

# MASTERARBEIT

Zwanzigeins vs. einundzwanzig:  
Profitieren rechenschwache Kinder in Bezug auf die Dauer  
von einer stellenwertgerechten Sprechweise?  
Eine empirische Untersuchung

eingereicht von  
Anna Kuhl M.A.

zur Erlangung des akademischen Grades  
Master of Arts (M.A.)

Berlin, 18. Februar 2025

Matrikelnummer:	70295
Studiengang:	M.A. Integrative Lerntherapie
Fachsemester:	8
1. Prüfer:	Prof. Dr. Michael von Aster
2. Prüfer:	PD Dr. Peter Morfeld

*„Um die Sprache des anderen zu verstehen, ist es nicht genug seine Worte zu verstehen. Du musst seine Gedanken verstehen.“*

Lev Vygotsky

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Themenaufriß und Forschungsstand.....</b>	<b>6</b>
1.1 Zahlenlinguistik .....	7
1.1.1 <i>Verschiedene Zahlensprechweisen</i> .....	7
1.1.2 <i>Neuropsychologische Modelle</i> .....	11
1.1.3 <i>Neuropsychologische Studien</i> .....	12
1.2 Erschwernisse des Rechnenlernens.....	14
1.2.1 <i>Definition</i> .....	14
1.2.2 <i>Klassifikation</i> .....	15
1.2.3 <i>Prävalenz</i> .....	16
1.2.4 <i>Komorbidität</i> .....	16
1.2.5 <i>Verlauf</i> .....	17
1.2.6 <i>Ätiologie und Störungsverständnis</i> .....	18
<i>Neurobiologische Befunde</i> .....	19
1.2.7 <i>Prävention, Förderung und Therapie</i> .....	19
1.3 Zielsetzung.....	20
<b>2. Empirische Untersuchung .....</b>	<b>23</b>
2.1 Studiendesign .....	24
2.2 Messinstrument.....	26
2.2.1 <i>Eingesetzte Hardware</i> .....	26
<i>Dauer der Ansagen</i> .....	27
2.2.2 <i>Eingesetzte Software</i> .....	27
2.2.3 <i>App-Parameterfestlegung</i> .....	28
2.3 Datenanalyse .....	28

	4
2.3.1 <i>Profilnamen, Umsteigelisten, Datenschutz</i> .....	28
2.3.2 <i>Ausprägung und Kodierung der Kovariablen</i> .....	29
2.4 Datenauswertung .....	31
2.5 Untersuchungsgruppen .....	32
2.6 Untersuchungsdurchführung für die Gruppe 1 (AK) .....	32
<b>3. Individuelle Beschreibung der Kinder der Gruppe 1 (AK)</b> .....	<b>34</b>
<b>4. Darstellung der Ergebnisse</b> .....	<b>36</b>
4.1 Berechtigung für eigenständige Auswertungen der Dauer Y1 (AK) und der Fehlerzahl Y2 (VH) .....	36
4.2 Darstellung der Ergebnisse zur Dauer Y1 .....	39
4.2.1 <i>Auswertung aller Perioden</i> .....	39
4.2.2 <i>Hauptbefund zur Dauer Y1</i> .....	41
<i>Deskriptive Analyse</i> .....	41
<i>Zufallskritische Analyse</i> .....	43
<i>Robuste Analyse</i> .....	44
4.2.3 <i>Hauptbefund zur Zusatzauswertung zur Dauer Y1 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer (Nebendauervariable)</i> .....	45
<i>Deskriptive Analyse</i> .....	45
<i>Zufallskritische Analyse</i> .....	46
<i>Robuste Analyse</i> .....	47
4.3 Ergebnisse zu einzelnen Kovariablen .....	48
4.3.1 <i>Fördereinrichtung: Lernpraxis, ZSPR, Duden-Institut</i> .....	48
4.3.2 <i>Effekt des Alters (&lt;=10, &gt;10 Jahre)</i> .....	49
<i>Hauptbefund zur prozentualen Änderung der Dauer (Nebendauervariable)</i> .....	53

	5
4.3.3 Erstsprache mit zwanzigeins .....	57
4.3.4 Zusammenfassung .....	58
4.4 Auswertung aller Perioden .....	59
<b>5. Fallskizzen atypischer Kinder.....</b>	<b>61</b>
5.1 1.Fallbeispiel .....	62
5.2 2.Fallbeispiel .....	63
5.3 3. Fallbeispiel .....	64
5.4 4.Fallbeispiel .....	65
5.5 Diskussion.....	65
<b>6. Zusammenfassung .....</b>	<b>67</b>
6.1 Überprüfung der Hypothese und Beantwortung der Forschungsfragen .....	67
6.2 Diskussion und Ausblick .....	69
Anmerkungen.....	72
Glossar.....	73
Literaturverzeichnis.....	77
Abbildungsverzeichnis .....	87
Anlage 1 Einverständniserklärung der Eltern.....	89
Anlage 2 Umsteigeliste und Randomisierung Gruppe 1 .....	90
Anlage 3 Untersuchungserklärung.....	91
Eigenständigkeitserklärung.....	96

## 1. Themenaufriß und Forschungsstand

Der Zugang zur Mathematik sollte für alle Kinder so einfach und einladend wie möglich gestaltet werden. Zahlendreher können Barrieren schaffen, besonders für schwächere Schüler\*innen oder solche, die noch nicht sicher in der deutschen Sprache sind. Eine klare und verständliche Sprache sowie anschauliche Beispiele können dabei helfen diese Hürden abzubauen, so dass sichergestellt ist, dass alle Kinder die Möglichkeit haben, die Welt der Zahlen zu entdecken und zu verstehen (vgl. Kimmeskamp 2008, S.60).

In der *integrativen Lerntherapie* (s.Glossar) ist die Beziehungsarbeit von zentraler Bedeutung. Eine vertrauensvolle und unterstützende Beziehung ermöglicht es den Kindern, sich sicher zu fühlen und offen über ihre Schwierigkeiten zu sprechen und diese anzugehen. Ein Bewusstsein für die spezifischen Problemfelder, die diese Kinder betreffen, ist ebenfalls entscheidend.

Um einen ganzheitlichen Ansatz zur Unterstützung von rechenschwachen Kindern zu entwickeln, sollen in der vorliegenden Arbeit verschiedene Perspektiven miteinander verknüpft werden und das Thema der *Zahlwortinversion* aus mathematikdidaktischer, sprachwissenschaftlicher und neuro- und entwicklungspsychologischer Sicht betrachtet werden.

Nach der Darstellung des aktuellen Forschungsstandes, der Fragestellungen und Zielsetzung der Arbeit wird in dem Methodenkapitel erläutert, mit welchem Untersuchungsdesign die Forschungsfragen und die Hypothese geprüft und wie die empirische Studie geplant und durchgeführt wurde. Es werden die für die Studie erhobenen Variablen dargestellt. Einer ausführlichen Beschreibung der besonderen Gruppe der untersuchten Kinder folgt die Präsentation der Ergebnisse mit deskriptiver und zufallskritischer Analyse. Aus dem speziellen Blickwinkel der integrativen Lerntherapie wird zudem ein Fokus auf der Betrachtung atypischer Einzelfälle liegen. Das lerntherapeutische Element, das Anschauen von individuellen Merkmalen, der Blick auf die Biografien einzelner Kinder soll hier erfolgen. Es soll geschaut werden, wann und warum Kinder von Erwartungen abweichen. Abschliessend sollen in einer Diskussion die wichtigsten Befunde zusammengefasst und interpretiert werden. Es wird erörtert, ob die Ergebnisse mit den Fragestellungen und der Hypothese übereinstimmen.

## 1.1 Zahlenlinguistik

### 1.1.1 Verschiedene Zahlensprechweisen

Ein gefestigter Zahlbegriff und ein fundiertes Verständnis für Operationen gehören zu den wesentlichen Einflussfaktoren für das flexible Rechnen. Des Weiteren liegt ein Fokus auf der Erarbeitung des dezimalen Stellenwertsystems, dessen Verständnisses auch im Hinblick auf die gegenüber der indo-arabischen Zifferndarstellung verdrehten Zahlwortpräsentation im Deutschen. Bei dem Erfassen des Zahlbegriffes in schriftlicher und mündlicher Form handelt es sich um einen Meilenstein der mathematischen Entwicklung (vgl. Rathgeb-Schnierer & Rechtsteiner 2018, S.73).

Hervorzuheben ist die Sprache, die eine entscheidende Rolle in der Mathematik spielt, insbesondere wenn es um das Verständnis und die Verwendung von *Zahlwörtern* geht. Schon Leibniz' Vision einer einheitlichen Sprache spiegelt den Wunsch nach Verständigung und Einheit unter den Menschen wider (s.Anmerkung 1). Es ist faszinierend, dass trotz der Vielfalt an Sprachen und Schriftsystemen die *indo-arabische Zahlenschreibweise* der Ziffern 0 bis 9 weltweit anerkannt und verstanden wird. Diese universelle Sprache der Zahlen ermöglicht es Menschen, unabhängig von ihrer Herkunft, miteinander zu kommunizieren und Informationen auszutauschen. Es zeigt, wie Mathematik als eine Art gemeinsame Grundlage fungieren kann, die über kulturelle und sprachliche Grenzen hinweg verbindet. Während das arabische Notationssystem tatsächlich eine universelle Grundlage für die Darstellung von Zahlen bietet, zeigt sich in der Aussprache und den sprachlichen Strukturen der verschiedenen Sprachen eine große Vielfalt. Die Unterschiede in der Zahlensprache, wie zum Beispiel „twentyone“ im Englischen und „einundzwanzig“ im Deutschen, verdeutlichen, dass Sprache nicht nur ein Mittel zur Kommunikation ist, sondern auch kulturelle und historische Einflüsse widerspiegelt (vgl. Fischer 2008, S.151f.).

Die *Zahlwortbildung im Deutschen* stellt eine interessante linguistische Eigenheit dar, die sich von anderen Sprachen unterscheidet. Sie soll im Folgenden näher beleuchtet und ein Vergleich zu anderen Ländern und Sprachen erbracht werden. Im Deutschen wird die Zahl 123 als „hundert-drei-und-zwanzig“ ausge-

sprochen, was eine andere Reihenfolge als in vielen anderen Sprachen darstellt. Hier besteht ein Unterschied zwischen arabischer Notation und Aussprache. Es wird zuerst die Einerstelle genannt und danach erst die Zehnerstelle. Geschrieben wird jedoch zuerst die Zehnerstelle und danach die Einerstelle. Das widerspricht der Logik des Stellenwertsystems, das heißt der geordneten Zahlenfolge von Hunderter-Zehner-Einer (vgl. Morfeld & Summer 2024, S.1). Einer schlüssigen, dem dekadischen System geschuldete Zahlenschreibweise steht eine dieser Schreibweise nicht folgende Sprechweise gegenüber. Es gibt spezielle Namen für die Zahlen von 11 bis 19, die nicht direkt auf den Zehnerzahlen basieren. Dies kann zu Verwirrung führen, insbesondere für rechen-schwache Kinder. Gaidoschik spricht in diesem Zusammenhang sogar von „der Dummheit der deutschen Sprache beim Sprechen zweistelliger Zahlen“ (2021, S.172). Ähnliche Phänomene finden sich auch im Holländischen und Dänischen. Zum Beispiel wird im Dänischen die Zahl 21 als „enogtyve“, wörtlich „eins-und-zwanzig“, ausgesprochen. Dies ist eine andere Struktur als die schriftliche Form 21. Solche Unterschiede können das Erlernen und Verstehen von Zahlen erschweren, da sie nicht immer intuitiv sind.

Ein transparentes Zahlwortsystem ermöglicht es, die Struktur und den Wert von Zahlen durch ihre sprachliche Darstellung leicht zu erkennen. In einem solchen System sind die Zahlwörter so aufgebaut, dass sie direkt auf die Ziffern und deren Stellenwert im schriftlichen System verweisen (vgl. Klein et al. 2013, S.5).

In den meisten romanischen Sprachen, im Englischen, Russischen, Ukrainischen, Türkischen und Chinesischen wird die Zahl 123 von links nach rechts ausgesprochen, also als „hundert-zwanzig-drei“.

Die Debatte über das Schriftbild von Zahlen und die dazu unpassende Sprechweise ist nicht erst Gegenstand jüngerer Diskussion, sondern es wurde bereits vom deutschen Rechenmeister und Rechtsgelehrten Jakob Köbel 1520 angedacht, die verdrehte Verbalisation durch eine unverdrehte Sprechweise zu ersetzen (2). Im ausgehenden Mittelalter wurde eine Revolution bei der schriftlichen Form der Zahlendarstellung durchgeführt. Das schwerfällige römische Buchstabensystem wurde durch die Einführung des dekadischen bis heute gültigen *indo-arabischen Stellenwertsystems* um 1500 ins Deutsche ersetzt. Man

hat jedoch versäumt, eine vergleichsweise harmlose Reform und Anpassung der mündlichen Darstellung vorzunehmen (vgl. Gerritzen 2008, S.18).

Die Diskussion über eine mögliche Reform der mündlichen Darstellung ist nach wie vor relevant, da sie dazu beitragen könnte, das Verständnis für mathematische Konzepte zu verbessern und Missverständnisse zu vermeiden. Ein konsistentes und transparentes Zahlwortsystem könnte den Zugang zur Mathematik erleichtern und das Lernen, insbesondere für rechenschwache und mehrsprachige Kinder fördern.

Die verdrehte Zahlensprechweise hat zahlreiche nachteilige Auswirkungen auf das Erlernen und Verstehen des Stellenwertsystems. Zahlendreher stellen beim Aufbau eines strukturierten Zahlenverständnisses eine Hürde dar. Die Aussage von Haarmann, dass „das Denken mit Zahlbegriffen durch die Verwendung konventioneller Zahlwörter konditioniert“ (2008, S.37) wird, ist ein interessanter Ansatz, der die Beziehung zwischen Sprache und kognitiven Prozessen beleuchtet. Die inverse Sprechweise behindert auch das Erfassen von Zahlengrößen, sowohl bei linearer als auch bei dekadischer Darstellung. Diese Konditionierung, die zu einem Widerspruch zwischen der akustischen und der logisch entwickelten Vorstellung des Zahlenbildes führt, irritiert Kinder permanent, „weil stets zwei entgegengesetzt gerichtete Zahlvorstellungen hervorgerufen werden“ (Schellenberger 2008, S.46). Die Formulierung Meyerhöfers, dass die verdrehte Zahlbenennung eine strukturierte Zahlauffassung bei Kindern „torpediert“ (2015, S.28), bringt die Problematik sehr prägnant auf den Punkt. Diese Aussage verdeutlicht, dass die Art und Weise, wie Zahlen im Deutschen ausgesprochen werden, nicht nur verwirrend ist, sondern aktiv das Verständnis und die kognitive Verarbeitung von Zahlen behindern kann. Ähnlich beklagt auch Gaidoschik die „Idiotien der Zahlwortbildung in der deutschen Sprache“ (2015, S.178). Außerdem betont er die besondere Herausforderung der Inversion für Kinder mit Rechenschwierigkeiten (vgl. Gaidoschik 2021, S.169f.). Schipper, Ebeling und Dröge sind der Ansicht, dass „eine inverse Zahlenschreibweise und Zahlendreher die Entwicklung eines tragfähigen Stellenwertverständnisses verhindern können“ (2022, S.7). Sie beschreiben die Inversion als schwierigste Hürde im Aufbau eines Zahlenverständnisses und als offensichtlichen Indikator für ein fehlendes *Stellenwertverständnis* (vgl. Schipper et al. 2022, S.49f.). Wittmann

und Müller (vgl. 2016, S.40) und Fuchs et al. (vgl. 2014, S.7) weisen auf die große Herausforderung für Kinder mit anderer Familiensprache als Deutsch hin, besonders wenn sie aus einem Land kommen, wo Zahlwörter entlang der Lese- richtung ausgesprochen werden.

Im Konflikt der traditionellen Sprechweise mit dem Stellenwertsystem, das heißt mit der systematischen Hunderter-Zehner-Einer Abfolge, gibt es unterschiedliche Sichtweisen. Schuppener (2014) und Comrie (2005) heben die historische und kulturelle Dimension der deutschen Sprache hervor und erkennen im Stellenwertsystem keine derartige Grundlage. Laut Schuppener ist eine Veränderung des Zahlwortsystems im Deutschen weder nötig noch sinnvoll. Dies begründet er mit der Konstruktion von Zahlwörtern wie einundzwanzig, die auf der Basis der Betonungsregeln im deutschen Sprachsystem funktioniert. Es wird das unterscheidende Element, die Einerzahl betont. Dies bringt für die Aufmerksamkeit beim Aufzählen große Vorteile. Für Schuppener ist eine Umkehrung der Zahlwörter nicht konform mit dem deutschen Sprachsystem (vgl. Morfeld & Schuppener 2024, S.22). Auch Reibold argumentiert für die traditionelle Zahlwortstruktur. Wenn ein einsilbiges Wort mit einem zweisilbigen durch „und“ verbunden wird, entsteht eine besonders klangvolle und einprägsame Wendung, insbesondere wenn das einsilbige Wort an erster Stelle steht wie beispielsweise bei „Max und Moritz“ oder „einundzwanzig“. Dies liegt daran, dass zweisilbige Wörter dem natürlichen Rhythmus nach in der Regel auf der ersten Silbe betont werden. Weiter führt Reibold an, dass die traditionellen Zahlwörter das schriftliche Rechnen unterstützen und die Ziffernkombination beispielsweise einer gehörten oder gedachten 48 als ein einziges Zeichen erscheint (vgl. Reibold 2024, S.9f.). Demgegenüber hält Morfeld fest, dass die Betonung der *stellenwertgerechten* Zahlwörter auf der letzten Silbe liegt. Dies sei im Deutschen ebenfalls üblich, z.B. „blaues Band“ oder „hundertfünf“. Beim schriftlichen Rechnen motivieren die traditionellen Zahlwörter zum *invertierten Schreiben* zweistelliger Zahlen. Aus mathematikdidaktischer Sicht ist dies problematisch, da es nicht der Struktur der Schreibung von links nach rechts entspricht (vgl. Morfeld 2024, S.20f.).

### 1.1.2 Neuropsychologische Modelle

Entwicklungspsychologische und neurowissenschaftliche Modelle betrachten die Entwicklung der zahlenverarbeitenden Fähigkeiten als einen neuroplastischen Reifungsprozess. Dieser führt während der Kindheit und Jugend zur Bildung eines modular strukturierten neuronalen Netzwerks (vgl. Kucian & Kaufmann 2009, S.340f., von Aster & Shalev 2007, s. Abb.1).

Vorausgeschickt sei das grundlegende, kognitiv- neuropsychologische Triple-Code-Modell von Dehaene (1992), wonach Zahlen in drei unterschiedlichen Formen dargestellt und verarbeitet werden: in Wortform, in Form indo-arabischer Ziffernfolgen und in Form einer inneren räumlichen Vorstellung (mental number line). Zwischen diesen drei Formen finden ständig Übersetzungen statt, es wird eine Form in die andere „transkodiert“. Das Triple-Code-Modell macht deutlich, dass die *Transkodierung* zwischen diesen drei Formen eine wesentliche Basisleistung beim flexiblen Einsatz von Zahlen darstellt.

Die Entwicklung kognitiver Fähigkeiten erfordert ein reifungsbezogenes Zusammenspiel verschiedener kognitiver Funktionen. Diese können sowohl domänenspezifisch, also direkt mit mathematischen Fähigkeiten verbunden, als auch domänenübergreifend sein wie Aufmerksamkeits-, Arbeitsgedächtnis- und Affektregulation, Sprachverarbeitung, Sensomotorik und visuell-räumliche Syntheseleistungen. In Übereinstimmung mit den verbalen, visuellen und imaginativ-räumlichen Merkmalen der kognitiven Zahlenrepräsentationen entstehen neuromoduläre Strukturen in unterschiedlichen Hirnregionen (von Aster et al. 2024, S.1297). Dabei ist die Reifung der zahlräumlichen Repräsentation darauf angewiesen, dass die linguistische und die indo-arabische Repräsentation sowie die Regeln der Transkodierung zwischen ihnen sicher und automatisiert verfügbar ist.

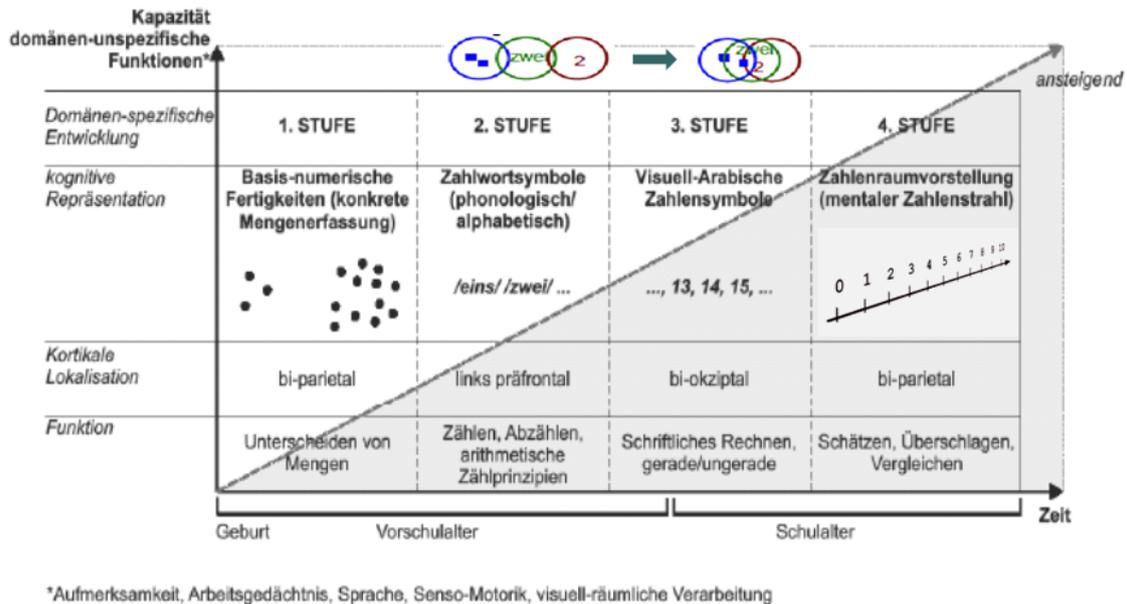


Abb.1 Das Vier Stufen-Modell nach von Aster & Shalev, 2007: Domänenspezifische und -übergreifende Entwicklung numerischer Kognition

### 1.1.3 Neuropsychologische Studien

Neuro- und entwicklungspsychologische Erkenntnisse zur Auswirkung der irregulären Sprechweise von Zahlen belegen, dass die verdrehte deutsche Zahlensprechweise einen nachteiligen Einfluss auf die mathematische Leistungsfähigkeit der Kinder hat. Nürk untersuchte an der Universität Tübingen die Auswirkung der irregulären Zahlensprechweise in vielen neuropsychologischen Projekten, insbesondere unter Berücksichtigung der Transkodierproblematik (Klein et al. 2013, Dowker & Nürk 2017). Die verdrehte Zahlensprechweise behindert eine effektive Transkodierung und führt zu einer signifikant erhöhten Fehlerhäufigkeit. Besonders hervorzuheben ist, dass sich bei deutschen, österreichischen und flämischen Kindern (verdrehte Sprechweise) nicht nur die Transkodierfehler im Zahlendiktat häufen, sondern im Vergleich zu gleichaltrigen italienischen, französischen und japanischen Kindern (unverdrehte Sprechweise) insbesondere auch die Inversionsfehler wie Verwechsler von Zehnern und Einern (Nürk et al. 2005, Zuber et al. 2009, Krinzinger et al. 2011). Im Tschechischen, wo zwei Zahlensprechweisen existieren (verdreht und unverdreht) häufen sich Inversionsfehler bei Kindern, wenn die Zahlen in verdrehter Aussprache präsent

tiert werden (Pixner et al. 2011). Imbo et al. (2014) bestätigen diese Befunde durch einen Vergleich von niederländisch (verdreht) und französisch (unverdreht) sprechenden belgischen Kindern. Es gibt zudem einen statistisch signifikanten positiven Zusammenhang zwischen der Transkodierfähigkeit im ersten Schuljahr und der mathematischen Leistungsfähigkeit sowie den Schulnoten für Mathematik im dritten Schuljahr (Möller et al. 2011). Deutsch sprechende Kinder im Alter von sieben bis neun Jahren zeigten deutlich mehr Probleme bei Additionsaufgaben mit Übertrag im Vergleich zu gleichaltrigen italienisch sprechenden Kindern (Göbel et al. 2014).

Die verdrehte Zahlensprechweise behindert das Erfassen von Zahlengrößen. Dies gilt sowohl für die Ziffernpräsentation der Zahl als auch für die nicht-verbale Präsentation auf einer Zahlenlinie, der sogenannten „mental number line“. Helmreich et al. (2011) ermittelten, dass die Angabe der Lage von Zahlen auf einer Linie, die nur durch Anfangs- und Endzahl gekennzeichnet war, bei deutschsprachigen Kindern signifikant schlechter ausfiel als bei italienischen Kindern. Die Psychologen van der Ven et al. (2017) stellten die Resultate einer breit angelegten Untersuchung an 25620 niederländischen Kindern vor und deckten dabei den Bereich vom letzten Kindergartenjahr bis zum 6. Schuljahr ab. Es wurden Transkodieraufgaben gestellt, die Arbeitsspeicherkapazitäten erhoben und die arithmetische Leistungsfähigkeit ermittelt. Die Inversionsfehlerrate ist im 2. Schuljahr am höchsten, sinkt und liegt ab dem 4. Schuljahr konstant auf 10%. Es gibt also bis zum 6. Schuljahr Kinder, die die Inversionsregeln nicht beherrschen.

Zur Erklärung dieser Phänomene wird auf die beschränkte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses hingewiesen. Zur Darstellung des Arbeitsgedächtnisses wird das Baddeley-Modell verwendet, das aus zwei Speichersystemen besteht, einem verbalen Speicher und einem räumlich-visuellen Speicher sowie einem zentralen Kontrollsystem (Baddeley & Hitch 1974). Die Transkodierung von Zahlen belastet im Wesentlichen das zentrale Kontrollsystem (Imbo et al. 2014, Pixner et al. 2011) und den räumlich-visuellen Speicher (Simmons et al. 2012). Zuber et al. (2009) konnten in ihrer Studie belegen, dass invers strukturierte Zahlwörter das Erlernen von numerischen Kompetenzen erschweren können. Dabei zeigten sich, entsprechend dem Baddeley-Modell, größere Nachteile für

Kinder mit einer geringeren Kapazität des Arbeitsgedächtnisses (s. Kapitel 6 Fallskizzen atypischer Kinder). Das Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley postuliert, dass sich die nachteiligen Effekte der verdrehten Zahlensprechweise erst bei höherer Auslastung des Arbeitsgedächtnisses einstellen. Diese sind nicht nur bei Kindern zu erwarten, sondern auch unter besonderen Belastungssituationen bei Erwachsenen, die die Verdrehregeln der Zahlensprechweise üblicherweise problemlos meistern (van der Ven 2017). Diese Befunde zu Deutsch und Niederländisch sprechenden Kindern decken sich mit dem Ergebnis von Ng und Rao (2010), wonach die nachgewiesenen Leistungsvorteile in Mathematik unter Schulkindern aus den pazifisch-asiatischen Staaten nicht vollständig durch kulturelle Unterschiede, wie z.B. Erziehungssystem, Motivation sowie Unterstützung durch das Elternhaus erklärt werden können, sondern auch durch den Vorteil der regulären Zahlensprechweise bedingt sind.

## **1.2 Erschwernisse des Rechnenlernens**

Rechnen gehört neben Lesen und Schreiben zu den Schlüsselkompetenzen, die für die gesamte weitere Lernentwicklung eines Kindes wichtig sind. Das Erlernen der Kulturtechniken beginnt bereits lange vor Schuleintritt. Es ist immer auf Prozesse des Verstehens und Automatisierens von Faktenwissen angewiesen. Diese komplexe Entwicklungsdynamik (s. Abb.1) kann an verschiedenen Stufen und Orten beeinträchtigt werden, was unterschiedliche Auswirkungen auf die Symptomatik und den Verlauf zur Folge hat.

