Anzahl aller fertiggestellten Zeichen (Netto-Zeichen plus durchgestrichene Zeichen) geteilt. Es ist davon auszugehen, dass es bei geübten (Ab-)Schreibern zu einer schnellen graphomotorischen Ausführung beim Schreiben der einzelnen Zeichen kommt. Die geübteren Schreiber der vierten Klassenstufe sollten also eine niedrigere mittlere Schreibzeit pro Zeichen an den Tag legen als die Zweitklässler. Außerdem wird vorhergesagt, dass zumindest die geometrischen Objekte signifikant langsamer abgeschrieben werden als die anderen Symbolsysteme, da das Symbolsystem der geometrischen Objekte den Kindern im Vorfeld vollständig unbekannt war. Angesichts der Ergebnisse des vorherigen Abschnitts ist zu erwarten, dass die Schreibzeit pro Zeichen in der Ziffernbedingung im Vergleich zu den übrigen Bedingungen eher niedrig ausfällt. Ein störender Einfluss durch zusätzliche Arbeitsgedächtnisbelastung sollte zu einer erhöhten Schreibzeit pro Zeichen im ungeübten Symbolsystem „geometrische Objekte“ führen, während sich dies bei den bekannten Symbolsystemen nicht auswirken sollte. In Abbildung 27 sind Mittelwerte und Standardfehler, die sich bei der Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ innerhalb $2 \times 4 \times 4$ -Designs ergeben, graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.8).

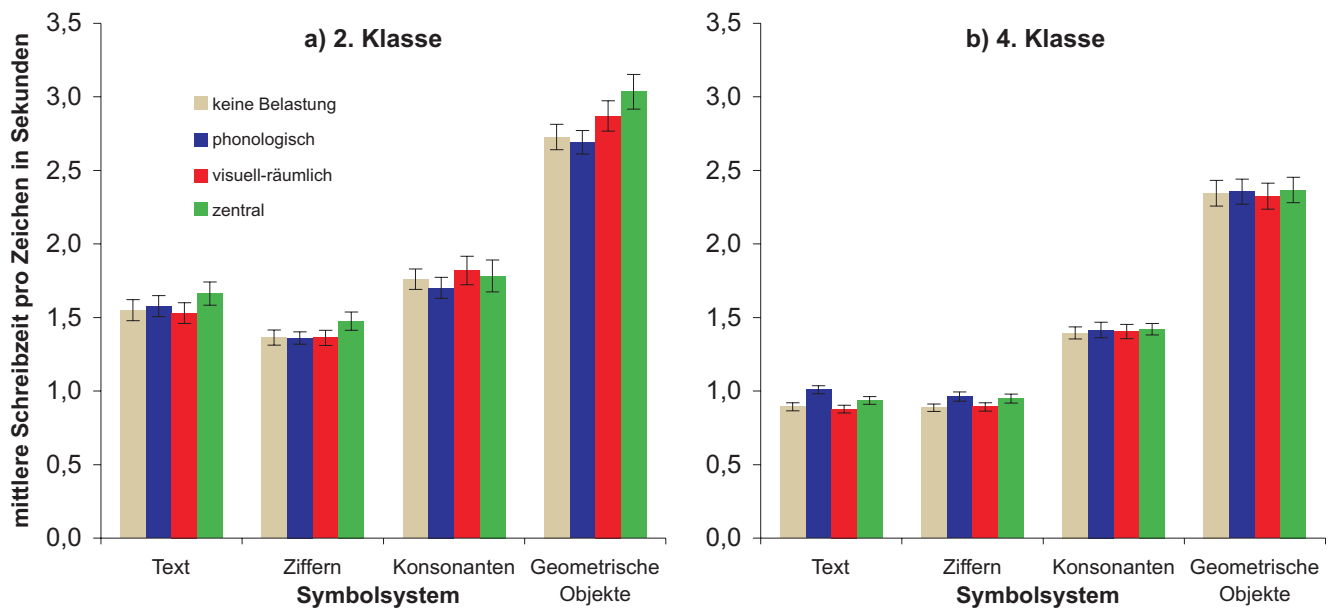


Abbildung 27: Mittlere Schreibzeit pro Zeichen für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Hierbei ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.42, 343.28) = 521.16$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.79$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.63, 374.07) = 4.55$; $p = .006$; $\eta^2 = 0.03$) sowie „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 48.96$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.26$). In beiden Klassenstufen folgt das Ergebnismuster der vorhergesagten Richtung, bei der sich der generelle Trend zeigt, dass das Abschreiben von linguistisch besser kodierbarem Material zu einer geringeren Schreibzeit pro Zeichen führt. Allerdings fällt die Ziffernfolgenbedingung leicht aus dem Rahmen, da es hier in der zweiten Klassenstufe zu einer geringeren Schreibzeit pro Zeichen als in der Textbedingung kommt und die Schreibzeit pro Zeichen in der vierten Klassenstufe gleichauf mit der Textbedingung liegt. Wenn es zu Veränderungen durch das Durchführen einer Zweitaufgabe kommt, führt dies zu einer Erhöhung der Schreibzeit pro Zeichen. Der Vergleich der Klassenstufen zeigt außerdem, dass die älteren Kinder schneller schreiben als die jüngeren.

Die statistische Bedeutsamkeit des einfachen Interaktionseffekts zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ wird wegen der Verletzung der Normalverteilungsvoraussetzung lediglich als Tendenz betrachtet ($F(5.82, 825.94) = 2.24$;

$p = .040$; $\eta^2 = 0.02$), während die Interaktionen zwischen „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.42, 343.28) = 4.48$; $p = .008$; $\eta^2 = 0.03$) sowie zwischen „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.63, 374.07) = 4.17$; $p = .009$; $\eta^2 = 0.03$) signifikant ausfallen. Die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren überschreitet die Signifikanzgrenze nicht ($F(5.82, 825.94) = 1.21$; $p = .297$; $\eta^2 < 0.01$). Eine Veranschaulichung der zugehörigen Effektmuster findet sich in Abbildung 28.

Für die Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ wurden für beide Klassenstufen außerdem separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(2.56, 199.60) = 210.70$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.73$; 4. Klasse: $F(1.50, 96.21) = 414.23$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.87$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(2.51, 195.92) = 5.55$; $p = .002$; $\eta^2 = 0.07$; 4. Klasse: $F(2.89, 184.70) = 2.88$; $p = .039$; $\eta^2 = 0.04$). Der Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ fällt für die vierte Klassenstufe nicht signifikant aus (4. Klasse: $F(4.24, 271.35) = 1.00$; $p = .414$; $\eta^2 = 0.02$); für die zweite Klassenstufe wird die statistische Bedeutsamkeit aufgrund einer vorliegenden Verletzung der Normalverteilungsannahme als Tendenz gewertet (2. Klasse: $F(5.78, 451.17) = 2.23$; $p = .041$; $\eta^2 = 0.03$).

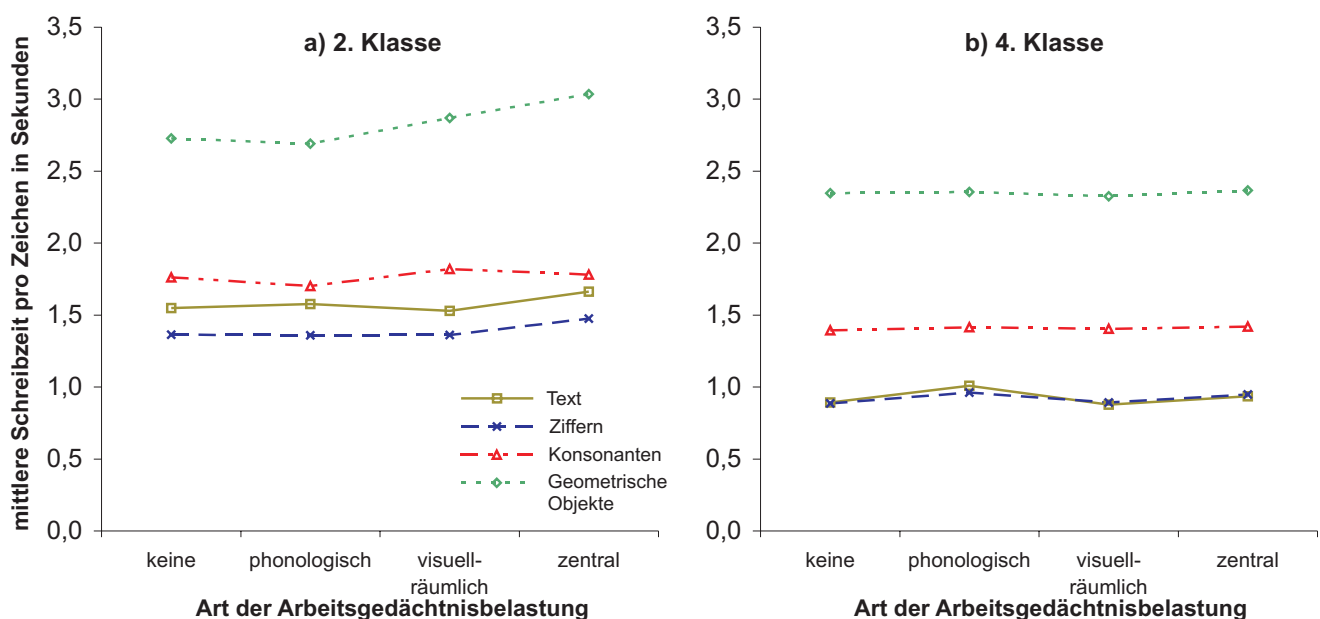


Abbildung 28: Mittlere Schreibzeit pro Zeichen für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ kommt es für den Vergleich zwischen Text und Ziffernfolgen in der zweiten Klassenstufe zu einem signifikanten Unterschied (2. Klasse: $F(1, 78) = 17.39$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.18$), während sich in der vierten Klassenstufe kein signifikanter Unterschied ergibt (4. Klasse: $F(1, 64) = 0.10$; $p = .755$; $\eta^2 < 0.01$); für beide Klassenstufen signifikant sind dagegen die Vergleiche zwischen Ziffernfolgen und Konsonantenreihen (2. Klasse: $F(1, 78) = 38.34$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.33$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 281.82$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.82$) sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten (2. Klasse: $F(1, 78) = 249.16$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.76$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 253.40$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.80$). Bei den geplanten Vergleichen zum Vergleich der einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung ergibt sich ein signifikanter Unterschied beim Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung nur für die vierte (4. Klasse: $F(1, 64) = 4.97$; $p = .029$; $\eta^2 = 0.07$), nicht aber für die zweite Klassenstufe (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.36$; $p = .551$; $\eta^2 < 0.01$). Beim Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung zeigt sich ein signifikanter Effekt nur in der zweiten Klasse (2. Klasse: $F(1, 78) = 10.26$; $p = .002$; $\eta^2 = 0.12$), nicht aber in der vierten (4. Klasse: $F(1, 64) = 2.68$; $p = .106$; $\eta^2 = 0.04$). Für den Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung ergibt sich in keiner der beiden Klassenstufen ein signifikanter Effekt (2. Klasse: $F(1, 78) = 1.39$; $p = .242$; $\eta^2 = 0.02$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 0.04$; $p = .835$; $\eta^2 = 0.01$).

Zwischendiskussion

Die Ergebnismuster der in allen Analysen signifikanten Haupteffekte des Faktors „Symbolsystem“ zeigen, dass höhere linguistische Kodierbarkeit zumeist auch mit einer höheren Schreibgeschwindigkeit einhergeht. Wie die signifikante Interaktion zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Klassenstufe“ nahelegt, wirken sich die Unterschiede zwischen den Symbolsystemen je nach Klassenstufe in ihrem Ausmaß jedoch unterschiedlich aus, wofür insbesondere die beiden Symbolsysteme „geometrische Objekte“ und „Ziffernfolgen“ ausschlaggebend erscheinen. Dies bietet Ansatzpunkte, die sich zur Erklärung der Auffälligkeiten bei der Analyse der Variable „Pausenzeit pro Minute“ (vgl. Abschnitt 7.5) heranziehen lassen.

Beim Abschreiben der *geometrischen Objekte* kommt es in beiden Klassenstufen zu einer signifikant langsameren Ausführung beim Schreiben der einzelnen Zeichen. Im Vergleich zu

den übrigen Symbolsystemen führt dies zu einer Erhöhung der durchschnittlichen Schreibzeit pro Zeichen, die vom 1,6-fachen (verglichen mit Konsonanten in der 2. Klasse) bis zum 2,6-fachen (verglichen mit Ziffern in der 4. Klasse) reicht. Inferenzstatistisch wird die Bedeutsamkeit dieses Befundes durch die hohen Effektstärken der geplanten Vergleiche zwischen der geometrischen Objekt- und der Konsonantenbedingung bei beiden Klassenstufen unterstrichen. (Die nicht überprüften Einzelvergleiche der geometrischen Objektbedingung mit den anderen beiden Symbolsystemen dürften ähnlich deutlich ausfallen, da hier noch größere Mittelwertsunterschiede bestehen.) Der Befund, dass beim Abschreiben der geometrischen Objekte auffällig niedrige Werte der Variable „Pausenzeit pro Minute“ resultieren, ist also zu einem großen Teil auf die langsame Ausführung beim Schreiben der einzelnen Zeichen zurückzuführen.

Beim Abschreiben von *Ziffernfolgen* kommt es im Gegensatz zum Abschreiben geometrischer Objekte zu sehr niedrigen durchschnittlichen Schreibzeiten pro Zeichen. Wie die geplanten Vergleiche des Faktors „Symbolsystem“ zeigen, ist die Ausführungsgeschwindigkeit in der zweiten Klassenstufe beim Abschreiben von Ziffernfolgen signifikant höher als in der Textbedingung. In der vierten Klassenstufe werden Ziffern ebenfalls sehr schnell geschrieben und liegen gleichauf mit dem Abschreiben von Text. In der vierten Klasse führt diese schnelle Geschwindigkeit beim Abschreiben von Ziffernfolgen im Vergleich zu den linguistisch weniger gut kodierbaren Symbolsystemen zu niedrigeren Zeitanteilen, die durch graphomotorische Schreibhandlungen belegt werden, und damit auch zu den in Abschnitt 7.5 beobachteten signifikant höheren Werten der Variable „Pausenzeit pro Minute“.

Der Haupteffekt des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ist zwar eher gering, aber dennoch in allen Analysen signifikant. Die auftretenden Veränderungen unter Arbeitsgedächtnisbelastung haben für beide Klassenstufen jedoch verschiedene Ursachen (was gleichzeitig zu einer signifikanten Interaktion – ebenfalls mit eher kleiner Effektgröße – zwischen den Faktoren „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ und „Klassenstufe“ führt). Wie aus den geplanten Vergleichen des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ersichtlich ist, zeigt sich in der *zweiten Klassenstufe* eine Erhöhung der Schreibzeit pro Zeichen ausschließlich unter zentral-exekutiver Belastung. Dies lässt sich dadurch erklären, dass Zweitklässlern noch keine ausreichende graphomotorische Automatisierung zueigen ist, so dass zentral-exekutive Ressourcen durch die graphomotorische Ausführung beansprucht werden. Bei einer zusätzlichen zentral-exekutiven Belastung durch eine Zweitaufgabe wird die Schreibgeschwindigkeit beeinträchtigt, da beide Prozesse um die limitierten Ressourcen der zentralen Arbeitsgedächtniskomponente konkurrieren. In der *vierten Klassenstufe* kommt

es dagegen zu leichten Erhöhungen der Schreibgeschwindigkeit unter phonologischer *und* zentral-exekutiver Belastung. Diese Unterschiede scheinen vor allem auf die Text- und die Ziffernbedingung zurückzuführen zu sein. Es überrascht, dass ausgerechnet in den beiden graphomotorisch am stärksten automatisierten Symbolsystemen Interferenz durch Zweit-aufgabenbedingungen entsteht, während in den weniger geübten Symbolsystemen ein solcher Effekt nicht nachweisbar ist. Dieses Ergebnis widerspricht der Annahme, dass die graphomotorische Ausführung bei hinreichender Automatisierung keine Arbeitsgedächtnis-ressourcen beansprucht. Allerdings gilt es auch zu berücksichtigen, dass es sich hierbei um einen eher kleinen Effekt handelt. Für zukünftige Forschung wäre es interessant, ob dieser Effekt stabil replizierbar ist.

Klarer interpretierbar ist der signifikante Haupteffekt „Klassenstufe“. Dieser zeigt, dass erfahrenere (Ab-)Schreiber generell eine schnellere Ausführungsgeschwindigkeit beim Schreiben der einzelnen Schriftzeichen an den Tag legen. Es ist davon auszugehen, dass Viertklässler sich hierbei deutlich stärker auf automatisierte graphomotorische Prozesse verlassen können als Zweitklässler.

Die Ergebnisse der Analysen der Variable „Schreibzeit pro Zeichen“ runden die bisherigen Erkenntnisse ab. Es zeigt sich eindeutig, dass höhere Schreibgeschwindigkeit auch eine höhere (Ab-)Schreibexpertise widerspiegelt, was sich insbesondere bei linguistisch gut kodierbaren Symbolsystemen auswirkt. Weiterhin lassen sich Auffälligkeiten, die in der Variable „Pausenzeit pro Minute“ aufgetreten sind, zu großen Teilen aufklären. Um das Gesamtbild der Schreibprozessanalysen zu komplettieren, wird nun als letzte Schreibprozessvariable die mittlere Pausenlänge analysiert.

7.7. Untersuchung der Variable „mittlere Pausenlänge“

In unmittelbarem Zusammenhang mit der mittleren Schreibzeit pro Zeichen steht die „mittlere Pausenlänge“. Zur Bildung dieser Variable wurde die über die Gesamtbearbeitungszeit summierte Pausendauer durch die Anzahl der aufgetretenen Pausen geteilt. Es ist davon auszugehen, dass die älteren Kinder automatisierter abschreiben, was dazu führt, dass die durchschnittliche Pausendauer absinkt. Bei linguistisch besser kodierbaren Symbolsystemen sollte es ebenfalls zu geringeren Pausenlängen kommen, und ein störender Einfluss durch Arbeitsgedächtnisbelastung sollte zu einer signifikanten Erhöhung der mittleren Pausenlängen führen. In Abbildung 29 sind Mittelwerte und Standardfehler, die sich bei dieser Variable

innerhalb $2 \times 4 \times 4$ -Designs ergeben, graphisch dargestellt (für detaillierte Statistiken zu dieser Variable vgl. auch Anhang A.2.9).