1916 berichtete der ungarische Psychologe Ranschburg erstmals über das Auftreten von Leseschwäche, von ihm „Legasthenie“ genannt, und Rechenschwäche, von ihm als „Arithmasthenie“ bezeichnet (vgl. Ranschburg 1916).

### *1.2.1 Definition*

Bislang gibt es keine einheitliche und allgemein anerkannte Definition des Begriffs. Eine Rechenstörung liegt vor, wenn ein Kind signifikante und anhaltende Schwierigkeiten beim Erlernen numerisch-rechnerischer Fertigkeiten zeigt, welche die schulischen Leistungen sowie das allgemeine Wohlbefinden des Kindes beeinträchtigen. Es besteht auf Grund noch fehlender Voraussetzungen kein

Verständnis für Zahlen, Rechenoperationen und Rechenstrategien. Dies steht oft im Gegensatz zu einer ansonsten guten Auffassungsgabe und guten Leistungen in anderen Bereichen. Die beeinträchtigte Verarbeitung der Größe von Mengen und Zahlen, auch als eingeschränkter Zahlensinn bezeichnet, ist ein charakteristisches Symptom der Rechenstörung (Landerl et al. 2017). Als Synonyme werden häufig die Begriffe „Dyskalkulie“, „Rechenschwäche“ oder „mathematische Lernschwäche“ verwendet. Der Schweregrad der Minderleistung wird durch den Leistungsunterschied zwischen dem individuellen Testwert eines Kindes und den entsprechenden Alters- oder Klassennormen ermittelt. Dies geschieht durch den Einsatz standardisierter und empirisch validierter Rechentests, die eine objektive Bewertung der mathematischen Fähigkeiten ermöglichen. Strengere Cut-off-Werte von 10 bis 15% deuten auf eine Lernstörung, großzügigere Cut-off-Werte von bis zu 25% weisen auf eine Lernschwäche hin (vgl. Aster et al. 2024, S.1290).

### *1.2.2 Klassifikation*

Die Rechenstörung wird gemäß der beiden internationalen Diagnosemanuale ICD-11 (World Health Organization 2017) und DSM-V (Falkai und Wittchen 2015) als ein Kapitel innerhalb der Gruppe der Lernstörungen klassifiziert. Diese Störungen fallen unter den Sammelbegriff der „neurodevelopmental disorders“, was darauf hinweist, dass sie in der Regel in der frühen Entwicklungsphase eines Kindes auftreten und mit der neuropsychologischen Entwicklung in Verbindung stehen.

Im Gegensatz zum DSM-V fordert das ICD-11 ein striktes Intelligenz-Diskrepanz-Kriterium. Die Rechenleistungen müssen deutlich unter dem Wert liegen, der aufgrund der intellektuellen Leistungsfähigkeit zu erwarten wäre. Seit der Analyse von Schlee (1976) ist das Diskrepanzkriterium immer wieder kritisiert worden, jedoch ohne Änderung bei den Vorgaben der WHO, an denen sich die Rechtsprechung in Deutschland orientiert. Auch Mähler (2020) rät zum Umdenken und Verzicht. Zu den Ausschlusskriterien für die Diagnose einer Rechenstörung gehören intellektuelle Beeinträchtigungen, sensorische Beeinträchtigungen wie Seh- und/oder Hörminderungen, neurologische oder motorische Störungen oder ungünstige psychosoziale Faktoren.

Die von der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften erstellte S3-Leitlinie ist ein weiteres, in Deutschland häufig verwendetes Diagnosesystem (AWMF 2018). Wenn eine gravierende Minderleistung in Bezug auf die Fehleranzahl und/ oder die Bearbeitungszeit in den Bereichen der numerischen Basiskompetenzen, der Grundrechenarten, der Rechenstrategien und/ oder der Textaufgaben vorliegt, handelt es sich um eine Rechenstörung. Diese Minderleistungen sind in der Regel begleitet von reduziertem Arbeitsgedächtnis, insbesondere betroffen ist das visuell-räumliche Arbeitsgedächtnis, sowie defizitären exekutiven Funktionen wie der Inhibitionskontrolle. Auch die S3 Leitlinien verzichten auf das Vorliegen des Intelligenz-Diskrepanz-Kriteriums.

Die Vielfalt der klinischen Erscheinungsformen und die ursächlichen Zusammenhänge von Rechenstörungen sind äußerst ausgeprägt. Viele Experten plädieren daher für dimensional ausgerichtete Diagnosen, um die Komplexität und Vielfalt der kognitiven Fähigkeiten und Schwierigkeiten besser abzubilden (Kaufmann et al. 2013, Peters & Ansari 2019).

### *1.2.3 Prävalenz*

Die Prävalenz von Rechenstörungen mit kaum nennenswerten länderspezifischen Unterschieden liegt zwischen 3 und 8% (Kaufmann & von Aster 2012, Wyschkon et al. 2009). Mädchen scheinen etwa gleich häufig (Landerl et al. 2017, Moll et al. 2014, Morsanyi et al. 2018) oder häufiger (Fischbach et al. 2013, Schulz et al. 2018) als Jungen betroffen zu sein. Da die diagnostische Erfassung der rechnerischen Fähigkeiten nicht vereinheitlicht ist, können die Prävalenzzahlen leicht variieren.

### *1.2.4 Komorbidität*

Rechenstörungen treten häufig in Kombination mit anderen Lernstörungen wie beispielsweise Lese-Rechtschreibstörungen (LRS 33-40% oder Aufmerksamkeitsstörungen wie AD(H)S 22%) (Kaufmann & von Aster 2012, Landerl et al. 2017) sowie auch mit Sprachentwicklungsstörungen oder tiefgreifenden Entwicklungsstörungen wie Autismus oder sozialemotionalen Störungen auf (Mor-

sanyi et al. 2018). Ein Mangel an rechnerischen Fähigkeiten kann zu einem geringen Selbstwertgefühl, sozialer Isolation und zu psychischen Problemen führen. Externalisierende Symptome wie aggressives Verhalten oder Störungen des Sozialverhaltens zeigen sich bei bis zu einem Fünftel der betroffenen Kinder. Störungen aus dem internalisierenden Spektrum mit spezifischen Phobien wie Matheangst oder Prüfungsangst, sich auf alles Schulische ausdehnende Ängste mit Schulvermeidung und schließlich depressiven Symptomen entwickeln sich mindestens ebenso häufig (Pixner & Kaufmann 2013). Rechnerische Leistungen setzen nicht nur ein einwandfreies Funktionieren der domänenspezifischen Fertigkeiten voraus, sondern benötigen zusätzlich domänenübergreifende kognitive Fähigkeiten. Viele Kinder weisen verschiedenartige Entwicklungsdefizite in diesen Bereichen auf. Sie haben schwächere Leistungen im verbalen Arbeitsgedächtnis, der phonologischen Schleife, und im visuell-räumlichen Arbeitsgedächtnis, dem visuell-räumlichen Notizblock, dem kurzzeitigen Speichern von aufgabenrelevanten Informationen. Dies führt zu Schwierigkeiten beim Rechnenlernen (Landerl & Kölle 2009, Shin & Bryant 2015). Beim Mosaiktest des Wechsler Intelligence Scale for Children (WISC) zeigen einzelne Studien, dass Kinder mit Rechenstörungen Minderleistungen in visuell-räumlichen Aufgaben haben (McCaskey et al. 2017).

#### *1.2.5 Verlauf*

Wenn Rechenstörungen nicht erkannt und behandelt werden, können sie zu einem hohen Risiko für chronisches Scheitern in der Schule führen. Die Folgen sind weitreichend und betreffen nicht nur die schulische Leistung, sondern auch die gesamte Bildungs-, Gesundheits- und Persönlichkeitsentwicklung der betroffenen Kinder. Schulabschluss und Berufsbildungsniveau bleiben meist hinter den Möglichkeiten der Betroffenen zurück. Ohne Behandlung bleibt eine Rechenstörung bis ins Erwachsenenalter bestehen (Cohen Kadosh et al. 2013, Kaufmann & von Aster 2012, Landerl et al. 2017). Defizite in der basalen und räumlichen Größenverarbeitung und in dem Aufbau und Abruf von numerischem Faktenwissen sowie im Verständnis und Gebrauch angemessener arithmetischer Prozeduren sind typisch.

### 1.2.6 Ätiologie und Störungsverständnis

Nichtgenetische Vererbung und biografische Lern- und Entwicklungserfahrungen spielen eine wichtigere Rolle für das ätiologische Verständnis und die Behandlung von schulischen Leistungsproblemen im Rechnen als genetische Vererbungsfaktoren. Der negative Einfluss früher Stresserfahrungen auf die Entwicklung von affekt- und aufmerksamkeitsregulierenden Funktionen ist durch zahlreiche klinische, bindungspsychologische, experimentelle und epigenetische Forschungsbefunde belegt. Diese frühen Belastungen haben weitreichende Folgen für die kognitive und sozial-emotionale Entwicklung. Nach dem aktuellen Forschungsstand gilt die Vorstellung vom Gen als einer festen Blaupause für den äußeren und inneren Phänotyp des Menschen als überholt (Stotz 2014). Spezifische Rechenangst stellt einen bedeutenden, auch transgenerational wirksamen, nichtgenetischen Faktor dar, der zur Entstehung und Aufrechterhaltung von Rechenstörungen beiträgt (von Aster et al. 2017, Furner & Berman 2003, Maloney et al. 2015). Ashcraft et al. (2007) schlugen unter Berücksichtigung verschiedener Studienergebnisse ein Strukturmodell vor, bei dem eine Kombination aus persönlicher Lerngeschichte und biologischer Prädisposition für generelle Ängstlichkeit den Ausgangspunkt bildet. Geringere rechnerische Fertigkeiten, eine geringere Motivation und Defizite im Arbeitsgedächtnis sind die Folge.

Eine große Herausforderung stellt die Zahlwortinversion nicht nur für rechen-schwache Kinder dar, sondern auch für Kinder, die mit mehreren Zahlensprechweisen aufwachsen. Kinder aus Migrationsfamilien, in denen die zuhause benutzte Sprache nicht die deutsche ist, sind im Vergleich zu Kindern aus Deutsch sprechenden Familien etwa doppelt so häufig von einer Lernstörung betroffen (Brandenburg et al. 2016). Hier kann es beim Transkodieren zu Verwirrung und Unsicherheit kommen, wenn die Sprachen in Bezug auf die Korrespondenz zwischen den Zahlwörtern und den entsprechenden geschriebenen arabischen Zahlen unterschiedlich transparent sind. Diese Kinder müssen mehr Übersetzungsregeln für das Übertragen aus der sprachlichen in die indo-arabische Kodierung und umgekehrt erlernen und automatisieren. Bei Schuleintritt haben sie eine große sprachliche Herausforderung zu bewältigen. Wenn ständige Fehlermeldungen die räumlichen Zuordnungen auf dem mentalen Zahlen-

strahl verunsichern, kann eine sichere Zahlenraumvorstellung und die entsprechende neuronale Struktur im Gehirn nicht reifen, wodurch sich eine Rechenschwäche entwickeln kann (vgl. von Aster et al. 2024, S.1295).

### *Neurobiologische Befunde*

Rechenstörungen sind charakterisiert durch abweichende Aktivierungsmuster der neuronalen Netzwerke. Das neuronale Netzwerk der Zahlenverarbeitung setzt sich aus verschiedenen, über das Gehirn verteilten Arealen zusammen, wobei das Kerngebiet für numerische und rechnerische Verarbeitung im Parietallappen lokalisiert ist, dem Sitz des Zahlensinns. Eine Vielzahl von frontalen Regionen werden zusätzlich rekrutiert, die übergreifende Prozesse der exekutiven Funktionen, wie Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeit und Affektkontrolle steuern (Kucian & von Aster 2015, Peters & De Smedt 2018). Bei Kindern mit Rechenstörungen werden die Kerngebiete im Parietallappen schwächer aktiviert, der automatisierte und rasche Zugriff zu dieser Repräsentation ist schlechter ausgebildet. Sie rekrutieren im Unterschied dazu vermehrt unterstützende Gehirnareale, um eine numerische Aufgabe lösen zu können, beispielsweise den Frontallappen, welcher mit nichtnumerischen Ressourcen wie Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeit und exekutiven Funktionen assoziiert ist. Es wurde erkannt, dass strukturelle Faserverbindungen zwischen einzelnen Arealen schlechter ausgebildet sind (Kucian et al. 2014, Rykhlevskaia et al. 2009). Die Ergebnisse der bildgebenden Forschung sind allerdings lediglich als Korrelate der beobachtbaren Rechenschwierigkeiten anzusehen, nicht als Ursache. Unser Gehirn ist in hohem Maße neuroplastisch und passt sich mit dem Lernen den Erfordernissen der Lebensbewältigung fortwährend an. Neuronale Entwicklungsdefizite können also durch gezielte Förderprogramme moduliert und vermindert werden (vgl. von Aster et al. 2024, S.1301f.).

#### *1.2.7 Prävention, Förderung und Therapie*

Das Trainieren von Vorläuferfertigkeiten im Kindergarten und eine Förderung numerischer Basiskompetenzen in der Vorschule wäre wünschenswert, ja notwendig, um eine Verbesserung der späteren Rechenleistungen zu erreichen

(Rademacher et al. 2009, Krajewski et al. 2007). Klar ist, dass eine spezifische Förderung so früh wie möglich beginnen sollte. Dabei müssen die Interventionen auf das individuelle Profil von Stärken und Schwächen in den domänenspezifischen und domänenübergreifenden Funktionsbereichen adaptiert und angepasst sein und gegebenenfalls auch medizinisch-psychiatrische und psychotherapeutische Methoden einschließen. Therapieformate im Einzelsetting haben sich als effektiv erwiesen. Insbesondere bei sekundären sozial-emotionalen Störungen sind integrative Lerntherapien, welche die spezifische Förderung mit psychotherapeutischen Basiselementen verbinden, angezeigt (Bender et al. 2017).

### **1.3 Zielsetzung**

Das Forschungsinteresse am Zusammenhang zwischen Sprache und mathematischer Entwicklung hat in den letzten Jahren zugenommen. Sprache gilt als Schlüssel für die Teilhabe an der Gesellschaft und ist ein wesentlicher Faktor für Bildungserfolg. Dem Aspekt der Zahlenlinguistik im Bereich der Forschung über Mathematikentwicklung und im Besonderen der Rechenstörung soll in dieser Arbeit besondere Beachtung geschenkt werden.

Der aktuelle Forschungsstand weist darauf hin, dass der Erwerb eines gesicherten Stellenwertverständnisses für Kinder, deren Sprache ein Zahlwortsystem aufweist, welches Zahlen intransparent darstellt, erschwert ist. Da ein gesichertes Stellenwertverständnis jedoch als wesentlicher Einflussfaktor auf spätere mathematische Leistungen zu sehen ist, bedarf es einer bewussten Aufarbeitung der unterschiedlichen Schreib- und Sprechweise der Zahlen (Möller et al. 2015).

Einige Länder haben die Zahlensprechweise bereits erfolgreich reformiert. Im österreichischen Lehrplan ist die sprachliche Komponente besonders betont. Die unverdrehte Zahlensprechweise kennenzulernen und auszuprobieren steht im Lehrplan (Bundeskanzleramt der Republik Österreich 2023, BGBl.II). In Norwegen wurde bereits vor 70 Jahren die bis dahin verdrehte, dem Deutschen ähnliche Zahlensprechweise erfolgreich reformiert (vgl. Vannebo 2008, S.95f.).

Beide Sprechweisen können, wie man am Beispiel des Tschechischen sieht, gut nebeneinander existieren (vgl. Himmel 2008, S.124f.).

Auf dieser Grundlage wurde die Initiative Zwanzigeins e.V. gegründet. Der Verein verfolgt die Reformidee eines Nebeneinanders beider Sprechweisen. Es sollte ein wesentlicher Bestandteil des Mathematikunterrichts sein, die Zahlwortinversion in der deutschen Sprache und die dadurch bedingten Schwierigkeiten zu thematisieren. Alle Kinder sollten die Möglichkeit bekommen, die unverdrehte Zahlensprechweise kennenzulernen und auszuprobieren. Die stellenwertgerechte Zahlensprechweise sollte allgemein als eine „richtige“ Sprechweise anerkannt werden (vgl. Morfeld & Summer 2024, S.2). Es wird dann beispielsweise zwanzigeins statt einundzwanzig für 21 ausgesprochen. Eine Reform ab der Zahl 11 wird angestrebt. Zur Definition dieser Sprechweise siehe das Positionspapier von Zwanzigeins e.V. (Zwanzigeins e.V.). Studien in England, Wales und Hongkong belegen empirisch die plausiblen Nachteile der verdrehten englischen Sprechweise bis 19 (Dowker & Lloyd 2005, Dowker et al. 2008, Dowker & Roberts 2015, Mark & Dowker 2015). Der Verein Zwanzigeins e.V. hat eine frei verfügbare App entwickelt (<http://zwanzigeins.jetzt/app>), mit der die verschiedenen Zahlensprechweisen praktisch und spielerisch ausprobiert werden können.

Aufgrund der in einer Studie an 55 Schulkindern der 2. Schulstufe mit der Zwanzigeins-App in Österreich gewonnenen Erfahrungen (Schmid 2023, Morfeld & Summer 2024) soll geprüft werden, ob sich ähnliche Unterschiede bei Eingabedauer und Zahl der Eingabefehler bei Verwendung einer stellenwertgerechten anstelle der traditionell verdrehten Zahlensprechweise in einer Gruppe von rechenschwachen Kindern der 2. bis 6.Schulstufe ergeben. In Berlin umfasst die Grundschule sechs Schuljahre.

Die Studie ist Gegenstand der vorliegenden Masterarbeit im Studiengang „Integrative Lerntherapie“ an der Pädagogischen Hochschule Schwäbisch Gmünd unter Anleitung von Prof. Dr. Michael von Aster, Geschäftsführer des Zentrums für Schulische und Psychosoziale Rehabilitation (abgekürzt: ZSPR) an den DRK Kliniken Berlin Westend. Im Unterschied zur österreichischen Studie von Schmid (2023) ist die Thematik nicht im Regelschulbereich angesiedelt, sondern im therapeutischen Setting, in der Förderung rechenschwacher Kinder.

Das Studienkollektiv besteht aus zwei Gruppen, die den Studierenden als Untersucherinnen zugeordnet sind (Gruppe 1: Anna Kuhl M.A. (abgekürzt: AK), Gruppe 2: Vivien Hartwig M.A. (abgekürzt: VH)).

Es sollen insgesamt mindestens 40 rechenschwache Kinder rekrutiert und getestet werden. Grundlage war eine Powerschätzung mit Hilfe von Stata 14 (StataCorp 2015) auf Basis von Schmid (2023), siehe Kap. 2.1 für Details. In Erwartung einer angenehmen und effektiven Teamarbeit soll jede Untersucherin mindestens 20 Kinder testen. Der Rekrutierungsprozess wird ausführlich dargestellt, die Testungen müssen vollständig und verwertbar sein. Frau Anna Kuhl wird die Fragestellungen zur Eingabedauer und Frau Hartwig zur Fehlerzahl bearbeiten, die wie folgt lauten:

- Geht es schneller mit „zehneins“? (AK)
- Geht es schneller mit „zehneins“, selbst bei Berücksichtigung der kürzeren Ansagezeit in stellenwertgerechter Sprechweise? (AK)
- Um wieviel Prozent ist das Kind schneller mit „zehneins“? (AK)
- Gibt es weniger Fehler mit „zehneins“? (VH)
- Gibt es mehr fehlerfreie Durchgänge mit „zehneins“? (VH)

Die Auswertungen beziehen sich stets auf das Gesamtkollektiv, werden aber getrennt für die Grundfragestellungen beantwortet.

Aus dem Forschungsstand und Theorierahmen abgeleitet, stellt sich für die vorliegende Arbeit folgende Forschungsfrage:

Profitieren rechenschwache Kinder in Bezug auf die Dauer von einer stellenwertgerechten Sprechweise?

Ziel ist es, durch die Messung der Zeitdauer (AK) den Effekt der Sprechweise bei 40 rechenschwachen Kindern zu eruieren, um in einem weiteren Schritt durch eine zufallskritische Analyse folgende Hypothese zu prüfen:

H1: Es gibt einen Unterschied in der Geschwindigkeit beim Transkodieren von Zahlen zwischen einer stellenwertgerechten Sprechweise und der im Deutschen üblichen inversen Sprechweise in einem Zahlendiktat.

H0: Es gibt keinen Unterschied in der Geschwindigkeit beim Transkodieren von Zahlen zwischen einer stellenwertgerechten Sprechweise und der im Deutschen üblichen inversen Sprechweise in einem Zahlendiktat.

## **2. Empirische Untersuchung**

Ein zentraler Aspekt aller empirischen quantitativen Forschungen ist, dass der Datenerhebung eine sorgfältige und durchdachte Planung vorausgehen muss. Das Datenerhebungsinstrument wird dabei im Voraus festgelegt und nicht mehr verändert. Ebenso wird während der Analyse der Daten keine nachträgliche Veränderung des Datensatzes vorgenommen (vgl. Döring & Bortz 2016, S.23ff.). Für die Planung dieser Studie wurde viel Zeit investiert und versucht, alle potenziellen Einflussfaktoren genau zu berücksichtigen. Insbesondere für die Überlegung der Kovariablen, die zu einer erweiterten Hypothesenbildung beitragen könnten, fanden zahlreiche ergiebige Besprechungen zwischen der Untersucherin Frau Anna Kuhl und Frau Vivien Hartwig statt wie auch mit Herrn Prof. Michael von Aster. Bei der Erstellung der Hauptfragestellungen und des Studiendesigns fand eine optimale Zusammenarbeit mit Herrn PD Dr. Peter Morfeld, als Mathematiker und Epidemiologe in Projekten an der Universität Köln und der Ruhr-Universität Bochum tätig und Vorsitzender des Vereins Zwanzigeins e.V., statt. Aufgrund der hohen Komplexität des zur Auswertung verwendeten Programms Stata 14 (StataCorp 2015), das viel Erfahrung erfordert, erklärte er sich freundlicherweise bereit, die Datenanalyse durchzuführen. Nach der Besprechung der Ergebnisse in einer gemeinsamen Videokonferenz mit Frau Vivian Hartwig, Herrn Prof. Dr. Michael von Aster und Herrn PD Dr. Peter Morfeld am 12.07.2024 wurden diese in die Arbeit eingegliedert.

## 2.1 Studiendesign

Bei dem Studientyp handelt es sich um eine experimentelle Längsschnittstudie, wobei die beiden verschiedenen Sprechweisen, die Expositionen „innerhalb“ des Kindes verglichen werden. Bei Längsschnittstudien wird eine Beobachtungseinheit, in diesem Fall das Kind, mehrfach beobachtet, bei Querschnittstudien nur einmal. Um valide Informationen über Veränderungen zu erhalten sind Längsschnittstudien erforderlich. Querschnittstudien hingegen können häufig nur Trends und Tendenzen aufzeigen. Besonders das Verständnis von Veränderungen im zeitlichen Kontext stellt eine zentrale Fragestellung in der Forschung dar. Durch Längsschnittstudien lassen sich kausale Zusammenhänge zwischen Exposition und Reaktionsvariablen gezielt herausarbeiten (vgl. Gogolin & Stecher 2014, S. 265f.). Längsschnittstudien werden grob in Zeitreihen und Panelstudien gegliedert. Bei Zeitreihen ist die Zahl der Perioden größer als die Zahl der Beobachtungseinheiten. Bei Panelstudien ist die Zahl der Perioden kleiner als die Zahl der Beobachtungseinheiten. Bei dieser Studie handelt es sich also um eine Panelstudie. Über welchen Kalenderzeitraum sich die Studie erstreckt spielt bei Längsschnittstudien keine Rolle. Eine Studie über lediglich 24 Stunden zur Zahl der Fahrzeuge pro Minute (= Exposition, unabhängige Variable) und der Feinstaubkonzentration pro Minute (= Respons, abhängige Variable) auf 10 Autobahnen ist eine Zeitreihe. Eine solche Studie ist eine Beobachtungsstudie, da sich die Exposition außerhalb der Kontrolle der Forschenden einstellt. Diese Zwanzigeins-App-Studie ist dagegen eine Experimentalstudie, denn die Exposition, die Sprechweise pro Periode, der Aufgabenblock, wird festgesetzt. Ein erheblicher Vorteil im Einsatz von Panelstudien zeigt sich in der Auswertung, wenn multivariable Analysemethoden eingesetzt werden sollen. Effekte können hier mit Hilfe der Fixed-Effects-Regression, wie in dieser Studie angewandt, sehr valide dargestellt werden. Bezogen auf die vorliegende Studie bedeutet dies, dass der Vergleich „innerhalb“ des Kindes stattfindet, es findet kein Vergleich zwischen den Kindern statt. Jedes Kind stellt seine eigene Referenz dar. Die Zeiten und Fehler (VH) des jeweiligen Kindes pro Sprechweise, pro Durchgang sind die Größen, die in Beziehung gesetzt werden (vgl. Pforr & Schröder 2015, S.1ff.). Bei Panelstudien gibt es auch mögliche, zu bedenkende

Schwächen. Die Testpersonen können die Motivation an der Teilnahme verlieren. Es kann so zu Verlusten in der Beobachtungseinheit kommen.

Die an der Studie teilnehmenden Kinder bekommen folgende Transkodieraufgabe: Mit der Zwanzigeins-App werden vier Durchgänge (= vier Perioden) mit je 10 diktierten Zahlen pro Kind realisiert, wobei zwei Durchgänge mit der Sprechweise „traditionell-verdreht“ (abgekürzt: Tv) und zwei Durchgänge mit der Sprechweise „zehneins“ (abgekürzt: Ze) erfolgen. Die Abfolge der beiden Sprechweisen wird systematisch variiert und die so definierten unterschiedlichen Sequenzen den Kindern zufällig zugeordnet. Im Detail bedeutet dies, dass bei der Hälfte der Kinder Sequenz 1 realisiert wird. Es wird jeweils ein Probendurchgang und ein Messdurchgang „traditionell verdreht“, dann ein Probe- und Messdurchgang im Modus „zehneins“ durchgeführt, das heißt die Sequenz 1 ist traditionell verdreht - traditionell verdreht - zehneins - zehneins (TvTvZeZe). Bei der anderen Hälfte der Kinder wird Sequenz 2 realisiert. Es wird jeweils ebenfalls ein Probendurchgang und ein Messdurchgang „zehneins“, dann ein Probe- und Messdurchgang im Modus „traditionell verdreht“ durchgeführt, das heißt zehneins - zehneins - traditionell verdreht - traditionell verdreht (ZeZeTvTv). Welches Kind welche Sequenz erhält, wird durch Münzwurf randomisiert, bis die Hälfte der Kinder Sequenz 1 oder 2 zugewiesen bekommen haben. Bei ungerader Anzahl wird eine zufällige Zuordnung der „überzähligen“ Kinder vorgenommen. Dies sollte bereits im Vorfeld erfolgen, sobald die Liste der teilnehmenden Kinder bekannt ist. Entsprechende Listen sollten bei der Versuchsdurchführung vorliegen (s. Anlage 2 Umsteigeliste und Randomisierung Gruppe 1). Vor der Transkodieraufgabe wird den Kindern die von Zwanzigeins e.V. empfohlene stellenwertgerechte Sprechweise erklärt (s. Anlage 3 Untersuchungserklärung). Das heißt das Studiendesign ist „randomized controlled panel study with cross-over“ (vgl. Younge et al. 2015, S. 4).