Es wurde eine dreifaktorielle Varianzanalyse (gemischtes Design) mit dem zweifach gestuften Zwischensubjektfaktor „Klassenstufe“ und den jeweils vierfach gestuften Messwiederholungsfaktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ durchgeführt. Es ergeben sich signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ ($F(2.71, 384.23) = 22.66$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.14$), „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.07, 294.41) = 68.17$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.32$) sowie „Klassenstufe“ ($F(1, 142) = 32.64$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.19$). Das Abschreiben von linguistisch besser kodierbarem Material führt zu geringeren mittleren Pausenlängen. Veränderungen durch das Durchführen einer Zweitaufgabe ziehen in beiden Klassenstufen eine Erhöhung der mittleren Pausenlänge unter zentral-exekutiver Belastung nach sich, während phonologische Belastung in der vierten Klassenstufe zu einem Absinken der mittleren Pausenlänge führt. Der Vergleich der Klassenstufen zeigt, dass es bei älteren Kindern zu einer geringeren mittleren Pausenlänge kommt als bei den Zweitklässlern.

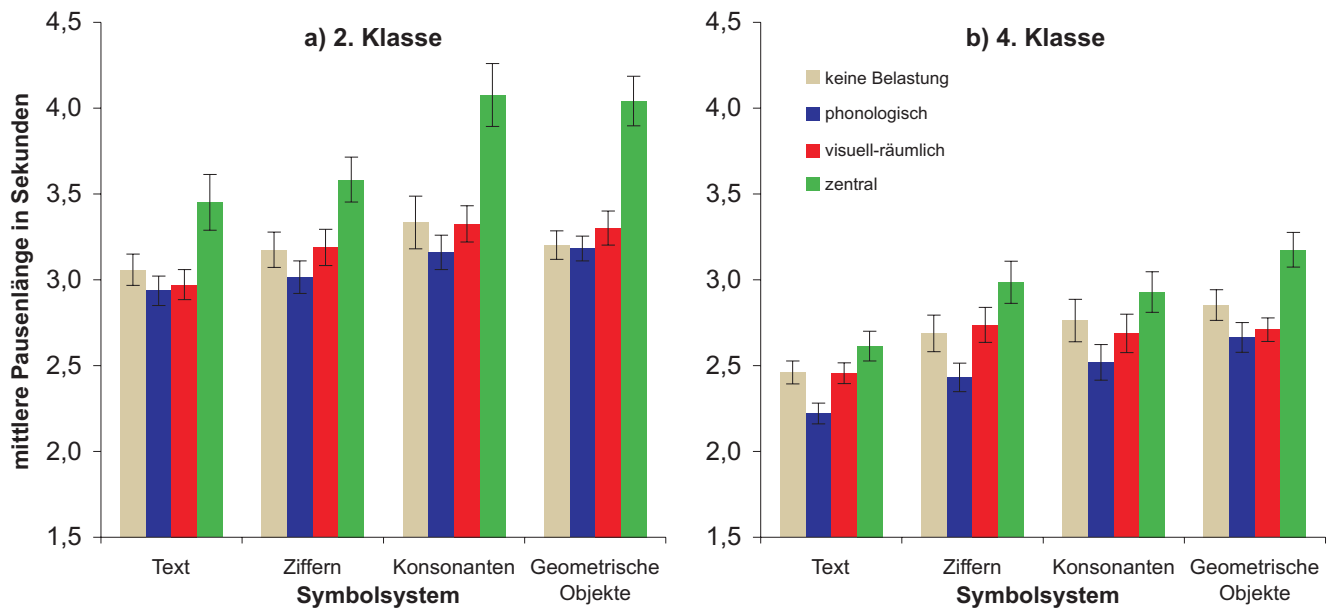


Abbildung 29: Mittlere Pausenlänge für die zweite (a) und vierte (b) Klasse in Abhängigkeit von Symbolsystem und Art der Arbeitsgedächtnisbelastung. Die Fehlerbalken repräsentieren Standardfehlerwerte.

Der einzige signifikante Interaktionseffekt besteht zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(2.07, 294.41) = 6.86$; $p = .001$; $\eta^2 = 0.05$), während die Interaktionen zwischen „Klassenstufe“ und „Symbolsystem“ ($F(2.71, 384.23) = 1.91$; $p = .133$; $\eta^2 = 0.01$), „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ ($F(6.46, 916.61) = 1.93$; $p = .068$; $\eta^2 = 0.01$) sowie die Interaktion zweiter Ordnung zwischen allen drei Faktoren ($F(6.46, 916.61) = 1.36$; $p = .226$; $\eta^2 < 0.01$) nicht signifikant sind. Eine Veranschaulichung der Effektmuster findet sich in Abbildung 30.

Für die Variable „mittlere Pausenlänge“ wurden zusätzlich für beide Klassenstufen separate 4×4 -Messwiederholungsanalysen und geplante Vergleiche durchgeführt. Die beiden zweifaktoriellen 4×4 -Messwiederholungsanalysen ergeben für beide Klassenstufen signifikante Haupteffekte für die Faktoren „Symbolsystem“ (2. Klasse: $F(3, 234) = 11.78$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.13$; 4. Klasse: $F(2.49, 159.23) = 13.71$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.18$) und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ (2. Klasse: $F(2.03, 157.91) = 46.61$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.37$; 4. Klasse: $F(2.16, 138.17) = 29.13$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.31$). Der Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ erreicht für keine der beiden Klassenstufen statistische Signifikanz (2. Klasse: $F(5.82, 453.59) = 1.85$; $p = .091$; $\eta^2 = 0.02$; 4. Klasse: $F(6.53, 417.58) = 1.74$; $p = .104$; $\eta^2 = 0.03$).

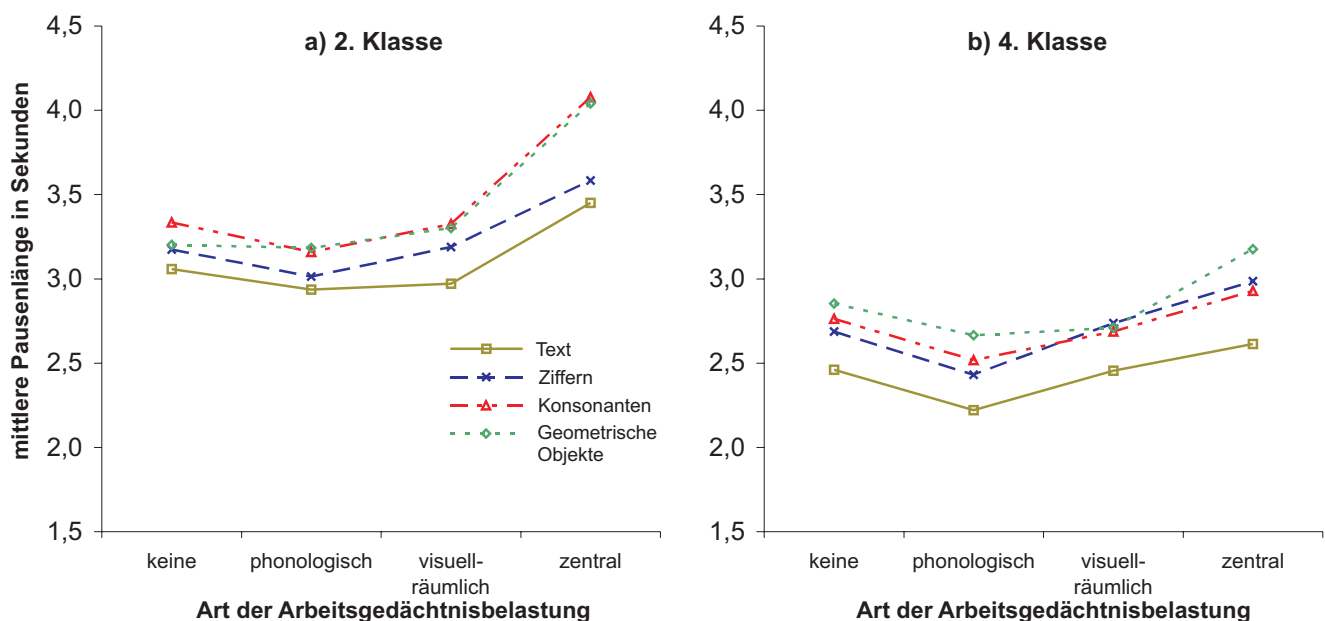


Abbildung 30: Mittlere Pausenlänge für die vier Symbolsysteme in Abhängigkeit von der Art der Arbeitsgedächtnisbelastung, getrennt für die 2. (a) und 4. (b) Klasse.

Signifikante Unterschiede bei den *geplanten Vergleichen* für den Faktor „Symbolsystem“ ergeben sich für den Vergleich zwischen Text und Ziffernfolgen in der vierten Klassenstufe (4. Klasse: $F(1, 64) = 15.90$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.20$), nicht jedoch in der zweiten Klassenstufe (2. Klasse: $F(1, 78) = 3.45$; $p = .067$; $\eta^2 = 0.04$). Beim Vergleich zwischen Ziffernfolgen und Konsonantenreihen ergibt sich in der zweiten Klassenstufe (2. Klasse: $F(1, 78) = 13.62$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.15$) ein signifikanter Effekt, nicht jedoch in der vierten Klassenstufe (4. Klasse: $F(1, 64) = 0.06$; $p = .800$; $\eta^2 < 0.01$). Der geplante Vergleich zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten überschreitet in keiner der beiden Klassenstufen die Signifikanzgrenze (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.42$; $p = .520$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 3.37$; $p = .071$; $\eta^2 = 0.05$). Bei den geplanten Kontrasten zum Vergleich der einzelnen Zweitaufgabenbedingungen mit der Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung ergeben sich für beide Klassenstufen signifikante Unterschiede beim Vergleich der Kontroll- mit der phonologischen Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 5.93$; $p = .017$; $\eta^2 = 0.07$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 26.68$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.29$) und für den Vergleich der Kontroll- mit der zentral-exekutiven Bedingung (2. Klasse: $F(1, 78) = 52.96$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.40$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 14.36$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.18$). Für den Vergleich der Kontroll- mit der visuell-räumlichen Bedingung ergibt sich in keiner der beiden Klassenstufen ein signifikanter Effekt (2. Klasse: $F(1, 78) = 0.01$; $p = .926$; $\eta^2 < 0.01$; 4. Klasse: $F(1, 64) = 1.50$; $p = .225$; $\eta^2 = 0.02$).

Zwischendiskussion

Die Ergebnisse des Haupteffekts „Symbolsystem“ zeigen, dass höhere linguistische Kodierbarkeit wie vorhergesagt zu einer verringerten mittleren Pausenlänge führt. Der Effekt ist in beiden Klassenstufen allerdings nicht sehr groß und in den geplanten Vergleichen zeigen sich signifikante Unterschiede nur an zwei Stellen. Der Einfluss, der durch die Unterschiede zwischen den Symbolsystemen zustande kommt, ist also für die einzelne Pause eher klein; mit einer zunehmenden Anzahl von Pausenereignissen kumuliert sich allerdings die Auswirkung, die durch signifikant höhere mittlere Pausenlängen entsteht. Bei Symbolsystemen mit einer niedrigeren linguistischen Kodierbarkeit, bei denen es gleichzeitig auch zu einer höheren Anzahl von Pausen pro Zeichen kommt, wirkt sich diese Erhöhung der Pausenlängen also entsprechend stärker aus.

Schreibpausen sind bei der Durchführung von Abschreibaufgaben in der Regel dadurch geprägt, dass ein Blickwechsel auf die Vorlage erfolgt und der nächste zu kopierende Teil enkodiert und in das Arbeitsgedächtnis übertragen wird. Die verringerten Pausenlängen bei

linguistisch besser kodierbaren Symbolsystemen sind also ein Indiz dafür, dass höhere linguistische Kodierbarkeit zu einer effizienteren Enkodierung führt. Diese geht nicht nur schneller vonstatten, sondern umfasst – wie die bisherigen Analysen zeigen – auch mehr Zeichen, die auf einmal übertragen werden können. Die Effekte, die die linguistische Kodierbarkeit auf die mittlere Länge der Pausen hat, sind jedoch wie gesagt vergleichsweise gering. Daraus folgt, dass die Auswirkungen auf die Variable „Pausenzeit pro Minute“ ebenfalls nicht sehr groß sind. Dies spricht dafür, dass die Schreibgeschwindigkeit pro Zeichen die maßgebliche Einflussgröße ist, die zu der beobachteten Erhöhung des Pausenzeitanteils pro Minute führt.

Der ebenfalls in allen Analysen signifikante Haupteffekt „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ weist deutlich höhere Effektstärken auf als der Haupteffekt „Symbolsystem“. Die Auswirkungen durch die Zweitaufgaben ziehen allerdings unterschiedliche Auswirkungen nach sich. Zum Einen zeigt sich ein erwartungsgemäßer Befund bei zentral-exekutiver Belastung, bei der es in beiden Klassenstufen zu einem verhältnismäßig starken Anstieg der durchschnittlichen Pausenlängen kommt. Dies lässt sich durch eine allgemeine Belastung der Aufmerksamkeitsressourcen erklären, die durch Interferenz bei der Enkodierung des abzuschreibenden Materials erzeugt wird. Dieser Effekt wirkt sich stärker in der zweiten Klassenstufe aus, wie die Effektgrößen in den entsprechenden geplanten Einzelvergleichen und der signifikante Interaktionseffekt zwischen den Faktoren „Klassenstufe“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ zeigen. Zum Anderen kommt es in der phonologischen Bedingung in beiden Klassenstufen unerwarteterweise zu einem signifikanten *Absinken* der mittleren Pausenlänge. Wie dieser Befund zustande kommt, ist anhand der dem Untersuchungsdesign zugrunde liegenden Überlegungen schwer zu erklären. Man kann darüber spekulieren, dass dieser in beiden Klassenstufen stabile Befund möglicherweise in Eigenheiten der artikulatorischen Suppressionsaufgabe begründet liegt. Zu einer genaueren Klärung wären allerdings zusätzliche Untersuchungen notwendig, bei denen mehrere Zweitaufgaben in ihren Auswirkungen auf diese Variable verglichen werden. Die visuell-räumliche Zweitaufgabe hat – wie in allen vorhergehenden Analysen auch – keine Auswirkungen auf die analysierte Variable.

Der signifikante Effekt „Klassenstufe“ spricht klar für die Hypothesen. Die höhere Effizienz beim Abschreiben der älteren Kinder der vierten Klassenstufe, die sich auch in allen anderen analysierten Variablen gezeigt hat, äußert sich auch in signifikant kürzeren mittleren Pausenlängen. Dies deutet darauf hin, dass die älteren Kinder auf automatisiertere kognitive Routinen beim Enkodieren der Vorlage zurückgreifen können. Betroffen könnten hiervon das

Wiederauffinden der aktuell abzuschreibenden Stelle beim Blickwechsel auf die Vorlage sein, aber auch die visuell-räumliche, phonologische und semantische Enkodierung der einzelnen Zeichen beziehungsweise Wörter.

Mit Ausnahme des gegenläufigen Befundes bei phonologischer Arbeitsgedächtnisbelastung zeigt sich insgesamt, dass auch die mittlere Pausenlänge ein relevanter Indikator für Abschreibeffizienz ist. Somit zeichnen die Analysen der in den Abschnitten 7.1 bis 7.7 untersuchten Variablen ein Bild, welches in seiner Gesamtheit für die Hypothesen spricht. Es ergibt sich eine Reihe von Hinweisen, die für das Vorliegen einer Strategie sprechen, bei der die linguistische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials genutzt wird, um effizienter abzuschreiben. Außerdem zeigt sich, dass zwar die phonologische und die zentral-exekutive Komponente des menschlichen Arbeitsgedächtnisses eine wichtige Rolle für die Effizienz beim Abschreiben spielt, für die visuell-räumliche Komponente konnte entgegen den Erwartungen bei keiner der Analysen ein entscheidender Einfluss gefunden werden. Um die Rolle der einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten aus einer weiteren Perspektive zu beleuchten, werden nun korrelative Befunde mit den ebenfalls erhobenen Spannenmaßen berichtet und diskutiert.

7.8. Korrelative Zusammenhangsmuster mit Arbeitsgedächtnismaßen

Nachfolgend werden korrelative Befunde zwischen den drei erhobenen Arbeitsgedächtnisspannenmaßen (Listening-span-Aufgabe, Corsi-Block-Aufgabe, Wortspanne) und den untersuchten Schreibprozessvariablen sowie der Produktvariable „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ berichtet. Innerhalb des $2 \times 4 \times 4$ -Designs ergeben sich bei sechs Schreibprozessvariablen und drei Arbeitsgedächtnisspannenmaßen, die jeweils einzeln miteinander korreliert werden, nicht weniger als 576 einzelne Korrelationskoeffizienten. Statt der Einzelaufstellung dieser großen Menge bivariater Korrelationen (für eine komplette Aufstellung der einzelnen numerischen Werte siehe Anhang A2.10) wird aus Übersichtsgründen in Tabelle 4 und Tabelle 5 eine kompakte Übersicht über die *Bedingungen* gegeben, bei denen sich innerhalb des Designs signifikante Korrelationen ergeben.

Tabelle 4. Überblick über die Bedingungen, in denen in der vierten Klassenstufe innerhalb des 4×4 -Designs signifikante Korrelationen zwischen den drei erhobenen Spannenmaßen und ausgewählten Schreibprozessvariablen bestehen.

Variablen	Text			Ziffernfolgen		
	Listening Span	Corsi Block	Wortspanne	Listening Span	Corsi Block	Wortspanne
Netto-Zeichen pro Minute					K,P,V,Z(+)	
Pausen pro Zeichen	K,P,V(-)	V(-)	V(-)		K,P,Z(-)	
Anzahl Zeichen zwischen Pausen	P,V(+)	V(+)	V(+)	P,Z(+)	P,Z(+)	
Pausenzeit pro Minute	K,V,Z(-)					
mittlere Schreibzeit pro Zeichen			K,Z(+)		Z(-)	K,V(+)
mittlere Pausenlänge			P(+)			K,P(+)
	Konsonantenreihen			geometrische Objekte		
Netto-Zeichen pro Minute		K(+)			Z(+)	
Pausen pro Zeichen	K,P,V,Z(-)	K,P,V,Z(-)				
Anzahl Zeichen zwischen Pausen	K,P,V,Z(+)	K,P,Z(+)	K(+)			
Pausenzeit pro Minute	K,P,Z(-)			Z(-)		
mittlere Schreibzeit pro Zeichen				P(+)		K(+)
mittlere Pausenlänge						

Bemerkung: Die Buchstabenkürzel stehen für Bedingungen des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“, bei denen signifikante Korrelationen aufgetreten sind. Fett gedruckte Kürzel stehen für Korrelationen $> .30$.

K = Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung; P = phonologische Belastung; V = visuell-räumliche Belastung; Z = zentral-exekutive Belastung.

+ positiver Zusammenhang.

- negativer Zusammenhang.

Die beiden Tabellen zeigen getrennt für beide Klassenstufen, wie häufig signifikante Zusammenhänge zwischen Schreibprozessvariablen und Spannenmaßen innerhalb der Bedingungen des 4×4 -Designs auftreten. Auf einer globalen Ebene zeigt sich, dass es in allen Bedingungskonstellationen zu signifikanten Korrelationen kommt, wenn auch unterschiedlich häufig. Die Zusammenhänge weisen zumeist Richtungen auf, bei denen eine hohe Arbeitsgedächtniskapazität (repräsentiert durch hohe Werte bei Arbeitsgedächtnisspannenaufgaben) mit Werten auf Seiten des Schreibprozesses einhergeht, die mit einer höheren Abschreibeffizienz assoziiert sind (z. B. einer geringeren Anzahl von Pausen pro Zeichen). Dies unterstreicht nochmals die Wichtigkeit, die dem Arbeitsgedächtnis beim Abschreiben zukommt. Im Folgenden werden Befunde diskutiert, die aufgrund auffälliger Häufungen von signifikanten Korrelationen in bestimmten Bedingungen herausstechen.

Tabelle 5: Überblick über die Bedingungen, in denen in der zweiten Klassenstufe innerhalb des 4×4 -Designs signifikante Korrelationen zwischen den drei erhobenen Spannenmaßen und ausgewählten Schreibprozessvariablen bestehen.

Variablen	Text			Ziffernfolgen		
	Listening Span	Corsi Block	Wortspanne	Listening Span	Corsi Block	Wortspanne
Netto-Zeichen pro Minute					V(-)	
Pausen pro Zeichen			P(-)			
Anzahl Zeichen zwischen Pausen			P(+)			
Pausenzeit pro Minute	P,Z(-)	V(-)	P(-)	K,P,Z(-)	P(-)	K,P,V(-)
mittlere Schreibzeit pro Zeichen					K,Z(+)	
mittlere Pausenlänge	P,Z(-)			P(-)		V(-)
	Konsonantenreihen			geometrische Objekte		
Netto-Zeichen pro Minute						
Pausen pro Zeichen			V(-)			
Anzahl Zeichen zwischen Pausen		Z(-)	P,V(+)	P(+)		
Pausenzeit pro Minute	P(-)			K,P(-)	P(-)	
mittlere Schreibzeit pro Zeichen				P(+)	P,V(+)	
mittlere Pausenlänge	P(-)					

Bemerkung: Die Buchstabenkürzel stehen für Bedingungen des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“, bei denen signifikante Korrelationen aufgetreten sind. Fett gedruckte Kürzel stehen für Korrelationen $> .30$.

K = Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung; P = phonologische Belastung; V = visuell-räumliche Belastung; Z = zentral-exekutive Belastung.

+ positiver Zusammenhang.

- negativer Zusammenhang.

Beim Vergleich der Tabellen der beiden Klassenstufen ist auffällig, dass signifikante Zusammenhänge sehr viel häufiger in der vierten Klassenstufe auftreten (53 signifikante Korrelationen) als in der 2. Klassenstufe (31 signifikante Korrelationen). Bei Viertklässlern scheinen somit ausgeprägtere Zusammenhänge zwischen effizientem Abschreiben und hoher Arbeitsgedächtniskapazität zu bestehen. Dies untermauert die Interpretation der varianzanalytischen Befunde, die auf eine höhere Befähigung der älteren Kinder bei der Nutzung einer arbeitsgedächtnisabhängigen Strategie für effizienteres Abschreiben hindeuten.

Während sich die Korrelationen zwischen Spannenmaßen und Schreibprozessvariablen in der zweiten Klasse eher unspezifisch über die verschiedenen Bedingungen des Designs zu verteilen scheinen, lassen sich in der *vierten Klassenstufe* Häufungen von signifikanten Korrelationen ausmachen, die zusätzliche Hinweise liefern. Es tritt eine Systematik auf, bei der innerhalb der einzelnen Symbolsystembedingungen Häufungen signifikanter Korrelationen zwischen Spannenmaßen und Schreibprozessvariablen über mehrere Arbeits-

gedächtnisbedingungen hinweg auftreten. Hierbei sind *alle drei Spannenmaße* betroffen, je nach Symbolsystem treten die Häufungen jedoch an unterschiedlichen Stellen auf.

- Bei der *Listening-span-Aufgabe* (als Indikator der Arbeitsgedächtniskapazität unter zentral-exekutiver Aufmerksamkeitsbelastung) ergeben sich in der Text- und der Konsonantenbedingung über die verschiedenen Arbeitsgedächtnisbedingungen hinweg gehäuft signifikante negative Korrelationen mit den Variablen „Pausen pro Zeichen“ und „Pausenzeit pro Minute“ sowie signifikante positive Korrelationen mit der Variable „Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen“. Höhere Arbeitsgedächtniskapazität bei gleichzeitiger Aufmerksamkeitsbelastung geht in diesen beiden Symbolsystem-Bedingungen also mit Ausprägungen von Variablen einher, die effizienteres Abschreiben widerspiegeln (geringere Anzahl von Pausen pro Zeichen, mehr abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen, geringerer Pausenzeitanteil).

In der Textbedingung könnten diese Zusammenhänge dadurch zustande kommen, dass die (mutmaßlich noch nicht vollständig automatisierte) Anwendung der Strategie, größere Chunks der abzuschreibenden Zeichen im Arbeitsgedächtnis zu halten, zu einer Belastung der zentralen Arbeitsgedächtnisressourcen führt. Bei Kindern, die über eine hohe Gedächtnisspanne unter Aufmerksamkeitsbelastung verfügen (*Listening-span-Aufgabe*), wirkt sich dies nicht so stark aus, und es kommt in der Folge zu weniger Pausen pro Zeichen, größeren Chunks zwischen zwei Pausen und einem geringeren Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“. Diese Erklärung ist für die Konsonantenbedingung nicht hinreichend, da die Strategie hier in wesentlich geringerem Maß zum Einsatz kommt. Um die hier aufgetretenen Korrelationen zu erklären, müssen zusätzlich die nachfolgend beschriebenen Korrelationsergebnisse im Zusammenhang mit der *Corsi-Block-Aufgabe* berücksichtigt werden.

- Bei der *Corsi-Block-Aufgabe* (als Indikator der visuell-räumlichen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses) kommt es in der Ziffern- und in der Konsonantenbedingung über alle Arbeitsgedächtnisbedingungen hinweg gehäuft zu signifikanten positiven Korrelationen mit den Variablen „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ und „Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen“ sowie zu positiven Korrelationen mit der Variable „Pausen pro Zeichen“. Eine höhere visuell-räumliche Gedächtnisspanne hängt in diesen beiden Symbolsystem-Bedingungen also mit Variablenausprägungen des Schreibprozesses beziehungsweise -produkts zusammen, die eine höhere Abschreibeffizienz indizieren (mehr abgeschriebene Zeichen pro Minute, geringere

Anzahl von Pausen pro Zeichen, mehr abgeschriebene Zeichen zwischen zwei Pausen). Allgemein spricht dies dafür, dass die visuell-räumliche Komponente des Arbeitsgedächtnisses doch eine wichtige Rolle für das Abschreiben spielt, auch wenn sich in den varianzanalytischen Untersuchungen keinerlei Hinweise auf eine Beteiligung des visuell-räumlichen Notizblocks für effizientes Abschreiben finden lassen.

Die gefundenen Zusammenhänge deuten darauf hin, dass Viertklässler sich in der Ziffern- und in der Konsonantenbedingung aufgrund geringer ausgeprägter linguistischer Kodierbarkeit vornehmlich auf die visuell-räumliche Enkodierung der graphischen Gestalt der Zeichen verlassen. Probanden mit einer höheren visuell-räumlichen Spanne haben hierbei möglicherweise einen Vorteil, der in der Folge zu größeren Chunks im Arbeitsgedächtnis und weniger Pausen pro Zeichen führt.

Die Zeichenketten der Konsonantenbedingung unterscheiden sich von der Ziffernbedingung dadurch, dass sie nahezu bar jeglichen Bedeutungsgehaltes sind. Während in der Ziffernbedingung die Annahme naheliegt, dass phonologische und semantische Kodierungsprozesse sich unterstützend bei der Enkodierung der abzuschreibenden Zeichen auswirken, dürften solche Prozesse in der Konsonantenbedingung kaum zum Tragen kommen. Dies könnte dazu führen, dass in der Konsonantenbedingung mehr zentrale Aufmerksamkeitsressourcen bei der Enkodierung gebunden werden. Dadurch ließen sich die weiter oben berichteten signifikanten Zusammenhänge mit der komplexen Listening-span-Aufgabe erklären.

- Die Befundlage, die sich bei den Zusammenhängen der *Wortspanne* (als Indikator der phonologischen Kapazität des Arbeitsgedächtnisses) mit den Schreibprozessvariablen ergibt, lässt sich weniger klar interpretieren. Hier ist auffällig, dass sich in der Text- und der Ziffernbedingung mehrfach signifikante positive Korrelationen zwischen der Wortspanne und den Variablen „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ sowie „mittlere Pausenlänge“ ergeben. Dies bedeutet, dass mit einer höheren Gedächtnisspanne für verbales Material eine *langsamere* Schreibgeschwindigkeit und *längere Pausen* einhergehen. Darüber, wie es zu diesem Zusammenhang kommt, lassen sich lediglich Vermutungen anstellen. Man kann beispielsweise spekulieren, dass eine höhere Kapazität im phonologischen Arbeitsgedächtnis in den linguistisch besser kodierbaren Bedingungen dazu führt, dass die Kinder weniger „eilig“ schreiben, da die zwischengespeicherte Information weniger leicht zu zerfallen droht. Dies ist aber

lediglich eine post-hoc angestellte Vermutung, die einer näheren Untersuchung durch weitere Forschung bedürfte.

Abseits dieser Häufungen lässt sich festhalten, dass nahezu alle vorgefundenen signifikanten Korrelationen beider Klassenstufen eine Richtung aufweisen, bei der höhere Arbeitsgedächtniskapazität mit effizienterem Abschreiben einhergeht. In der zweiten Klassenstufe wirkt sich dieser Zusammenhang jedoch „diffuser“ aus als in der vierten Klassenstufe. Es ist auffällig, dass in der zweiten Klassenstufe signifikante Zusammenhänge zwischen Spannenmaßen und Schreibprozessvariablen in der großen Überzahl in Bedingungen mit zusätzlicher Belastung durch Zweitaufgaben auftreten. Die varianzanalytischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die Zweitklässler die linguistische Kodierbarkeit der Symbolsysteme noch nicht sehr gut für sich zu nutzen wissen. Dieser Entwicklungsunterschied zwischen den beiden Klassenstufen spiegelt sich auch in den korrelativen Befunden wider, da die Zusammenhänge sich weniger gut im Lichte einer solchen Strategie interpretieren lassen. Das vorgefundene Befundmuster, nach dem Zusammenhänge zwischen den Schreibprozessvariablen und den Spannenmaßen vor allem bei einer zusätzlichen Arbeitsgedächtnisbelastung auftreten, deutet lediglich darauf hin, dass Kinder mit höherer Arbeitsgedächtniskapazität eine zusätzliche Arbeitsgedächtnisbelastung besser kompensieren können. Ähnliches gilt für die geometrische Objektbedingung, bei der eine linguistische Kodierbarkeit in beiden Klassenstufen nicht sinnvoll einsetzbar ist.

7.9. Korrelative Zusammenhangsmuster der Effizienzindikatoren

Abschließend erfolgt nun die Analyse der Zusammenhangsmuster der Interkorrelationen von allen in den Abschnitten 7.1 bis 7.7 varianzanalysierten Effizienzindikatoren. Hierbei stehen nicht die Veränderungen im Vordergrund, die sich durch Zweitaufgaben ergeben, weswegen nachfolgend nur die Interkorrelationen berichtet werden, die sich in der Kontrollbedingung ohne Zweitaufgabe in den unterschiedlichen Symbolsystem-Bedingungen ergeben. Nach dieser Reduktion fällt jedoch mit 140 Korrelationskoeffizienten immer noch eine große Anzahl einzelner Werte an. Aus diesem Grund wird in Tabelle 6 – ähnlich wie im vorhergehenden Abschnitt – eine kompakte Übersicht über die *Bedingungen* gegeben, bei denen sich innerhalb des Designs signifikante Korrelationen ergeben. Die numerischen Werte der einzelnen Korrelationen sind Anhang A2.11 zu entnehmen.

Tabelle 6. Überblick über die Bedingungen, in denen sich in den unterschiedlichen Symbolsystemen in der Kontrollbedingung ohne Arbeitsgedächtnisbelastung signifikante Korrelationen zwischen den Effizienzindikatoren ergeben.

Maß	Netto-Zeichen pro Minute	Pausen pro Zeichen	Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen	Pausen Wortgrenze in Prozent	Pausen Zeichengrenze in Prozent	Pausen innerhalb Zeichen in Prozent	Pausenzeit pro Minute	mittlere Schreibzeit pro Zeichen	mittlere Pausenlänge
Netto-Zeichen pro Minute	1	T,Z,K,G (-)	T,Z,K,G (+)	T,K,G (+)	K (-)	T,G (-)	Z,K,G (-)	<u>T,Z,K,G</u> (-)	<u>T,Z,K,G</u> (-)
Pausen pro Zeichen	<u>T,Z,K,G</u> (-)	1	<u>T,Z,K,G</u> (-)	<u>T,Z,K,G</u> (-)	<u>T,Z,K</u> (+)	T,G (+)	<u>T,Z,K,G</u> (+)		T,Z (-)
Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen	<u>T,Z,K,G</u> (+)	<u>T,Z,K,G</u> (-)	1	<u>T,Z,K,G</u> (+)	<u>T,Z,K</u> (-)	T,G (-)	<u>T,Z,K,G</u> (-)		T (+)
Pausen Wortgrenze in Prozent	<u>T,Z,K,G</u> (+)	<u>T,Z,K,G</u> (-)	<u>T,Z,K,G</u> (+)	1	<u>T,Z,K,G</u> (-)	T,G (-)	T,K,G (-)		Z (+)
Pausen Zeichengrenze in Prozent	T,Z,G (-)	<u>T,Z,G</u> (+)	<u>T,Z,G</u> (-)	<u>T,Z,K</u> (-)	1	<u>K,G</u> (-)	K (+)		Z (-)
Pausen innerhalb Zeichen in Prozent	T,K,G (-)	<u>K,G</u> (+)	T,K,G (-)	K,G (-)	<u>K,G</u> (-)	1	T (+)		
Pausenzeit pro Minute	T,Z,K (-)	<u>T,Z,K,G</u> (+)	<u>T,Z,K,G</u> (-)	<u>T,G</u> (-)	<u>T</u> (+)		1	T,Z,K,G (-)	Z,K,G (+)
mittlere Schreibzeit pro Zeichen	<u>T,Z,K,G</u> (-)	Z,K,G (+)	Z,K,G (-)	Z,K (-)	Z,G (+)	T,K,G (+)	T,Z,G (-)	1	Z,G (+)
mittlere Pausenlänge	<u>T,Z,K,G</u> (-)			G (-)		K (+)	<u>T,Z,K,G</u> (+)	T,K,G (+)	1

Bemerkung: Die Buchstabenkürzel stehen für die unterschiedlichen Symbolsystembedingungen, bei denen signifikante Korrelationen aufgetreten sind. Oberhalb der Diagonalen sind die Interkorrelationen für die vierte Klassenstufe ($n = 65$) und unterhalb für die zweite Klassenstufe ($n = 79$) dargestellt. Fett gedruckte Kürzel stehen für Korrelationen $> .30$; zusätzlich unterstrichene Kürzel für Korrelationen $> .60$.

T = Text; Z = Ziffernfolgen; K = Konsonantenreihen; G = geometrische Objekte.

+ positiver Zusammenhang.

- negativer Zusammenhang.

Tabelle 6 zeigt, dass sich in beiden Klassenstufen über alle vier Symbolsysteme verteilt eine große Anzahl hoher Korrelationen zwischen den Effizienzindikatoren finden lässt. Für eine übersichtliche Darstellung folgt nun eine gebündelte Darstellung mit folgender Gliederung. (1) Um die Abhängigkeit des Schreibprodukts von Prozessvariablen zu beleuchten, werden zunächst Korrelationen der Variable „abgeschriebene Zeichen pro Minute“ mit den übrigen Effizienzindikatoren behandelt. (2) Um das Abhängigkeitsgefüge der pausenbezogenen Variablen untereinander zu veranschaulichen, werden die Interkorrelationen der Variablen, die mit Schreibpausen assoziiert sind, gebündelt betrachtet. (3) Um den Zusammenhang von

Schreibpausen mit graphomotorischer Automatisiertheit näher zu betrachten, werden schließlich die Korrelationen der Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ mit den übrigen Effizienzindikatoren separat betrachtet.

Korrelationen mit dem Produktmaß „abgeschriebene Zeichen pro Minute“

Mit dem Produktmaß „abgeschriebene Netto-Zeichen pro Minute“ ergeben sich in beiden Klassenstufen hohe positive Zusammenhänge mit den Variablen „Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen“ und „Prozentanteil von Pausen an Wortgrenzen“ sowie hohe negative Zusammenhänge mit den Variablen „Pausen pro Zeichen“, „Pausenzeit pro Minute“, „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ und „mittlere Pausenlänge“. Effizientes Abschreiben, bei dem viele Zeichen in kurzer Zeit übertragen werden, ist in beiden Klassenstufen mit einem Abschreibeprozess assoziiert, bei dem (1) wenige Pausen auftreten, (2) kurze Pausen auftreten, (3) Pausen häufig an Wortgrenzen lokalisiert sind, (4) eine hohe Anzahl von Zeichen zwischen zwei Pausen resultiert, (5) die einzelnen Zeichen schnell niedergeschrieben werden und (6) nur ein geringer Anteil der zur Verfügung stehenden Zeit von Pausen eingenommen wird.

Bei den Korrelationen der abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute mit den Variablen „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“ und „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“ fallen jedoch klassenspezifische Unterschiede auf. Zwar hängen diese Korrelationen erwartungsgemäß negativ mit den abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute zusammen, allerdings überschreiten diese Zusammenhänge in der *vierten Klassenstufe* nur in wenigen Fällen die Signifikanzgrenze und sind zudem niedriger als in der zweiten Klasse. Bei *Zweitklässlern* dagegen kommt es gehäuft zu signifikanten Korrelationen der abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute sowohl mit den Prozentanteilen von Pausen an Zeichengrenzen als auch innerhalb von Zeichen. Bei den fortgeschritteneren *Viertklässlern* hängt die Abschreibeffizienz im Sinne einer hohen Anzahl abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute also kaum mit dem Auftreten von Pausenereignissen *unterhalb der Wortebene* zusammen. Bei *Zweitklässlern* dagegen steht – möglicherweise aufgrund entwicklungsbedingter größerer Unterschiede zwischen den einzelnen Kindern in der Nutzungseffizienz des Arbeitsgedächtnisses beziehungsweise der Automatisiertheit der Graphomotorik – auch die Variation von Pausenereignissen innerhalb von Wörtern und innerhalb von Zeichen mit den abgeschriebenen Netto-Zeichen pro Minute in einem (negativen) Zusammenhang.