Gemessen wird die Zeitdauer (AK), drei Responsvariablen, und Fehlerzahl (VH), zwei Responsvariablen, pro Periode. Als Hauptdauervariable wird die Gesamtdauer ab Beginn der Ansage bis zum Ende der Eingabe gemessen (Y1), als Nebendauervariable wird von der Gesamtdauer der mittlere Unterschied der Ansagedauern subtrahiert (Y1 Zusatz) (s. Kapitel 2.2.1. Eingesetzte Hardware). Als weitere Nebendauervariable wird die prozentuale Änderung der Dauer dar-

gestellt (Y1 Alter). Die vierte Responsvariable ist die Zahl der Fehler pro Durchgang (VH). Da aber auch viele fehlerfreie Durchgänge zu erwarten sind, wird als fünfte Responsvariable die Anzahl der fehlerfreien Testungen definiert (VH). Die Sequenz wird bei den Kindern hälftig „über Kreuz“, crossover, gesetzt. Dies schützt im Durchschnitt gegen Überlagerungen mit Lerneffekten. Auch die Zahlen in einem Aufgabenblock werden zufällig aus dem Zahlenbereich gezogen. Damit wird gesichert, dass sich nur zufällige Assoziationen einstellen, falls die Nullhypothese gilt, das heißt, falls es keinen Einfluss der Sprechweise (Expositionsvariable) auf die Dauer und die Fehlerzahl (Responsvariablen) gibt. Zufällige Assoziationen sind mit statistischen Verfahren in der Auswertung beherrschbar und systematische Assoziationen, wie etwa mit der Sprechweise können identifiziert werden.

Wenn die fünf Grundfragen geklärt werden sollen, ergibt sich auf Basis der bisherigen Erfahrungen Folgendes: Bei einem üblichen Signifikanzniveau von 5%, einem üblichen Fehler 2. Art von 20% können bei mindestens 35 Personen in der Studie (Powerberechnung mit Stata 14 (StataCorp 2015), cmd: power mit entsprechenden Versionen) alle fünf Grundfragen gut beantwortet werden. Werden in jeder Gruppe mindestens 20 Kinder rekrutiert und vollständig getestet, so ergibt dies einen ausreichenden Studienumfang.

## **2.2 Messinstrument**

### *2.2.1 Eingesetzte Hardware*

Frau Vivien Hartwig hat bei allen Kindern der Gruppe 2 das Tablet PEAQPET 101-H232E mit Android 12 und Chrome-Browser verwendet.

Bei den zuerst getesteten 4 Kindern der Lernpraxis (AK, Gruppe 1) wurde ein iPhone mit Android 16.7 und Safari-Browser verwendet. Anschließend wurden alle anderen Kinder der Gruppe 1 (AK) mit dem Lenovo Desktop PCFHJVK im Tablet-Mode mit Windows 11 und Edge-Browser getestet. Hier hatten sie einen viel größeren Bildschirm und auch die Touchscreen-Funktion war für die Kinder gut. Alle Geräte funktionierten einwandfrei.

### *Dauer der Ansagen*

Die Ansagen der beiden in der Studie zu vergleichenden Sprechweisen dauern unterschiedlich lang. Bei der Sprechweise traditionell verdreht tritt fast immer ein „und“ auf, das es bei der Sprechweise zehneins nicht gibt. Die Ansagedauern für zehneins sind daher im Durchschnitt etwas kürzer als für traditionell verdreht. Um zu wissen, wie sich die Ansagedauern auf den verwendeten Geräten exakt unterscheiden, sollte dies auf den Geräten gemessen werden. Dazu wurde ein Programm erstellt (<https://zwanzigeins.jetzt/sprachmodi-dauer-messen/>). Dort wurde der Modus 11 bis 99 mit Sprechgeschwindigkeit 1.0 gewählt. Beim Betätigen von „Start“ werden die Zahlen 11 bis 99 erst in der Sprechweise traditionell verdreht und danach in der Sprechweise zehneins vorgelesen. Das Vorlesen der Zahlen dauert wenige Minuten. Die Anzahl der vorgelesenen Zahlen und die akkumulierte Dauer des Vorlesens wird für jede Sprechweise ausgegeben. Die Messung ist beendet, wenn 89 Iterationen für die Sprechweise zehneins erfolgt sind. Die Ergebnisse liegen von allen Geräten vor und wurden Herrn PD Dr. Peter Morfeld am 19.03.2024 zugestellt. In der Auswertung werden sie berücksichtigt. Der genaue Unterschied wurde als Durchschnitt über alle Zahlen von 11 bis 99 ermittelt: AK: iPhone 1.10 Sekunden, Lenovo Desktop Tablet: 1.64 Sekunden, VH: PEAQ Tablet: 1.30 Sekunden. Zudem sichert dieser vorausgehende Check, dass die Geräte nicht entgegen der Erwartung abweichend bei der späteren Testung der Kinder arbeiten.

### *2.2.2 Eingesetzte Software*

Die eingesetzte Software ist die frei verfügbare Zwanzigeins-App (<http://zwanzigeins.jetzt/app/index.html>). Details zur Bedienung der App finden sich in der Anleitung. Die App diktiert Zahlen, die einzutippen sind. Mit der App werden pro Durchgang und Kind die Eingabedauer und die Zahl der bei der Eingabe unterlaufenen Fehler dokumentiert. Die App sollte lokal auf der Hardware installiert werden und ist dann selbst ohne Internetzugang nutzbar. Die Studie kann somit auch dann laufen, wenn am Ort der Testung kein Internetzugang besteht. Die Installation der App ist anzuraten, da die App dann stabiler läuft. Performance-schwankungen des Internetzugangs können nach der Installation der App kei-

nen Einfluss haben. Um das neueste Update zu erhalten, muss die App einmal geöffnet, wieder geschlossen und anschließend erneut geöffnet werden. In Bezug auf den Datenschutz wird vor der Nutzung eine Einwilligung eingeholt, die den Datenschutzvorschriften entspricht.

### *2.2.3 App-Parameterfestlegung*

Im Menü wird als Aufgabentyp „Hören & Schreiben“ ausgewählt. Unter diesem Menüpunkt wird das vordefinierte Level mit dem Schwierigkeitsgrad „Leicht“ eingestellt. Als Sprechweisen werden traditionell verdreht und zehneins gewählt. Dies muss jeweils in den Sequenzen manuell umgestellt werden. Die für die Testung vereinbarte Sprechgeschwindigkeit ist „100%“. Der Darstellungsmodus ist „hell“, beides im Menüpunkt „Einstellungen“ einzugeben. Die Kinder hören die Zahl und geben diese in das Gerät ein. Dabei werden die Dauer und Fehler eines Durchgangs für jedes zuvor im Menüpunkt „Einstellungen“ angelegte Profil gespeichert. Die App bietet den Menüpunkt „Statistik“. Dort können die Ergebnisse angesehen werden und vollständig in eine Excel-Datei exportiert werden. Die Daten bleiben in der App gespeichert, bis sie von der Untersucherin aktiv gelöscht werden.

## **2.3 Datenanalyse**

### *2.3.1 Profilnamen, Umsteigelisten, Datenschutz*

Es muss von beiden Untersucherinnen eine Umsteigeliste mit den Profilnamen und zugehörigen Klarnamen der getesteten Kindern aufgebaut und gehalten werden. Diese Liste muss komplett angelegt werden, bevor die Testung begonnen wird (s. Anlage 2 Umsteigeliste und Randomisierung Gruppe 1).

Der Profilname stellt das Pseudonym dar. Der Profilname wurde dreistellig vergeben: 101 ist Kind 1 in Gruppe 1 (AK), 212 ist Kind 12 in Gruppe 2 (VH). Der Profilname muss für jedes neu zu testende Kind in der App unter „Einstellungen“ eingegeben werden. Die Übergabe zur Auswertung erfolgt immer pseudonymisiert ohne Klarnamen, aber mit Profilnamen, so dass die Kinder von außen nicht reidentifizierbar sind. Das Führen von Umsteigelisten ist wichtig, da

Rückfragen zu einzelnen Kindern infolge von Auffälligkeiten entstehen können, die erst nach der Auswertung deutlich werden und gegebenenfalls psychologisch aufgegriffen werden müssen. Diese Fragen können von externen Personen wie Eltern, Schulleitung oder Therapeut\*innen aufkommen.

### *2.3.2 Ausprägung und Kodierung der Kovariablen*

In die App-Ausgabedatei sollen als weitere Daten Kovariablen aufgenommen werden. Zu allen Kindern wurden wichtige Kovariablen erhoben und zu binären Werten verdichtet. Die Exceldatei hält dafür leere Spalten mit entsprechenden Variablennamen vor. Welche zusätzlichen Variablen erhoben werden können und sollen, wurde nach Sichtung der Akten festgelegt. Wie bereits oben erwähnt erfolgten hierzu viele Überlegungen in zahlreichen Gesprächen im Studienkollektiv mit Frau Vivien Hartwig. Überdacht wurde unter anderem die Frage, welchen Einfluss die Mathematiknote auf das Ergebnis haben könnte. Da zu erwarten war, dass viele Kinder einen Nachteilsausgleich bekommen, erschien die Note nach Sichtung der Akten allein nicht aussagekräftig und als Kovariable nicht sinnvoll umsetzbar. Folgende Punkte wurden diskutiert: Jede Schule darf eigene Kriterien für die Vergabe der Noten festlegen. Wie wird der Nachteilsausgleich umgesetzt? In manchen Fällen ergeben sich gute Noten, wenn der Nachteilsausgleich teilweise sehr wohlwollend umgesetzt wird. Einige Kinder sind vielleicht schon längere Zeit in der Therapie, so dass der Transfer in den schulischen Kontext bereits gelingt und dadurch gute Noten erzielt werden können. Andere Kinder haben einen Notenschutz, so dass sie gar keine Note bekommen.

Folgende Variablen wurden definiert und als weitere Spalten in der App-Ausgabedatei von den Untersucherinnen von Hand angelegt und gefüllt.

1. Gruppe 1 (AK), Gruppe 2 (VH)
2. Gerät: iPhone, Lenovo Desktop Tablet, PEAQ Tablet
3. Fördereinrichtung: Lernpraxis, ZSPR, Duden-Institut
4. Sequenz: TvTvZeZe, ZeZeTvTv
5. Geschlecht: männlich, weiblich

6. Alter: 10 Jahre oder jünger, älter als 10 Jahre. Aus Datenschutzgründen wird das Geburtsdatum nur monatsgenau angegeben, indem der Tag durchgängig auf den 15. gesetzt wird.
7. Klassenstufe: 2, 3, 4, 5, 6. Die Variablen „Schule“ und „Klasse“ wurden aus Datenschutzgründen nicht dokumentiert, da durch diese Angaben eine Reidentifikation der Kinder möglich wäre.
8. Erstsprache mit der Sprechweise „zwanzigeins“: ja/ nein/ - (- für unbekannt). Hieraus kann abgeleitet werden, ob dem Kind eine stellenwertgerechte Sprechweise bereits vor der Erklärung durch die Untersucherin bekannt war. Da es Kinder gibt, die in Deutschland beschult werden und gleichzeitig in einem fremdsprachigen Elternhaus aufwachsen, ist die Erstsprache nicht immer zweifelsfrei definierbar. Daher wurden die Kategorien Erstsprache 1, 2 und 3 eingeführt.
9. Vorliegen eines Nachteilsausgleich: ja/ nein/ - .
10. Vorliegen einer Lese-Rechtschreib-Störung: ja/ nein/ - . Dies gilt bei „nein“ gleichzeitig als Indikator für eine Teilleistungsstörung ausschließlich in Mathematik.
11. Rückstellung: ja/ nein/ - . Gemeint ist eine Rückstellung vor der regulären Einschulung. Das Kind verbleibt ein weiteres Jahr in einem Kindergarten oder wiederholt die Vorschule.
12. Schulwechsel: ja/ nein/ - (Anzahl: 0, 1, 2,... -1 ; -1 für unbekannt). Es werden alle Schulwechsel gezählt, auch die von einer Grundschule zu einer anderen Grundschule und zum ZSPR. In den meisten Fällen sind die Wechsel auf schulische Schwierigkeiten zurückzuführen, nur in zu vernachlässigten Ausnahmefällen auf andere Gründe, wie z.B. Umzug der Familie.
13. Wiederholung: ja/ nein/ -. Gemeint ist die Wiederholung einer Klassenstufe.
14. Diagnose: ja/ nein/ - . Unterteilung in Kinder mit kinderpsychiatrisch-psychotherapeutischer Diagnose und ohne. Alle gegebenen Diagnosen sind in der ICD-10 gestellt, sie wurden von den Untersucherinnen in die ICD-11 übersetzt.
15. Besondere Belastung: ja/ nein/ - . Es handelt sich um assoziierte aktuelle abnorme psychosoziale Umstände wie Mathe-Angst, familiäre Probleme

bezogen auf die Achse V der ICD-10/ 11. Diese wurden in einer weiteren Spalte als freier Text vermerkt.

## 2.4 Datenauswertung

Die von den Untersucherinnen AK und VH erhobenen Daten wurden jeweils in eine Excel-Datei exportiert und anschließend in eine gemeinsame Datei überführt. Die Gesamt-Exceldatei zu allen getesteten Kindern und Durchgängen wurde Herrn PD Dr. Peter Morfeld pseudonymisiert per E-Mail zugestellt. Zur Auswertung wird das Programmpaket Stata 14 eingesetzt (<https://www.stata.com/>). Beschreibende Darstellungen umfassen Tabellen wie z.B. Umfang, Median, Mittelwert und Maximum der Dauer in Sekunden und der Fehlerzahl pro Sprechweise. Graphen wie z.B. Tukey-Boxplots zur Responsvariablen „Dauer“ pro Sprechweise und Bar Charts zur Fehlerzahl pro Sprechweise finden ebenfalls Verwendung in der beschreibenden Darstellung. Zur zufallskritischen Analyse werden fixed-effect Längsschnittanalysen durchgeführt. Für die Responsvariable „Dauer“ als metrischer Respons wird xtreg eingesetzt, für den natürlichen Respons „Fehlerzahl“ xtpoisson oder nbreg (Allison 2009, Cameron & Trivedi 2010). Die jeweils zweiten Durchgänge werden in der Hauptanalyse der Sprechweisen ausgewertet. Die jeweils erste Periode wird als Einübungsphase ignoriert. Die Daten der Hauptanalyse sind also die eigentlichen „Testdaten“, um die Grundfragen und die Hypothese analytisch zu testen. In einer zweiten Analyse werden alle vier Perioden unter Adjustierung für die Periode ausgewertet. Diese Adjustierung ist unverzichtbar und dient der Kontrolle von Lernfortschritten während der Untersuchung. Die Auswertung aller Daten ist komplizierter und hat einen größeren Umfang als die Hauptanalyse, beschränkt auf die Testdaten. Diese Auswertung wird ergänzend durchgeführt, um zu prüfen, ob die Ergebnisse der Hauptanalyse bei Verwendung aller zur Verfügung stehenden Daten bestätigt werden. Die für diese Masterarbeit wichtigen regressionstechnischen Auswertungen der Dauervariablen werden mit dem Befehl xtreg in Stata ausgeführt (fixed-effects regression). Berichtet werden als Ergebnisse der Koeffizient (Coef.) der Schätzung (entspricht dem mittleren Effekt), der zugehörige Standardfehler dieser Schätzung (Std.Err), der t-Wert (t), der zweiseitige P-Wert

( $P > |t|$ ) und das 95%-Konfidenzintervall für den Schätzer (95%-Conf.Interval). Neben der Standardanalyse wird auch eine robuste Schätzung der Regression versucht (robuste Schätzung der Varianz), wobei der limitierte Umfang der Studie diesen Verfahren aber Grenzen setzt.

## **2.5 Untersuchungsgruppen**

Es wurden zwei Untersuchungsgruppen gebildet und getestet: Gruppe 1, bestehend aus 22 Kindern (AK), Gruppe 2, bestehend aus 21 Kinder (VH). Das Gesamtkollektiv umfasst somit 43 Kinder ( $N = 43$  Kinder).

Die 22 Kinder der Gruppe 1 wurden an zwei verschiedenen Standorten im städtischen Raum von Berlin getestet. Gruppe 1 rekrutiert sich aus 9 Kindern einer lern- und psychotherapeutischen Praxis (abgekürzt: Lernpraxis) im Bezirk Steglitz-Zehlendorf sowie 13 Kindern der Schule am Westend des ZSPR im Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf. Es handelt sich um eine staatlich anerkannte Ersatzschule in freier Trägerschaft mit sonderpädagogischen Schwerpunkten. Nach durchschnittlich zwei Jahren wird der schulische Re-Integrationsprozess der Kinder eingeleitet und intensiv begleitet.

Gruppe 2 rekrutiert sich aus 21 Kindern aus den Duden-Instituten für Lerntherapie in Falkensee und Oranienburg, beide hinter der Berliner Stadtgrenze in Brandenburg gelegen.

## **2.6 Untersuchungsdurchführung für die Gruppe 1 (AK)**

Der Kontakt zur Schule am Westend kam dankenswerterweise über Herrn Prof. Dr. Michael von Aster zustande. Die Zustimmung der Schulleitung zur Forschungstätigkeit und die Zustimmung der Eltern wurde eingeholt, ebenfalls in der Lernpraxis (s. Anhang 1 Einverständniserklärung der Eltern). Mit den betreffenden Klassenlehrerinnen wurde die Umsetzung der Studie besprochen und im Sinne einer guten Zusammenarbeit der zeitliche Rahmen geklärt. Die Profilenames für die Kinder wurden dreistellig im Vorfeld vergeben und stellen das Pseudonym dar.

In der Schule am Westend hat die Untersucherin AK am 19.02.2024 in drei Tagesgruppen (s. Kapitel 3 Individuelle Beschreibung der Kinder der Gruppe 1 (AK)) jeweils in einem Unterrichtsblock zu 120 Minuten in der Zeit von 8:30 Uhr bis 14:00 Uhr hospitiert. Dies diente dazu, die Kinder kennenzulernen, einen ersten Kontakt herzustellen und ihnen somit die Angst vor der „Testung“ zu nehmen. Das Herstellen einer vertrauensvollen, teilnehmenden Atmosphäre und Auffälligkeiten der Verhaltens-, Gefühls- und Beziehungsregulation wahrzunehmen, macht die lerntherapeutische Haltung aus.

Um die besondere psychische Verfassung der Kinder näher zu beschreiben, sei auf einen Vorfall in der Schule am Tag der Hospitation hingewiesen. Ein Kind hatte einen „emotionalen Zusammenbruch“, schrie und weinte und ließ sich schließlich durch das kompetente Therapeutenteam beruhigen. Hieran wird deutlich wie bedürftig, unsicher und ängstlich die Kinder sind.

Durch die vorherige Hospitation gelang es ihnen leichter, sich auf die Testsituation einzulassen und zu mir in Beziehung zu kommen. Die ersten Testungen fanden am 26.02.2024 ab 8:30 Uhr statt, beginnend mit drei Kindern der Tagesgruppe 3. Im Anschluss daran wurden ab 10:30 Uhr fünf Kinder der Tagesgruppe 2 getestet. Eine weitere Testung mit fünf Kindern der Tagesgruppe 1 fand am 05.03.2024 ab 10:30 Uhr statt. Die Kinder kamen einzeln aus dem Klassenverband zu der Testung mit der App. Diese konnte in einem separaten Raum ohne Störungen durchgeführt werden. Eine harmonische Atmosphäre wurde auch dadurch hergestellt, dass das jeweilige Kind und die Untersucherin an einem Tisch über Eck zueinander saßen. Den Kindern wurde die von Zwanzigeins e.V. empfohlene stellenwertgerechte Sprechweise „zehneins“ erklärt (s. Anlage 3 Untersuchungserklärung). Im Gegensatz zu den Kindern der Gruppe 2 (VH) waren die Kinder der Schule am Westend sehr wortkarg und unsicher im Kontakt. Teilweise erschien es, dass ihnen mehr an dem sozialen Kontakt lag als an der Untersuchung. Sie profitierten alle von einem prompten und angemessenen Feedback. Kommentare der Kinder wurden handschriftlich notiert. Auch hinsichtlich der schnellen Testung der Kinder nacheinander, im laufenden Schulbetrieb bestand kaum Möglichkeit eines anschließenden Gesprächs. Angesichts der guten Vorbereitung und Durchführung konnten insgesamt 13 Kinder getes-

tet werden. Die einzelnen Testungen dauerten, mit den zeitlichen Aufwänden, die den Kinderwechsel betrafen, etwa 25 Minuten.

Im Gegensatz zu den Testungen in der Schule am Westend fanden in der Lernpraxis einzelne Termine mit den Kinder statt, teilweise sogar im Rahmen eigener Lerntherapiestunden. Alle Kinder waren der Untersucherin AK aus der Praxis bekannt. Da teilweise bereits eine gute Arbeitsbeziehung vorhanden war, gelang der persönliche Kontakt schneller. Die ersten zwei Testungen fanden am 14.02.2024 ab 14:00 Uhr statt. Zwei weitere Kinder konnten am 22.02.2024 ab 8:00 Uhr teilnehmen. Jeweils ein Kind konnte am 16.04.2024 um 8:00 Uhr, am 29.04.2024 um 13:00 Uhr, am 16.05.2024 um 13:00 Uhr und am 22.05.2024 um 12:00 Uhr getestet werden. Da oft bereits vereinbarte Termine krankheits- oder ferienbedingt von Seiten der Kinder abgesagt wurden, verzögerten sich die neun Testungen. Es gab zwei „non-responder“: Ein Kind aus der Schule am Westend arbeitete leider nicht vollständig mit, so dass dessen Messungen nach Studiendesign nicht verwertbar sind. Ein Kind aus der Lernpraxis verweigerte ebenfalls die Testung. Insgesamt liegen vollständige Messungen zu 20 Kindern vor, zehn Mädchen und zehn Jungen. Die Kinder waren im Alter von 8 bis 12. Eine umfassende Akteneinsicht erfolgte am 22.04.2024 und 23.04.2024 in der Schule am Westend, in der Lernpraxis am 07.05.2024.

### **3. Individuelle Beschreibung der Kinder der Gruppe 1 (AK)**

Alle in die Studie aufgenommenen Kinder der Gruppe 1 besuchen eine Grundschule und wurden von den zuständigen Lehrer\*innen als rechenschwach eingestuft. Einige haben eine nach ICD-10 diagnostizierte Rechenstörung. Es handelt sich um Kinder, deren persönliche, schulische und familiäre Situation durch eine besondere Problemdichte gekennzeichnet ist. Es liegt ein komplexer Hilfebedarf bei psychischen und sozialen Auffälligkeiten und/ oder seelischen Störungen vor, so dass ein gleichzeitiger Unterstützungsbedarf durch die Jugendhilfe, Kinder- und Jugendpsychiatrie und besondere schulische Maßnahmen besteht (§ 35a Sozialgesetzbuch VIII, S.1163). Den Kindern fehlen schuli-

sche Lernstrategien, Verhaltens- und Beziehungskompetenzen, insgesamt eine psychische Stabilität.

Die neun Kinder der Lernpraxis besuchen reguläre Grundschulen und erhalten außerschulisch am Nachmittag eine integrative Lerntherapie und parallel dazu eine Psychotherapie mit Schwerpunkt Verhaltenstherapie. Bei vier Kindern ist die Untersucherin AK selbst die integrative Lerntherapeutin. Die Forschungsarbeit dient daher auch der Evaluierung und Verbesserung eigener Lerntherapien. Teilweise sind die Kinder parallel in einer kinder- und jugendpsychiatrischen Praxis angebunden.

Die 13 Kinder der Schule am Westend sind im emotional- sozialen Bereich deutlich schwerer betroffen als die Kinder der Lernpraxis. Sie haben sich schulisch verweigert oder waren schulabstinent und nicht mehr in Regelschulen integrierbar. Viele von ihnen haben stationäre Aufenthalte in kinder- und jugendpsychiatrischen Kliniken hinter sich und sind noch nicht stabil genug, um wieder ganz in ihr Alltagsleben zurückkehren zu können. Der Übergang in ihre frühere soziale und schulische Umgebung soll ihnen erleichtert werden. Sie sind in altersgemischte sozial- und heilpädagogische Tagesgruppen eingeteilt, die von der parallel im ZSPR aktiven Jugendhilfeeinrichtung getragen werden. Diese Tagesgruppen sind klassenübergreifend, das heißt Kinder unterschiedlichen Alters und Klassen lernen zusammen. In einer Klasse sind etwa zehn Kinder. Alle Kinder erhalten sonderpädagogische und lerntherapeutische Unterstützung. In diesem pädagogisch-therapeutischen Lernumfeld sollen das innere emotionale Befinden verbessert, Verhaltenskompetenzen geübt und die Beziehungen zu Gleichaltrigen und in der Familie gestärkt werden. Die gezielte Förderung der Gemeinschaftsfähigkeit unterstützt eine erfolgreiche schulische und soziale Wiedereingliederung und gesellschaftliche Teilhabe. Die Schule ist von der Schüler\*innenzusammensetzung her als multikulturell zu beschreiben. Viele Kinder haben Erstsprachen, die keine inverse Sprechweise aufweisen.

## 4. Darstellung der Ergebnisse

### 4.1 Berechtigung für eigenständige Auswertungen der Dauer Y1 (AK) und der Fehlerzahl Y2 (VH)

Wenn ein Kind viele Fehler macht, wird es langsamer sein. Dies wirft die Frage auf: Enthält Y1 Informationen, die nicht schon in Y2 enthalten sind?

Um dies zu beantworten, ob es sinnvoll ist, die Dauer Y1 und die Fehlerzahl Y2 getrennt zu betrachten, muss der Zusammenhang, die Korrelation von Y1 und Y2 angeschaut werden.

Es ist zu erwarten, dass die beiden Variablen korreliert sind. Aber wie hoch ist diese Korrelation?

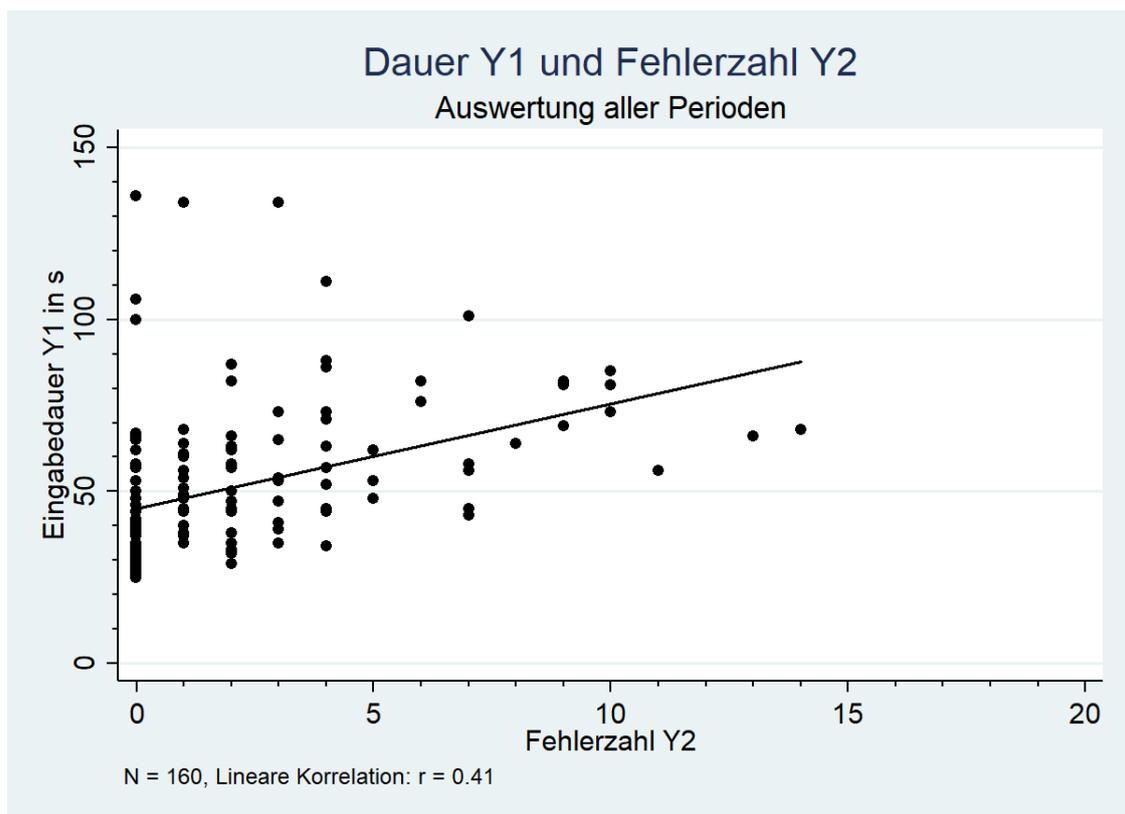


Abbildung 2 Y1\_Y2\_all.tif: Ergebnisse Berechnung Korrelation

Die Abbildung Y1\_Y2\_all.tif zeigt den Zusammenhang über alle Messpunkte, je vier pro Kind. Eingetragen ist eine Ausgleichsgerade, die lineare Regression von Y1 auf Y2. Der Anstieg ist zu sehen. Je mehr Fehler ein Kind macht, desto länger braucht es. Die Streuung ist allerdings groß. Z.B. bei sieben Fehlern reicht die Spanne der Zeitdauer über mehr als von 50 bis 100 Sekunden. Die Korrelation ist entsprechend auch nicht sehr ausgeprägt. Der Korrelationskoeffizient ist nur 0.41, das heißt, dass nur  $0.41 \cdot 0.41 = 0.168 = 17\%$  der Variation von Y1 durch Y2 erklärbar ist (vgl. Mallaun 2016, S.126). Die Variablen sind zwar korreliert, jedoch so schwach, dass eine getrennte Analyse sinnvoll ist.