Interkorrelationen pausenbezogener Variablen

Für die Betrachtung pausenbezogener Variablen werden die Interkorrelationen zwischen den Variablen „Pausen pro Zeichen“, „Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen“, „Prozentanteil Pausen an Wortgrenzen“, „Prozentanteil Pausen an Zeichengrenzen“, „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“, „Pausenzeit pro Minute“ sowie „mittlere Pausenlänge“ herangezogen. Hierbei kommt es über die verschiedenen Symbolsysteme hinweg in beiden Klassenstufen in vielen Fällen zu hohen signifikanten Zusammenhängen mit erwartungsgemäßer Richtung. Betrachtet man beispielsweise die Variable „Pausen pro Zeichen“, zeigt sich ein negativer Zusammenhang dieser Variable mit der Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen. Viele Pausen gehen also mit kleineren Chunks einher, die beim Abschreiben im Arbeitsgedächtnis zwischengespeichert werden. Dass die linguistische Kodierbarkeit hierbei eine wichtige Rolle spielt, zeigt sich dadurch, dass negative Zusammenhänge der Variable „Pausen pro Zeichen“ mit dem Prozentanteil von Pausen an Wortgrenzen und positive Zusammenhänge mit den Prozentanteilen von Pausen an Zeichengrenzen sowie innerhalb von Zeichen bestehen. Passend dazu finden sich genau umgekehrte Zusammenhänge für die Variable „Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen“, bei der positive Zusammenhänge mit dem Prozentanteil von Pausen an Wortgrenzen und negative Zusammenhänge mit den Prozentanteilen von Pausen an Zeichengrenzen sowie innerhalb von Zeichen bestehen.

Mit Blick auf die Prozentanteile von Pausen an verschiedenen Auftretensorten zeigen sich ebenfalls durchgängig erwartungskonforme Zusammenhänge. Eine Auffälligkeit besteht allerdings bei der Variable „Prozentanteil Pausen innerhalb von Zeichen“, bei der für die Ziffernbedingung keinerlei signifikante Korrelationen mit den übrigen pausenbezogenen Variablen zu finden sind, während in der geometrischen Objektbedingung bei allen Variablen signifikante Zusammenhänge auftreten. Die Ursache hierfür liegt mutmaßlich in der hohen Überlerntheit beim Schreiben der Ziffernfolgen (einem Symbolsystem, das aus nur zehn Einzelzeichen besteht) beziehungsweise in der Ungeübtheit beim Schreiben der geometrischen Objekte. Zwischen den prozentualen Anteilen von Pausen an den verschiedenen Auftretensorten *untereinander* zeigen sich durchgehend negative Zusammenhänge, was die unmittelbare gegenseitige Abhängigkeit dieser drei Variablen widerspiegelt.

Der Zeitindikator „Pausenzeit pro Minute“ hängt in beiden Klassenstufen in nahezu allen Bedingungen mit den Variablen „Pausen pro Zeichen“, „Anzahl Zeichen zwischen zwei

Pausen“ und „mittlere Pausenlänge“ zusammen. Dabei zeigt sich, dass die Pausenzeit höher ausfällt, wenn viele Pausen pro Zeichen auftreten (positiver Zusammenhang), lange Pausen entstehen (positiver Zusammenhang) und wenn wenige Zeichen zwischen zwei Pausen abgeschrieben werden (negativer Zusammenhang). Weniger häufig finden sich signifikante Zusammenhänge zwischen der Pausenzeit pro Minute und den Prozentanteilen von Pausen an den unterschiedlichen Auftretensorten, wobei die Richtung der signifikanten Zusammenhänge erwartungsgemäß ausfällt: In beiden Klassenstufen bestehen negative Zusammenhänge mit Pausen an Wortgrenzen und positive Zusammenhänge mit Pausen an Zeichengrenzen und innerhalb von Zeichen.

Mit der mittleren Pausenlänge ergeben sich über die Symbolsysteme hinweg gehäuft signifikante Korrelationen mit der Pausenzeit pro Minute, die bereits diskutiert wurden. Mit den übrigen pausenbezogenen Variablen ergeben sich nur im Einzelfall (unspezifisch über die unterschiedlichen Symbolsysteme verteilte) Korrelationen. Interessant ist dabei jedoch, dass in der Textbedingung der vierten Klassenstufe die mittlere Pausenlänge entgegen den Erwartungen mit einer *größeren* Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen sowie mit *weniger* Pausen pro Zeichen einhergeht. Der Grund hierfür könnte darin liegen, dass es in der Textbedingung länger dauert, größere Chunks zu enkodieren. Ähnlich verhält es sich in der Ziffernbedingung der vierten Klassenstufe, bei der – in der Richtung ebenfalls entgegen den Erwartungen – längere Pausen mit *mehr* Pausen an Wortgrenzen, *weniger* Pausen an Zeichengrenzen sowie *weniger* Pausen pro Zeichen einhergehen. Werden komplette Zahlengruppen enkodiert, kommt es auch hier zu längeren Pausen, während verstärktes Enkodieren von Zahlen(-gruppen) „unterhalb der Wortebene“ kürzere Pausen nach sich zieht.

Korrelationen mit der Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“

Bei den Korrelationen der Variable „mittlere Schreibzeit pro Zeichen“ ergeben sich zwischen den beiden Klassenstufen interessante Unterschiede in den Korrelationsmustern. Einerseits finden sich in beiden Klassenstufen erwartungsgemäß negative Zusammenhänge mit der Pausenzeit pro Minute und positive Zusammenhänge mit der mittleren Pausenlänge. Andererseits variiert die mittlere Schreibzeit in der vierten Klasse unabhängig von den übrigen pausenbezogenen Variablen, während sich in der zweiten Klasse substantielle Zusammenhänge mit den Variablen „Pausen pro Zeichen“, „Anzahl Zeichen zwischen zwei Pausen“ sowie mit den prozentualen Anteilen von Pausen an allen drei Auftretensorten finden lassen. Die Richtungen dieser Zusammenhänge in der zweiten Klasse sind alle so beschaffen,

dass eine erhöhte Schreibzeit mit ungünstigeren Ausprägungen auf den betroffenen Effizienzindikatoren einhergeht. Dass sich diese Zusammenhänge nur in der zweiten Klasse zeigen lassen, könnte daraus resultieren, dass mangelnde graphomotorische Geübtheit (indiziert durch hohe Schreibzeit pro Zeichen) das Arbeitsgedächtnis belastet und sich störend auf die sich gerade entwickelnde strategische Nutzung der linguistischen Kodierbarkeit für effizientere Chunking-Prozesse auswirkt.

Insgesamt zeichnen die Interkorrelationen nach, wie die erhobenen Indikatoren im Sinne effizienten Abschreibens zusammenspielen, und auch, auf welche Weise einzelne Variablen kompensatorisch wirken können, wenn bestimmte Defizite auftreten (z. B. Ausgleich starker Pausenneigung durch schnelle Ausführungsgeschwindigkeit). Zusammen mit den varianz-analytischen Ergebnissen zeigt sich, welche Form das Variablenprofil bei hoher Abschreibeffizienz annehmen sollte. In der nun anschließenden allgemeinen Diskussion wird die Frage nach der Entstehung hoher Abschreibeffizienz sowie zugehöriger Strategien zur besseren Nutzung der Arbeitsgedächtnisressourcen integriert diskutiert.

8. Allgemeine Diskussion

Nachfolgend wird zunächst anhand der Symbolsystembedingungen diskutiert, wie maximal effizientes Abschreiben sich über die hier verwendeten Variablen abbildet, welche Erkenntnisse sich über die Rolle der einzelnen Arbeitsgedächtniskomponenten aus den Arbeitsgedächtnisbedingungen ableiten lassen und was dies für die Entwicklung von Abschreibstrategien in der Grundschule bedeutet. Abgeschlossen wird das Kapitel durch eine Einordnung der verwendeten Methode zur Erfassung des Schreibprozesses und eine Ableitung allgemeiner Empfehlungen für die Methodenwahl zukünftiger empirischer Untersuchungen.

8.1. Rolle der linguistischen Kodierbarkeit der Vorlagen

Das vorliegende Ergebnisprofil stützt die Annahme, dass es bei Vorlagen mit hoher linguistischer Kodierbarkeit zu effizienterem Abschreiben kommt. Bringt man die Ergebnisse der verschiedenen Schreibprozessvariablen jeweils anhand des Faktors „Symbolsystem“ in eine Rangreihe, ergibt sich in fast allen Fällen eine Anordnung, die man erhält, wenn man die Symbolsysteme entlang des Grades ihrer linguistischen Kodierbarkeit anordnet. Dabei fallen die jeweiligen Werte im Sinne höherer Abschreibeffizienz umso günstiger aus, je höher die

linguistische Kodierbarkeit ausgeprägt ist. Die nachfolgende Diskussion der einzelnen Symbolsysteme ist in der Reihenfolge des Grads ihrer linguistischen Kodierbarkeit gegliedert.

8.1.1. Text

Wie der Zielzustand einer Entwicklung hin zu effizientem Abschreiben aussehen könnte, lässt sich am besten anhand der *Textbedingung in der vierten Klassenstufe* demonstrieren. Hier zeigt sich, dass den Viertklässlern bereits ein gewisser Grad an Expertise beim Abschreiben zueigen ist. Im Vergleich zu den übrigen Symbolsystemen weisen beim Abschreiben von Text *alle* erhobenen prozess- und produktbezogenen Variablen die günstigsten Werte auf.

Effizientes Abschreiben von Text zeichnet sich bei den Viertklässlern auf der Produktseite dadurch aus, dass viele Zeichen pro Minute abgeschrieben werden können. Die älteren Kinder nutzen beim Abschreiben von Text die limitierten Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses besonders effizient, so dass eine große Anzahl von Zeichen zwischen zwei Pausenereignissen übertragen werden kann. Die linguistische Kodierbarkeit scheint dabei eine wichtige Rolle für die Bildung größerer Chunks im Arbeitsgedächtnis zu spielen, denn beim Abschreiben von Text treten bei Viertklässlern Schreibpausen fast ausschließlich zwischen Wörtern auf. Dies zeigt, dass Viertklässler dazu übergehen, komplette Wörter statt einzelner Schriftzeichen im Arbeitsgedächtnis zwischenzuspeichern, so dass ganze und zum Teil auch mehrere Wörter während eines einzelnen Arbeitsgangs übertragen werden können. Außerdem ist das Abschreiben von Text in der vierten Klasse mit einer schnellen Schreibgeschwindigkeit und geringerer Pausenneigung gekoppelt, so dass nur ein kleiner Zeitanteil der Bearbeitungszeit von Schreibpausen eingenommen wird, während der größere Teil der Bearbeitungszeit für die Ausführung von Schreibhandlungen genutzt werden kann.

Beim Abschreiben von Text in der zweiten Klassenstufe ergibt sich ein Ergebnisprofil, welches dem der vierten Klasse sehr ähnlich ist. In der Textbedingung treten auch hier die günstigsten Werte im Sinne höherer Abschreibeffizienz auf. Im Vergleich zu den übrigen Symbolsystem-Bedingungen sind die Unterschiede aber deutlich geringer ausgeprägt als in der vierten Klassenstufe. Dies deutet auf einen Entwicklungsunterschied zwischen den beiden Klassenstufen hin, der etwas später in Abschnitt 8.3 noch intensiver verfolgt wird.

Allgemein zeigt sich beim Abschreiben von Text also ein Ergebnismuster, bei dem sich alle Variablen in der vorhergesagten Richtung von den übrigen Symbolsystemen unterscheiden. Eine zentrale Voraussetzung hierfür scheint die strategische Nutzung der hohen linguistischen Kodierbarkeit des abzuschreibenden Textes zu sein. Es ist anzunehmen, dass sich hohe

linguistische Kodierbarkeit sowohl günstig auf Enkodierungsprozesse (Verarbeitung über die phonologische und lexikalische Route) als auch auf die nachfolgende Zwischenspeicherung im Arbeitsgedächtnis auswirkt.

8.1.2. Ziffernfolgen

Beim Abschreiben von Ziffernfolgen zeigen sich trotz verhältnismäßig hoher linguistischer Kodierbarkeit und vieler abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute deutlich weniger effiziente Ausprägungen bei den untersuchten Schreibprozessvariablen. Die Pausenneigung pro Zeichen ist in dieser Bedingung deutlich höher als in der Textbedingung, und es kommt auch zu einer deutlichen Reduktion der Menge an Zeichen, die während eines einzelnen Arbeitsgangs im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können. Dies deutet darauf hin, dass die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses beim Abschreiben von Ziffern weniger effizient genutzt werden. Den Kindern scheint die Bildung von Chunks unter Zuhilfenahme der linguistischen Kodierbarkeit deutlich schwerer zu fallen, denn der prozentuale Anteil von Pausen an Zeichengrenzen verändert sich deutlich zu Lasten des Anteils von Pausen an Wortgrenzen. Ein Grund hierfür könnte sein, dass es den Kindern sowohl schwerfällt hochstellige Zahlen mit Bedeutung zu verstehen als auch diese auszusprechen. Zusätzlich könnte auch eine Rolle gespielt haben, dass es sich bei Ziffernfolgen um ein Symbolsystem handelt, welches mit zehn aus verhältnismäßig wenig Einzelzeichen besteht. Dies könnte dazu geführt haben, dass die Ziffernfolgen untereinander im Vergleich zur Textbedingung als schwerer unterscheidbar empfunden werden, was wiederum zu einer stärkeren Interferenzneigung bei der Zwischenspeicherung im Arbeitsgedächtnis geführt haben könnte.

Beim Abschreiben der Ziffernfolgen scheint gleichzeitig aber auch eine besonders hohe Automatisierung der Graphomotorik vorzuliegen, denn im Vergleich zu den übrigen Symbolsystemen sind die Kinder in der Lage die einzelnen Zeichen besonders schnell niederzulegen (was mutmaßlich u. a. ebenfalls daran liegt, dass das Symbolsystem mit zehn Einzelzeichen nur einen geringen Umfang aufweist und die Ziffernzeichen den Kindern spätestens am Ende der zweiten Klasse wohlbekannt sind). Die schnelle Ausführungsgeschwindigkeit hat zwar einen günstigen Einfluss auf die Abschreibeffizienz, reicht aber nicht aus, um die Defizite bei der Nutzung des Arbeitsgedächtnisses, die sich angesichts der geringeren linguistischen Kodierbarkeit ergeben, auszugleichen. In der Folge führt die schnelle Ausführungsgeschwindigkeit stattdessen dazu, dass ein vergleichsweise hoher Wert der Variable „Pausenzeit pro Minute“ resultiert. Die graphomotorische Ausführung kann beim

Abschreiben von ungewohntem Material zwar zu einem gewissen Grad kompensatorisch wirken, maximale Effizienz entsteht aber erst dann, wenn *alle* der hier gemessenen Schreibprozessvariablen eine günstige Ausprägung im Sinne effizienteren Abschreibens besitzen (siehe Textbedingung).

8.1.3. Konsonantenreihen

Das Abschreiben von Konsonantenreihen führt zu einem Ergebnismuster, das trotz der bekannten Schriftzeichen ungünstig im Sinne effizienten Abschreibens ausfällt. In beiden Klassenstufen nimmt diese Bedingung den dritten Platz bei der Menge abgeschriebener Netto-Zeichen pro Minute ein. Der Schreibprozess ist geprägt durch vergleichsweise viele Pausenereignisse pro Zeichen mit ähnlich langen Pausendauern wie bei den geometrischen Objekten, was insbesondere in der zweiten Klasse zu sehr hohen Werten der Variable „Pausenzeit pro Minute“ führt. Es zeigt sich, dass in der zweiten Klassenstufe Chunking-Prozesse kaum zum Tragen kommen, so dass nach annähernd jedem Zeichen ein Pausenereignis entsteht, während in der vierten Klasse immerhin noch etwa zwei Zeichen pro Arbeitsgang abgeschrieben werden können. Ähnlich wie in der Ziffernbedingung ist das Abschreiben von Konsonantenreihen überdies durch einen starken Überhang von Pausen an Zeichengrenzen geprägt, der zu Lasten des prozentualen Anteils von Pausen an Wortgrenzen geht. Bei der Schreibgeschwindigkeit nimmt die Konsonantenbedingung ebenfalls den dritten Platz ein, so dass trotz der bekannten Einzelzeichen nicht durch schnelle Ausführung beim Schreiben der einzelnen Zeichen gegengesteuert werden kann.

Dieses Ergebnisprofil beim Abschreiben von Konsonantenreihen spiegelt eine recht niedrige Effizienz beim Abschreiben wider. Vieles spricht dafür, dass die Unterschiede zu den linguistisch besser kodierbaren Symbolsystemen auf eingeschränkten Möglichkeiten zur Verwendung einer entsprechenden kognitiven Strategie beruhen. Die mangelnde Aussprechbarkeit und die Bedeutungslosigkeit der Konsonantenreihen führen in der Folge dazu, dass es kaum noch zu Chunking-Prozessen kommt, so dass das Arbeitsgedächtnis als zentraler Angelpunkt für effizientes Abschreiben nicht hinreichend genutzt werden kann. Zwar legt die verlangsamte Ausführungsgeschwindigkeit auch nahe, dass Erschwernisse auf graphomotorischer Ebene vorgelegen haben könnten (was möglicherweise dadurch zustande gekommen ist, dass viele der abzuschreibenden Buchstabenkombinationen in sinnvollem Text nicht vorkommen), die beobachteten Defizite können jedoch nicht einfach durch graphomotorische Probleme oder eine mangelnde graphische Repräsentation der

Schriftzeichen erklärt werden, da die Schriftzeichen den Kindern wohlbekannt sind und alle auch in der Textbedingung vorkommen. Insgesamt spricht also auch das Ergebnisprofil der Konsonantenreihen stark dafür, dass linguistische Kodierbarkeit ein wichtiger Ankerpunkt für Strategien zu effizienterem Abschreiben ist.

8.1.4. Geometrische Objekte

Die Bedingung, bei der sich bei beiden Klassenstufen das ungünstigste Ergebnismuster für effizientes Abschreiben ergibt, ist das Symbolsystem der geometrischen Objekte. In dieser Bedingung werden im Vergleich zu den übrigen drei Symbolsystemen die wenigsten Zeichen pro Minute abgeschrieben. Gleichzeitig ist der Schreibprozess durch eine äußerst langsame Ausführungsgeschwindigkeit geprägt, die in Relation zu den wenigen abgeschriebenen Zeichen mit einer sehr hohen Zahl an Pausen einhergeht, was letztlich dazu führt, dass nach jedem einzelnen Zeichen eine Pause entsteht; zusätzlich kommt es vermehrt zu Pausen, die innerhalb von Zeichen angesiedelt sind. Dies führt unter anderem dazu, dass die Gesamtpausendauer den größeren Anteil der Gesamtbearbeitungszeit einnimmt. Es gibt mindestens zwei mögliche Ursachen zur Erklärung dieses wenig effizienten Ergebnisprofils, die beide mit einer erhöhten Belastung des Arbeitsgedächtnisses assoziiert sind.

(1) Abgesehen von einer umständlichen verbalen Beschreibung der graphischen Gestalt der Zeichen (z. B. „Kreis mit Punkt in der Mitte“) besteht kaum eine Möglichkeit, die Zeichen linguistisch zu enkodieren. Somit ist es auch nicht möglich, eine phonologische oder semantische Verarbeitung der Zeichen für eine effizientere Ausnutzung des Arbeitsgedächtnisses zu nutzen. Es liegt nahe, dass stattdessen – ähnlich wie bei der Phase des logographischen Schreibens – die *graphische Gestalt* der einzelnen Symbole als visuell-räumliche Repräsentation (zwischen-)gespeichert und abgerufen werden muss. Da das Symbolsystem den Kindern im Vorfeld unbekannt war, liegt es nahe, dass während des Abschreibens der geometrischen Symbole keine robusten Gedächtnisspuren im Arbeitsbeziehungsweise Langzeitgedächtnis aufgebaut werden konnten. Dies könnte zusätzlich zu einer erhöhten Pausenneigung geführt haben.

(2) Die Befunde deuten auch auf Auswirkungen im *graphomotorischen Bereich* hin. Zurückzuführen ist dies in erster Linie auf die langsame Ausführungsgeschwindigkeit der einzelnen Zeichen. Aber auch das erhöhte Auftreten von Pausen innerhalb von Zeichen könnte zumindest zu Teilen durch eine graphomotorisch bedingte Belastung des Arbeitsgedächtnisses zustande gekommen sein. Das in Abschnitt 3 vorgestellte Prozessmodell

des Abschreibens nimmt an, dass mangelnde Automatisierung der Graphomotorik zu einer Belastung der zentral-exekutiven Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses führt und einer effizienten Nutzung des Arbeitsgedächtnisses zuwiderläuft. Die Automatisierung der Graphomotorik lässt sich somit als Grundvoraussetzung verstehen, ohne die ein reibungsloses Durchführen von Abschreibaufgaben nicht möglich ist. Dies wirkt sich beim Abschreiben geometrischer Symbole besonders stark aus. Das schlechte Abschneiden beider Klassenstufen in dieser Bedingung scheint also zusätzlich zu der mangelnden Anwendung kognitiver Strategien auch durch das Nichtvorhandensein basalerer Grundvoraussetzungen bedingt zu sein.

8.2. Rolle der Arbeitsgedächtniskomponenten

Der zweite zentrale Aspekt, der innerhalb des Designs getestet wurde, beschäftigt sich mit der Rolle der einzelnen Komponenten des Arbeitsgedächtnisses für das Abschreiben. Dazu wurde untersucht, wie sich eine zusätzliche Belastung der modalitätsspezifischen Arbeitsgedächtniskomponenten durch Zweitaufgaben beim Abschreiben der verschiedenen Symbolsysteme auswirkt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Vorliegen eines störenden Einflusses durch Zweitaufgaben Schreibprozessvariablen fast immer in der vorhergesagten Richtung beeinflusst werden. Eine Störung des Arbeitsgedächtnisses führt also nicht nur produktseitig dazu, dass weniger Zeichen in einer Minute abgeschrieben werden, sondern ist gleichzeitig auch gekoppelt mit einem Ergebnisprofil über die verschiedenen Schreibprozessvariablen hinweg, welches durchgängig mit einer verminderten Abschreibeffizienz assoziiert ist.

Innerhalb des in Abschnitt 3 vorgestellten Schreibprozessmodells des Abschreibens wird davon ausgegangen, dass alle drei Komponenten des menschlichen Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (2007) für die effiziente Durchführung einer Abschreibaufgabe vonnöten sind. Zu negativen Auswirkungen auf die Abschreibleistung kommt es jedoch nur, wenn die phonologische Schleife oder die zentrale Exekutive belastet wird, während sich *keine* negativen Auswirkungen auf den Schreibprozess beim Durchführen der visuell-räumlichen Zweitaufgabe finden lassen. Die korrelativen Befunde der Schreibprozessvariablen mit Arbeitsgedächtnis-Spannenmaßen legen andererseits nahe, dass das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis doch eine relevante Rolle bei der Durchführung von Abschreibaufgaben spielt. Um diese Befundlage aufzuarbeiten, werden zunächst Besonderheiten und Implikationen diskutiert, die im Zusammenhang mit den Auswirkungen der phonologischen

und der zentral-exekutiven Belastung auffallen. Danach wird in einem separaten Abschnitt auf mögliche Ursachen des überraschenden Ausbleibens eines negativen Effekts durch die visuell-räumliche Zweitaufgabe eingegangen.

8.2.1. Phonologische und zentral-exekutive Belastung

Die gefundenen störenden Auswirkungen der phonologischen und der zentral-exekutiven Zweitaufgabe zeigen, dass zumindest die phonologische und die zentral-exekutive Arbeitsgedächtniskomponente beim Abschreiben benötigt werden. In diesem Zusammenhang fallen die folgenden Hauptbefunde auf:

- (1) Betrachtet man die Symbolsysteme innerhalb der verschiedenen Analysen einzeln, zeigen sich zwei wiederkehrende Muster. Entweder haben zentral-exekutive *und* phonologische Belastung eine störende Auswirkung auf die analysierte Schreibprozessvariable, oder es kommt *nur* bei zentral-exekutiver Belastung zu einem Leistungseinbruch. (Die einzige Ausnahme von dieser Regel findet sich bei der Ausführungsgeschwindigkeit pro Zeichen. Hier tritt bei den vierten Klassen in der Textbedingung auch ein singulärer störender Einfluss durch phonologische Belastung auf.)
- (2) Die signifikanten Interaktionseffekte zwischen den Faktoren „Symbolsystem“ und „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ belegen, dass das Ausmaß der Interferenz durch phonologische und zentral-exekutive Belastung maßgeblich vom Grad der linguistischen Kodierbarkeit des jeweils abzuschreibenden Symbolsystems abhängt. Der störende Einfluss durch zentral-exekutive oder phonologische Belastung fällt umso größer aus, je höher der Grad an linguistischer Kodierbarkeit ausgeprägt ist. Deutlich zeigt sich dieser Befund unter anderem bei den Analysen der Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen, den prozentualen Pausenanteilen an verschiedenen Auftretensorten und der Variable „Pausen pro Zeichen“.

Diese beiden Hauptbefunde zeigen zusammengefasst, dass es mit abnehmender linguistischer Kodierbarkeit auch zu einem abnehmenden störenden Einfluss zentral-exekutiver und phonologischer Arbeitsgedächtnisbelastung kommt. Die Abnahme der störenden Auswirkung fällt bei phonologischer Arbeitsgedächtnisbelastung jedoch deutlicher aus als bei zentral-exekutiver Belastung. Beim Abschreiben des linguistisch kaum kodierbaren Symbolsystems der geometrischen Objekte wirkt sich eine phonologische

Belastung bei den überprüften Variablen überhaupt nicht mehr negativ aus, während zentral-exekutive Belastung auch hier noch zu einer registrierbaren Störung führt.

Implikationen für das phonologische Arbeitsgedächtnis

Die soeben beschriebenen Ergebnismuster passen gut zu der Annahme, dass hohe phonologische und semantische Kodierbarkeit die Bildung größerer Chunks im phonologischen Arbeitsgedächtnis begünstigt. Chunking-Prozesse aufgrund linguistischer Kodierbarkeit können sich naturgemäß nur bei Symbolsystemen manifestieren, die auch eine hinreichende linguistische Kodierbarkeit aufweisen. Entsprechend zeigen sich im Vergleich zur Kontrollbedingung ohne Zweitaufgabe bei phonologischer Belastung die stärksten negativen Veränderungen in den Schreibprozessvariablen, wenn Text abgeschrieben wird. Bei linguistisch weniger gut kodierbaren Symbolsystemen (Ziffernfolgen, Konsonantenreihen) zeigen sich zwar in vielen Variablen auch negative Veränderungen, diese fallen aber deutlich schwächer aus. Bei geometrischen Objekten schließlich ist keinerlei negative Beeinflussung durch die phonologische Zweitaufgabe mehr auszumachen.

Das Ausbleiben eines störenden Einflusses phonologischer Arbeitsgedächtnisbelastung auf das Abschreiben geometrischer Objekte scheint darauf hinzuweisen, dass die phonologische Komponente des Arbeitsgedächtnisses nicht oder zumindest nur in sehr marginalem Ausmaß benötigt wird, wenn das abzuschreibende Material keine linguistische Kodierbarkeit aufweist. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass es in der geometrischen Objektbedingung *nach jedem einzelnen Zeichen* zu einem Pausenereignis kommt. Ein weiterer Anstieg von Pausenereignissen durch phonologische Arbeitsgedächtnisbelastung ist demnach nicht zu erwarten, da ein noch häufigeres Auftreten von Pausenereignissen automatisch zu einem verstärkten Auftreten von Pausen führen würde, die *innerhalb von Zeichen* auftreten. Ein solcher Befund ist aber eher bei graphomotorischen Defiziten und/oder einer mangelnden mentalen Repräsentation der graphischen Gestalt der Zeichen zu erwarten und weniger aufgrund eines Interferenzeffekts durch phonologische Arbeitsgedächtnisbelastung. Um die Rolle der phonologischen Schleife beim Abschreiben von linguistisch nicht kodierbarem Material noch genauer zu überprüfen, könnte man in zukünftigen Studien Personen untersuchen, die im Abschreiben der geometrischen Objekte so geübt sind, dass sie mehr als ein Einzelzeichen pro Arbeitsgang übertragen können (z. B. erwachsene Schreiber). Stört eine Belastung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses dann immer noch nicht, wäre dies ein

weiterer Nachweis, dass das phonologische Arbeitsgedächtnis beim Abschreiben von linguistisch nicht kodierbarem Material tatsächlich keine Rolle spielt.

Implikationen für die Rolle der zentralen Exekutive

Eine Belastung der zentralen Exekutive führt unabhängig von der untersuchten Schreibprozessvariablen und bei nahezu allen Symbolsystemen zu weniger effizientem Abschreiben. Im Gegensatz zur phonologischen Arbeitsgedächtnisbelastung wirkt sich die Störung der zentralen Exekutive auch in der geometrischen Objektbedingung aus. Dabei kommt es zu Auswirkungen auf fast alle Schreibprozessvariablen in beiden Klassenstufen. Auffällig ist jedoch, dass sich ein signifikanter Anstieg der mittleren Schreibzeit pro Zeichen nur in der zweiten Klassenstufe zeigen lässt, was dafür spricht, dass hier zumindest ein Teil der beobachteten Abnahme der Abschreibeffizienz auch durch mangelnde graphomotorische Automatisierung zustande gekommen ist. In der vierten Klassenstufe scheint dies nicht der Fall zu sein, was darauf hindeutet, dass die hier beobachteten negativen Auswirkungen zentral-exekutiver Belastung eher auf eine eingeschränkte Repräsentation der visuell-räumlichen Gestalt der Zeichen zurückzuführen ist.

Die in den übrigen drei Symbolsystemen beobachteten Auswirkungen scheinen wiederum eine andere Ursache zu haben. Hier sind es weniger graphomotorische Defizite oder eine mangelhafte mentale Repräsentation der graphischen Gestalt der abzuschreibenden Zeichen, die im Vordergrund stehen, als vielmehr kognitive Strategien zur besseren Nutzung des Arbeitsgedächtnisses. Angesichts der vorhandenen Ergebnismuster (z. B. Verringerung der Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen, Verringerung von Pausen zwischen größeren linguistischen Einheiten) liegt es nahe, dass die hier beobachteten Verringerungen der Abschreibeffizienz zumindest zum Teil auf einer Störung dieser Strategien beruhen.

Eine Belastung der zentralen Verarbeitungskomponente scheint angesichts dieser Ergebnisse also eine allgemeinere Auswirkung auf den Schreibprozess beim Abschreiben zu besitzen als die Belastung der phonologischen Schleife. Liegt eine zentral-exekutive Belastung vor, ist eine essentielle Komponente des Arbeitsgedächtnisses betroffen, von deren begrenzter Kapazität nahezu alle kognitiven Aktivitäten abhängen, so dass bei zusätzlicher Belastung der zentralen Exekutive durch eine Zweitaufgabe weniger Raum für die zugehörigen kognitiven Prozesse verbleibt. Angesichts der umfassenden Bedeutung der zentralen Exekutive kann also eine Vielzahl verschiedener kognitiver Prozesse durch zusätzliche zentral-exekutive Belastung betroffen sein. Es liegt nahe, dass die beobachteten störenden Auswirkungen

zentral-exekutiver Belastung durch Interferenzen zustande kommen, die für die *unterschiedlichen Symbolsysteme* jeweils *unterschiedliche mentale Prozesse* betreffen. Je nachdem, ob gerade Chunking-Prozesse, graphomotorische Defizite oder Probleme bei der graphischen Enkodierung vorherrschen, steht eine abnehmende Abschreibeffizienz in unterschiedlichem Zusammenhang mit der gleichzeitigen Durchführung der zentral-exekutiven Zweitaufgabe. Es liegt nahe, dass die aufmerksamkeitsbelastenden Prozesse der Zweitaufgabe bei linguistisch gut kodierbaren Bedingungen wie Text mit mentalen Prozessen zur Bildung größerer Chunks konkurrieren, während bei linguistisch schlecht kodierbaren Bedingungen wie geometrischen Objekten die Ansteuerung der Graphomotorik oder nicht automatisierte Enkodierungsprozesse der graphischen Gestalt der abzuschreibenden Symbole mit der Zweitaufgabe in Konflikt stehen.

Leider ist es anhand der vorliegenden Datenlage bei der letzteren Unterscheidung schwierig zu bestimmen, zu welchen Anteilen die beobachteten Leistungseinbrüche auf graphomotorischen Problemen oder einer mangelnden Repräsentation der graphischen Gestalt der Zeichen beruhen. Zur Klärung dieser Frage wären genauere Erkenntnisse zur Rolle des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses eine wertvolle Hilfe gewesen. Entgegen den Erwartungen hat die verwendete visuell-räumliche Zweitaufgabe jedoch zu keinen signifikanten Beeinträchtigungen beim Abschreiben geführt. Es lässt sich spekulieren, ob Ergebnismuster, die aus einer messbaren Störung durch eine visuell-räumliche Zweitaufgabe resultieren, relevante Rückschlüsse über die jeweilige Rolle nicht automatisierter Graphomotorik beziehungsweise graphischer Enkodierung der Zeichen erlauben würden. Wenn beispielsweise eine visuell-räumliche Zweitaufgabe in der geometrischen Objektbedingung zu einem verstärkten Auftreten von Pausen innerhalb von Zeichen führt, während die Ausführungsgeschwindigkeit keine Beeinträchtigung erfährt, wäre dies ein Indiz für verstärkte Probleme bei der graphischen Enkodierung der Zeichen. Implikationen, die sich im Zusammenhang mit der ausbleibenden visuell-räumlichen Störung und möglichen Problemen durch die Konstruktion der Zweitaufgaben ergeben, werden im nun folgenden Abschnitt 8.2.2 diskutiert.

8.2.2. Visuell-räumliche Belastung

Wie erwähnt, zeigt sich die in den Hypothesen angenommene störende Auswirkung durch eine visuell-räumliche Zweitaufgabe in den durchgeführten Analysen nicht. Ein möglicher Grund für diesen Befund könnte darin liegen, dass das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis

eine weitaus geringere Rolle für das Abschreiben spielt, als es im Vorfeld angenommen wurde. Die korrelativen Befunde im Zusammenhang mit der Corsi-Block-Aufgabe zeigen jedoch, dass es zu kurz greifen würde, aufgrund des nicht vorhandenen Interferenzeffekts den Schluss zu ziehen, dass das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis beim Abschreiben keine Relevanz besitzt. Es könnte auch sein, dass die hier verwendete Zweitaufgabe zu wenig Belastung erzeugt hat und der nicht vorhandene Effekt in der Beschaffenheit der verwendeten Zweitaufgabe begründet liegt. Angesichts dieser Überlegungen lohnt es sich, eine genauere Betrachtung der Aufgabenkonstruktion der verwendeten Zweitaufgaben vorzunehmen.

Nach Rummer (1996) können Zweitaufgaben auf den Dimensionen „peripher vs. zentral“, „kontinuierlich belastend vs. diskontinuierlich belastend“ sowie „global vs. lokal gemessen“ variieren. Idealerweise sollten Zweitaufgaben unterschiedlicher Modalitäten überdies parallel konstruiert sein (hierzu siehe auch Klauer & Zhao, 2004), so dass eine möglichst hohe Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Bedingungen besteht. Bei den hier verwendeten Zweitaufgaben ist diese Forderung bei der Dimension „global vs. lokal gemessen“ beispielsweise dadurch erfüllt, dass die Wirkung aller Zweitaufgabenbedingungen über aggregierte Werte in der Erstaufgabe erfasst wurde, so dass alle Zweitaufgaben in die Kategorie der globalen Messung fallen.