Es gibt dennoch einen möglichen Kritikpunkt. Kommt die schwache Korrelation im Gesamtbild dadurch zustande, dass zwei Datenmengen, Gruppe 1 (AK) und Gruppe 2 (VH), zusammengeworfen werden und innerhalb der beiden Datenmengen die Korrelation hoch ist? Erhalten die beiden Variablen dieselbe Information, aber die Zusammenhänge in den beiden Datenmengen von AK und VH sind unterschiedlich und das Zusammenwerfen in ein Bild maskiert dies?

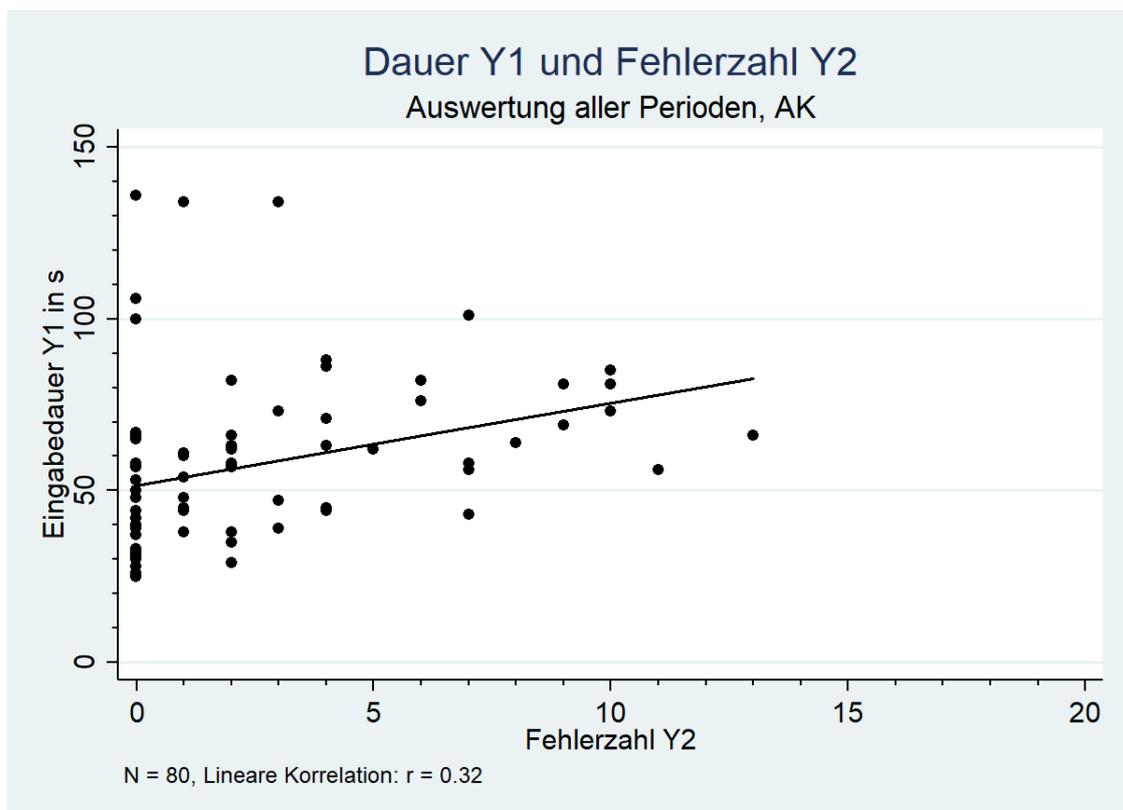


Abbildung 3 Y1\_Y2\_AK\_all.tif: Ergebnisse Berechnung Korrelation AK

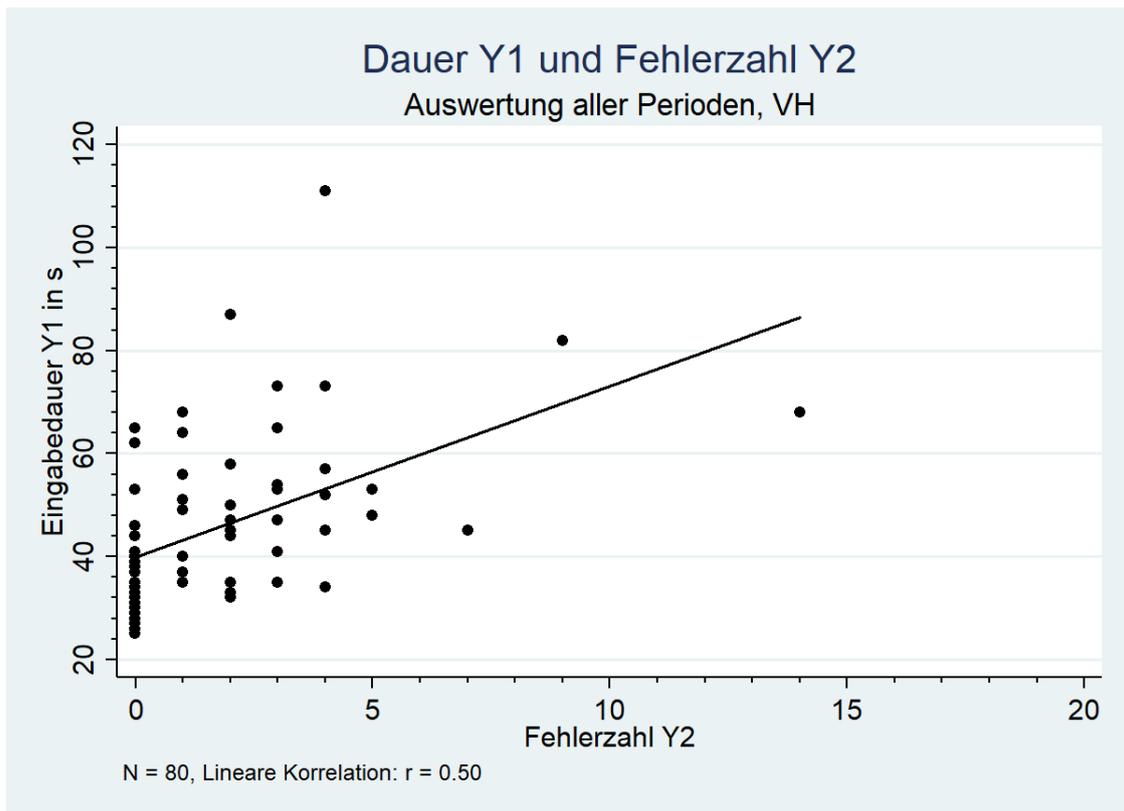


Abbildung 4 Y1\_Y2\_VH\_all.tif: Ergebnisse Berechnung Korrelation VH

Die beiden Abbildungen Y1\_Y2\_AK\_all.tif (Daten der Gruppe 1 von AK) und Y1\_Y2\_VH\_all.tif (Daten der Gruppe 2 von VH) geben Auskunft: die Korrelationen sind niedrig: 0.32 und 0.50. Auch bei Gruppe 2 (VH) mit Korrelationskoeffizient 0.5 sind nur  $0.5 \cdot 0.5 = 25\%$  der Variation von Y1 durch Y2 erklärbar.

Insgesamt ist dadurch belegt, dass die Dauer- und Fehlervariablen trotz ihrer Korrelation viele unabhängige Informationen beinhalten, dass getrennte Auswertungen gerechtfertigt sind.

Die Grundfragen werden im Folgenden analytisch, mit zufallskritischer Prüfung geklärt. Weitere Aspekte werden anschließend deskriptiv angeschaut. Haben z.B. die Kovariablen, wie die Einrichtung, das Alter oder die Erstsprache einen modifizierenden Einfluss auf das Ergebnis?

Diese Aspekte gehören nicht zum analytischen Kern der Studie, können aber dennoch von wissenschaftlichem Interesse sein. Diese ermittelten Konfidenzintervalle und p-Werte sollen rein orientierend verstanden werden, nicht im Sinne einer strikten Testung.

## 4.2 Darstellung der Ergebnisse zur Dauer Y1

### 4.2.1 Auswertung aller Perioden

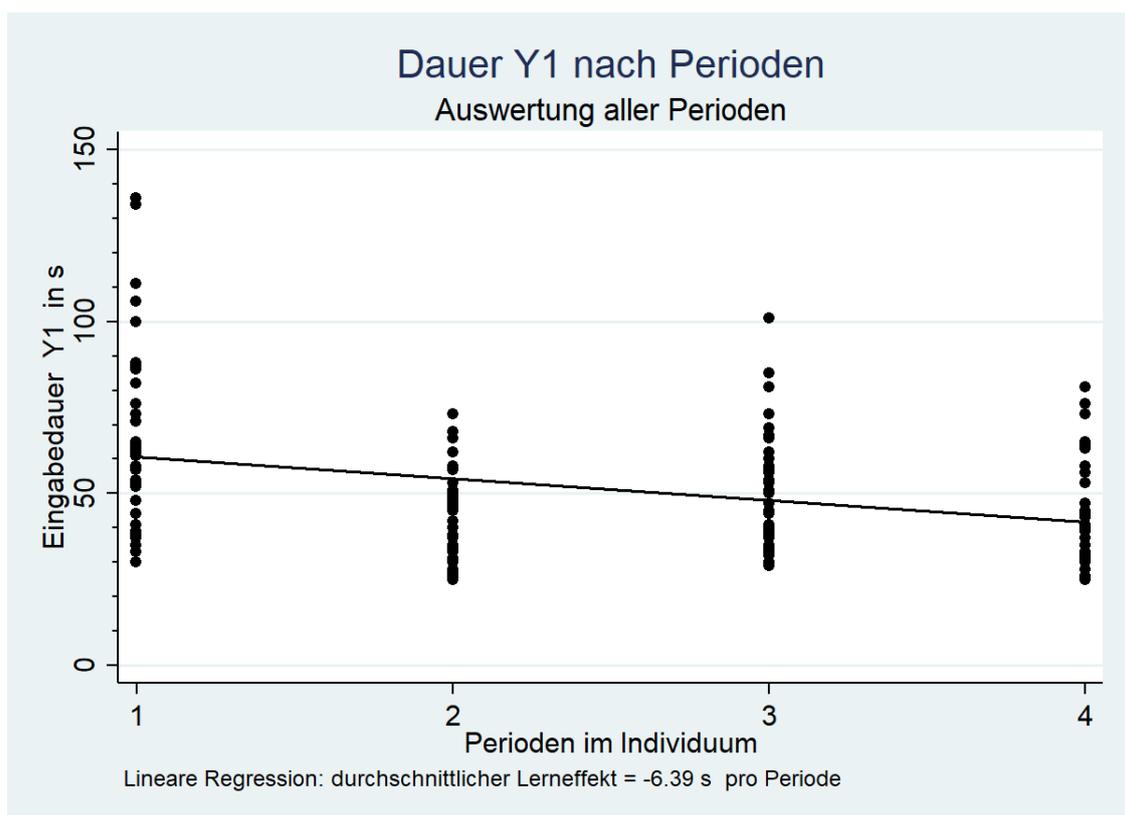


Abbildung 5 Y1\_period\_all.tif: Ergebnis vermutete Lerneffekte

Als erstes Ergebnis ist eine aus methodischer Sicht wichtige Beobachtung zu sehen. In Y1\_period\_all.tif wird die Hauptdauervariable über den vier Perioden gezeigt und eine Ausgleichsgerade durch die Punkte gelegt. Der Lerneffekt ist deutlich ersichtlich. Im Durchschnitt werden die Kinder um 6.4 Sekunden schneller pro Periode. Es ist zu erkennen, dass dies beim Übergang von Periode zwei zu drei nicht gilt. Dort wird die Sprechweise gewechselt und die Kinder müssen sich neu eingewöhnen.

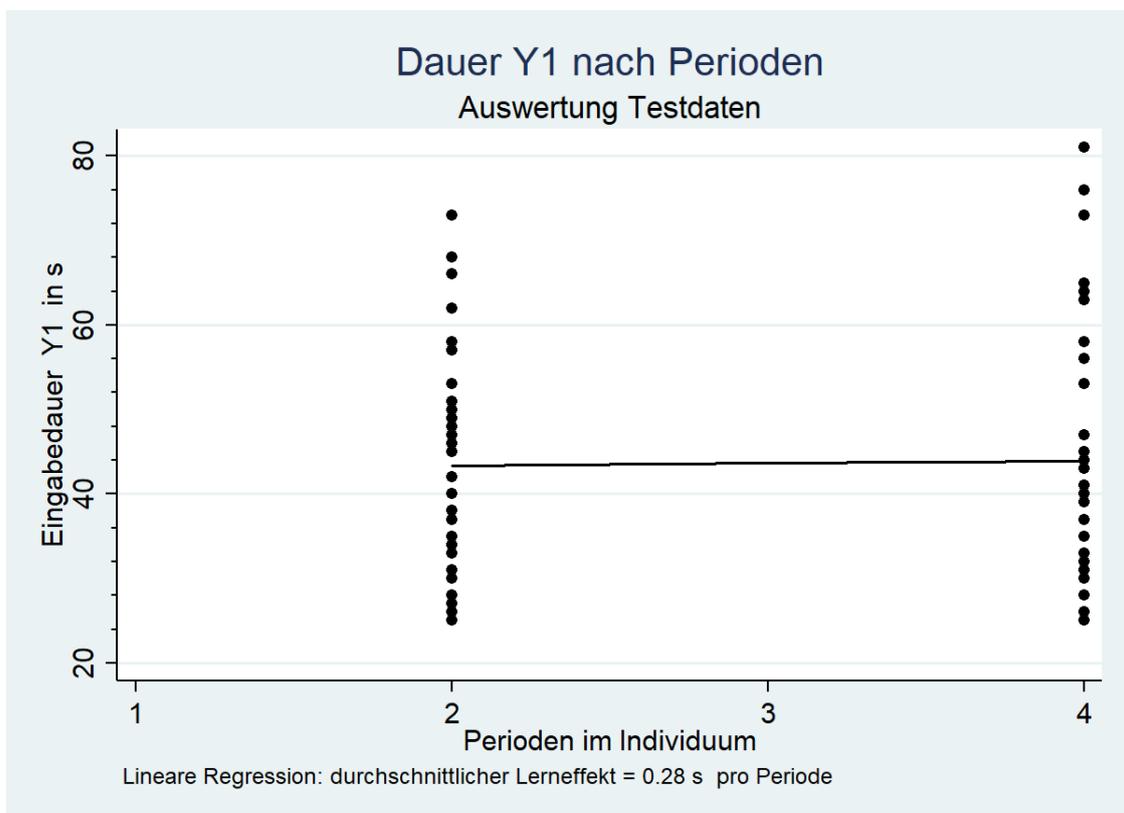


Abbildung 6 Y1\_period\_test.tif: Ergebnis vermutete Lerneffekte (Periode zwei und vier)

Wird die Betrachtung auf die Testdaten der Perioden zwei und vier beschränkt, ist kein Lerneffekt erkennbar (Y1\_period\_test.tif). Dies bestätigt die Design-Überlegungen, die Hauptanalyse auf die Testdaten zu beschränken.

#### 4.2.2 Hauptbefund zur Dauer Y1

##### Deskriptive Analyse

Für die Dauer Y1 werden Boxplots als Darstellungsmedien verwendet (vgl. Döring & Bortz 2016, S.612). Der Boxplot ist von dem Statistiker Tukey als einfaches Beschreibungsmittel einer Verteilung eingeführt worden und wird weltweit verwendet. Der mittlere Strich ist der Median, der Wert, der die Daten in zwei Hälften teilt, das heißt 50% der Werte sind kleiner, 50% sind größer oder gleich dem Medianwert. Der Median heißt deshalb auch 50- Perzentil. Die Box um den Median bilden die beiden 25- und 75- Perzentile, unterhalb derer 25% beziehungsweise 75% der Werte liegen. Diese beiden Werte heißen auch Quartile, da sie die unteren und oberen Viertel der Daten abschneiden. Der Abstand zwischen den beiden Werten, die Höhe der Box, wird als Interquartilabstand bezeichnet. Außerdem gibt es die sogenannten Whiskers, die außerhalb der Box angesetzt sind und die meistens bis zum Minimum beziehungsweise Maximum der Werte reichen. Die Whiskers werden beim 1,5 fachen des Interquartilabstandes abgeschnitten und alle Werte, die dann außerhalb liegen, als Einzelpunkte dargestellt.

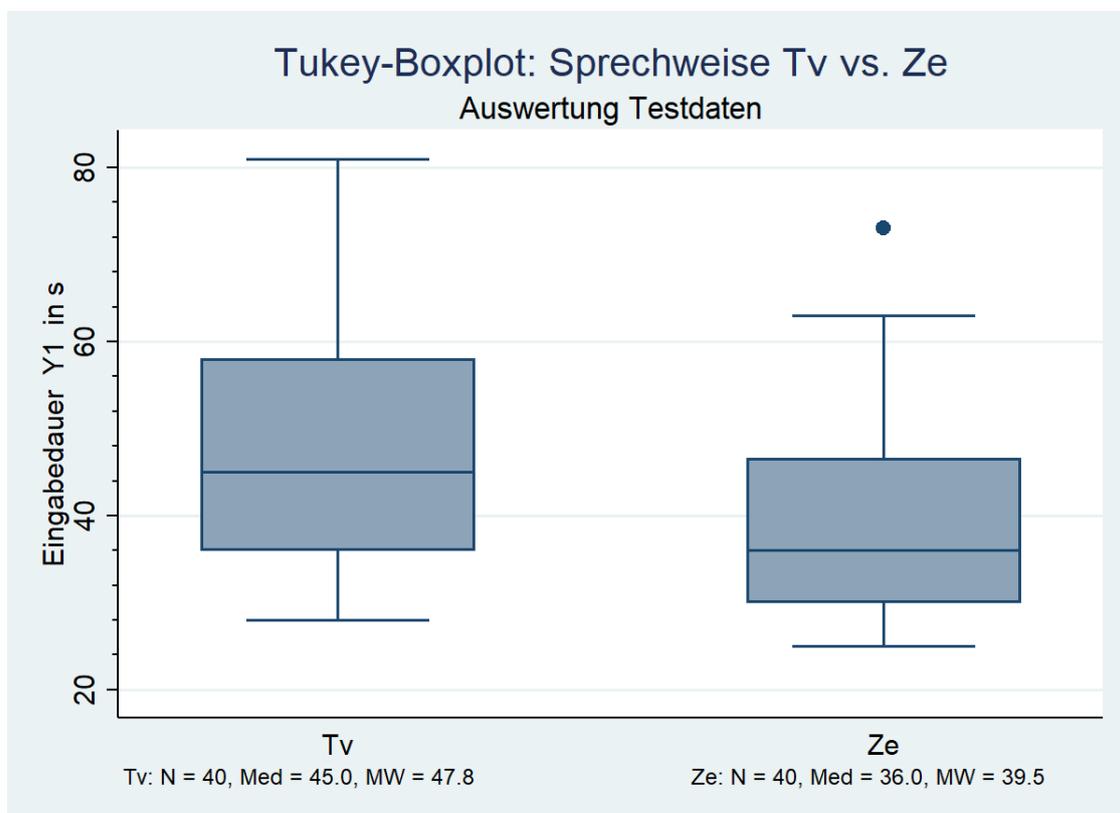


Abbildung 7 Box\_Y1\_test.tif: Grundergebnis Eingabedauer

Das Grundergebnis zur Eingabedauer Y1 (Hauptdauervariable) ist in Box\_Y1\_test.tif dargestellt. Links ist die Sprechweise traditionell-verdreht (Tv) und rechts zehneins (Ze) dargestellt. Gezeigt wird je ein Boxplot zu den Eingabedauern. In Box\_Y1\_test.tif reichen die Whiskers nach unten immer bis zum Minimum, so auch nach oben zum Maximum bei Tv. Bei Ze liegt jedoch ein Wert außerhalb der Whiskers. Dieser Wert ist das Maximum bei Ze. Unterhalb der beiden Boxplots ist angegeben, um wie viele Datenpunkte es sich handelt (N=40, pro Boxplot wird eine Testperiode für jedes Kind ausgewertet), die Mediane (Med) (Tv: 45.0 Sekunden, Ze: 36.0 Sekunden) und die Mittelwerte (MW) (Tv: 47.8 Sekunden, Ze: 39.5 Sekunden).

Es ist zu erkennen, dass der komplette Boxplot bei Ze nach unten verschoben ist, im Mittel um 8.3 Sekunden. Die Kinder sind also mit Ze tendenziell schneller.

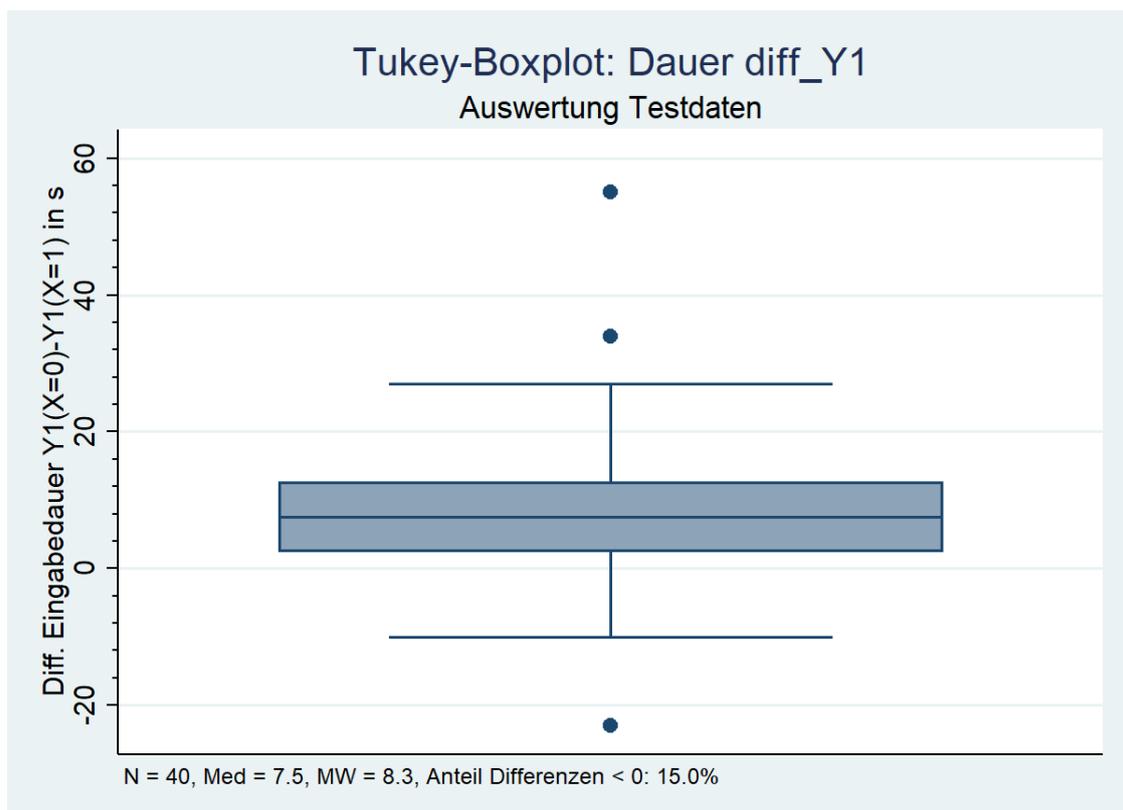


Abbildung 8 Box\_diff\_Y1\_test.tif: Differenzen der Eingabedauern

Box\_diff\_Y1\_test.tif zeigt nur einen Boxplot. Es wird die Differenz der beiden Dauern für jedes Kind gebildet. Y1 bei Tv minus Y1 bei Ze. Der MW ist 8.3 Sekunden, genau der Unterschied, der in den Mittelwerten in Box\_Y1\_test.tif zu sehen ist, 47.8 Sekunden - 39.5 Sekunden. Der Median der Differenzen beträgt 7.5 Sekunden.

Neben Umfang, Median und Mittelwert der Differenzen ist unter dem Boxplot angegeben, wieviel Prozent der Differenzen negativ sind, wie viele Kinder in Richtung eines Vorteiles von Tv zeigen und einen Nachteil durch Ze haben. Es ist zu erkennen, dass es einen klaren Vorteil für Ze gibt, für nur wenige Kinder ergab sich dies nicht. Der Anteil der negativen Differenzen beträgt lediglich 15%. Ein Kind ist ein Ausreißer nach unten mit mehr als 20 Sekunden Nachteil durch Ze (s. Kapitel 6 Fallskizzen der atypischen Kinder).

### *Zufallskritische Analyse*

Folgende Analyse passt zum Graphen Box\_diff\_Y1\_test.tif. Der mittlere Effekt ist mit 8.3 Sekunden angegeben, der Wert 8.25 Sekunden, gerundet auf eine Stelle hinter dem Komma. Der im Graphen angegebene mittlere Effekt entspricht genau dem Analysewert von -8.25 Sekunden im Regressionsmodell.

Dieser Unterschied aus Box\_diff\_Y1\_test.tif. ist statistisch zu sichern. In der Hauptanalyse ergibt sich im Regressionsmodell (fixed effect longitudinal regression) xtreg zu Y1 in der üblichen Effekt-Analyse:

Y1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
X	-8.25	2.044615	-4.03	0.000	-12.38562 -4.114377

Der Koeffizient (Coef) für X (Wechsel von Tv nach Ze) beträgt -8.25 Sekunden, das heißt mit Ze ist jedes Kind im Vergleich zu sich selbst mit Tv im Durchschnitt um 8.25 Sekunden schneller. Schneller bedeutet, es benötigt weniger Sekunden, der Koeffizient ist daher negativ. Es geht um den Effekt, den eine Änderung der Sprechweise von Tv auf Ze auf die Dauer hat. Das 95%-Konfidenzintervall für diesen Wert reicht von -12.39 bis -4.11. Die Kinder sind mit Ze schneller, auch unter Berücksichtigung der statistischen Unsicherheit. Der zu-

gehörige p-Wert ist  $<0.0005 = 0.05\%$ , dargestellt ist der p-Wert zu X lediglich bis zur dritten Stelle hinter dem Komma: 0.000. Der Effekt ist hochsignifikant, bei einem üblichen Signifikanzniveau von 5%.

### *Robuste Analyse*

Y1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
X	-8.25	2.057679	-4.01	0.000	-12.41205 -4.087951

Die robuste Analyse läuft hier zwar, allerdings kommt dasselbe Ergebnis heraus wie bei der üblichen Analyse.