Auf der Dimension „kontinuierlich belastend vs. diskontinuierlich belastend“ ergeben sich jedoch Unterschiede zwischen den Zweitaufgaben. Bei der zentral-exekutiven Zweitaufgabe (Fußtippen auf tiefe Töne, Ignorieren hoher Töne) handelt es sich um eine Aufgabe, die durch den Umstand, dass immer wieder punktuell auf ein Tonsignal reagiert werden muss, unter die Kategorie der diskontinuierlich belastenden Zweitaufgaben einzusortieren ist. Bei der visuell-räumlichen und der phonologischen Zweitaufgabe handelt es sich dagegen um kontinuierlich belastende Aufgaben. Aber auch bei diesen beiden Aufgaben lässt sich ein Unterschied ausmachen: Bei der artikulatorischen Suppressionsaufgabe musste mit dem kontinuierlichen Sprechen von den Probanden eine durchgängige Zusatztätigkeit durchgeführt werden, deren Ausführung von außen beobachtbar ist und bei der empirisch gut belegt ist, dass diese tatsächlich zu einer Belastung des phonologischen Arbeitsgedächtnisses führt (Baddeley, 2007). Bei der visuell-räumlichen Zweitaufgabe muss dagegen ein visueller Reiz memoriert werden, dessen mentales Aufrechterhalten nicht von außen beobachtet werden kann. Eine Überprüfung, ob die Aufgabe bearbeitet wurde, wurde dadurch vorgenommen, dass unmittelbar nach dem Abschreiben eine Schlussabfrage vorgenommen wurde, bei der der ursprüngliche Reiz aus einer Anzahl von ähnlichen Distraktorreizen herausgesucht werden musste. Bei der Auswertung der Trefferraten wurden bei dieser Aufgabe zwar

zufriedenstellend hohe Werte registriert, inwieweit während des Abschreibens aber tatsächlich ein aktives Memorieren und damit eine *durchgängige (kontinuierliche)* Belastung des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses stattgefunden hat, lässt sich nicht mit letzter Sicherheit überprüfen.

Es liegt also im Bereich des Möglichen, dass die vorliegende Befundlage (kein Einfluss der visuell-räumlichen Zweitaufgabe auf Abschreibeffizienzindikatoren) aufgrund einer zu schwach belastenden Wirkung der visuell-räumlichen Zweitaufgabe zustande gekommen ist. Es könnte sein, dass das Memorieren eines einzelnen, visuell präsentierten Reizes keine oder keine hinreichende kognitive Belastung der visuell-räumlichen Komponente des Arbeitsgedächtnisses nach sich zieht. Um die Frage nach der tatsächlichen Rolle des visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses zu klären, ist weitere Forschung sinnvoll, bei der andere Zweitaufgaben zum Einsatz kommen. Eine passende Zweitaufgabe für das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis zu finden, ist allerdings eine anspruchsvolle Aufgabe. Bei der Konstruktion von Zweitaufgaben, die (1) selektiv und möglichst rein die einzelnen Arbeitsgedächtnis-komponenten belasten sollen, (2) parallel konstruiert sind und (3) während des Durchführens einer Abschreibaufgabe mit all ihren Besonderheiten durchgeführt werden sollen, sind die möglichen Freiheitsgrade bei der Konstruktion deutlichen Einschränkungen unterworfen.

Eine mögliche Lösung könnte in der Verwendung einer visuell-räumlichen Zweitaufgabe bestehen, bei der das Ignorieren von *dynamic visual noise* zum Einsatz kommt. (Parallel dazu könnte man als phonologische Zweitaufgabe das Ignorieren irrelevanten Sprachschalls heranziehen.) Um das Problem zu lösen, dass dabei *visuelle* Reize während einer Erstaufgabe präsentiert werden müssen, die maßgeblich dadurch geprägt ist, dass der Blick des Probanden ständig zwischen der Vorlage und dem abgeschriebenen Text hin und her wandert, könnte man mit digitalen Videobrillen arbeiten, die eine durchgängige Belastung gewährleisten würden, gleich wohin der Blick des Probanden fällt.

Trotz weiteren Forschungsbedarfs bieten die Ergebnisse des Faktors „Art der Arbeitsgedächtnisbelastung“ dennoch eine Reihe differenzierter Erkenntnisse über die Rolle der Arbeitsgedächtniskomponenten beim Abschreiben. Das verwendete Design und die zum Einsatz gekommenen Aufgaben bieten eine gute Basis für eine Weiterentwicklung und Verfeinerung, die dazu beitragen kann, die Teilprozesse und Strategien während des Abschreibens noch genauer zu identifizieren.

8.3. Entwicklungsrelevante Aspekte

Vergleicht man die Ergebnisse der zweiten und der vierten Klassenstufe, fällt auf, dass es bei den älteren Kindern eine merkliche Verbesserung der Abschreibeffizienz vorliegt. In der vierten Klassenstufe kommt es nicht nur zu weniger und kürzeren Pausen, sondern die Zeit, die für das Durchführen von Schreibhandlungen zur Verfügung steht, wird von den Viertklässlern obendrein effizienter genutzt, da die einzelnen Zeichen schneller niedergelegt werden. All dies trägt entscheidend dazu bei, dass Viertklässler bei allen Symbolsystemen mehr Zeichen in einer Minute abschreiben können als Zweitklässler.

In beiden Klassenstufen zeigt sich, dass höhere linguistische Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials zu einer höheren Abschreibeffizienz führt. Allerdings kommt diese Effizienzsteigerung in der vierten Klassenstufe weitaus stärker zum Tragen als in der zweiten Klassenstufe. Da Viertklässler obendrein mehr Einzelzeichen zwischen zwei Pausen übertragen, lässt sich die Effizienzsteigerung darauf zurückführen, dass die phonologische Speicherkomponente des Arbeitsgedächtnisses beim portionsweisen Abschreiben besser genutzt wird. Besonders stark fällt der „Sprung“ der Viertklässler bei der Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen beim Vergleich der Text- und der Ziffernbedingung aus. Viertklässler können die Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses also insbesondere beim Abschreiben von deutschem Text wesentlich besser nutzen als die Zweitklässler.

Dass es die *linguistische* Kodierbarkeit des abzuschreibenden Materials ist, welche die älteren Kinder hierbei zunehmend zu nutzen lernen, zeigt sich daran, dass Viertklässler bei zunehmender linguistischer Kodierbarkeit immer häufiger zwischen Wortgrenzen pausieren. Viertklässler orientieren sich beim Abschreiben an größeren linguistischen Einheiten, so dass die Enkodierung der Vorlagentexte in immer geringerem Maße anhand einzelner Zeichen(gruppen) erfolgt und sich zunehmend auf komplette *Wörter* zentriert. Dieses Ergebnis passt zu den Beobachtungen, die von Rieben et al. (1991) gemacht wurden, bei denen sich ebenfalls eine Entwicklung vom Abschreiben von Einzelzeichen über Zeichengruppen und Silben bis hin zum Abschreiben ganzer Wörter bei untersuchten Grundschulern vollzogen hat.

Die Differenzunterschiede zwischen Ziffernfolgen und Konsonantenreihen sowie zwischen Konsonantenreihen und geometrischen Objekten fallen im Vergleich der beiden Klassenstufen weniger deutlich aus als im gerade vorgestellten Vergleich zwischen Text und Ziffernfolgen. Dennoch wirkt sich auch hier die beobachtete graduelle Verringerung der

Abschreibeffizienz bei sinkender linguistischer Kodierbarkeit der Vorlage in der vierten Klassenstufe stärker aus. Dies führt dazu, dass sich die Werte der verschiedenen Schreibprozessvariablen zwischen beiden Klassenstufen mit abnehmender linguistischer Kodierbarkeit zunehmend annähern. Bei der geometrischen Objektbedingung fallen die beobachteten Unterschiede schließlich nur noch sehr gering aus. Bei der Anzahl abgeschriebener Zeichen zwischen zwei Pausen besteht zum Beispiel fast gar kein Unterschied mehr: In beiden Klassenstufen wird nur ein Einzelzeichen pro Arbeitsgang im Arbeitsgedächtnis gehalten. Allerdings kommt es beim Abschreiben geometrischer Objekte in der zweiten Klassenstufe gleichzeitig zu einem merklichen prozentualen Anstieg von Pausenereignissen, die *innerhalb von Zeichen* auftreten. Dies lässt darauf schließen, dass in der zweiten Klassenstufe zusätzlich auch verstärkte Probleme bei der Enkodierung der unbekannten graphischen Zeichen und mutmaßlich auch graphomotorische Defizite im Vordergrund stehen.

Insgesamt liefern die vorliegenden Ergebnisse klare Indizien dafür, dass sich zwischen der zweiten und der vierten Klasse die Fertigkeit ausbildet, die linguistische Kodierbarkeit des Vorlagematerials zu nutzen, um größere Zeichenmengen in einzelnen Arbeitsgängen zu verarbeiten. Viertklässler besitzen hierbei zwar bereits ein gewisses Maß an Expertise, die beobachtete Anzahl der übertragenen Zeichen zwischen zwei Pausen erscheint angesichts der Möglichkeiten, welche die Verarbeitung von Wortgruppen potenziell ermöglicht, aber noch steigerbar. Es ist davon auszugehen, dass Chunking-Prozesse im Arbeitsgedächtnis noch effizienter genutzt werden, wenn sich eine entsprechende Strategie noch weiter ausbildet. Gekoppelt ist eine weitere Strategieentwicklung sicher an die Entwicklung des Lesens. Angelehnt an das Dual-route-Modell (Coltheart, 2005) lässt sich annehmen, dass eine zunehmende Verarbeitung der abzuschreibenden Wörter über die lexikalische Route mit der Ausbildung zunehmend effizienterer Abschreibfertigkeiten zusammenhängt. Zur weiteren Klärung dieser Annahmen und der Frage, welche weiteren Faktoren zur Ausbildung effizienter Abschreibfertigkeiten eine Rolle spielen, ist weitere Forschung nötig, bei der nicht nur eine Modifikation des vorliegenden Designs sinnvoll ist, sondern bei der auch ältere Schüler und Erwachsene untersucht werden.

Einen möglichen Ansatzpunkt für eine Modifikation des Designs bietet die Frage nach dem Einfluss der phonologischen Kodierbarkeit. Eine Erweiterung des hier vorgestellten Designs könnte darin bestehen, eine fünfte Bedingung aufzunehmen, in der aussprechbare Nichtwörter abgeschrieben werden müssen. Es ist anzunehmen, dass phonologische Kodierbarkeit auch allein Chunking-Prozesse unterstützen sollte, so dass vermehrt größere linguistische Einheiten

und größere Zeichenmengen zwischen zwei Pausen abgeschrieben werden können. Eine weitere mögliche Erweiterung des vorliegenden Designs könnte darin bestehen, zu überprüfen, wie sich das Abschreiben verändert, wenn unterschiedlich komplexe Texte abgeschrieben werden sollen, bei denen beispielweise viele lange Wörter mit niedriger Wortfrequenz sowie ein komplexer Satzbau vorherrschen.

Ausblick für die schulische Praxis

Die gewonnenen Erkenntnisse weisen in erster Linie Implikationen für die kognitive Grundlagenforschung auf, bieten aber auch eine Basis für die Ableitung konkreter Interventionen im Grundschulunterricht. Angesichts der herausragenden Rolle des Abschreibens als basale Grundfertigkeit in der Schule (siehe Abschnitt 2.2.1) erscheint es sinnvoll, diese basale Aufgabe systematisch im Unterricht zu trainieren. Dabei bieten die gewonnenen Einblicke in Strategien zur besseren Nutzung der Arbeitsgedächtnisressourcen Ansatzpunkte für mögliche Konzeptionen eines Abschreibetrainings während des Grundschulunterrichts. Es ist zwar nicht Gegenstand dieser Arbeit, auf Basis der vorliegenden Erkenntnisse ein vollständiges Interventionsprogramm zu entwickeln, dennoch folgen abschließend ein paar kurze Überlegungen, in welche Richtung mögliche unterrichtliche Interventionen zielen könnten.

Welche Arten von Übungen kommen dabei in Frage? Aus den vorliegenden empirischen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass Abschreibübungen so beschaffen sein sollten, dass sie die Nutzung der linguistischen Kodierbarkeit des Vorlagentextes zunehmend fördern. In sehr frühen Klassenstufen könnte man beispielsweise mit Übungen zum Abschreiben einzelner Wörter beginnen. Hierbei könnte ein besonderes Augenmerk auf Strategien gelegt werden, die die phonologische Kodierbarkeit der abzuschreibenden Einheiten in den Vordergrund rückt. Beginnen könnte man mit dem portionsweisen Abschreiben von Bi- und Trigrammen (z. B. in Form von Silben), wobei die Aufmerksamkeit der Schüler gezielt auf die Aussprechbarkeit dieser Strukturen gelenkt werden sollte. In späteren Phasen könnte dazu übergegangen werden, zunehmend größere linguistische Einheiten abzuschreiben, bis schließlich das Ziel erreicht wird, Wörter als Ganzes zu enkodieren. Weiterführend könnten die Übungen dahingehend erweitert werden, dass mehrere Wörter eines längeren Vorlagentextes portionsweise vorgegeben werden (z. B. durch Aufdecken oder im Rahmen eines Laufdiktates), wobei es Aufgabe der Schüler ist, die jeweilige Portion in einem einzigen

Arbeitsgang zu übertragen. Hierbei liegt das Hauptaugenmerk darauf, systematisch zu üben, mehrere Wörter auf einmal innerhalb des Arbeitsgedächtnisses zwischenzuspeichern.

Es bietet es sich an, zunächst mit kleinen Portionen (zwei Wörter) und möglichst kurzen Wörtern zu beginnen und die Übungen im weiteren Verlauf der Zeit zunehmend anspruchsvoller zu gestalten, indem die Anzahl der zu merkenden Wörter vergrößert wird und/oder längere, mehrsilbige Wörter verwendet werden. Zusätzlich kann die Bedeutungshaltigkeit des Textes genutzt und das Augenmerk der Kinder auf sinnvoll zusammenhängende Teilabschnitte gelenkt werden (z. B. komplette Präpositionalausdrücke; vgl. z. B. Steinleitner, 2008), die in einem Arbeitsgang komplett im Arbeitsgedächtnis gehalten werden sollen.

Sinnvoll erscheint es auch, das Abschreiben von Ziffernzeichen zu üben. Dabei ist man nicht auf das Abschreiben einzelner Ziffern oder mehrstelliger Zahlen beschränkt, sondern es sind auch Übungen denkbar, bei denen längere mathematische Ausdrücke abgeschrieben werden, wie z. B. komplette Gleichungen einschließlich mathematischer Operatoren. Im Grundschulunterricht ließen sich solche Abschreibaufgaben gut mit dem Üben der Einmaleins-Reihen koppeln.

Allgemein lässt sich bei allen bisher vorgeschlagenen Übungen das Thema „Pausen“ explizit als Instruktionshilfe heranziehen. Beim Abschreiben längerer Texte könnten Schüler beispielsweise instruiert werden, bewusst darauf zu achten, möglichst wenig Pausen „zu machen“. Man könnte auch den Hinweis geben, (zu Beginn) auch etwas längere zu Pausen in Kauf zu nehmen, um sicherzustellen, dass der abzuschreibende Teil fest im Gedächtnis verankert ist.

Da effizientes Abschreiben auch von sehr basalen graphomotorischen Grundfertigkeiten abhängt, sollten auch Übungen integriert werden, die das schnelle, automatisierte Abschreiben fördern. Mit fortgeschritteneren Schülern könnte man beispielsweise Abschreibaufgaben „auf Zeit“ durchzuführen. Dabei könnte man den Schülern einzelne Teile eines abzuschreibenden Textes vorgeben (z. B. durch Aufdecken), wobei die Aufgabe darin besteht, den jeweiligen Teil möglichst schnell (aber leserlich und fehlerfrei) auf das Papier zu übertragen. Die Schüler könnten durch Heben der Hand anzeigen, dass sie den jeweils aktuellen Teil fertig abgeschrieben haben, so dass Schüler und Lehrkraft unmittelbares Feedback über die individuelle Geschwindigkeit erhalten. Um die Motivation zu steigern, könnte man im Rahmen solcher Aufgaben auch wettbewerbsartige Elemente integrieren, bei denen in regelmäßigen Abständen ein „Abschreib-Champion“ gekürt wird.

Eine Grundvoraussetzung für die Nachhaltigkeit solcher Abschreibübungen ist eine Regelmäßigkeit, die sich zumindest über den Verlauf der Grundschulzeit fortsetzen sollte. Wie die vorliegenden Ergebnisse zeigen, ist auch in der vierten Klasse noch ein erhebliches Verbesserungspotenzial bei der Ausbildung effizienter Abschreibfertigkeiten vorhanden. Abschreibübungen stellen also auch gegen Ende der Grundschulzeit noch eine sinnvolle Ergänzung des Curriculums dar.

Diese Vorschläge sollen die potenziellen Möglichkeiten, die sich aus den vorliegenden Erkenntnissen für mögliche unterrichtliche Interventionen ergeben, nur grob anreißen. Es ist zweifellos noch weitere Grundlagenforschung notwendig, um ein noch besseres Verständnis über die dem Abschreiben zugrunde liegenden Prozesse zu erhalten, aber es zeigt sich auch, dass die hier vorgelegten Erkenntnisse über die Rolle des Arbeitsgedächtnisses bereits mögliche systematische Vorgehensweisen bei der Konzeption eines gezielten Abschreibtrainings aufzeigen. Ein weiterer Ansatzpunkt zukünftiger Forschung besteht somit mittelfristig auch in der Implementation von Interventionsstudien, die nachweisen, dass die Entwicklung effizienter Abschreibfertigkeiten in der Grundschule wirkungsvoll unterstützt werden kann. Die vorliegenden Erkenntnisse zeigen in jedem Falle, dass das Abschreiben in der unterrichtlichen Praxis eine stärkere Beachtung verdient, als es gegenwärtig der Fall ist.

8.4. Einordnung methodologischer Aspekte

Abschließend erfolgt eine methodologische Einordnung. Es steht die Frage im Vordergrund, ob zur Erhebung handschriftlicher Schreibprozessdaten eher der Videographie oder dem Einsatz eines digitalen Schreibtablets der Vorzug gegeben werden sollte. Im Folgenden werden vier Aspekte beleuchtet, die bei der Entscheidung für eine der beiden Methoden aus einer allgemeinen Perspektive ausschlaggebend sind.

Zeitaufwand durch manuelle Kodierung

Ein Hauptargument, das zugunsten des Einsatzes eines Schreibtablets und gegen den Einsatz der hier verwendete Methode der videographischen Aufzeichnung ins Feld geführt werden kann, besteht in dem hohen Zeitaufwand, der bei der Auswertung des Schreibprozesses anhand videographierter Aufnahmen entsteht. Bei videographischen Aufnahmen zur Erhebung von Schreibprozessdaten ist es bereits bei der *Registrierung* der relevanten Ereignisse notwendig, eine manuelle Kodierung vornehmen zu lassen. Digitale Schreibtablets

bieten dagegen die Option zur automatischen Detektion relevanter Variablen (z. B. Schreibpausen; siehe Abschnitt 4.2.5) und können so zu einer großen Zeitersparnis führen.

Es existieren viele Fragestellungen innerhalb der empirischen Schreibforschung, für deren Beantwortung die Verwendung von Schreibprozessvariablen, bei denen eine Erhebung auf automatischem Wege möglich ist, vollkommen ausreicht. In solchen Fällen stellt die Wahl eines digitalen Schreibtablets sicherlich eine sinnvolle Maßnahme dar, da auf den Einsatz menschlicher Kodierer verzichtet und auf diese Weise Zeit und Geld eingespart werden kann. Wenn jedoch Variablen erhoben werden müssen, bei denen eine genauere Kodierung notwendig ist, die nicht auf automatischem Weg erfolgen kann, tritt dieser Vorteil in den Hintergrund. Ein Beispiel für eine solche Kodierung stellt die in der vorliegenden Untersuchung eingesetzte Kategorisierung von Schreibpausen nach deren Auftretensort dar (innerhalb Zeichen, an Zeichengrenzen, an Wortgrenzen). Eine automatische, fehlerfreie Kategorisierung anhand linguistischer Kriterien ist auch bei Verwendung digitaler Schreibprozessdaten nicht möglich, so dass der Einsatz menschlicher Kodierer nicht umgangen werden kann.

Für die Entscheidung der optimalen Methode ist also nicht nur die Frage nach den Variablen relevant, die für das jeweilige konkrete Forschungsvorhaben erhoben werden müssen, sondern auch der benötigte Auflösungsgrad für weitere Kategorien. Reicht es aus, sich auf ein Set automatisch erfassbarer Variablen wie Schreibpausen, die anhand eines Pen-up- oder anhand eines Bewegungskriteriums identifiziert werden, zu beschränken, spricht es aus ökonomischen Gründen dafür, ein digitales Schreibtablett zu verwenden. Gilt es jedoch Variablen zu erheben, die eine genauere Kategorisierung verlangen und bei denen manuelle Kodierungsvorgänge ohnehin nicht zu umgehen sind, erscheint es sinnvoll, weitere Überlegungen vor der Entscheidung heranzuziehen.

Erhebung zusätzlicher zeitbezogener Variablen

Hauptausschlaggebend für die Entscheidung für eine der beiden Methoden ist die Frage, ob neben Schreibprozessdaten weitere zeitbezogene Maße erhoben werden sollen. Ein Beispiel hierfür stellt die parallele Erhebung von Blickbewegungsdaten dar (siehe Abschnitt 4.2.5), welche in letzter Zeit innerhalb der empirischen Schreibforschung zunehmend zum Einsatz kommt. Für die parallele Erhebung und Synchronisierung von Tablett- und Blickbewegungsdaten existiert die Spezialsoftware „Eye and Pen“ (Alamargot et al., 2006). Für Forschungsvorhaben, in denen Blickbewegungs- mit handschriftlichen Schreib-

prozessdaten kombiniert erhoben werden sollen, bietet es sich also an, auf die Kombination von Schreibtablett, Eye-Tracker und „Eye and Pen“ zurückzugreifen.

Welche Methode ist aber geeigneter, wenn Daten miterhoben werden sollen, die im Zusammenhang mit Zweitaufgaben anfallen? Dies können unter anderem zusätzliche Reaktionen von Probanden sein (z. B. Fußtippen) oder auch auditive Reizereignisse, die parallel zum Abschreibprozess miterhoben werden (z. B. die Signaltöne in der zentral-exekutiven Zweitaufgabe). Zur gleichzeitigen zeitlich synchronen Aufzeichnung von Tonereignissen und Schreibtablett-Daten existieren nach Kenntnisstand des Autors bislang keine maßgeschneiderten Lösungen. Hier erscheint die Verwendung videographischer Aufnahmen aufgrund der automatisch vorliegenden zeitlich synchronisierten Aufzeichnung von Bild und Ton das Mittel der Wahl zu sein. Ähnliches gilt für die Erhebung relevanter Ereignisse, die auf visuellem Weg mittels weiterer Kameraperspektiven eingefangen werden sollen. Hierzu bieten sich Lösungen an, wie die zeitlich synchronisierte Zusammenführung mehrerer videographischer Kameraperspektiven mittels Split-Screen, welche als Grundlage für anschließende manuelle Kodierungsprozesse zur Erhebung der verschiedenen Variablen (z. B. in der Verhaltensbeobachtungssoftware „Interact“) dienen können.

Angesichts der Frage nach der Erhebung zusätzlicher zeitbezogener Variablen können also unterschiedliche Entscheidungen bei der Wahl der passenden Methode resultieren. Der große Vorteil videographischer Aufnahmen besteht im zeitlich synchronen Vorliegen von Bild- und Toninformation. Die zeitliche Synchronisierung der digitalen Rohdaten eines Schreibtablets stellt auf der anderen Seite zunächst einmal ein grundsätzliches Problem dar, das mittels entsprechender Programmierungs- und Entwicklungsarbeit zu lösen ist, sich aber immer wieder neu stellen kann, wenn neue Variablen eingebunden werden sollen. Die Entwicklung der Software „Eye and Pen“ kann als Beispiel dafür gelten, dass sehr gute und praktikable Lösungen aus einem entsprechenden Projekt resultieren können, zeigt aber gleichzeitig auch auf, wie viel Zeitaufwand die Entwicklung einer entsprechenden Lösung erfordert. In empirischen Erhebungssituationen, bei denen viele weitere Variablen synchron zu Schreibprozessdaten erhoben werden sollen, erscheint die Wahl einer videographischen Lösung sinnvoll.

Präzision der Messung

Ebenfalls bedacht werden sollte die Frage nach dem erwünschten zeitlichen Auflösungsgrad der Schreibprozessdaten. Bei der Verwendung von Tablettedaten können sehr hohe Sampling-

Raten erreicht werden (vgl. Abschnitt 4.2.5), die bei der Verwendung videographischer Aufnahmen nicht zur Verfügung stehen. Bei der vorliegenden Untersuchung wurden relativ große Zeitfenster von 480 ms für die Kodierung verwendet. Die Unterschiede, die sich zwischen den untersuchten Bedingungen bei den zeitbezogenen Variablen (z. B. Pausenzeit pro Minute) ergeben, sind so groß, dass die Angemessenheit der Verwendung dieser Zeitfenster gegeben ist. Es hängt jedoch stark von der Feinheit der erwarteten Effekte ab, ob ein halbsekündiges Raster sinnvoll einsetzbar ist. In Fällen, in denen sehr feine Effekte erwartet werden, ist es sinnvoll, ein Schreibtablett zur Datenerhebung zu verwenden, da die wesentlich höhere Auflösung von Tablett-Daten auch den Nachweis sehr kleiner Zeitdifferenzen erlaubt.

Einzel- vs. Gruppensettings

Nicht zuletzt in Untersuchungssettings, die innerhalb schulischer Umfelder angesiedelt sind (z. B. Interventionsstudien), stellt sich die Frage, ob die Datenerhebung in Einzelsituationen oder in größeren Gruppen (z. B. innerhalb von Schulklassen) erfolgen soll. Während in Einzelsettings die drei soeben diskutierten Aspekte bei der Methodenwahl im Vordergrund stehen, ist bei einer Erhebung in Gruppensettings von der Verwendung videographischer Filmaufzeichnungen zur Erhebung von Schreibprozessvariablen abzuraten. Da für jeden einzelnen Untersuchungsteilnehmer eine eigene Kamera benötigt würde, erreicht der entstehende technische Aufwand mit steigender Probandenzahl einen Umfang, der nicht mehr praktikabel durchführbar erscheint. In solchen Fällen empfiehlt es sich, Schreibtablets zu verwenden. Zwar muss auch hier für jeden Schreiber ein eigenes Schreibtablett samt zugehörigem Rechner zur Aufzeichnung der Daten bereitgestellt werden, der logistische Aufwand, der hier zu betreiben ist, ist im Vergleich zum Aufwand, der durch Aufbau und (Nach-)justierung einer größeren Anzahl von Filmkameras entsteht, jedoch als deutlich geringer zu erachten. Ein zweiter Grund, der gegen ein massives „Aufgebot“ an Kameras spricht, ist das große Ablenkungspotenzial, welches durch den Einsatz vieler Kameras entstünde. Es ist davon auszugehen, dass die Verwendung von Schreibtablets weniger verändernde Wirkung auf die Situation hat und zu einer höheren ökologischen Validität innerhalb von Gruppensettings beiträgt.

Resümierend lässt sich festhalten, dass die Frage, welcher Methode bei einer empirischen Untersuchung der Vorzug gegeben werden sollte, von einer Reihe verschiedener Faktoren abhängt. Sowohl die Videographie als auch die Verwendung eines Schreibtablets stellen

praktikable Lösungen dar. Die dadurch entstehende „Qual der Wahl“ ist allerdings weniger ein problematischer Aspekt als vielmehr ein Hinweis darauf, dass innerhalb der Schreibprozessforschung ein zunehmend breites Spektrum an Werkzeugen für die Erforschung der kognitiven Grundlagen des Schreibens zur Verfügung steht, mit welchem die vielen noch offenen Fragen der kognitiven Schreibforschung – und hier auch nicht zuletzt die Frage nach den kognitiven Prozessen und Strategien beim Durchführen von Abschreibaufgaben – bearbeitet werden können.

Abschließende Worte

Das Fazit, das sich aus den vorliegenden Erkenntnissen ziehen lässt, erscheint klar. Die theoretischen Überlegungen, die angestellt werden, und die zugehörigen empirischen Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung unterstreichen die hohe Relevanz handschriftlichen Abschreibens in der Schule. Nichtsdestotrotz ist weitere Forschung sowohl im Grundlagenbereich (zur Erlangung eines umfassenderen Verständnisses der Prozesse, die dem Abschreiben zugrunde liegen) als auch im Anwendungsbereich (Interventionsstudien) nötig. Die vorliegende Arbeit bietet eine Reihe theoretischer Anknüpfungspunkte für weitere Forschung in beiden Bereichen. Dies gilt auch für den methodologischen Bereich. Die vorliegende Untersuchung liefert ein Beispiel dafür, dass die Kombination alter (videographische Aufzeichnungen) und neuartiger Methoden (Untersuchungstisch) zu probaten Lösungen zur Erfassung des Schreibprozesses beim Abschreiben führen kann. Der Autor hofft, dass diese Arbeit einen Anstoß liefert, dass dem oftmals vernachlässigten Thema „Abschreibaufgabe“ in Zukunft mehr Aufmerksamkeit seitens der empirischen Forschung und der unterrichtlichen Praxis zukommt.

Literaturverzeichnis

- Alamargot, D. (2012). Eye and Pen: A Device to Assess the Temporal Course of Writing Production — Three Studies. In M. Torrance, D. Alamargot, M. Castelló, F. Ganier, O. Kruse, A. Mangen, L. Tolchinsky, & L. van Waes (Hrsg.), *Learning to Write Effectively. Current Trends in European Research* (S. 351–354). Bingley: Emerald Group Pub Ltd.
- Alamargot, D., & Chanquoy, L. (2001). *Through the models of writing*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Alamargot, D., Chesnet, D., Dansac, C., & Ros, C. (2006). Eye and Pen: A new device for studying reading during writing. *Behavior Research Methods*, 38(2), 287–299.
doi:10.3758/BF03192780
- Alamargot, D., Dansac, C., Chesnet, D., & Fayol, M. (2007). Parallel Processing Before and After Pauses: A Combined Analysis of Graphomotor and Eye Movements During Procedural Text Production. In M. Torrance, L. van Waes, & D. Galbraith (Hrsg.), *Writing and cognition. Research and applications* (S. 13–29). Amsterdam: Elsevier.
- Alamargot, D., Plane, S., Lambert, E., & Chesnet, D. (2010). Using eye and pen movements to trace the development of writing expertise: case studies of a 7th, 9th and 12th grader, graduate student, and professional writer. *Reading and Writing*, 23(7), 853–888.
doi:10.1007/s11145-009-9191-9
- Alves, R. A., Branco, M., Castro, S. L., & Olive, T. (2012). Effects of Handwriting Skill, Output Modes, and Gender on Fourth Graders' Pauses, Language Bursts, Fluency and Quality. In V. W. Berninger (Hrsg.), *Past, present, and future contributions of cognitive writing research to cognitive psychology* (S. 389–402). New York, NY: Psychology Press.
- Alves, R. A., Castro, S. L., & Olive, T. (2008). Execution and pauses in writing narratives: Processing time, cognitive effort and typing skill. *International Journal of Psychology*, 43(6), 969–979. doi:10.1080/00207590701398951
- Atkinson, R. C., & Shiffrin R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation. Advances in research and theory* (S. 90–197). New York: Academic Press.
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. doi:10.1016/S1364-6613(00)01538-2

- Baddeley, A. D. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford: Oxford University Press.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Hrsg.), *The psychology of learning and motivation. Advances in research and theory* (S. 47–89). New York: Academic Press.
- Beck, M. R., Peterson, M. S., & Vomela, M. (2006). Memory for Where, but Not What, Is Used During Visual Search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32(2), 235–250. doi:10.1037/0096-1523.32.2.235
- Bereiter, C. (1980). Development in writing. In L. W. Gregg & E. R. Steinberg (Hrsg.), *Cognitive processes in writing* (S. 73–93). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Bereiter, C., & Scardamalia, M. (1987). *The psychology of written composition*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Berninger, V. W., & Winn, W. D. (2006). Implications of Advancements in Brain Research and Technology for Writing Development, Writing Instruction, and Educational Evolution. In C. A. MacArthur, S. Graham, & J. Fitzgerald (Hrsg.), *Handbook of writing research* (S. 96–114). New York: Guilford Press.
- Berninger, V. W., Vaughan, K., Abbott, R. D., Begay, K., Coleman, K. B., Curtin, G., ... Graham, S. (2002). Teaching spelling and composition alone and together: Implications for the simple view of writing. *Journal of Educational Psychology*, 94(2), 291–304. doi:10.1037/0022-0663.94.2.291
- Bortz, J. (2005). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bourdin, B., & Fayol, M. (1994). Is Written Language Production more Difficult than Oral Language Production? A Working Memory Approach. *International Journal of Psychology*, 29(5), 591–620. doi:10.1080/00207599408248175
- Bourdin, B., & Fayol, M. (2000). Is graphic activity cognitively costly? A developmental approach. *Reading and Writing*, 13(3/4), 183–196. doi:10.1023/A:1026458102685
- Bourdin, B., & Fayol, M. (2002). Even in adults, written production is still more costly than oral production. *International Journal of Psychology*, 37(4), 219–227. doi:10.1080/00207590244000070

- Brown, S. W. (1997). Attentional resources in timing: Interference effects in concurrent temporal and nontemporal working memory tasks. *Perception & Psychophysics*, 59(7), 1118–1140. doi:10.3758/BF03205526
- Cernich, A. N., Brennana, D. M., Barker, L. M., & Bleiberg, J. (2007). Sources of error in computerized neuropsychological assessment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22, 39–48. doi:10.1016/j.acn.2006.10.004
- Chanquoy, L., Foulon, J.-N., & Fayol, M. (1996). Writing in adults: A real-time approach. In G. Rijlaarsdam, H. van Bergh, & M. Couzijn (Hrsg.), *Theories, models and methodology in writing research* (S. 36–44). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Cheng, P., & Rojas-Anaya, H. (2005). Writing out a temporal signal of chunks: patterns of pauses reflect the induced structure of written number sequences. In B. Bara, L. Barsalou, & M. Bucciarelli (Hrsg.), *Proceedings of the 27th annual conference of the cognitive science society* (S. 424–429). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Chenoweth, N. A., & Hayes, J. R. (2001). Fluency in Writing: Generating Text in L1 and L2. *Written Communication*, 18(1), 80–98. doi:10.1177/0741088301018001004
- Chenoweth, N. A., & Hayes, J. R. (2003). The Inner Voice in Writing. *Written Communication*, 20(1), 99–118. doi:10.1177/0741088303253572
- Coltheart, M. (2005). Modeling Reading: The Dual-Route Approach. In M. J. Snowling & C. Hulme (Hrsg.), *The science of reading* (S. 6–23). Malden, MA: Blackwell Pub.
- Connelly, V., Gee, D., & Walsh, E. (2007). A comparison of keyboarded and handwritten compositions and the relationship with transcription speed. *British Journal of Educational Psychology*, 77(2), 479–492. doi:10.1348/000709906X116768
- Corsi, P. M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain* (Unveröffentlichte Dissertationsschrift). McGill University, Montreal, Canada.
- Craik, F. I. M., & Lockhart, R. S. (1972). Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11(6), 671–684. doi:10.1016/S0022-5371(72)80001-X
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19(4), 450–466. doi:10.1016/S0022-5371(80)90312-6

- Darling, S., Della Sala, S., & Logie, R. H. (2007). Behavioural evidence for separating components within visuo-spatial working memory. *Cognitive Processing*, 8(3), 175–181. doi:10.1007/s10339-007-0171-1
- Della Sala, S., Gray, C., Baddeley, A., Allamano, N., & Wilson, L. (1999). Pattern span: a tool for unwinding visuo-spatial memory. *Neuropsychologia*, 37(10), 1189–1199. doi:10.1016/S0028-3932(98)00159-6
- Faigley, L., & Witte, S. (1981). Analyzing Revision. *College Composition and Communication*, 32(4), 400–414.
- Friederici, A. D. (Hrsg.). (1999). *Enzyklopädie der Psychologie (Bereich C, Serie III, Band 2: Sprachrezeption)*. Göttingen: Hogrefe.
- Frith, U. (1985). Beneath the Surface of Developmental Dyslexia. In K. Patterson, J. C. Marshall, & M. Coltheart (Hrsg.), *Surface dyslexia. Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Funke, J. (Hrsg.). (2006). *Enzyklopädie der Psychologie (Bereich C, Serie II, Band 8: Denken und Problemlösen)*. Göttingen: Hogrefe.
- Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Ambridge, B., & Wearing, H. (2004). The Structure of Working Memory From 4 to 15 Years of Age. *Developmental Psychology*, 40(2), 177–190. doi:10.1037/0012-1649.40.2.177
- Gentner, D. R. (1983). The acquisition of typewriting skill. *Acta Psychologica*, 54(1-3), 233–248. doi:10.1016/0001-6918(83)90037-9
- Glaser, C., & Brunstein, J. C. (2007). Improving fourth-grade students' composition skills: Effects of strategy instruction and self-regulation procedures. *Journal of Educational Psychology*, 99(2), 297–310. doi:10.1037/0022-0663.99.2.297
- Goldman-Eisler, F. (1973). *Psycholinguistics: Experiments in spontaneous speech*. London: Academic Press.
- Grabowski, J. (2008). The internal structure of university students' keyboard skills. *Journal of Writing Research*, 1(1), 27–52.
- Grabowski, J. (2010). Speaking, writing, and memory span in children: Output modality affects cognitive performance. *International Journal of Psychology*, 45(1), 28–39. doi:10.1080/00207590902914051

- Grabowski, J., Weinzierl, C., & Schmitt, M. (2010). Second and fourth graders' copying ability: from graphical to linguistic processing. *Journal of Research in Reading*, 33(1), 39–53. doi:10.1111/j.1467-9817.2009.01431.x
- Graham, S., Berninger, V. W., Abbott, R. D., Abbott, S. P., & Whitaker, D. (1997). Role of mechanics in composing of elementary school students: A new methodological approach. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 170–182. doi:10.1037/0022-0663.89.1.170
- Günther, H., & Pompino-Marschall, B. (1996). Basale Aspekte der Produktion und Perzeption mündlicher und schriftlicher Äußerungen. In H. Günther & O. Ludwig (Hrsg.), *Schrift und Schriftlichkeit. Ein interdisziplinäres Handbuch internationaler Forschung* (S. 903–917). Berlin: De Gruyter Reference Global.
- Hayes, J. R. (1996). A new framework for understanding cognition and affect in writing. In C. M. Levy & S. E. Ransdell (Hrsg.), *The Science of writing. Theories, methods, individual differences and applications* (S. 1–27). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hayes, J. R. (2009). From Idea to Text. In R. Beard, D. Myhill, J. Riley, & M. Nystrand (Hrsg.), *The SAGE handbook of writing development* (S. 65–79). Thousand Oakes, CA: SAGE Publications Ltd.
- Hayes, J. R. (2012). Evidence From Language Bursts, Revision, and Transcription for Translation and Its Relation To Other Writing Processes. In M. Fayol, M. D. Alamargot, & V. W. Berninger (Hrsg.), *Translation of thought to written text while composing. Advancing theory, knowledge, research methods, tools, and applications* (S. 15–25). New York: Psychology Press.
- Hayes, J. R., & Chenoweth, N. A. (2006). Is Working Memory Involved in the Transcribing and Editing of Texts? *Written Communication*, 23(2), 135–149. doi:10.1177/0741088306286283
- Hayes, J. R., & Flower, L. (1980). Identifying the organization of writing processes. In L. W. Gregg & E. R. Steinberg (Hrsg.), *Cognitive processes in writing* (S. 3–30). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Herrmann, T., & Grabowski, J. (Hrsg.). (2003). *Enzyklopädie der Psychologie (Bereich C, Serie III, Band 1: Sprachproduktion)*. Göttingen: Hogrefe.