#### 4.2.3 Hauptbefund zur Zusatzauswertung zur Dauer Y1 unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer (Nebendauervariable)

##### Deskriptive Analyse

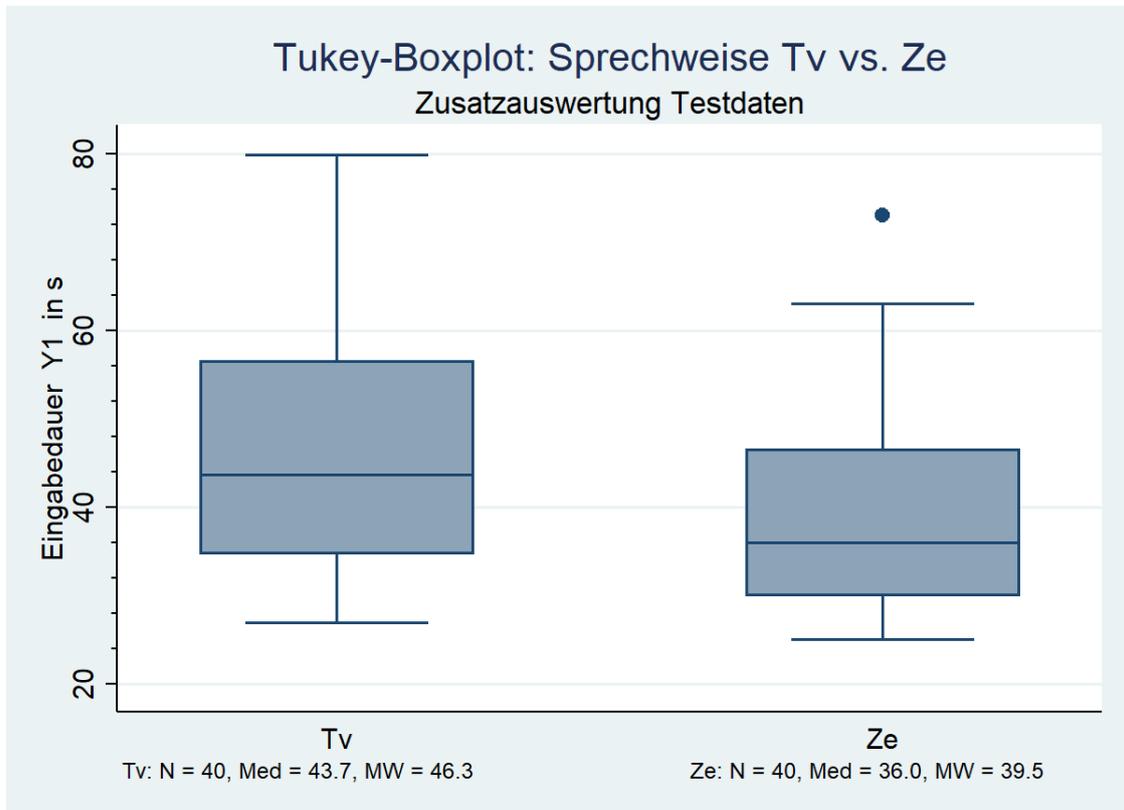


Abbildung 9 Box\_Y1\_Zusatz\_test.tif: Ergebnis Eingabedauer unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer

Die beiden Graphen in Box\_Y1\_Zusatz\_test.tif zeigen, dass der Vorteil von Ze auch nach Berücksichtigung der kürzeren Ansagedauer deutlich ist. Tv benötigt mehr Ansagezeit als Ze.

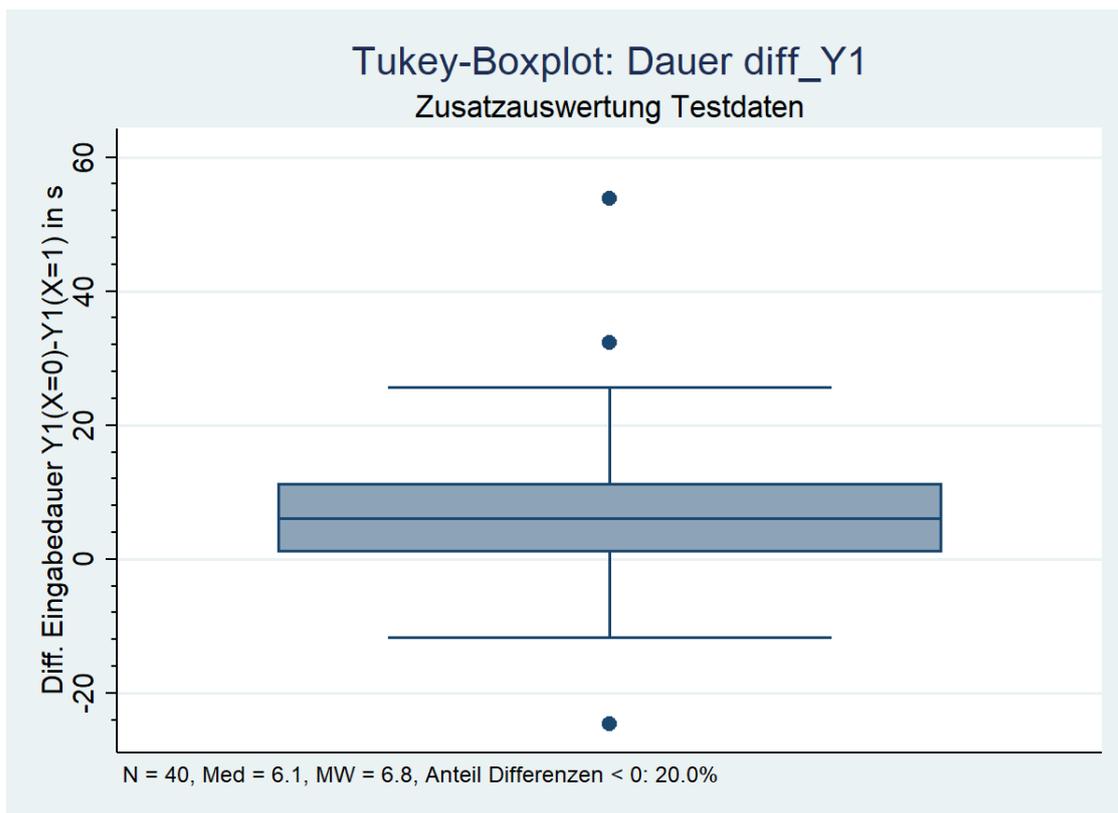


Abbildung 10 Box\_diff\_Y1\_Zusatz\_test.tif: Differenzen der Eingabedauer unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer

Die Abbildung Box\_diff\_Y1\_Zusatz\_test.tif zeigt nur einen Graphen. Mit Ze ist jedes Kind, im Vergleich zu sich selbst mit Tv, im Durchschnitt um 6.8 Sekunden schneller.

### *Zufallskritische Analyse*

Diese Analyse passt zu den Graphen Box\_Y1\_Zusatz\_test.tif und Box\_diff\_Y1\_Zusatz\_test.tif. Als Ergebnis der linearen Regressionsanalyse (fixed effect longitudinal regression) xtreg: „extended regression“, Zusatzauswertung ergibt sich in der üblichen Effekt-Analyse:

Y1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
X	-6.834	2.053704	-3.33	0.002	-10.98801 -2.679992

Der Koeffizient für X ist -6.83 Sekunden, das heißt mit Ze ist jedes Kind im Vergleich zu sich selbst mit Tv im Durchschnitt um 6.83 Sekunden schneller. Der Vorteil von Ze ist auch nach Berücksichtigung der kürzeren Ansagedauer deutlich. Der zugehörige p-Wert ist 0.2%, der Effekt ist hochsignifikant, bei einem üblichen Signifikanzniveau von 5%. Dies ist etwas geringer als in der Hauptanalyse der Gesamtdauern. Dort sind es 8.25 Sekunden.

### *Robuste Analyse*

Y1	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]
X	-6.834	2.066827	-3.31	0.002	-11.01455 -2.653449

Die robuste Analyse weicht nur in minimalen Details ab.

### 4.3 Ergebnisse zu einzelnen Kovariablen

#### 4.3.1 Fördereinrichtung: Lernpraxis, ZSPR, Duden-Institut

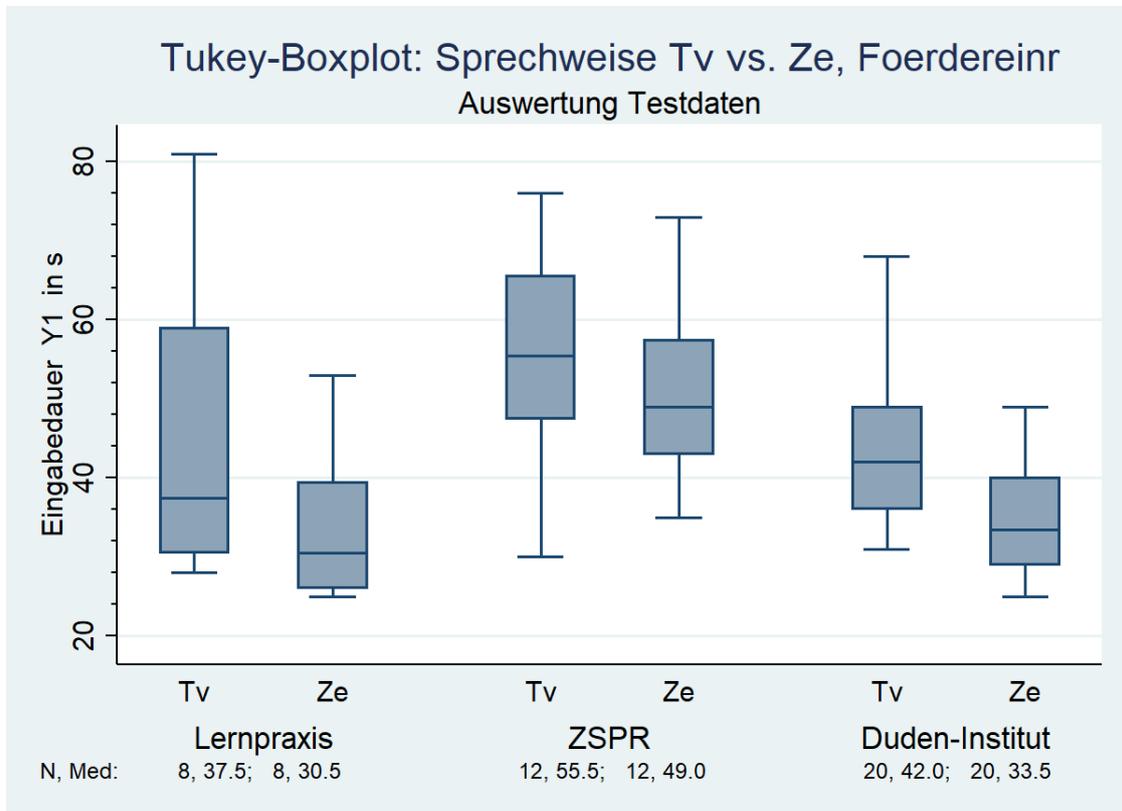


Abbildung 11 Box\_Y1\_Foerder\_Einrichtung\_test.tif: Ergebnisse für die Kovariable Fördereinrichtung

Bei einem ähnlichen Vorteil von Ze in allen Fördereinrichtungen sind die Kinder des ZSPR am langsamsten und die Kinder der Lernpraxis und des Duden Instituts ähnlich schnell. Der Unterschied ist signifikant ( $p < 3\%$ ).

### 4.3.2 Effekt des Alters ( $\leq 10$ , $>10$ Jahre)

Nehmen allgemein die Effekte mit zunehmendem Alter eher ab oder bleiben sie auf gleichem Niveau?

Die folgenden vier Box-Plots zeigen, dass die älteren Kinder, die über 10 Jahre alt sind, in beiden Sprechweisen schneller sind. Aber sowohl die jüngeren als auch die älteren Kinder sind schneller mit Ze. Die Differenzplots zeigen jedoch, dass der Vorteil von Ze unter den jüngeren etwas größer ist. Die Mediane der Differenzen liegen bei 9.5 Sekunden versus 5 Sekunden in der Gesamtdauer beziehungsweise bei 8.0 Sekunden versus 3.7 Sekunden nach Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer.

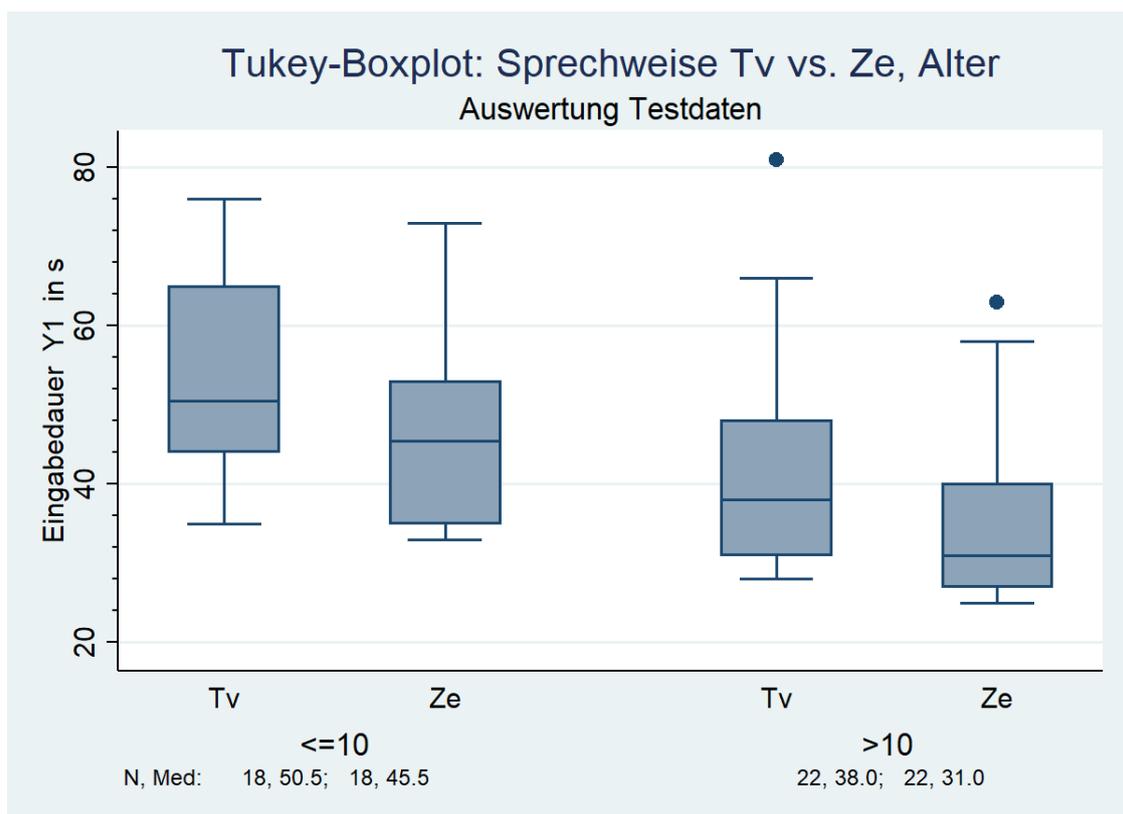


Abbildung 12 Box\_Y1\_Alt\_kat\_test.tif: Ergebnisse für die Kovariable Alter

Bei einem ähnlichen Vorteil von Ze in beiden Altersklassen sind die älteren Kinder signifikant schneller (stets  $p < 0,5\%$ ).

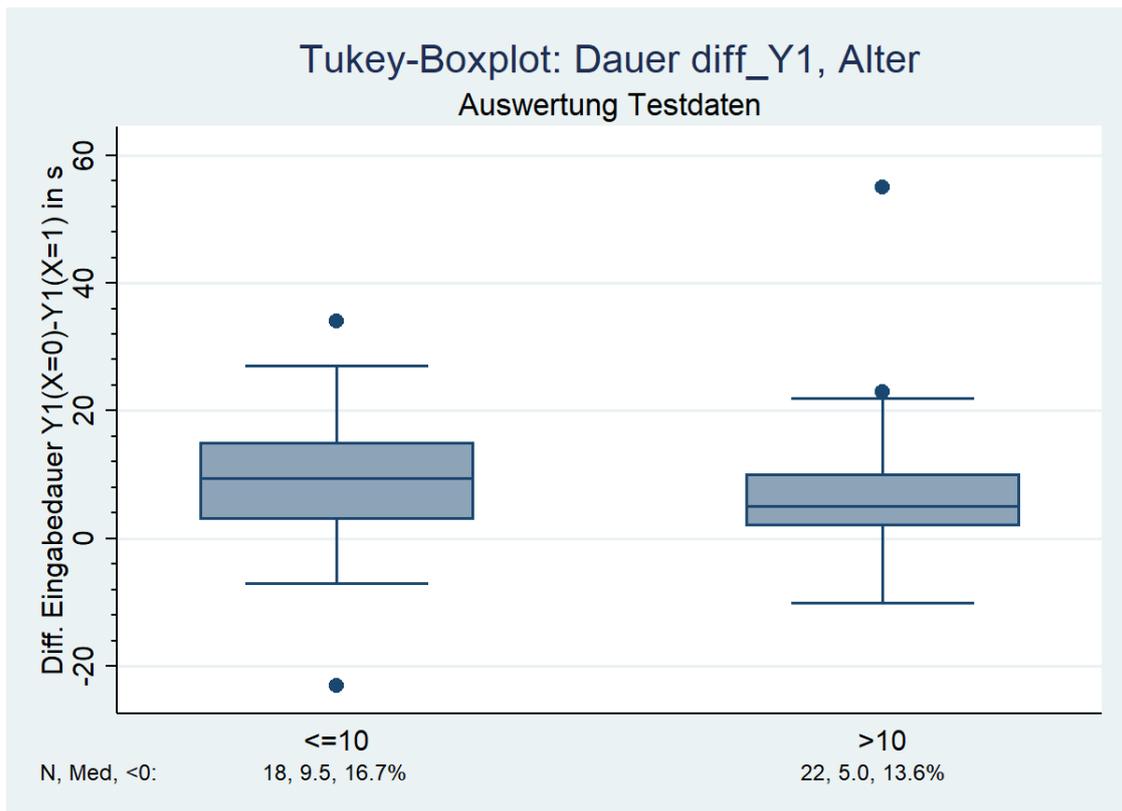


Abbildung 13 Box\_diff\_Y1\_Alt\_kat\_test.tif: Differenzen für die Kovariable Alter

Es zeigt sich ein fast identischer Vorteil von Ze (stets  $p > 80\%$ ), unabhängig vom Alter.

Die Differenz zwischen der Dauer bei Tv und bei Ze ist zu erkennen. Dieser Effekt der Sprechweisenumstellung variiert mit dem Alter. Es ergibt sich mit 9.5 Sekunden versus 5.0 Sekunden (Box\_diff\_Y1\_Alt\_kat\_test.tif) weniger Wirkung durch Ze bei den Älteren.

Die älteren Kinder sind schneller, ein Gewinn durch die Umstellung kann daher nicht in demselben absoluten Maße erwartet werden wie bei den jüngeren Kindern. Die älteren sind bereits mit Tv vergleichsweise „gut“.

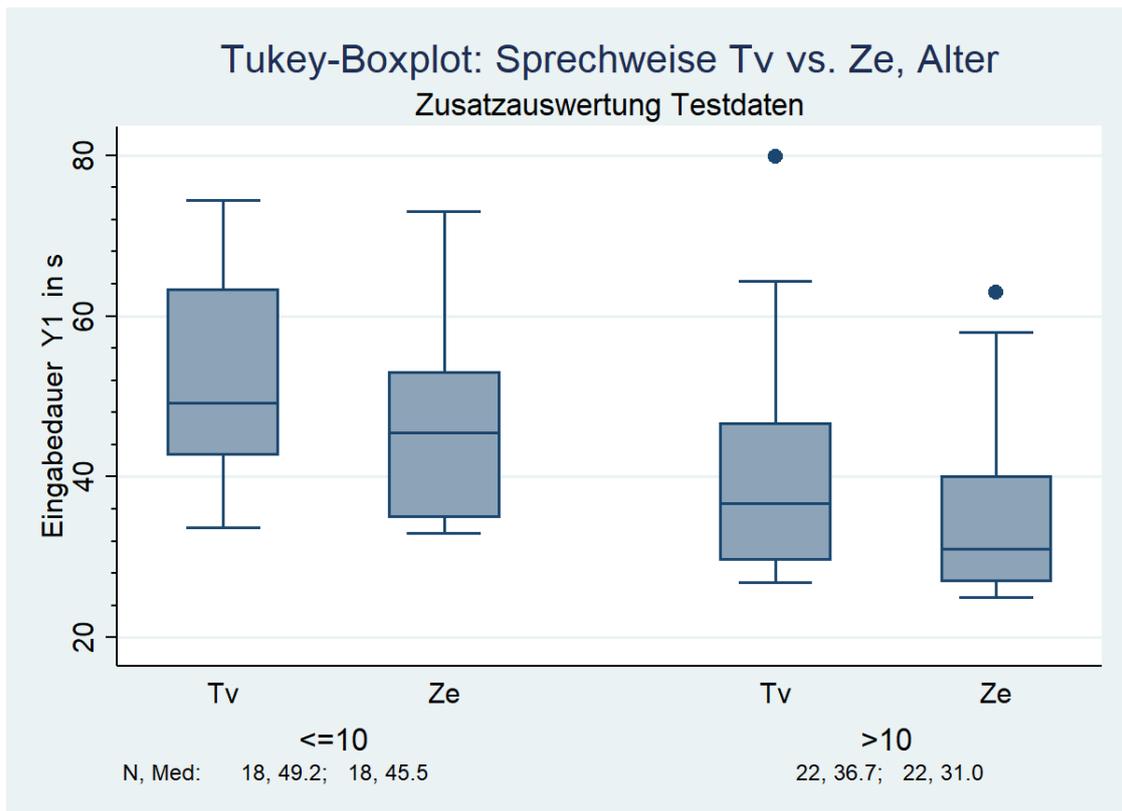


Abbildung 14 Box\_Y1\_Alt\_kat\_Zusatz\_test.tif: Ergebnisse der Zusatzauswertung für die Kovariable Alter

Bei einem ähnlichen Vorteil von Ze in beiden Altersklassen sind die älteren Kinder signifikant schneller (stets  $p < 0,5\%$ ).

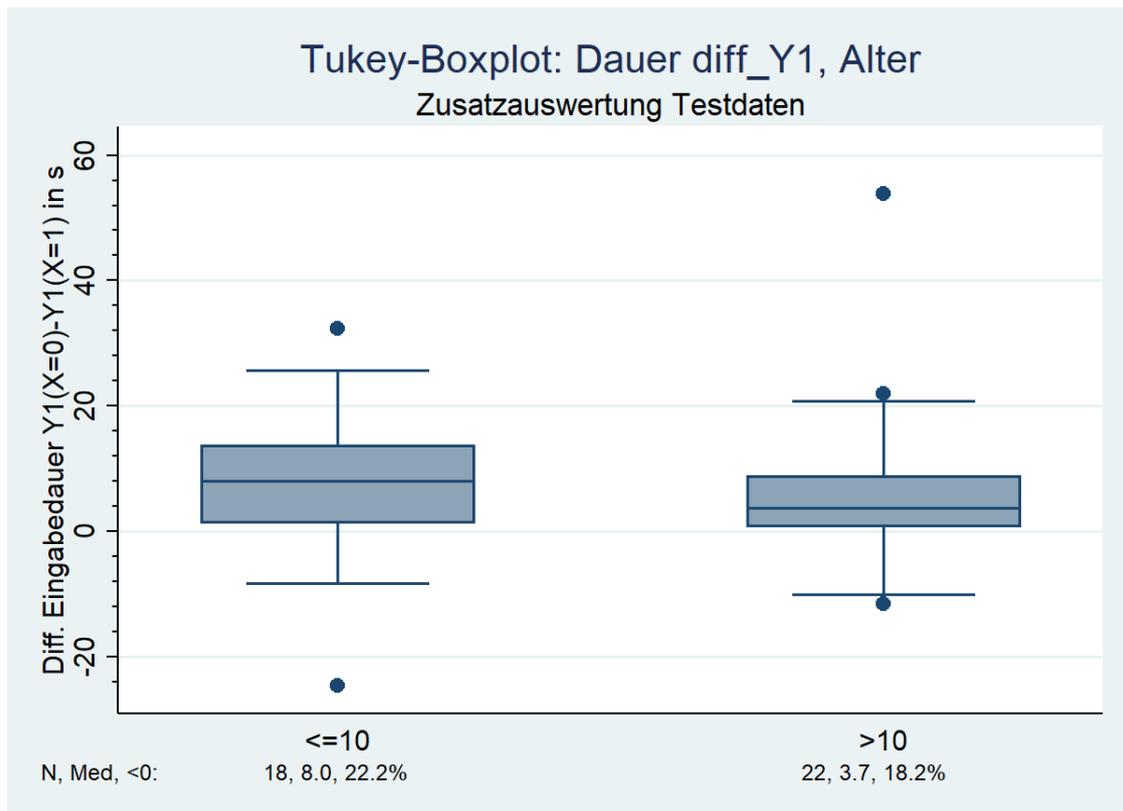


Abbildung 15 Box\_diff\_Y1\_Alt\_kat\_Zusatz\_test.tif: Differenzen der Zusatzauswertung für die Kovariable Alter

Unabhängig vom Alter ergibt sich ein fast identischer Vorteil von Ze (stets  $p > 80\%$ ).

*Hauptbefund zur prozentualen Änderung der Dauer (Nebendauervariable)*

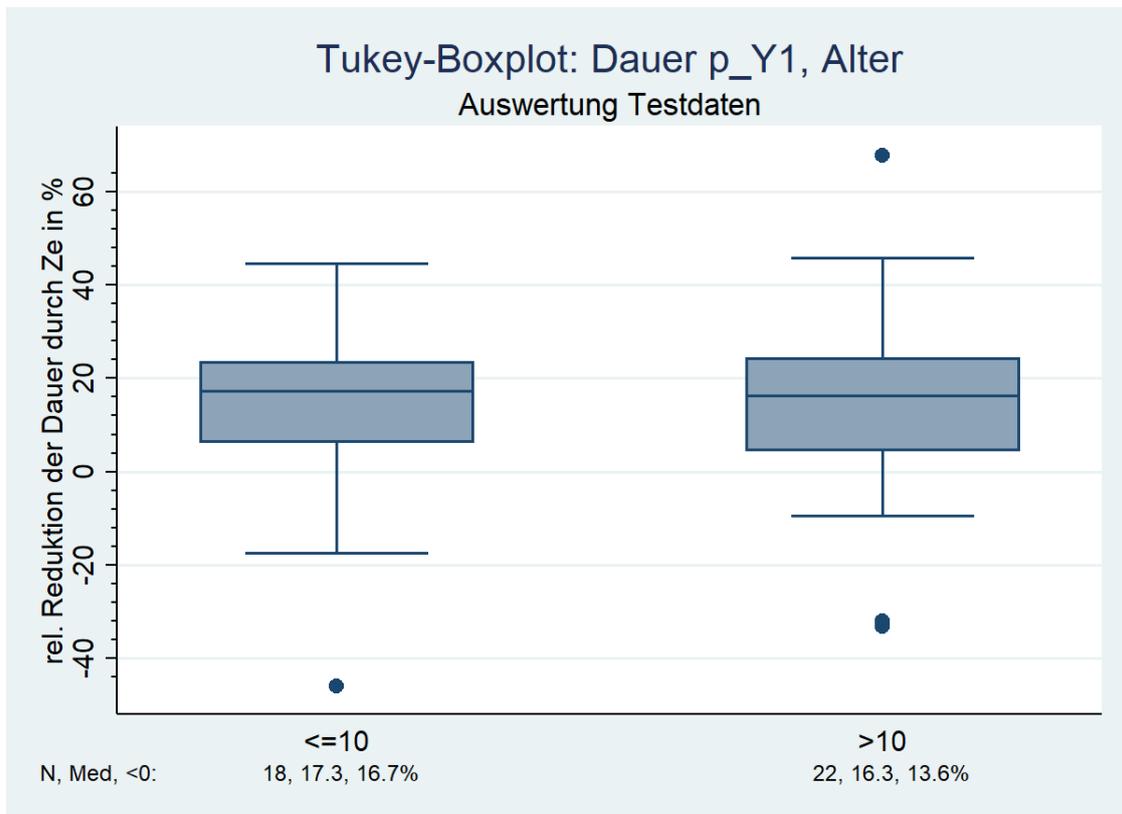


Abbildung 16 Box\_p\_Y1\_Alt\_kat\_test.tif: Ergebnisse zur prozentualen Änderung der Dauer

Es stellt sich die Frage nach der relativen Änderung pro Kind, um wieviel Prozent wird das Kind mit Ze schneller? Das Ergebnis zeigt Box\_p\_Y1\_Alt\_kat\_test.tif. Die Verteilungen sind sehr ähnlich. Die Mediane liegen bei 17.3% beziehungsweise bei 16.3% Gewinn, die Mittelwerte bei 16.7% und 13.6%.

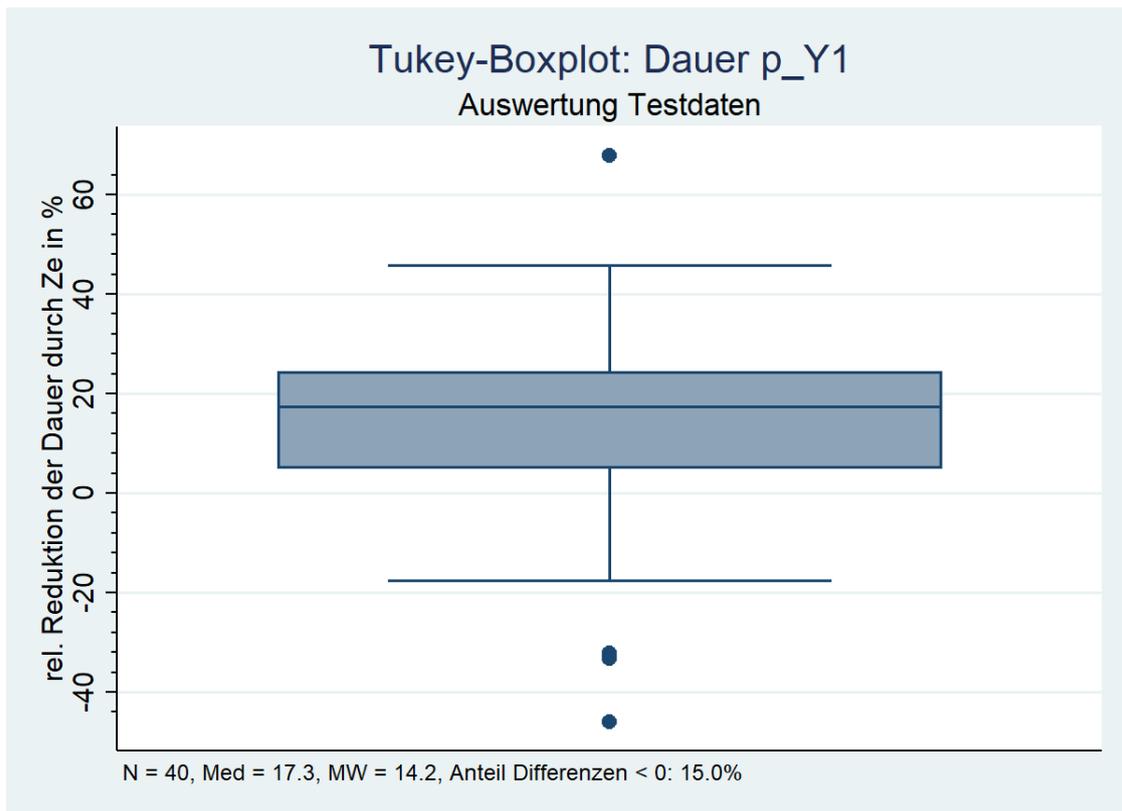


Abbildung 17 Box\_p\_Y1\_test.tif: Differenzen zur prozentualen Änderung der Dauer

Dieser Unterschied ist laut Regressionsrechnung vernachlässigbar, denn der p-Wert ist riesig:  $p=83\%$ . Dies bedeutet, dass die Umstellung in beiden Altersklassen auf Ze denselben relativen Gewinn in der Dauer von durchschnittlich 14.2% bewirkt (Box\_p\_Y1\_test.tif).



Mit Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer in der Zusatzanalyse ist der Effekt etwas kleiner, jedoch ist auch hier der relative Gewinn durch die Umstellung auf Ze unabhängig vom Alter (Box\_p\_Y1\_Alt\_kat\_Zusatz\_test.tif, Box\_p\_Y1\_zusatz\_test.tif). Der p-Wert liegt bei 91%.

Kurzgefasst sind die älteren Kinder grundsätzlich schneller, aber alle Kinder profitieren von Ze.

### 4.3.3 Erstsprache mit zwanzigeins

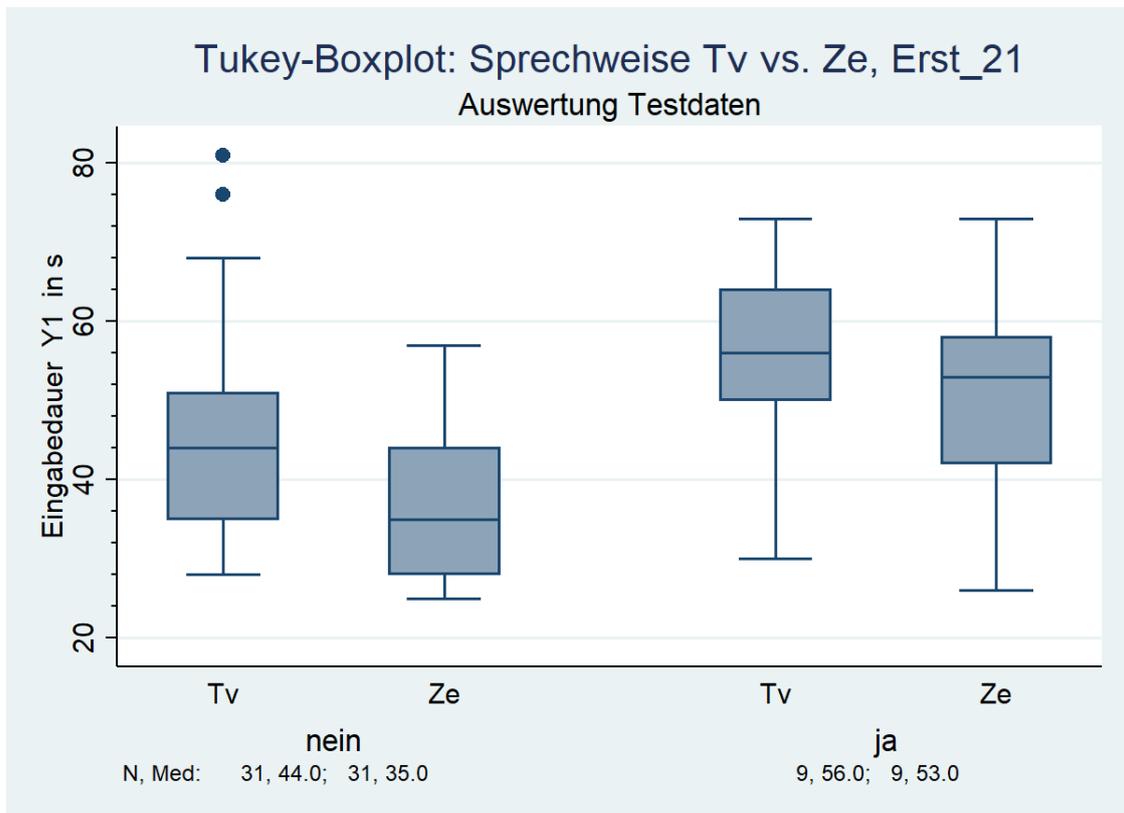


Abbildung 20 Box\_Y1\_Erst\_21\_test.tif: Ergebnisse für die Kovariable Erstsprache mit Ze

Bei einem ähnlichen Vorteil mit der Sprechweise Ze in beiden Sprachgruppen sind die Kinder mit einer Erstsprache mit zwanzigeins signifikant langsamer (stets  $p=0.04$ ).

#### 4.3.4 Zusammenfassung

Wie sich einzelne Kovariablen deskriptiv im Zusammenspiel mit der Sprechweise auf die Dauer ausgewirkt haben, wurde untersucht. Einige der Variablen zeigen einen klaren Einfluss auf die Geschwindigkeit, unabhängig von der Sprechweise. So sind Kinder aus dem ZSPR am langsamsten, aus der Lernpraxis und dem Duden-Institut schneller und untereinander ähnlich schnell (Unterschied signifikant:  $p < 3\%$ ). Des Weiteren ergibt sich, dass ältere Kinder oder Kinder aus höheren Schulstufen (Klasse 5 und 6) grundsätzlich schneller sind. Dies war zu erwarten und spricht für die Methodik. Es ist also nicht so, dass gar kein Einfluss von Variablen gesehen werden kann. Wenn die Y1-Befunde zu den 40 rechenschwachen Kindern zusammengenommen werden, sind z.B. Mädchen schneller als Jungen, die Kinder der Gruppe 1 (AK) langsamer als die der Gruppe 2 (VH), die ZSPR-Kinder langsamer als die anderen der Lernpraxis und des Duden-Instituts und mehrsprachige Kinder langsamer.

Trotz dieser deutlichen Unterschiede zwischen den Untergruppen in der Bearbeitungsdauer der Diktataufgaben lässt sich als wichtiger Befund das Folgende festhalten: Alle in den vorhergehenden Unterkapiteln von 4.3 besprochenen Untergruppen (Jungen, Mädchen, Kinder des ZSPR, des Duden-Instituts, der Lernpraxis, Kinder mit oder ohne Zwanzigeins-Struktur der Erstsprache, ältere oder jüngere Kinder) sind mit der stellenwertgerechten Sprechweise Ze schneller. Aber dies gilt sogar allgemeiner: Keine der untersuchten 15 Variablen (s. Kapitel 2.3.2) modifiziert den Zusammenhang zwischen Sprechweise und Bearbeitungsdauer bedeutend. Das heißt, dass der Vorteil durch die Verwendung von Ze nicht auf eine spezielle Teilgruppe beschränkt ist, wie Kinder mit besonderer Belastung oder auf die, die mit Tv anfangen, sondern dass alle untersuchten Untergruppen von einer Umstellung auf Ze profitieren.

Wichtig ist der Befund, dass beide der folgenden Gruppen von Kindern von Ze profitierten: sowohl die Gruppe der Kinder, deren Erstsprache eine Zwanzigeins-Struktur zeigte, aber auch die Kinder, die nur mit einer Erstsprache in Kontakt waren, die eine solche Struktur nicht hatten (typischerweise: Deutsch). Die gefundenen Vorteile beschränken sich also nicht allein auf rechenschwache Kinder, die eine andere Erstsprache als Deutsch hatten, sondern waren insbe-

sondere in der Gruppe der Kinder deutlich wirksam, die keine Vorerfahrungen mit einer stellenwertgerechten Zahlensprechweise mitbrachten.

#### 4.4 Auswertung aller Perioden

Es soll geklärt werden, ob sich der ermittelte Befund eines Vorteils von Ze in den Zielgrößen Dauer Y1 und Zusatz Dauer Y1, nur zeigt, wenn allein die Testdaten der zweiten und vierten Perioden ausgewertet werden oder auch, wenn alle Perioden gemeinsam analysiert werden.

Eine gemeinsame Auswertung aller Perioden hat den Vorteil, dass der Umfang größer ist und keine Vorab-Selektion von Perioden stattfindet. Ein Nachteil ist darin zu sehen, dass die Ergebnisse von dem Lernfortschritt an der App überlagert sind, der, wie nachgewiesen, ausgeschlossen wird, wenn der Fokus auf den Testdaten liegt. Der Lerneffekt gleicht sich zwischen den Sprechweisen aus, da es sich um ein balanciertes Design handelt, er führt jedoch zu einer stärkeren Variation in den Ergebnissen.

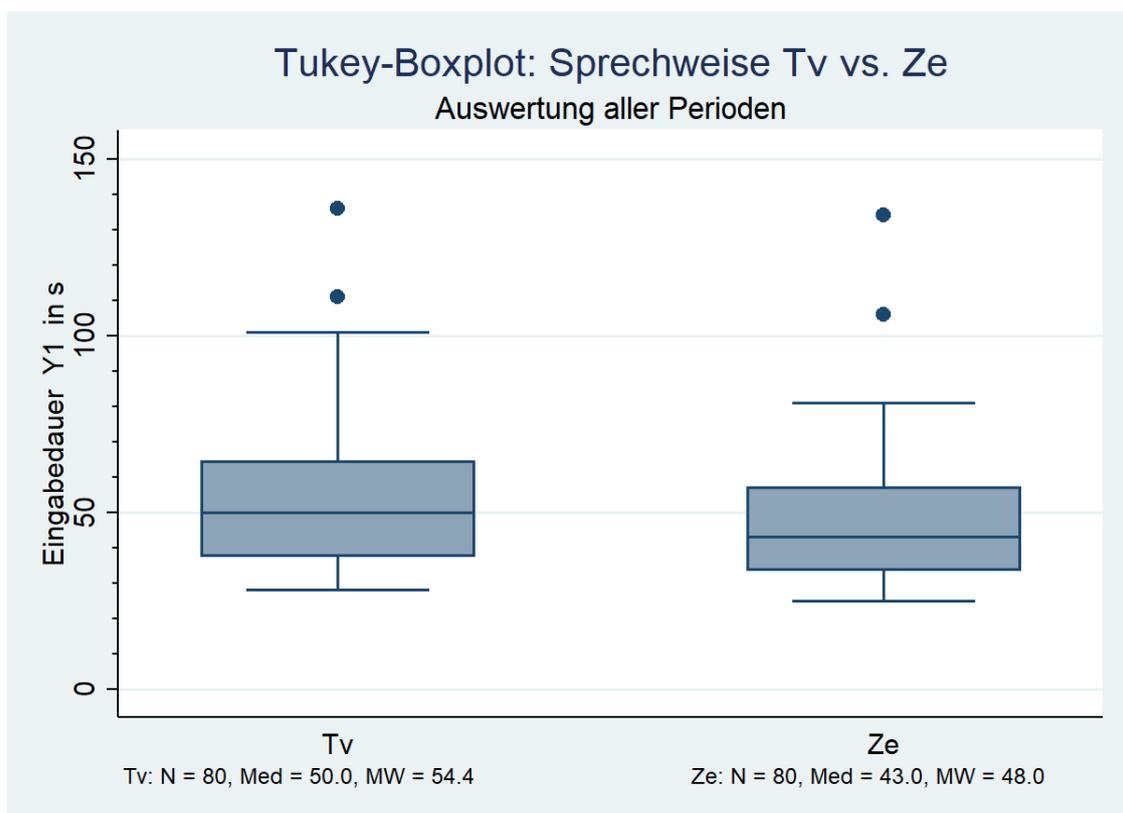


Abbildung 21 Box\_Y1\_all.tif: Ergebnisse Eingabedauer alle Perioden

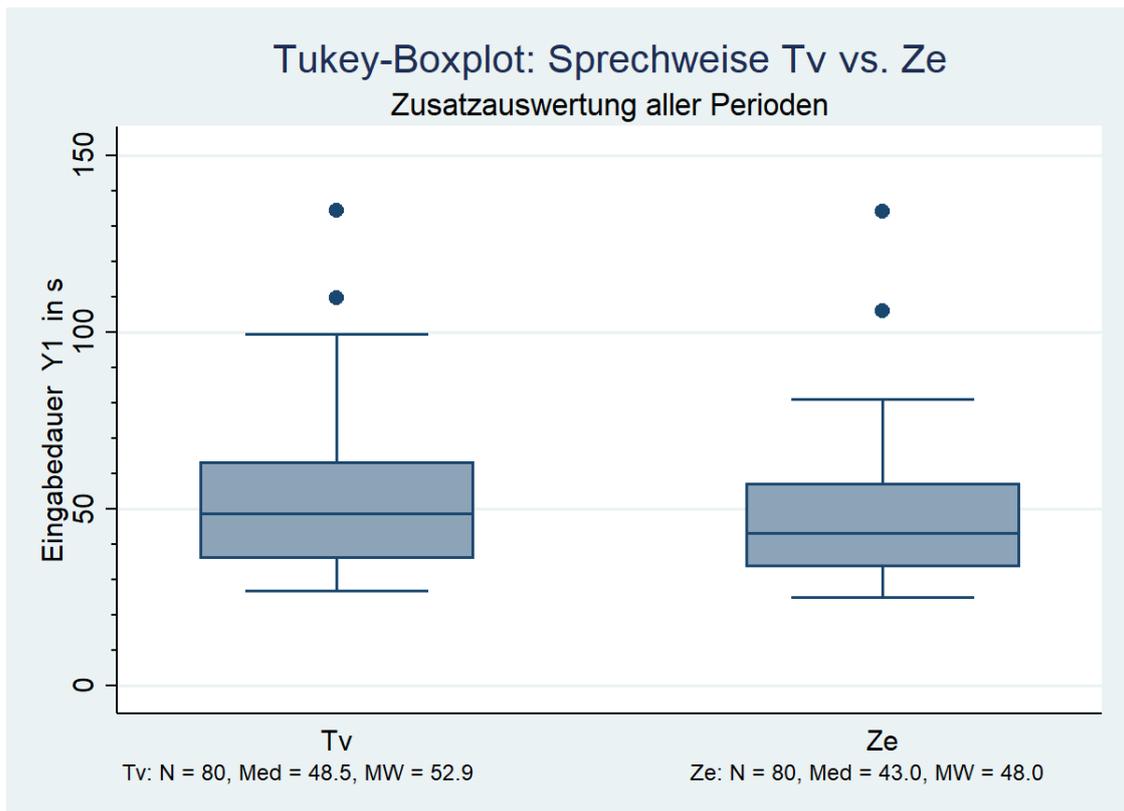


Abbildung 22 Box\_Y1\_Zusatz\_all.tif: Ergebnisse der Zusatzauswertung der Eingabedauer aller Perioden

Die Abbildungen Box\_Y1\_all.tif und Box\_Y1\_Zusatz\_all.tif zeigen, dass sich auch bei gemeinsamer Auswertung aller vier Perioden einheitlich Vorteile für Ze ergeben.

Die Überlagerung mit dem Lernfortschritt verunklart insbesondere die Befunde zur Dauer, trotz des verdoppelten Umfangs. Die Gesamtdauer Y1 ist signifikant erniedrigt mit Ze ( $p=4\%$ ). Nach der Korrektur um die unterschiedliche Ansagedauer (Y1 Zusatz) ist sie zwar immer noch erniedrigt mit Ze, allerdings nicht mehr signifikant ( $p=11\%$ ).

Somit ist der Basisbefund, ermittelt an den Testdaten, auch an den Gesamtdaten für alle Perioden grundsätzlich ermittelbar, trotz der Verunklärung durch die Überlagerung mit den Lernfortschritten an der App.

## 5. Fallskizzen atypischer Kinder

15% der Kinder (n=6) brauchen länger mit Ze, sie haben einen Nachteil mit Ze und sind schneller mit Tv (Auswertung von diff\_Y1, vgl. Abb. 8).

Es befindet sich ein besonderer „Ausreißer“ darunter (Profil 116).

Sechs Profilnummern und ihre Differenzwerte (Tv – Ze) in der Spieldauer:

<u>Profil</u>	<u>diff_Y1</u>
101	- 9
111	- 5
112	-10
116	-23
201	- 7
216	- 4

Was kennzeichnet diese Kinder und unterscheidet sie von der großen Mehrheit, den anderen 34 Kindern? Was hat sich in der Lernbiografie der Kinder ergeben, dass es zu solchen „Ausreißern“ kommt?

Vier Kinder (Profil 101, 111, 112, 116) sollen im Folgenden beispielhaft betrachtet werden.

Kein Zusammenhang wird auf dem 5%- Niveau signifikant, diese Zusammenhangsfrage wird daher allein deskriptiv angeschaut.

Interessant ist, dass in der Gruppe 1 (AK) 20% der Kinder atypisch sind (4 von 20), in der Gruppe 2 (VH) lediglich 10% (2 von 20). Dies lässt sich eventuell damit erklären, dass die Kinder der Gruppe 1 insgesamt psychisch belasteter sind als die der Gruppe 2. Sie bringen die schlechteste Grundleistung, sie sind psychopathologisch und vom gesamten Entwicklungsprofil viel schwerer betroffen als die Kinder vom Duden- Institut.

Auch unter den in Österreich untersuchten Kindern gab es 4 Kinder (7.3% von 55), die atypisch reagierten (Schmid 2023).

## 5.1 1.Fallbeispiel

*Profil 116, männlich, zum Zeitpunkt der Testung 9,4 Jahre alt*

Nachteil in der Dauer (-23 Sekunden) durch Ze

- 3.Klasse der Schule am Westend im ZSPR, keine Rückstellung und Wiederholung, ein Schulwechsel, türkischer Migrationshintergrund mit Mehrsprachigkeit, Nachteilsausgleich, medizinische Behandlung mit Stimulanzen, besondere Belastung durch die Schule und Peergroup

*Problematik:* Schwierigkeiten beim Erlernen des Lesens, Schreibens und Rechnens, Konzentrationsprobleme, erhöhte Ablenkbarkeit, geringe Frustrationstoleranz, Impulsivität, motorische Unruhe, Adipositas

*Familienanamnese:* lebt zusammen mit gemeinsam sorgeberechtigten Kindeseltern und drei Geschwistern (vierjährige Schwester und sechsjährige Zwillingsgeschwister), Sprachentwicklungsverzögerungen sind bekannt, psychische Erkrankungen sind nicht bekannt

*Psychologische Diagnostik:* unterdurchschnittliche kognitive Gesamtleistungsfähigkeit bei inhomogenem Leistungsprofil: die Leistungen in der verbalen Intelligenz (Sprachverständnis) und im nonverbalen, fluiden Schlussfolgern sowie seine Leistungen im Arbeitsgedächtnis lagen im unterdurchschnittlichen Bereich im Vergleich zur Altersnorm. Die Leistungen in der visuell-räumlichen Verarbeitung waren im Vergleich zur Altersnorm gut durchschnittlich ausgeprägt. Die Leistungen in der Verarbeitungsgeschwindigkeit lagen ebenfalls im durchschnittlichen Bereich. Testpsychologisch ergaben sich klinisch auffällige Ergebnisse in der Aufmerksamkeitsdiagnostik in den Bereichen geteilte Aufmerksamkeit, Handlungsplanung, Steuerung innerer Handlungsimpulse, Daueraufmerksamkeit und Hyperaktivität.

*Diagnostische Klassifikation mit ICD-10* nach stationärem Aufenthalt mit 8,10 Jahren:

F90.1 Hyperkinetische Störung des Sozialverhaltens, F90.0 Einfache Konzentrations- und Aufmerksamkeitsstörung, F93.8 Sonstige emotionale Störung des Kindesalters, F80.2 Rezeptive Sprachstörung

## **5.2 2.Fallbeispiel**

*Profil 112, weiblich, zum Zeitpunkt der Testung 12,9 Jahre alt*

Nachteil in der Dauer (-10 Sekunden) durch Ze

- 5.Klasse der Schule am Westend im ZSPR, zurückgestellt und Klasse wiederholt, zwei Schulwechsel, Nationalität deutsch, Nachteilsausgleich, medizinische Behandlung mit Stimulanzien, besondere Belastung (Behinderung eines Elternteils, abweichende Elternsituation, Verlust einer liebevollen Beziehung)

*Problematik:* Schwierigkeiten beim Erlernen des Lesens, Schreibens und Rechnens. Infolge unzureichender schulischer Förderung (u.a. pandemiebedingt) massiver schulischer Rückstand mit ausgeprägter Selbstwerteinschränkung, Verhaltensschwierigkeiten im schulischen und häuslichen Kontext, traurig, reizbar, wertet sich selbst ab, Schlafstörungen, Schwindel

*Medizinische Anamnese:* Pränatale Exposition mit Carbamazepin/ Valproat, postnatale Schwierigkeiten: respiratorische Anpassungsstörung

*Familienanamnese:* lebt zusammen mit alleinerziehender und allein sorgeberechtigter Kindesmutter und zwei jüngeren Halbbrüdern (vier und acht Jahre alt), aktuell kein Kontakt zum Kindsvater, Tod der Großmutter mütterlicherseits 2021 schlecht verkräftet, Großvater mütterlicherseits sei eine wichtige Bezugsperson, Anamnese für psychiatrische Besonderheiten erwies sich als positiv über die mütterliche und väterliche Seite, ergab Teilleistungsstörungen und ADHS

*Psychologische Diagnostik:* WISC-V: Gesamt-IQ im durchschnittlichen Intelligenzbereich bei einem homogenem Leistungsprofil, in der Konzentrations- und Aufmerksamkeitstestung zeigte sie eine erhöhte Ablenkbarkeit, Überforderung bei parallel agierenden Reizen und Hinweise auf Ermüdbarkeit, im ZAREKI-R erreichte sie einen Gesamtwert im unterdurchschnittlichen Bereich, in der HSP 4-5 ergaben sich unterdurchschnittliche Leistungen

*Diagnostische Klassifikation mit ICD-10* nach stationärem Aufenthalt mit 10, 10 Jahren: F90.0 Einfache Konzentrations- und Aufmerksamkeitsstörung, F32.1 mittelgradige Depression, F93.8 Sonstige emotionale Störung des Kindesalters, F81.1 isolierte Rechtschreibstörung, F81.2 Dyskalkulie

### **5.3 3. Fallbeispiel**

*Profil 111, weiblich, zum Zeitpunkt der Testung 12, 3 Jahre alt*

Nachteil in der Dauer (-5 Sekunden) durch Ze

- 5.Klasse der Schule am Westend im ZSPR, keine Rückstellung, Klasse wiederholt, ein Schulwechsel, Nationalität britisch, Nachteilsausgleich

*Problematik:* Schwierigkeiten beim Erlernen des Lesens, Schreibens und Rechnens, depressive Gefühle, Angstzustände, Zwangsstörung, Bauch- und Kopfschmerzen

*Familienanamnese:* in Frankreich geboren, Kindheit, Einschulung und erste Schuljahre in Großbritannien, lebt zusammen mit 16 jährigem Bruder und gemeinsam sorgeberechtigten Kindeseltern (Kindesmutter türkisch, Kindsvater englisch, beide Akademiker)

*Diagnostische Klassifikation mit ICD-10:* F93.8 Sonstige emotionale Störung des Kindesalters, F81.3 kombinierte Störung schulischer Fertigkeiten

## 5.4 4.Fallbeispiel

*Profil 101, weiblich, zum Zeitpunkt der Testung 11,8 Jahre alt*

Nachteil in der Dauer (-9 Sekunden) durch Ze

- 6.Klasse, erhält in der Lernpraxis eine integrative Lerntherapie und Psychotherapie mit Schwerpunkt Verhaltenstherapie, keine Rückstellung, Klasse wiederholt, kein Nachteilsausgleich, Schulwechsel, Nationalität Deutsch

*Problematik:* Schwierigkeiten beim Erlernen des Lesens, Schreibens und Rechnens, schulische Überforderung, hat stark an Gewicht zugenommen, verhält sich vermeidend und ist sozial überangepasst

*Familienanamnese:* lebt zusammen mit verheirateten Kindeseltern und siebenjähriger Schwester, Disharmonien zwischen Eltern, Kindesmutter arbeitet als Friseurin, Kindesvater hat keine Ausbildung und ist derzeit erwerbslos, Prädisposition im Hinblick auf ADHS und LRS der Kindesmutter und Suchterkrankung der Großeltern, Überraschungskind, dann gewollt von 20-jähriger Mutter, Rivalität mit Schwester

*Diagnostische Klassifikation mit ICD-10:* F93.8 Emotionale Störung des Kindesalters mit Stimmungsschwankungen und mangelndem Selbstwertgefühl, F81.2 Rechenstörung

## 5.5 Diskussion

Für die Diskussion kann spekulativ über die Gründe nachgedacht werden, warum die einen mit der Umstellung weniger gut klarkommen als die anderen. Es handelt sich um ein Zusammenspiel individueller, komplexer Faktoren. Auf drei entscheidende Faktoren sei hier besonders hingewiesen, das Alter, die Mehrsprachigkeit, besondere persönliche frühkindliche Erfahrungen. Aus klinischer Perspektive handelt es sich bei den vier Kindern, die keinen Vorteil von Ze,

sondern einen Nachteil in der Dauer Y1 haben, vermutlich am ehesten um jene, die auch allgemein besondere Schwierigkeiten haben sich umzustellen. Die vier Kinder sind eher am oberen Altersrand und haften von daher vielleicht stärker am automatisierten Gewohnten, der Sprechweise Tv. Je älter die Kinder sind, desto stärker sind ihre Routinen, dem Radfahren vergleichbar. Zwei Kinder sind zweisprachig. In diesem Fall handelt es sich um Beispiel 1 (Profil 116) und 3 (Profil 111). Wenn mehrsprachige Kinder, in diesem Falle handelt es sich um türkisch-deutsche und englisch-deutsche Zweisprachigkeit, schließlich das deutsche Zahlwortsystem gelernt haben, fällt ihnen wiederum Ze schwer. Alle vier Kinder haben Probleme der Aufmerksamkeitsregulation und emotionale Störungen. In den ersten Lebensjahren sind die Kerneigenschaften des menschlichen Gehirns seine schnelle Entwicklung und hohe Plastizität. Säuglingen eine fürsorgliche und anregende Umgebung zu bieten, gilt allgemein als ideal für die Förderung der kognitiven Entwicklung. Ein Grund dafür ist, dass sie, wenn sie in einer solchen Umgebung aufwachsen, vor häufigem Stress geschützt sind (McClelland et al. 2011). Stress im frühen Kindesalter ist ein starker Risikofaktor für eingeschränkte kognitive Flexibilität und Umstellungsschwierigkeiten. Je früher der Stress beginnt, desto stärker sind die epigenetischen Ausprägungen, die Kinder sind weniger umstellfähig und zeigen geringere kognitive Fähigkeiten. Nur sechs der getesteten Kinder, die frühem Stress ausgesetzt waren, zeigen diese besonderen Umstellungsschwierigkeiten. Wie potentiell sich stressige Erfahrungen auf einen Menschen auswirken, hängt von einer Reihe von weiteren Faktoren ab, der Entwicklungsgeschichte, dem Alter, dem Temperament und der Art des Stressors, der inneren und äußeren Reize, die Stress verursachen können. In diesem Zusammenhang sei auch der Begriff der Resilienz erwähnt, die individuelle Kraft der Psyche, Belastungen auszuhalten. Frühkindliche Stresserfahrungen können die Entwicklung der zentralen Stützfunktionen der Intelligenz hemmen. Ihre kognitive Flexibilität ist dann verlangsamt. Der innere Zustand des Individuums ist hier mitverantwortlich für die Schwierigkeit mit ze. Je mehr Unterschiede es zwischen den Zahlentranskodierungen gibt, umso mehr ist das Arbeitsgedächtnis belastet, was wiederum mentale Kapazität und Zeit kostet. In diesem Zusammenhang sei auf die Studie von Seehagen et al. hingewiesen (2015). Es wurden die Auswirkungen von akutem Stress auf die

kognitive Flexibilität bei 15 Monate alten Säuglingen, die einzeln untersucht wurden und an einer instrumentellen Lernaufgabe teilnahmen, gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass Stress die Fähigkeit von Säuglingen beeinträchtigt, ihr Verhalten an veränderte Umstände anzupassen. Eine zuvor effektive Handlung wurde weiter ausgeführt, selbst wenn diese plötzlich wirkungslos wurde und eine alternative Handlung frei und deutlich verfügbar war. Je weniger die Kinder im Laufe ihrer Entwicklung in Kindheit und Schullaufbahn durch alles, was im Außen passiert traumatisiert werden, desto ungestörter kann die mathematische Entwicklung verlaufen und das Gehirn sehr viel leisten.

## **6. Zusammenfassung**

### **6.1 Überprüfung der Hypothese und Beantwortung der Forschungsfragen**

Die wissenschaftliche Relevanz des Themas der Zahlensprechweise bei rechenschwachen Kindern wurde ausführlich dargestellt, auf den Forschungsstand wurde Bezug genommen und die Forschungsfrage konnte samt dem Hypothesenpaar entwickelt werden. Eine hohe interne und externe Validität wurde durch das gewählte Studiendesign erreicht. Die Datenerhebung führte zu einem vollständigen pseudonymisierten Datensatz. Umsteigelisten mit Klarnamen wurden erstellt, um aufkommende Fragen beantworten zu können. Anhand der Ergebnisse der Auswertung wurde die Hypothese geprüft und die Forschungsfragen beantwortet.

Als Hauptergebnis wurde gefunden, dass bei einer Sprechweise ohne Inversion, Zahlen im Zahlenraum 11-99 statistisch hochsignifikant schneller verschriftet werden können. Somit ist H1 gültig.

H1: Es gibt einen Unterschied in der Geschwindigkeit beim Transkodieren von Zahlen zwischen einer stellenwertgerechten Sprechweise und der im Deutschen üblichen inversen Sprechweise in einem Zahlendiktat.

Der Basisbefund zur Dauer (Y1) mit zufallskritischer Prüfung ohne Berücksichtigung von Kovariablen lautet wie folgt. Es sinkt die mittlere Dauer bis zur kor-

rekten Eingabe von zehn diktierten Zahlen von 47.8 Sekunden bei traditionell-verdrehter Sprechweise auf 39.5 Sekunden bei unverdrehter Sprechweise. Die Kinder sind im Mittel um 8.3 Sekunden schneller bei Verwendung von stellenwertgerechter Sprechweise. Dies gilt auch bei Berücksichtigung der kürzeren Ansagezeit in stellenwertgerechter Sprechweise (Variable: Y1zus), die Kinder waren um 6.8 Sekunden schneller. Der mittlere relative Gewinn in der Bearbeitungsdauer lag bei 14.2% (Y1) bzw. 11.3% (Y1zus) und war hochsignifikant (stets  $p < 0.4\%$ ). Diese Befunde zum prozentualen Gewinn durch einen Wechsel auf eine stellenwertgerechte Sprechweise sind konservativ, da die Bearbeitungsdauer auch die Diktatzeiten und die Anzeigezeiten (bei korrekter Eingabe zeigt die App für 0,5 s die Zahl in Grün an, bei falscher Eingabe für 0,5 s in Rot) beinhaltet, so dass die prozentuale Verkürzung der reinen Eingabezeit der Kinder deutlich größer ausfällt als die hier berichtete relative Reduktion der Bearbeitungsdauer.

Die Ergebnisse der vorliegenden empirischen Untersuchung zur Dauer (Y1) decken sich mit denen zur Fehlerzahl (Y2) von VH (Hartwig 2025). Die Forschungsfrage betreffend, bedeutet dies, dass rechenschwache Kinder in Bezug auf die Dauer (AK) und die Fehlerzahl (VH) von einer stellenwertgerechten Sprechweise profitieren. Die Kinder können die Zahlen schneller und mit weniger Fehlern verschriften, wenn die Sprechweise der Zahlen mit der Schreibung der Zahlen übereinstimmt.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen der österreichischen Studie (Schmid 2023), mit Kindern aus einer Regelschule, hat folgendes ergeben. Beide Studien haben ein überzeugendes Ergebnis in der Dauer erzielt. Die von Schmid (2023) untersuchten Kinder waren mit Ze um 11.1 Sekunden schneller (Y1). Die Dauer bis zur korrekten Eingabe von zehn diktierten Zahlen sank von 62 Sekunden bei traditioneller auf 51 Sekunden bei stellenwertgerechter Sprechweise. In der vorliegenden Studie waren die Kinder mit Ze um 8.3 Sekunden schneller. Die zentrale Kernaussage ist, auch die rechenschwachen Kinder reagieren wie die Kinder der 2. Klasse an einer Regelschule in Österreich mit einer höheren Geschwindigkeit bei Ze. Zusätzlich steht fest, dass keine der untersuchten 15 Variablen diesen Zusammenhang bedeutend modifiziert (s. Kapitel 5.3). Das bedeutet, dass der Vorteil durch Verwendung von Ze nicht auf eine spezielle Teil-

gruppe, wie Mädchen oder Kinder mit besonderer Belastung oder auf die, die mit Tv anfangen, beschränkt ist, sondern dass alle Untergruppen von einer Umstellung profitieren. Keine der 15 erhobenen Kovariablen hat einen relevanten Einfluss auf den Effekt der Sprechweise. In allen Teilgruppen ergeben sich weitgehend einheitlich Vorteile von Ze.

Betrachtet wurden abrundend atypische Einzelfälle von Kindern, die auffällig waren und nicht der zentralen Hypothese entsprechend reagiert haben (s. Kapitel 6 Fallskizzen atypischer Kinder). Es handelt sich um Kinder, die allgemein Schwierigkeiten haben, sich umzustellen und gleichfalls Probleme in der Aufmerksamkeitsregulation und emotionale Störungen haben. In dieser Hinsicht wurde bereits auf das belastete Arbeitsgedächtnis hingewiesen.

Als Fazit sei festgehalten, dass es sehr klare Ergebnisse eines Vorteils der stellenwertgerechten Sprechweise gibt, die statistisch hoch signifikant sind. Als Stärke der Untersuchung ist das balancierte Design mit Cross-over zu nennen.

Die Reihenfolge der Sprechweise wurde getauscht und die Zahlen wurden zufällig gewählt. Der Vergleich von Tv und Ze geschieht innerhalb eines Kindes. Daher haben weder das Geschlecht, das Alter oder andere konstante Kovariablen einen verzerrenden Einfluss auf die Ergebnisse ausüben können. Zudem fand die Untersuchung an mehreren Standorten statt, die strukturell verschieden waren, wie auch die Zusammensetzung der Teilkollektive. Dennoch ergaben sich weitgehend einheitliche Befunde.

## **6.2 Diskussion und Ausblick**

Im Ergebnis zeigt sich sehr eindeutig, dass die invertierte Zahlensprechweise das Transkodieren in die indo-arabische Notation zeitaufwendig und fehleranfällig macht. Die sichere und automatisierte Beherrschung der Transkodierungsregeln stellt aber, wie oben geschildert, eine notwendige Voraussetzung für die Entwicklung einer mentalen Zahlenraumvorstellung und damit für die weitere Entwicklung des mathematischen Denkens und Handelns dar. Die invertierte Zahlensprechweise stellt somit einen Risikofaktor für das Rechnenlernen im Kindesalter insgesamt dar, aber insbesondere für solche Kinder, bei denen wei-

tere konstitutionelle und biographische Risikokonstellationen für die Entwicklung von Rechenschwächen und Schulversagen bestehen.

Die Tatsache, dass im Deutschen die mehrstelligen Zahlen anders gesprochen werden als es die Logik und die Gesetzmäßigkeit des dekadischen Positionsystems zulässt, wird immer noch einfach hingegenommen. Viele Menschen haben sich Gedanken zum Zahlensprechen gemacht und das invertierte Zahlensprechen als Missstand angesehen, wie z.B. der „Verein Zwanzigeins“. Die invertierte Zahlensprechweise ist im Hinblick auf das Schriftbild der mehrstelligen Zahlen unlogisch und deshalb vor allem für rechenschwache Kinder schwierig. Auch Kindern fremdsprachiger Herkunft, die die deutsche Zahlensprechweise nicht von Geburt an gewohnt sind, macht die verdrehte Zahlensprechweise zu schaffen. Dieses Problem, was sich zunehmend durch weiteren Zuwachs an Kindern, die zwei- oder mehrsprachig aufwachsen akzentuiert, sollte die Entwicklung zur nicht-invertierten Zahlensprechweise einleiten.

Im Laufe der Geschichte hat sich die deutsche Sprache fortwährend verändert. Diese Veränderungen wurden immer vorgenommen, um die Schriftsprache zu erleichtern. Könnte dies nicht auch für die Sprachlichkeit gelten? Neben dem deutschsprachigen Raum gibt es weitere Länder, die mit ihrer Zahlensprechweise Schwierigkeiten haben. Das Beispiel Norwegen macht deutlich, dass die Umstellung der invertierten Zahlensprechweise möglich und durchführbar ist und von der Bevölkerung angenommen wird.

Zur Frage: „Wie kommen Kinder mit einer geänderten Zahlensprechweise klar?“, lässt sich sagen, dass Kinder sehr gut mit der nicht-invertierten Zahlensprechweise umgehen können. Diese durchgeführte Untersuchung, ebenso wie die aus Österreich, weisen deutlich auf den Vorteil der nicht-invertierten Zahlensprechweise hin. Vor allem im Bereich des Diktierens von Zahlen ist der Vorteil offensichtlich. Ein Nebeneinander der Sprechweisen, eine „sanfte“ Reform, wäre eine Konsequenz im Sinne der Kinder. Doch dazu muss die allgemeine Bereitschaft, sich auf die Problemstellung des invertierten Zahlensprechens einzulassen, wachsen. Die Diskussion hierüber muss entfacht werden und in die Öffentlichkeit treten, um eine breitere Basis zu finden.

Eine gemeinsame Auswertung der vorliegenden Studiendaten und der österreichischen Untersuchung wird angestrebt. Mögliche weitere Untersuchungen, die

sich mit dem invertierten und nicht-invertierten Zahlensprechen beschäftigen, sind in Planung, wie z.B. eine App-Studie mit fMRT (fMRT = funktionelles MRT) und eine Studie mit hochbegabten Kindern. Es soll geprüft werden, ob sich auch bei ihnen ein Vorteil der stellenwertgerechten Sprechweise nachweisen lässt. Weitere Befunde, Hypothesen und Vorschläge für eine Berücksichtigung der Inversionsproblematik wären z.B. für die Untersuchung von Kindern auf Rechenschwäche gemäß ICD wichtig.

Zu einem guten Test auf Rechenstörung gehört unter anderem auch das Schreiben von Zahlen nach Diktat, genau so wie das Lesen von Zahlen. Daher ist es entscheidend, frühzeitig zu intervenieren und individuelle Fördermaßnahmen zu entwickeln, um diesen Kindern zu helfen, ihr volles Potenzial auszuschöpfen (von Aster et al. 2024).

Es sollte ein wesentlicher Bestandteil der Mathematikdidaktik und -förderung sein, über die Eigenart der deutschen Zahlennamen zu sprechen und die damit verbundenen Schwierigkeiten zu thematisieren. Die Thematisierung in der Integrativen Lerntherapie ist ein wichtiges Anliegen, denn es kostet viel Mühe für Lernende und Therapeuten, Kinder müssen immer wieder nachdenken und abgleichen, dass die Einerstelle zwar vor der Zehnerstelle gesprochen wird, aber in umgekehrter Reihenfolge geschrieben wird. Die Förderung fachspezifischer sprachlicher Fähigkeiten sollte in der Lerntherapie ein wesentliches Ziel sein. Über das geschichtliche "Warum?" sollte Meinungen ausgetauscht werden und ob die Möglichkeit beider Sprechweisen nicht vorstellbar wäre, wie es bereits im Tschechischen gebräuchlich ist.

Solange der Anspruch auf Veränderung nicht ausdrücklich erhoben und die Forderung nicht umgesetzt worden ist, bleibt die große Herausforderung bei den Pädagogen und Lerntherapeuten, diese Hürde der deutschen Sprache ausführlich zu thematisieren und mit den Kindern zu überwinden, z.B. anhand des Kinderbuchs „Der liebenswerte Zehner“ (Summer 2019).

## Anmerkungen

### (1)

Der Philosoph Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 - 1716) hatte die Vision einer Universalsprache (*characteristica universalis*), die als eine Art „Alphabet des menschlichen Denkens“ fungieren sollte. Er stellte sich vor, dass durch bestimmte Buchstabenkombinationen alle menschlichen Begriffe auf grundlegende Konzepte zurückgeführt werden könnten. Sein Ziel war es, ein universelles Logikkalkül zu schaffen, das nicht nur alle wissenschaftlichen Begriffe umfasst, sondern auch die Verständigung zwischen Menschen erleichtert. Diese Idee zeigt, wie sehr Leibniz an der Klarheit und Präzision des Denkens interessiert war und wie er die Kommunikation zwischen Menschen verbessern wollte. „Und wenn dies geschieht (die Realisierung einer solchen Sprache), werden zwei Philosophen, die in einen Streit geraten, nicht anders argumentieren als zwei Rechenmeister. Es genügt, dass sie eine Feder in die Hand nehmen, sich vor ein Täfelchen setzen und zueinander sagen: ‚Calculemus!‘ (Rechnen wir!).“ (Leibniz G.W. 1960/ 1961, S. 198)

### (2)

Der deutsche Rechenmeister Jakob Köbel aus Oppenheim veröffentlichte 1520 ein Buch, in dem er die indo-arabischen Ziffernzahlen einführte. Er gab in einer Tafel an, wie man die Zahlen aussprechen sollte.

Er schreibt:

21 zwanzigeins

22 zwanzigzwei

usw.

Köbel propagierte diese unverdrehten Zahlwörter ohne ein bindendes „und“ für die indo-arabische Darstellung der Zahlen von 21 bis 99 nachweislich seit mindestens 1517 und veröffentlichte wiederholt solche tabellarischen Darstellungen in seinen Büchern (vgl. Hergenahn 2008, S. 110).

## Glossar

### *Arabische Zahlenschreibweise*

Die arabische Zahlenschreibweise ist eine universelle Form der Darstellung von Zahlen, sie besteht aus den zehn Ziffern 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9. Sie ermöglicht es Menschen aus verschiedenen Sprach- und Kulturkreisen, Zahlen zu verstehen und zu kommunizieren, unabhängig von den jeweiligen linguistischen Zahlwortsystemen (vgl. Kunitzsch 2005, S.15).

### *Indo-arabisches Stellenwertsystem*

Das indo-arabische Stellenwertsystem, auch als dezimales Zahlensystem bekannt, ist ein Zahlensystem, das auf der Basis 10 basiert. Es verwendet die Ziffern von 0 bis 9 und ist das am weitesten verbreitete Zahlensystem in der Welt. Ein wichtiges Merkmal dieses Systems ist, dass der Wert einer Ziffer von ihrer Position innerhalb einer Zahl abhängt. Zum Beispiel hat die Ziffer 5 in der Zahl 50 einen anderen Wert als in der Zahl 5. In der ersten Zahl steht die 5 an der Zehnerstelle, während sie in der zweiten Zahl an der Einerstelle steht. Das arabische Stellenwertsystem ermöglicht es, große Zahlen effizient darzustellen und zu verarbeiten. Es wurde im 7. Jahrhundert von arabischen Mathematikern entwickelt und von dort aus nach Europa verbreitet (vgl. Fromme et al. 2017, S.2).

### *Integrative Lerntherapie*

Damit Kinder mit Lernstörungen sich entsprechend ihres Leistungsniveaus entwickeln können, benötigen sie eine integrative Lerntherapie als adäquate Förderung. Das Integrative des Ansatzes der interdisziplinären Therapieform zur Behandlung von Lernbeeinträchtigungen wie Entwicklungsstörungen schulischer Fertigkeiten liegt in der Zusammenführung von Erkenntnissen und Methoden verschiedener Disziplinen, wie Psychologie, Psychotherapie, Kognitionswissenschaft, Fachwissenschaften und Medizin. Außerdem spielen die Berücksichtigung des Lernumfeldes, die Betrachtung der ganzen Persönlichkeit

des Kindes und die Unterstützung der Teilhabe an der Gesellschaft eine tragende Rolle (Fachverband für integrative Lerntherapie e.V.).

Wie einzelne Merkmale des lernenden Individuums, des Lerngegenstandes und der schulischen bzw. familiären Lernumgebung zum Gelingen oder Scheitern des Lernprozesses beitragen, beschrieben Betz und Breuninger (1998) in ihrem Standardwerk zur integrativen Lerntherapie „Teufelskreis Lernstörungen“.

### *Invertiertes Schreiben*

Bei dem invertierten Schreiben von Zahlen werden zunächst die Einer einer zweistelligen Zahl und dann die Anzahl der Zehner notiert. Dies geschieht stellengerecht: die Einer rechts und die Zehner links (vgl. Schulz, 2016, S.883).

### *Stellenwertgerechte Sprechweise „zehneins“*

Der Verein Zwanzigeins e.V. hat ein Positionspapier erstellt, in dem ein Vorschlag zur Reform der verdrehten deutschen Zahlensprechweise vorgestellt wird. Es wird eine stellenwertgerechte Sprechweise für alle bekannten Zahlwortverwendungen im Deutschen entwickelt. Die Reform der Zahlwörter beginnt bei 11 (Zwanzigeins e.V. 2024).

### *Stellenwertverständnis*

Ein tragfähiges und sicheres Stellenwertverständnis gilt als wichtiger Aspekt arithmetischer Kompetenz (Schipper et al. 2011). Wesentlich für das Verständnis des Stellenwertsystems ist, dass das Kind verstanden hat, dass zehn Einer zu einem Zehner gebündelt werden können und umgekehrt. Kinder, die bereits ein gut entwickeltes Stellenwertverständnis haben, können sicher und flexibel mit mehrstelligen Zahlen rechnen (vgl. Gerster & Schulz 2004, S.48).

### *Transkodierung*

Transkodierung bedeutet die Übersetzung von Zahlwörtern in arabische Zahlen und umgekehrt (vgl. Zuber et al. 2009, S.60).

### *Zahlwörter (Numeralia)*

Es kann sich um Kardinalzahlen (Kardinalia) handeln, wie „eins“, „zwei“ oder „drei“, die die Anzahl von Objekten angeben. Daneben gibt es noch andere Kategorien von Zahlwörtern: die Ordinalzahlwörter (der/die/das Erste, Zweite, Dritte), die Multiplikativa oder Vervielfältigungszahlwörter (einfach, zweifach, dreifach), die Iterativa oder Wiederholungszahlwörter (einmal, zweimal, dreimal), Einteilungszahlwörter (erstens, zweitens, drittens), Distributive oder Verteilungszahlwörter (je ein, zwei, drei), Gattungszahlwörter (einerlei, zweierlei, dreierlei), Bruchzahlen (Ganzes, Hälfte, Drittel), Kollektiva (alleine, zu zweit, zu dritt) (vgl. Schuppener 2014, S.7).

Die Ausführungen der vorliegenden Arbeit konzentrieren sich auf die Kardinalia.

### *Zahlwortbildung im Deutschen*

Jedem Zahlwortsystem liegt ein Zahlssystem zugrunde, das eine Basis hat. Weltweit findet sich am häufigsten die Basis 10, auch Dezimalsystem genannt. Das deutsche Zahlwortsystem ist so aufgebaut, dass die Einer vor den Zehnern genannt werden. Diese Zehner-Einer-Inversion kann dazu führen, dass beim Erlernen der Übersetzung zwischen beiden Symbolformen Fehler auftreten, die als Zahlendreher bekannt sind. Ein Problem ist die Unregelmäßigkeit in der Zahlwortbildung. Schon die Zahlwörter „elf“ und „zwölf“ sind Ausnahmen und beinhalten Probleme. Denn ab 10 findet im indo-arabischen System ein Wechsel in den zweistelligen Bereich statt, den die Zahlwörter für 11 und 12 aber nicht anzeigen. Es ist daher nicht leicht für Kinder zu verstehen, warum sie beim Zehnerübergang anders rechnen sollen (Zweischrittverfahren:  $7+5 = 10+2 = 12$ ) als bei  $7+2 = 9$ , wo die Zahlwortreihe doch einfach bis 12 weiterläuft. Ab 13 wird zwar die Zweistelligkeit im Zahlwort gespiegelt, aber leider nicht die Reihenfolge der Ziffernzahlen. In der Tat kann die Bildung der Zehnerzahlen kann für Verwirrung sorgen, da es keine einheitliche Regel gibt, die auf alle Zahlen anwendbar ist. Faktisch ist die Struktur der Zahlwörter, insbesondere bei den Zahlen von 21 bis 99, eine Herausforderung (vgl. Comrie 2005, S.207f.).

### *Zahlwortinversion*

Mit dem Begriff Zahlwortinversion ist die in Bezug auf die indo-arabische Zifferndarstellung verdrehte Zahlwortstruktur im Deutschen gemeint. Es ist grundsätzlich wichtig zwischen Zahlen und ihren Darstellungen zu unterscheiden. Zahlen sind abstrakte (immaterielle) mathematische Objekte, die unterschiedliche materielle Darstellungen besitzen. Die wichtigsten sind die indo-arabische Ziffernform (schriftliche Darstellung) und das Zahlwort (im Wesentlichen verwendet zur mündlichen Darstellung). In der Arbeit geht es um die Auswirkung der invertierten Zahlwörter im Deutschen beziehungsweise um die Auswirkung der verdrehten Zahlwörter im Deutschen auf die Transkodierfähigkeit von rechenschwachen Schulkindern. „Verdreht“ ist die Zahlwortdarstellung im Vergleich zur indo-arabischen Zifferndarstellung, das heißt die eine Zahlendarstellung im Vergleich zur anderen. Die Voraussetzung dafür ist eine einheitliche Lese-Schreibrichtung von links nach rechts. Die Zahlwortdarstellung „hundertdreiundzwanzig“ entspricht z.B. der indo-arabischen Zifferndarstellung „123“. Das Zahlwort enthält eine Drehung: „dreiundzwanzig“ entspricht „23“. Das Zahlwort ist also teil-invertiert. Allein bei zweistelligen Zahlen kann von Inversion gesprochen werden. Nicht alle Zahlwörter von 13 bis 99 sind invertiert, z.B. 20 nicht und bei 88 ist die Verdrehung nicht wahrnehmbar.

## Literaturverzeichnis

- Allison, P. D. (2009): Fixed effects regression models. Los Angeles.
- Ashcraft, M. H., Krause, J. A., Hopko, D. R. (2007): Is math anxiety a mathematical learning disability? In: D. B. Berch & M. M. M. Mazocco (Eds.), Why is math so hard for some children? The nature and origins of mathematical learning difficulties and disabilities. Baltimore, 329 - 348.
- Aster, M. G. von, Shalev, R. (2007): Number development and developmental dyscalculia. In: *Developmental Medicine and Child Neurology* 49(11): 868 - 873.
- Aster, M. G. von, Rauscher, L., Kohn, J., Eitel, Y. (2017): Mathematikangst. In: A. Fritz, S. Schmidt, G. Ricken (Hg.), *Handbuch Rechenschwäche*. 3.Aufl.. Weinheim.
- Aster, M. G. von, Kaufmann, L., McCaskey, U., Kucian, K. (2024): Rechenstörungen im Kindes- und Jugendalter. In: J. M. Fegert, F. Resch, M. Kaess, M. Döpfner, K. Konrad, T. Legenbauer, P. Plener (Hg.), *Psychiatrie und Psychotherapie des Kindes- und Jugendalters*. 3.Aufl.. Berlin, 1289 - 1308.
- AWMF (2018): S3-Leitlinie Diagnostik und Behandlung der Rechenstörung. Verfügbar unter: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/028-046.html>. Zugegriffen am: 15.10.2024.
- Baddeley, A. D. & Hitch, G. J. (1974): Working memory. In: G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*, Vol. 8. New York, 47 - 89.
- Bender, F., Brandelik, K., Jeske, K., Lipka, M., Löffler, C., Mannhaupt, G., Naumann, C. L., Nolte, M., Ricken, G., Rosin, H., Scheerer-Neumann, G., Aster, M. G. von, Orloff, M. von (2017): Die integrative Lerntherapie - Therapieform zur Behandlung von Lernstörungen. In: *Lernen und Lernstörungen* 6 (2): 65 - 73.
- Betz, D. & Breuninger, H. (1998): *Teufelskreis Lernstörungen*. 3.Aufl..Weinheim.
- Brandenburg, J., Fischbach, A., Labuhn, A. S., Rietz, C. S., Schmid, J., Hasselhorn, M. (2016): Overidentification of learning disorders among language-minority students: Implications for the standardization of school achievement tests. In: *Journal of Educational Research Online*, 8, 42 - 65.

Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, 2024, ICD - 10th. revision, german modification. Verfügbar unter: <https://klassifikationen.bfarm.de/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2024/index.htm>. Zugegriffen am: 10.05.2024.

Bundeskanzleramt der Republik Österreich (2023): Lehrplan der Volksschule, BGBl.II - Ausgegeben am 2. Jänner 2023 - Nr.1. Verfügbar unter: [https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA\\_2023\\_II\\_1/Anlagen\\_0001\\_CE7F0AA2\\_A925\\_4A4D\\_8C3C\\_355D12BD22D1.pdf](https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2023_II_1/Anlagen_0001_CE7F0AA2_A925_4A4D_8C3C_355D12BD22D1.pdf). Zugegriffen am: 14.11.2024.

Cameron, A. C., Trivedi, P. K. (2010): *Microeconometrics using Stata*. Texas.

Cohen Kadosh, R., Dowker, A., Heine, A., Kaufmann, L., Kucian, K. (2013): Interventions for improving numerical abilities: present and future. In: *Trends in Neuroscience and Education* 2: 85 - 93.

Comrie, B. (2005): Endangered numeral systems. In: J. Wohlgemuth & T. Dirksmeyer (Hg.): *Bedrohte Vielfalt: Aspekte des Sprach(en)tods - Aspects of language death*. Berlin, 203 - 230.

Dehaene, S. (1992): Varieties of numerical abilities. *Cognition* 44: 1 - 42.

Döring, N., & Bortz, J. (2016): *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. 5. Aufl.. Berlin.

Dowker, A. & Lloyd, D. (2005): Linguistic influences on numeracy. *Education Transaction Series A: The curriculum*. Hg.: W. G. Lewis, H. G. F. Roberts. Bangor: School of education, University of Wales. Verfügbar unter: [https://www.academia.edu/2166269/Mathematics\\_in\\_the\\_Primary\\_School](https://www.academia.edu/2166269/Mathematics_in_the_Primary_School). Zugegriffen am: 19.10.2024.

Dowker, A., Bala, S., Lloyd, D. (2008): Linguistic Influences on Mathematical Development: How Important Is the Transparency of the Counting System? In: *Philosophical Psychology* 21: 523 - 538.

Dowker, A. & Roberts, M. (2015): Does the transparency of the counting system affect children's numerical abilities? In: *Frontiers in Psychology*, 6, 945.

Dowker, A., & Nürk, H. C. (2016): Editorial: Linguistic Influences on Mathematics. In: *Frontiers in Psychology, Linguistic Influences on Mathematical Cognition*, 6 - 9.

Eckstein, B. (2020): *Verdrehte Zahlwörter. Trick zehnsieben hilft!* Wuppertal.

Falkai, P., Wittchen, H. U. (2015): *Diagnostisches und statistisches Manual psychischer Störungen DSM-V*. Göttingen.

Fachverband für integrative Lerntherapie e.V. (FiL). Verfügbar unter: <https://www.lerntherapie-fil.de/>.

Fischbach, A., Schuchardt, K., Brandenburg, J., Kleczewski, J., Balke-Melcher, C., Schmidt, C., Hasselhorn, M. et al. (2013): Prävalenz von Lernschwächen und Lernstörungen: Zur Bedeutung der Diagnosekriterien. In: *Lernen und Lernstörungen* 2 (2): 65 - 76.

Fischer, E. P. (2008): Für die Leichtigkeit des Zählens. In: L. Gerritzen (Hg.): *Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise*. Bochum, 151 - 152.

Fromme, M., Benz, C., Wartha, S. (2017): *Stellenwertverständnis im Zahlenraum bis 100: theoretische und empirische Analysen*. Berlin.

Fuchs, E., Haberfellner, C., Öhlerer, K. (2014): *Sprachsensibler Unterricht in der Grundschule. Fokus Mathematik*. In: Österreichisches Sprachen- Kompetenz-Zentrum (Hg.), *Praxisreihe Heft 22*. Graz.

Furner, J. M., Berman, B. T. (2003): Review of research: math anxiety: overcoming a major obstacle to the improvement of student math performance. In: *Child hood Education* 79 (3):170 - 174.

Gaidoschik, M. (2015): Einige Fragen zur Didaktik der Erarbeitung des „Hunderterraums“. In: *Journal für Mathematik-Didaktik*, 35, 163 - 190.

Gaidoschik, M. (2021): *Rechenschwäche verstehen - Kinder gezielt fördern. Ein Leitfaden für die Unterrichtspraxis*. 12. Aufl.. Hamburg.

Gaidoschik, M., Moser Opitz, E., Nührenbörger, M., Rathgeb-Schnierer, E. (2021): Besondere Schwierigkeiten beim Mathematiklernen. Special Issue der *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik*, 47.

Gerritzen, L. (2008): Zur Zwanzigeins - Bewegung. In: L. Gerritzen (Hg.): Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise. Bochum, 9 - 21.

Gerster, H.- D. & Schultz, R. (2004): Schwierigkeiten beim Erwerb mathematischer Konzepte im Anfangsunterricht, Bericht zum Forschungsprojekt Rechenschwäche - Erkennen, Beheben, Vorbeugen. Pädagogische Hochschule Freiburg Institut für Mathematik und Informatik und ihre Didaktiken. 3.Aufl.. Verfügbar unter: <https://phfr.bsz-bw.de/frontdoor/deliver/index/docId/16/file/gerster.pdf>.

Göbel, S., Möller, K., Pixner, S., Kaufmann, L., Nürk, H. C. (2014): Language affects symbolic arithmetic in children: the case of number word inversion. In: Journal of Experimental Child Psychology, 119, 17 - 25.

Gogolin, I., Stecher, L. (2014): Editorial: Erziehungs- und sozialwissenschaftliche Längsschnittstudien: Befunde und methodische Herausforderungen. Diskurs - Kindheits- und Jugendforschung/ Discourse. In: Journal of Childhood and Adolescence Research, Heft 3, 265 - 268.

Haarmann, H. (2008): Weltgeschichte der Zahlen. München.

Hartwig, V. (2025): Zwanzigeins vs. einundzwanzig: Profitieren rechenschwache Kinder in Bezug auf die Fehlerzahl von einer stellenwertgerechten Sprechweise? Eine empirische Untersuchung. Masterarbeit in integrativer Lerntherapie, Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd.

Helmreich, I., Zuber, J., Pixner, S., Kaufmann, L., Nürk, H. C., Möller, K. (2011): Language effects on children's mental number line: how cross-cultural differences in number word systems affect spatial mappings of numbers in a non-verbal task. In: Journal of Cross-Cultural Psychology, 42, 598 - 613.

Hergenbahn, R. (2008): Die Köbelschen Rechentafeln in seinen Rechenbüchern. In: L. Gerritzen (Hg.), Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise. Bochum, 109 - 112.

Himmel, B. (2008): Die Zahlensprechweise im Tschechischen. In: L. Gerritzen (Hg.), Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise. Bochum, 124 - 126.

- Imbo, I., Bulcke, C. van den, Brauwer, J. de, Fias, W. (2014): Sixty-four or four-and-sixty? The influence of language and working memory on children's number transcoding. In: *Frontiers in Psychology, Sec. Developmental Psychology*, 5, 1 - 10.
- Kaufmann, L., Aster, M. G. von (2012): The diagnosis and management of dyscalculia. In: *Deutsches Ärzteblatt International* 109 (45): 767 - 778.
- Kaufmann, L., Mazzocco, M., Dowker, A., Aster, M. G. von, Göbel, S. M., Grabner, R. H., Henik, A., Jordan, N. C., Karmiloff-Smith, A., Kucian, K., Noel, M. P., Rubinsten, O., Szucs, D., Shalev, R., Nürk H. C. (2013): Dyscalculia from a developmental and differential perspective. In: *Frontiers in Psychology, Sec. Developmental Psychology*.
- Kimmeskamp, P. (2008): Kinder mögen „Zwanzigeins“. In: L. Gerritzen (Hg.): *Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise*. Bochum, 59 - 61.
- Klein, E., Bahn Müller, J., Mann, A., Pixner, S., Kaufmann, L., Nürk, H. C., Möller, K. (2013): Language influences on numerical development - Inversion effects on multi-digit number processing. In: *Frontiers in Psychology, Sec. Developmental Psychology*, 4, 1 - 6.
- Krajewski, K., Nieding, G., Schneider, W. (2007): *Mengen, zählen, zahlen: Die Welt der Mathematik verstehen*. Berlin.
- Krinzinger, H., Grégoire, J., Desoete, A., Kaufmann, L., Nürk, H. C., Willmes, K. (2011): Differential language effects on numerical skills in second grade. In: *Journal of Cross- Cultural Psychology*, 42, 614 - 629.
- Kucian, K. & Kaufmann, L. (2009): A developmental model of number representation. In: *Behavioral and Brain Sciences*, 32 (3/4): 340 - 341.
- Kucian, K., Ashkenazi, S. S., Hänggi, J., Rotzer, S., Jäncke, L., Martin, E., Aster, M. G. von (2014): Developmental dyscalculia: a disconnection syndrome? *Brain Structure and function* 219 (5): 1721 - 1733.
- Kucian, K. & Aster, M. G. von (2015): Developmental dyscalculia. In: *European Journal of Pediatrics*, 174 (1): 1 - 13.

- Kunitzsch, P. (2005): Zur Geschichte der „arabischen“ Ziffern. Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hg.). München.
- Landerl, K. & Kölle, C. (2009): Typical and atypical development of basic numerical skills in elementary school. In: *Journal of Experimental Child Psychology* 103 (4): 546 - 565.
- Landerl, K., Vogel, S., Kaufmann, L. (2017): *Dyskalkulie*. 3.Aufl. München/Basel.
- Leibniz, G. W.: *Die Philosophischen Schriften*. C. J. Gerhardt (Hg.), Berlin/Leipzig, 1875-1890, Nachdruck: Hildesheim, 1960/ 1961, Band 7, 198 - 201.
- Mähler, C. (2020): Diagnostik von Lernstörungen: Zeit zum Umdenken. In: *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* (Vorab-Onlinepublikation). Verfügbar unter: <http://doi.org/10.1024/1010-0652/a000291>. Zugegriffen am: 16.10.2024.
- Mallaun, J. (2016): Gib dem Trend eine Linie: Lineare Regression. In: H. Schwetz, R. Beer, I. Benischek, A. Forstner- Ebhart (Hg.), *Einführung in das quantitativ orientierte Forschen und erste Analysen mit SPSS*. 4.Aufl..123 - 144.
- Maloney, E. A., Ramirez, G., Gunderson, E. A., Levine, S. C., Berlock, S.L . (2015): Intergenerational effects of parents`math anxiety on children`s math achievement and anxiety. In: *Psychological Science* 26 (9): 1480 - 1488.
- Mark, W. & Docker, A. (2015): Linguistic influence on mathematical development is specific rather than pervasive: revisiting the Chinese Number Advantage in Chinese and English children. In: *Frontiers in Psychology*, 6, 203.
- McCaskey, U., Aster, M. G. von, O`Gorman Tuura, R., Kucian, K. (2017): Adolescents with developmental dyscalculia do not have a generalized magnitude deficit- processing of discrete and continuous magnitudes. In: *Frontiers in Human Neuroscience*, 11, 102.
- McClelland, S., Korosi, A., Cope, J., Ivy, A., Baram, T. (2011): Emerging roles of epigenetic mechanism in the enduring effects of early-life stress and experience on learning and memory. In: *Neurobiology of Learning and Memory* 96(1): 79-88.

Meyerhöfer, W. (2015): Zweizehneins, Zwanzigeins, Einundzwanzig. Skizze einer stellenwertlogisch konsistenten Konstruktion der Zahlwörter im Deutschen. In: Pädagogische Korrespondenz, 52/ 15, 21 - 41.

Möller, K., Pixner, S., Zuber, J., Kaufmann, L., Nürk, H. C. (2011): Early place-value understanding as a precursor for later arithmetic performance - a longitudinal study on numerical development. In: Research in Developmental Disabilities, 32 (5), 1837 - 1851.

Möller, K., Zuber, J., Olsen, N., Nürk, H. C., Willmes, K. (2015): Intransparent German number words complicate transcoding - a translingual comparison with Japanese. Frontiers in Psychology, 6, 35 - 44.

Moll, K., Kunze, S., Neuhoff, N., Bruder, J., Schulte-Körne, G. (2014): Specific learning disorder: prevalence and gender differences. In: PLoS One 9(7): e10353. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103537>.

Morfeld, P. (2024): Wie spricht man Zahlen aus? Eine unendliche Geschichte. In: Sprachnachrichten Nr. 104, IV, 20 - 21.

Morfeld, P. & Schuppener, G. (2024): Lieber zwanzigeins als einundzwanzig? Eine Pro- Contra- Rubrik. In: Zeit Sprachen, Deutsch perfekt, 5, 22 - 23.

Morfeld, P., Summer, A. (2024): Gasteditorial. Zwanzigeins. In: Lernen und Lernstörungen, 13 (1), 1 - 3.

Morsanyi, K., Bers, B.M.C.W. van, McCormack, T., McGourty, J. (2018): The prevalence of specific learning disorder in mathematics and comorbidity with other developmental disorders in primary school children. In: British Journal of Psychology 109 (4): 917 - 940.

Ng, S. S. N. & Rao, N. (2010): Chinese number words, culture, and mathematics learning. In: Review of Educational Research, 80, 180 - 206.

Nürk, H. C., Weger, U., Willmes, K. (2005): Language effects in magnitude comparison: small, but not irrelevant. In: Brain and Language, 92, 262 - 277.

Peters, L. & De Smedt, B. (2018): Arithmetic in the developing brain: a review of brain imaging studies. In: Developmental Cognitive Neuroscience, 30, 265 - 279.

Peters, L. & Ansari, D. (2019): Are specific learning disorders truly specific, and are they disorders? In: Trends in Neuroscience Education, 17, 100115.

Pfarr, K., Schröder, J. (2015): Warum Panelstudien? Mannheim. Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften (GESIS Survey Guidelines). doi:10.15465/gesis-sg\_008.

Pixner, S., Möller, K., Hermanova, V., Nürk, H. C., Kaufmann, L. (2011): Whorf reloaded: language effects on nonverbal number processing in first grade - a trilingual study. In: Journal of Experimental Child Psychology, 108 (2): 371 - 82.

Pixner, S. & Kaufmann, L. (2013): Prüfungsangst, Schulleistung und Lebensqualität bei Schülern. In: Lernen und Lernstörungen, 2(2):111 - 124.

Rademacher, J. Lehmann, W., Quaiser-Pohl, C., Günther, A., Trautewig, N. (2009): Mathematik im Vorschulalter. Göttingen.

Ranschburg, P. (1916): Die Leseschwäche (Legasthenie) und Rechenschwäche (Arithmasthenie) der Schulkinder im Lichte des Experiments. Berlin.

Rathgeb-Schnierer, E. & Rechtsteiner, C. (2018): Rechnen lernen und Flexibilität entwickeln: Grundlagen - Förderung - Beispiele. Berlin.

Reibold, R. (2024): Wort und Zahl - über die deutschen Zahlwörter, deren Schönheit und Zweckmäßigkeit und zu den Vorschlägen, diese zu ändern. In: Sprachnachrichten, Nr.103, 9 - 10.

Rykhlevskaia, E., Uddin, L. Q., Kondos, L., Menon, V. (2009): Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. In: Frontiers in Human Neuroscience, 3, 51.

Schellenberger, A. (2008): Vierzig und Acht - Ein Pionier der Zahlensprechweise (Erinnerungen an meinen Vater), In: L. Gerritzen (Hg.), Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise. Bochum, 38 - 47.

Schellenberger, M. (1953): Zahlwort und Schriftbild der Zahl. Leipzig.

Schipper, W., Ebeling, A., Dröge, R. (2022): Handbuch für den Mathematikunterricht: 2. Schuljahr. Braunschweig.

Schlee, J. (1976): Legasthenieforschung am Ende? München.

Schmid, S. (2023): Zwanzigeins - Eine empirisch-quantitative Untersuchung zur Zahleninversion in der zweiten Schulstufe. Masterarbeit in Erziehungswissenschaft, Primarstufe. Kirchliche Pädagogische Hochschule Wien/ Krems.

Schulz, A. (2016): Inverses Schreiben und Zahlendreher - Eine empirische Studie zur inversen Schreibweise zweistelliger Zahlen. In: Institut für Mathematik und Informatik Heidelberg (Hg.), Beiträge zum Mathematikunterricht. Münster, 883 - 886.

Schulz, F., Wyschkon, A., Gallit, F., Poltz, N., Moraske, S., Kucian, K., Esser, G. (2018): Rechenprobleme bei Grundschulkindern: Persistenz und Schulerfolg nach fünf Jahren. In: Lernen und Lernstörungen 7 (2): 67 - 80.

Schuppener, G. (2014): Warum 21 einundzwanzig heißt: Die höheren Einerzahlwörter im Deutschen - Geschichte ihrer Bildung und Reformideen. Wien.

Seehagen, S., Schneider, S., Rudolph, J., Ernst, S., Zmyj, N., (2015): Stress impairs cognitive flexibility in infants. In: Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 112 (41): 12882 -12886.

Shin, M., Bryant, D. P. (2015): A synthesis of mathematical and cognitive performances of students with mathematics learning disabilities. In: Journal of Learning Disabilities 48 (1): 96 - 112.

Simmons, F. R., Willis, C., Adams, A. M. (2012): Different components of working memory have different relationships with different mathematical skills. In: Journal of Experimental Child Psychology, 111, 139 - 155.

Sozialgesetzbuch (SGB), Achtes Buch (VIII), Kinder- und Jugendhilfe, Artikel 1 des Gesetzes vom 26. Juni 1990, BGBl. I, S.1163. Verfügbar unter: [https://www.gesetze-im-internet.de/sgb\\_8/\\_\\_35a.html](https://www.gesetze-im-internet.de/sgb_8/__35a.html). Zugegriffen am: 09.12.2024.

StataCorp. (2015). Stata Statistical Software: Release 14. College Station, USA: StataCorp LP.

Stotz, K. (2014): Extended evolutionary psychology: the importance of transgenerational developmental plasticity. In: Frontiers in Psychology, 5, 908.

Summer, A. (2019): Der liebenswerte Zehner: Warum wir beim Aussprechen einer Zahl den Einer vor dem Zehner sagen. Sankt Pölten.

Summer, A. (2023): Die universelle Sprache der Mathematik - Fachdidaktische Aspekte mit dem Fokus auf die Primarstufe. Antrittsvorlesungen an der KPH Wien/ Krems: Band 9.

Vannebo, K. I. (2008): Die norwegische Zahlensprechreform von 1951. In: L. Gerritzen (Hg.): Zwanzigeins - für die unverdrehte Zahlensprechweise. Bochum, S. 95 - 104.

Ven, S. H. G. van der, Klaiber, J. D., Maas, H. L. J. van der (2017): Four and twenty blackbirds: how transcoding ability mediates the relationship between visuospatial working memory and math in a language with inversion. In: Educational Psychology 37 (4): 487 - 505.

Wittmann, E. & Müller, E. (2016): Das Zahlenbuch 1. Begleitband. Wien.

World Health Organisation (2017): International classification of diseases, 11th. Revision. Verfügbar unter: <https://icd.who.int/en>. Zugegriffen am: 10.01.2025.

Wyschkon, A., Kohn, J., Ballaschk, K., Esser, G. (2009): Sind Rechenstörungen genau so häufig wie Lese-Rechtschreibstörungen? In: Zeitschrift für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie 37 (6): 499 - 512.

Younge, J.O., Kouwenhoven- Pasmooij, T. A., Freak- Poli, R., Roos- Hesselink, J. W., Hunink, M. G. M. (2015): Randomized study designs for lifestyle interventions: a tutorial. In: International Journal of Epidemiology, 1 - 14.

Zuber, J., Pixner, S., Möller, K., Nürk, H. C. (2009): On the language specificity of basic number processing: Transcoding in a language with inversion and its relation to working memory capacity. In: Journal of Experimental Child Psychology, 102: 60 - 77.

Zwanzigeins e.V.. Bochum. Verfügbar unter: <https://zwanzigeins.jetzt/>. Zugegriffen am: 15.01.2024.

Zwanzigeins e.V. (2024): Positionspapier - Vorschlag zur Reform der Zahlensprechweise im Deutsch. Verfügbar unter: [https://zwanzigeins.jetzt/downloads/Positionspapier\\_Zahlensprechweise\\_Zwanzigeins\\_eV\\_17.12.2024.pdf](https://zwanzigeins.jetzt/downloads/Positionspapier_Zahlensprechweise_Zwanzigeins_eV_17.12.2024.pdf). Zugegriffen am: 20.12.2024.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: 4-Stufen-Modell - Domänenspezifische und -übergreifende Entwicklung numerischer Kognition (Aster, M. G. von & Shalev 2007)	12
Abbildung 2: Y1_Y2_all.tif: Ergebnisse Berechnung Korrelation	36
Abbildung 3: Y1_Y2_AK_all.tif: Ergebnisse Berechnung Korrelation AK	37
Abbildung 4: Y1_Y2_VH_all.tif: Ergebnisse Berechnung Korrelation VH	38
Abbildung 5: Y1_period_all.tif: Ergebnis vermutete Lerneffekte	39
Abbildung 6: Y1_period_test.tif: Ergebnis vermutete Lerneffekte (Periode 2 und 4)	40
Abbildung 7: Box_Y1_test.tif: Grundergebnis Eingabedauer	41
Abbildung 8: Box_diff_Y1_test.tif: Differenzen der Eingabedauern	42
Abbildung 9: Box_Y1_Zusatz_test.tif: Ergebnis Eingabedauer unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer	45
Abbildung 10: Box_diff_Y1_Zusatz_test.tif: Differenzen der Eingabedauer unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ansagedauer	46
Abbildung 11: Box_Y1_Foerder_Einrichtung_test.tif: Ergebnisse für die Kovariable Fördereinrichtung	48
Abbildung 12: Box_Y1_Alt_kat_test.tif: Ergebnisse für die Kovariable Alter	49
Abbildung 13: Box_diff_Y1_Alt_kat_test.tif: Differenzen für die Kovariable Alter	50
Abbildung 14: Box_Y1_Alt_kat_Zusatz_test.tif: Ergebnisse der Zusatzauswertung für die Kovariable Alter	51
Abbildung 15: Box_diff_Y1_Alt_kat_Zusatz_test.tif: Differenzen der Zusatzauswertung für die Kovariable Alter	52
Abbildung 16: Box_p_Y1_Alt_kat_test.tif: Ergebnisse zur prozentualen Änderung der Dauer	53
Abbildung 17: Box_p_Y1_test.tif: Differenzen zur prozentualen Änderung der Dauer	54
Abbildung 18: Box_p_Y1_Alt_kat_Zusatz_test.tif: Ergebnisse der Zusatzauswertung zur prozentualen Änderung der Dauer	55

Abbildung 19: Box_p_Y1_zusatz_test.tif: Differenzen der Zusatzauswertung zur prozentualen Änderung der Dauer	55
Abbildung 20: Box_Y1_Erst_21_test.tif: Ergebnisse für die Kovariable Erstsprache mit Ze	57
Abbildung 21: Box_Y1_all.tif: Ergebnisse Eingabedauer alle Perioden	59
Abbildung 22: Box_Y1_Zusatz_all.tif: Ergebnisse der Zusatzauswertung der Eingabedauer aller Perioden	60

(Abbildungen 2 - 22. Morfeld 2024)

## Anlage 1 Einverständniserklärung der Eltern

Liebe Eltern,

im Rahmen einer Studie würde ich gerne ein ca. 3-minütiges Konzentrations-  
spiel am Tablet mit Ihrem Kind durchführen, in dem es um die verdrehte Zah-  
lensprechweise in der deutschen Sprache geht (Sprechweise für 21: einund-  
zwanzig).

Die Auswertung erfolgt anonymisiert, über die Ergebnisse informiere ich Sie  
gerne nach dem Abschluss der Studie.

Ich würde mich freuen, wenn Sie mich unterstützen und die Einwilligung dazu  
geben, vor oder nach einer Lerntherapieeinheit Ihr Kind an der Studie teilneh-  
men zu lassen.

Mit freundlichen Grüßen

Ich stimme der Teilnahme meines Kindes an o.g. Studie zu.

.....

Datum, Unterschrift

## Anlage 2 Umsteigeliste und Randomisierung Gruppe 1

Gruppe 1, 22 Kinder

Profilname des Kindes	Randomisierte Sequenz per Münze Angegeben ist der Startmodus	Anmerkung
101	Ze	
102	Ze	
103	Ze	
104	Ze	
105	Ze	
106	Tv	
107	Tv	
108	Tv	
109	Ze	
110	Tv	
111	Tv	
112	Ze	
113	Tv	
114	Tv	Nur 3 Durchgänge möglich, Kind verweigert
115	Ze	
116	Tv	
117	Tv	
118	Tv	
119	Ze	
120	Ze	
121	Tv	
122	Ze	Kind möchte nicht getestet werden

Abkürzungen: Tv: traditionell verdreht    Kopf: Tv  
 Ze: zehneins                                    Zahl: Ze

erstellt am 12.02.2024

### **Anlage 3 Untersuchungserklärung**

Einzelsetting, geschätzte Dauer ist 10 bis 15 Minuten pro Kind

Erklärender Text durch die Untersucherin:

„Ich möchte dir etwas zeigen. Normalerweise lesen wir von links nach rechts (zeige auf einen Text und verdeutliche die Leserichtung). Ist dir schon mal aufgefallen, dass wir die Zahlen anders aussprechen, als wir sie aufschreiben? Schau` dir zum Beispiel die Zahl 21 an. Schreibe die Zahl 21 auf ein Blatt Papier. Wie würdest du sie vorlesen?“

Kind: „Einundzwanzig“

„Ja. Du hast die Zahl von rechts nach links gelesen. Ist dir das schon einmal bewusst geworden? Ich habe ein Spiel für dich, bei dem du die Zahlen einmal so hören kannst, wie sie klingen würden, wenn sie nicht verdreht wären. Dann würde die Zahl 21 zum Beispiel als „zwanzigeins“ ausgesprochen werden. Im Spiel wirst du auch die gewohnte Aussprache der Zahlen hören. Deine Aufgabe ist es, die Zahl, die du hörst, auf dem Tablet einzugeben. Du kannst das Spiel jetzt in Ruhe ausprobieren.“

# Eigenständigkeitserklärung



für Abschlussarbeiten



für schriftliche Modulprüfungsarbeiten

Name, Vorname: Kuhl, Anna  
Matrikelnummer: 70295  
Studiengang: M.A. Integrative Lerntherapie  
Semester: 8  
1. Prüfer/in: Prof. Dr. Michael von Aster  
2. Prüfer/in: PD Dr. Peter Morfeld

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel  
Zwanzigeins vs. einundzwanzig:

Profitieren rechenschwache Kinder in Bezug auf die Dauer von einer  
stellenwertgerechten Sprechweise? Eine empirische Untersuchung

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe verfasst habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß übernommenen Textstellen als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen. Ebenfalls erkläre ich, dass ich noch keine Bachelor- oder Masterthesis in der gleichen oder einer vergleichbaren Studienrichtung endgültig nicht bestanden habe oder mich in einem laufenden Prüfungsverfahren befinde. Die Versicherung gilt auch für beigefügte Zeichnungen, Skizzen oder graphische Darstellungen.

Sollten in der Prüfungsstellung Chatbots oder andere Formen künstlicher Intelligenz (KI) ausdrücklich als Hilfsmittel erlaubt worden sein, versichere ich

- verstanden zu haben, dass diese generativen Sprachmodelle in ihrer Funktionsweise technisch auf dem Wahrscheinlichkeitsprinzip basieren und somit auch wissenschaftlich nicht korrekte Antworten vorliegen können
- alle Abschnitte kenntlich gemacht zu haben, für die Textmaterial aus Chatbots verwendet wurden
- in einer vollständigen Liste im Anschluss an das Literaturverzeichnis alle genutzten Tools, den Zeitpunkt des Zugriffs sowie den von mir jeweils eingegebenen Ausgangstext bzw. die Anfangsphase („prompt“) dokumentiert zu haben
- verstanden zu haben, dass die Qualität der Antwort eines KI-Textmodells stark von der Qualität des „prompts“ abhängt und sich hierin auch die persönliche Leistung und Eigenständigkeit meiner Arbeit zeigen kann.



Dem ausgedruckten Text habe ich einen Datenträger mit der digitalisierten Version der Arbeit beigefügt.

Durch meine Unterschrift bestätige ich, dass die Datenschutzverordnung (EU-DSGVO) vom 27.04.2016 – insbesondere bei personenbezogenen Daten – in der vorliegenden Arbeit eingehalten wurde.

Berlin, 18.02.2025

Ort, Datum



Unterschrift