- Jakobsen, A. L. (2006). Research Methods in Translation — Translog. In K. P. H. Sullivan & E. Lindgren (Hrsg.), *Computer keystroke logging and writing. Methods and applications* (S. 95–106). Amsterdam: Elsevier.
- Janssen, D., van Waes, L., & van den Bergh, H. (1996). Effects of thinking aloud on writing processes. In C. M. Levy & S. E. Ransdell (Hrsg.), *The Science of writing. Theories, methods, individual differences and applications* (S. 233–250). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Jong, W. P. de, Hulstijn, W., Kostermann, B. J. M., & Smits-Engelsman, B. C. M. (1996). OASIS software and its application in experimental handwriting research. In M. L. Simner, C. G. Leedham, & A. J. W. M. Thomassen (Hrsg.), *Handwriting and drawing research. Basic and applied issues* (S. 429–440). Amsterdam: IOS Press.
- Kandel, S., & Valdois, S. (2006). Syllables as functional units in a copying task. *Language and Cognitive Processes*, 21(4), 432–452. doi:10.1080/01690960400018378
- Kellogg, R. T. (1994). *The psychology of writing*. Oxford: Oxford University Press.
- Kellogg, R. T. (1996). A Model Of Working Memory In Writing. In C. M. Levy & S. E. Ransdell (Hrsg.), *The Science of writing. Theories, methods, individual differences and applications* (S. 57–71). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Kellogg, R. T. (1999). Components of Working Memory in Text Production. In M. Torrance & G. C. Jeffrey (Hrsg.), *The cognitive demands of writing: Processing capacity and working memory in text production* (S. 42–61). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Kellogg, R. T. (2008). Training writing skills: A cognitive development perspective. *Journal of Writing Research*, 1(1), 1–26.
- Kellogg, R. T., Olive, T., & Piolat, A. (2007). Verbal and Visual Working Memory in Written Sentence Production. In M. Torrance, L. van Waes, & D. Galbraith (Hrsg.), *Writing and cognition. Research and applications* (S. 97–108). Amsterdam: Elsevier.
- Klatte, M., Kilcher, H., & Hellbrück, J. (1995). Wirkungen der zeitlichen Struktur von Hintergrundschall auf das Arbeitsgedächtnis und ihre theoretischen und praktischen Implikationen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42(4), 517–544.

- Klauer, K. C., & Zhao, Z. (2004). Double Dissociations in Visual and Spatial Short-Term Memory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(3), 355–381.
doi:10.1037/0096-3445.133.3.355
- Knobloch, C. (1996). Historisch-systematischer Aufriß der psychologischen Schreibforschung. In H. Günther & O. Ludwig (Hrsg.), *Schrift und Schriftlichkeit. Ein interdisziplinäres Handbuch internationaler Forschung* (S. 983–992). Berlin: De Gruyter Reference Global.
- Kowal, S., & O'Connell, D. C. (1987). Writing as Language Behavior: Myths, Models, Methods. In A. Matsushashi (Hrsg.), *Writing in real time. Modelling production processes* (S. 108–132). Norwood, NJ: Ablex Pub. Corp.
- Leijten, M., & van Waes, L. (2006). Inputlog: New perspectives on the logging of on-line writing processes in a windows environment. In K. P. H. Sullivan & E. Lindgren (Hrsg.), *Computer keystroke logging and writing. Methods and applications* (S. 73–94). Amsterdam: Elsevier.
- Levy, C. M., & Marek, J. P. (1999). Testing components of Kellogg's multicomponent model of working memory in writing: The role of the phonological loop. In M. Torrance & G. C. Jeffrey (Hrsg.), *The cognitive demands of writing: Processing capacity and working memory in text production* (S. 25–42). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Levy, C. M., & Ransdell, S. E. (2001). Writing with concurrent memory loads. In T. Olive & C. M. Levy (Hrsg.), *Contemporary tools and techniques for studying writing*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Levy, C. M., Marek, J. P., & Lea, J. (1996). Concurrent and retrospective protocols in writing research. In G. Rijlaarsdam, H. d. van Bergh, & M. Couzijn (Hrsg.), *Theories, models and methodology in writing research* (S. 542–556). Amsterdam: Amsterdam University Press.
- Lindgren, E., & Sullivan, K. P. H. (2006). Writing and the Analysis of Revision: An Overview. In K. P. H. Sullivan & E. Lindgren (Hrsg.), *Computer keystroke logging and writing. Methods and applications* (S. 31–44). Amsterdam: Elsevier.
- Logie, R. H. (1995). *Visuo-spatial working memory*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Lorenz, T., & Grabowski, J. (2009). Handschrift oder Tastatur in der Hauptschule. Ökonomie und Mythen von Schriftmedien. In K. Schneider, G. Schwab, & Weingardt Martin (Hrsg.), *Hauptschulforschung konkret. Themen – Ergebnisse – Perspektiven* (S. 147–157). Baltmannsweiler: Schneider-Verl. Hohengehren.
- Ludwig, O. (2005). *Geschichte des Schreibens*. Berlin: de Gruyter.
- MacArthur, C. A. (2012). Evaluation and Revision. In V. W. Berninger (Hrsg.), *Past, present, and future contributions of cognitive writing research to cognitive psychology* (S. 461–483). New York, NY: Psychology Press.
- MacArthur, C. A., Graham, S., & Fitzgerald, J. (Hrsg.). (2006). *Handbook of writing research*. New York: Guilford Press.
- Maclay, A., & Osgood, C. E. (1959). Hesitation phenomena in spontaneous English speech. *Word*, 15, 19–44.
- Mangold. (2010). *INTERACT Quick Start Manual V2.4*. Mangold International GmbH. Retrieved from www.mangold-international.com
- Matsuhashi, A. (1981). Pausing and Planning: The Tempo of Written Discourse Production. *Research in the Teaching of English*, 15(2), 113–134.
- Matsuhashi, A. (1982). Explorations in the real-time production of written discourse. In M. Nystrand (Hrsg.), *What writers know. The language, process, and structure of written discourse* (S. 269–290). New York: Academic Press.
- Matsuhashi, A. (1987). Revising the Plan and Altering the Text. In A. Matsuhashi (Hrsg.), *Writing in real time. Modelling production processes* (S. 197–223). Norwood, NJ: Ablex Pub. Corp.
- Matsuhashi, A., & Cooper, C. (1978). *A Video Time-Monitored Observational Study: The Transcribing Behavior and Composing Processes of a Competent High School Writer*, Paper presented at the Annual meeting of AERA in Toronto, Canada.
- McConnell, J., & Quinn, J. (2000). Interference in Visual Working Memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 53(1), 53–67. doi:10.1080/713755873
- McCutchen, D. (1994). The Magical Number Three, Plus or Minus Two: Working Memory in Writing. In E. C. Butterfield & J. S. Carlson (Hrsg.), *Advances in cognition and educational practice* (S. 1–30). Greenwich, CT: JAI Press.

- McCutchen, D. (1996). A capacity theory of writing: Working memory in composition. *Educational Psychology Review*, 8(3), 299–325. doi:10.1007/BF01464076
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81–97. doi:10.1037/h0043158
- Miyake, A., & Shah, P. (Hrsg.). (1999). *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Molitor-Lübbert, S. (1996). Schreiben als mentaler und sprachlicher Prozess. In H. Günther & O. Ludwig (Hrsg.), *Schrift und Schriftlichkeit. Ein interdisziplinäres Handbuch internationaler Forschung* (S. 1005–1027). Berlin: De Gruyter Reference Global.
- Olive, T. (2004). Working Memory in Writing: Empirical Evidence From the Dual-Task Technique. *European Psychologist*, 9(1), 32–42. doi:10.1027/1016-9040.9.1.32
- Olive, T. (2012). Working Memory in Writing. In V. W. Berninger (Hrsg.), *Past, present, and future contributions of cognitive writing research to cognitive psychology* (S. 485–503). New York, NY: Psychology Press.
- Olive, T., & Kellogg, R. T. (2002). Concurrent activation of high- and low-level production processes in written composition. *Memory & Cognition*, 30(4), 594–600. doi:10.3758/BF03194960
- Olive, T., & Kellogg, R. T. (2008). Verbal, visual, and spatial working memory demands during text composition. *Applied Psycholinguistics*, 29. doi:10.1017/S0142716408080284
- Olive, T., Alves, R. A., & Castro, S. L. (2009). Cognitive processes in writing during pause and execution periods. *European Journal of Cognitive Psychology*, 21(5), 758–785. doi:10.1080/09541440802079850
- Quinn, J. G. (2008). Movement and visual coding: the structure of visuo-spatial working memory. *Cognitive Processing*, 9(1), 35–43. doi:10.1007/s10339-007-0184-9
- Repovš, G., & Baddeley, A. D. (2006). The multi-component model of working memory: explorations in experimental cognitive psychology. *Neuroscience*, 139(1), 5–21. doi:10.1016/j.neuroscience.2005.12.061

- Rieben, L., & Saada-Robert, M. (1991). Developmental patterns and individual differences in the word-search strategies of beginning readers. *Learning and Instruction*, 1(1), 67–87. doi:10.1016/0959-4752(91)90019-5
- Rieben, L., & Saada-Robert, M. (1997). Relations between word-search strategies and word-copying strategies in children aged 5 to 6 years old. In C. A. Perfetti, L. Rieben, & M. Fayol (Hrsg.), *Learning to Spell. Research, Theory, and Practice Across Languages* (S. 295–318). Hoboken: Taylor & Francis.
- Rieben, L., Meyer, A., & Perregeaux, C. (1991). Individual differences and lexical representations: How five 6-year-old children search for and copy words. In L. Rieben & C. A. Perfetti (Hrsg.), *Learning to read. Basic research and its implications* (S. 85–101). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- Roebers, C. M., & Zoelch, C. (2005). Erfassung und Struktur des phonologischen und visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnisses bei 4-jährigen Kindern. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 37(3), 113–121. doi:10.1026/0049-8637.37.3.113
- Rummer, R. (1996). *Kognitive Beanspruchung beim Sprechen*. Weinheim: Beltz, Psychologie-Verl.-Union.
- Scheerer-Neumann, G. (1996). Der Erwerb der basalen Lese- und Schreibfertigkeiten. In H. Günther & O. Ludwig (Hrsg.), *Schrift und Schriftlichkeit. Ein interdisziplinäres Handbuch internationaler Forschung* (S. 1153–1169). Berlin: De Gruyter Reference Global.
- Schilperoord, J. (1996). *It's about time: Temporal aspects of cognitive processes in text production*. Amsterdam: Rodopi.
- Schmid, C., Zoelch, C., & Roebers, C. M. (2008). Das Arbeitsgedächtnis von 4- bis 5-jährigen Kindern. *Zeitschrift für Entwicklungspsychologie und Pädagogische Psychologie*, 40(1), 2–12. doi:10.1026/0049-8637.40.1.2
- Severinson Eklundh, K., & Kollberg, P. (1996). A computer tool and framework for analysing on-line revisions. In C. M. Levy & S. E. Ransdell (Hrsg.), *The Science of writing. Theories, methods, individual differences and applications* (S. 163–188). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Spelman Miller, K. (2000). Academic writers on-line: investigating pausing in the production of text. *Language Teaching Research*, 4(2), 123–148. doi:10.1177/136216880000400203

- Spelman Miller, K. (2006). The Pausological Study of Written Language Production. In K. P. H. Sullivan & E. Lindgren (Hrsg.), *Computer keystroke logging and writing. Methods and applications* (S. 31–44). Amsterdam: Elsevier.
- Steinleitner, U. (2008). *Zauberlehrling: Richtig schreiben*. Frankfurt am Main: Diesterweg.
- Strömqvist, S. & Karlsson, H. (2002). *ScriptLog for Windows — User's manual*. Technical Report.
- Süselbeck, G. (2003). Abschreiben: eine wichtige Arbeitstechnik. *Grundschule*, 35(2), 16–20.
- Teulings, H.-L. (2011). MovAlyzeR. Tempe, AZ: NeuroScript LLC.
- Tewes, U. (1991). *Hamburg–Wechsler-Intelligenztest für Erwachsene: Handbuch und Testanweisung*. Bern: Huber.
- Thomassen, A. J. W. M. (1996). Writing by hand. In H. Günther & O. Ludwig (Hrsg.), *Schrift und Schriftlichkeit. Ein interdisziplinäres Handbuch internationaler Forschung* (S. 1027–1035). Berlin: De Gruyter Reference Global.
- Thomassen, A. J. W. M. (2003). Die grapho-motorische Analyse der handschriftlichen Sprachproduktion. In T. Herrmann & J. Grabowski (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie (Bereich C, Serie III, Band I: Sprachproduktion)* (S. 177–217). Göttingen: Hogrefe.
- Tolchinsky, L. (2006). The Emergence of Writing. In C. A. MacArthur, S. Graham, & J. Fitzgerald (Hrsg.), *Handbook of writing research* (S. 83–95). New York: Guilford Press.
- Torrance, M. (2012). EyeWrite — A Tool for Recording Writers' Eye Movements. In M. Torrance, D. Alamargot, M. Castelló, F. Ganier, O. Kruse, A. Mangen, L. Tolchinsky, & L. van Waes (Hrsg.), *Learning to Write Effectively. Current Trends in European Research* (S. 355–358). Bingley: Emerald Group Pub Ltd.
- Torrance, M., & Galbraith, D. (2006). The Processing Demands of Writing. In C. A. MacArthur, S. Graham, & J. Fitzgerald (Hrsg.), *Handbook of writing research* (S. 67–79). New York: Guilford Press.

- van Drunen, A., van den Broek, E. L., & Heffelaar, T. (2008). uLog: Towards attention aware user-system interactions measurement. In A. J. Spink, M. R. Ballintijn, N. D. Bogers, F. Grieco, L. W. S. Loijens, L. P. J. J. Noldus, G. Smit, & P. H. Zimmermann (Hrsg.), *Proceedings of Measuring Behavior 2008: 6th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research, 26-29 Aug 2008, Maastricht, The Netherlands* (S. 109–110).
- van Waes, L., Leijten, M., Wengelin, Å., & Lindgren, E. (2012). Logging Tools to Study Digital Writing Processes. In V. W. Berninger (Hrsg.), *Past, present, and future contributions of cognitive writing research to cognitive psychology* (S. 507–533). New York, NY: Psychology Press.
- Weingarten, R., Nottbusch, G., & Will, U. (2004). Morphemes, syllables and graphemes in written word production. In T. Pechmann & C. Habel (Hrsg.), *Studies and monographs: Vol. 157. Multidisciplinary approaches to language production* (S. 529–572). Berlin: Mouton de Gruyter.
- Weinzierl, C., Grabowski, J., & Schmitt, M. (2012). Copying Ability in Primary School: A Working Memory Approach. In M. Torrance, D. Alamargot, M. Castelló, F. Ganier, O. Kruse, A. Mangen, L. Tolchinsky, & L. van Waes (Hrsg.), *Learning to Write Effectively. Current Trends in European Research* (S. 23–25). Bingley: Emerald Group Pub Ltd.
- Wengelin, Å. (2001). Disfluencies in writing — are they like in speaking? In *Proceedings from Disfluency In Spontaneous Speech (DISS'01)*.
- Wengelin, Å. (2006). Examining Pauses in Writing: Theory, Methods and Empirical Data. In K. P. H. Sullivan & E. Lindgren (Hrsg.), *Computer keystroke logging and writing. Methods and applications*. Amsterdam: Elsevier.
- Wengelin, Å., Torrance, M., Holmqvist, K., Simpson, S., Galbraith, D., Johansson, V., & Johansson, R. (2009). Combined eyetracking and keystroke-logging methods for studying cognitive processes in text production. *Behavior Research Methods*, 41(2), 337–351. doi:10.3758/BRM.41.2.337
- Zöfel, P. (2003). *Statistik für Psychologen*. München: Pearson.

Wissenschaftlicher Werdegang

Persönliche Daten:

Christian Weinzierl

Institut für Pädagogische Psychologie

Schloßwender Straße 1

30159 Hannover

Tel: +49 511 76217477

E-Mail: weinzierl@psychologie.uni-hannover.de

Akademische Ausbildung:

2012: Promotion, Leibniz Universität Hannover

2007: Diplom (Psychologie), Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt

Akademische Tätigkeiten:

Seit 2009: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Pädagogische Psychologie an der Philosophischen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

2007 bis 2009: Wissenschaftlicher Mitarbeiter im Forschungsprojekt „Abschreiben als schulische Arbeitstechnik“ an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg