

**SCHNELLES AUTOMATISIERTES BENENNEN  
ALS PRÄDIKTOR VON LESEFLÜSSIGKEIT:**

EMPIRISCHE UNTERSUCHUNGEN DER KASKADIERTEN VERARBEITUNG

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Humanwissenschaftlichen Fakultät

der Universität zu Köln

nach der Promotionsordnung vom 18.12.2018

vorgelegt von

**Lisa Gerhards**

aus

Waldbröl

August 2023

Erstgutachter: Prof. Dr. Alfred Schabmann

Zweitgutachterin: Prof. Dr. Prisca Stenneken

Datum der Einreichung: 07.08.2023

Datum der mündlichen Prüfung: 07.12.2023

Diese Dissertation wurde von der Humanwissenschaftlichen Fakultät der Universität zu Köln  
im Dezember 2023 angenommen.

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Alfred Schabmann, der mich in meinem Promotionsvorhaben mit seinem fachlich kompetenten Rat immer unterstützte und mir beigebracht hat, dass Schreibprozesse dauern und Überarbeitungen wichtig sind. Ich habe fachlich viel von ihm lernen dürfen.

Ich danke Frau Prof. Dr. Prisca Stenneken, die mich mit ihren anregenden Diskussionen, ermutigenden und motivierenden Worten unterstützt hat. Ich danke ihr für die zuverlässige Zweitbetreuung, die Möglichkeit erste Erfahrungen in der Wissenschaft zu sammeln und die Unterstützung meiner beruflichen Weiterqualifizierung.

Dr. Barbara M. Schmidt danke ich für ihre organisatorische und fachliche Unterstützung während der gesamten Promotionszeit und insbesondere für ihr wertvolles Feedback zu dieser Arbeit.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am Lehrstuhl für Pädagogik und Didaktik im Förderschwerpunkt Lernen und am Lehrstuhl für Pädagogik und Therapie bei Sprach- und Sprechstörungen danke ich für den fachlichen, kollegialen und persönlichen Austausch.

Allen voran gilt ein großer Dank Dr. Anja Obergfell, Dr. Jana Quinting und Anne Hüsgen für die großartige Unterstützung während meiner gesamten Promotionszeit und insbesondere während der Fertigstellung dieser Arbeit. Dr. Anja Obergfell danke ich für die Unterstützung bei inhaltlichen und statistischen Fragestellungen, für ihre emotionale Begleitung und ihre wertvollen Anregungen. Ein besonderer Dank gilt Dr. Jana Quinting, die immer ein offenes Ohr für mich hatte und mich stets ermutigt hat, weiterzumachen. Auch danke ich Anne Hüsgen für die bereichernden Gespräche in den Kaffeepausen und die abwechslungsreiche Zeit neben der Promotion.

Weiterhin möchte ich mich bei Dr. Ilona Rubi-Fessen und Vertr. Prof. Dr. Kristina Jonas für den fachlichen Austausch über gemeinsame Projekte außerhalb meines Promotionsthemas bedanken, von denen ich in der Zusammenarbeit viel lernen durfte. Insbesondere danke ich Dr. Anna Rosenkranz, die mich zu Beginn meines Promotionsvorhabens sehr unterstützt und mit ihren fachlichen Anregungen begleitet hat. Ebenso danke ich Prof. Dr. Rebekka Niepelt für die Teilnahme an ihrem Coaching und ihre motivierenden Worte.

Darüber hinaus danke ich allen Probandinnen und Probanden für ihre Teilnahme an der Studie. Außerdem danke ich Bianca van Dorland (geb. Pötters) und allen beteiligten Hilfskräften für ihren Beitrag zu diesem Projekt.

Meinen Freunden danke ich für die abwechslungsreiche Zeit abseits des Schreibtisches und ihren Rückhalt. Dr. Anja Obergfell, Anne Hüsgen und Marina Kolb danke ich für das Korrekturlesen dieser Arbeit. Auch danke ich meiner Tante und meinem Onkel, die in Köln immer einen Schlafplatz für mich bereit hielten und die Abende so viel schöner machten.

Zuletzt danke ich von ganzem Herzen meinen Eltern, meiner Schwester Lena, Oskar und meiner Oma für ihr großes Verständnis, ihre Geduld und ihren unermüdlichen Beistand in den letzten Jahren und besonders in den letzten Wochen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	III
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	IV
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	V
<b>Liste der Publikationen</b> .....	VI
<b>Erklärung zu den Publikationen</b> .....	VII
<b>1 Einleitung</b> .....	8
<b>2 Theoretischer Hintergrund</b> .....	11
2.1 Schnelles automatisiertes Benennen .....	11
2.2 Aufgabenformate und Operationalisierung vom schnellen automatisierten Benennen .	13
2.3 Schnelles automatisiertes Benennen und Leseflüssigkeit .....	17
2.4 Die Annahme der kaskadierten Verarbeitung .....	24
<b>3 Ziele und Forschungsfragen der Arbeit</b> .....	32
<b>4 Studie 1: Empirische Untersuchung der Annahme der kaskadierten Verarbeitung</b> ...	34
4.1 Theoretischer Hintergrund und Ziele von Studie 1 .....	34
4.2 „Frühe“ vs. „späte“ sprachliche Verarbeitungsschritte .....	38
4.3 Diskussion der Ergebnisse von Studie 1 .....	61
<b>5 Studie 2: Zugrunde liegende kognitive Funktionen</b> .....	65
5.1 Theoretischer Hintergrund und Ziele von Studie 2 .....	65
5.2 Unterschiedliche kognitive Anforderungen für serielles und diskretes schnelles automatisiertes Benennen.....	68
5.3 Diskussion der Ergebnisse von Studie 2 .....	88

<b>6 Diskussion</b> .....	91
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	98
<b>Appendix</b> .....	119
Appendix A .....	119
Appendix B .....	120

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.3.1 <i>Übersicht über Studien, die den alleinigen Einfluss von Leistungen in seriellen vs. diskreten RAN Aufgaben mit identischem Stimulus-Set auf die Leseflüssigkeit untersuchten</i>	20
Tabelle 2.3.2 <i>Übersicht über Studien, die den Einfluss von Leistungen in seriellen vs. diskreten RAN-Aufgaben mit identischem Stimulus-Set auf die Leseflüssigkeit untersuchten</i>	21
Tabelle 4.2.1 <i>Latency, Articulation Time and Total Time per Stimulus in Seconds in Serial and Discrete RAN</i>	50
Tabelle 4.2.2 <i>Correlations between RAN Components and Reading Fluency</i>	51
Tabelle 4.2.3 <i>Hierarchical Regression Analyses using Serial and Discrete Latency, Articulation Time and Total Time to predict Reading Fluency</i>	55
Tabelle 5.2.1 <i>Characteristics of Object Names: Mean Word Frequency, Word Length over the Number of Phonemes, Syllables, and Letters</i>	79
Tabelle 5.2.2 <i>Comparison of the One- and Two-Factor Solutions for RAN</i>	81
Tabelle 5.2.3 <i>Descriptive Statistics</i>	83
Tabelle 5.2.4 <i>Correlations between Measures of Phonological Short-Term Memory, Serial RAN, Discrete RAN, and Reading</i>	84
Tabelle A <i>Die Objekt-Stimuli für jede RAN-Aufgabe</i>	119
Tabelle 4.2.4 <i>Correlations between Latency and Articulation Time</i>	120

---

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 2.2.1	<i>Experimentelles Design für serielles RAN (a) und diskretes RAN (b)</i>	14
Abbildung 2.4.1	<i>Die kaskadierte Verarbeitung und der serielle Vorteil (adaptiert nach Altani et al., 2020b und Gerhards, Stenneken et al., 2023)</i>	29
Abbildung 4.2.1	<i>The Cascaded Processing Hypothesis (adapted from Altani et al., 2020b)</i>	41
Abbildung 4.2.2	<i>Linguistic Effects in Serial RAN</i>	45
Abbildung 4.2.3	<i>Interaction Effects for Latency</i>	52
Abbildung 5.2.1	<i>Processing of Discrete and Serial RAN</i>	74
Abbildung 5.2.2	<i>Standard Model (Model 0)</i>	76
Abbildung 5.2.3	<i>One-Factor and Two-Factor Model</i>	81
Abbildung 5.2.4	<i>Structural Equation Model on the Influence of Phonological Short-Term Memory, Serial RAN, and Discrete RAN on Reading</i>	85

**Abkürzungsverzeichnis**

AIC	Akaike Information Criterion
ANOVA	Analysis of Variance
CFI	Comparative Fit Index
CPH	Cascaded Processing Hypothesis
dlxDB	Lexikalische Datenbank
EVS	Eye-Voice Span
GPK	Graphem-Phonem-Korrespondenz
NFI	Normed Fit Index
PA	Phonological Awareness
PSTM	Phonological Short-Term Memory
RAN	Rapid Automatized Naming
RMSEA	Root Mean Square Error of Approximation
SAE	Serial Advantage Effect
SLRT-II	Salzburger Lese- und Rechtschreibtest II
SRMR	Standardized Root Mean Square Residual
SSE	Serial Superiority Effect

## Liste der Publikationen

Die vorliegende monographiebasierte Dissertation basiert auf den folgenden Beiträgen, die ein Peer-Review-Verfahren durchlaufen. Dabei sind die Beiträge in der aktuell eingereichten Version übernommen und die Nummerierung der Tabellen und Abbildungen an die Gliederung der vorliegenden Dissertation angepasst. Es werden ein Literaturverzeichnis für alle zitierten Literaturangaben und ein Appendix aufgeführt.

Studie 1:

**Gerhards, L.**, Schmidt, B. M., Stenneken, P., Rosenkranz, A., & Schabmann, A. (2023). *The RAN-Reading Relationship and Linguistic Effects* [Manuscript submitted for publication]. Department of Special Education and Rehabilitation, University of Cologne.

Studie 2:

**Gerhards, L.**, Stenneken, P., Schmidt, B. M., & Schabmann, A. (2023). *Different Cognitive Demands in Serial and Discrete RAN – Evidence from the Relationship of Phonological Short-Term Memory, RAN and Reading* [Manuscript submitted for publication]. Department of Special Education and Rehabilitation, University of Cologne.

## **Erklärung zu den Publikationen**

Die vorliegende monographiebasierte Dissertation basiert auf zwei Manuskripten, die von mir als Erstautorin verfasst wurden. Beide Manuskripte wurden zur Publikation bei Zeitschriften mit Peer-Review-Verfahren eingereicht und werden aktuell überarbeitet.

Konzeption und Design beider Studien wurden von Prof. Dr. Alfred Schabmann und Dr. Barbara M. Schmidt erstellt. Die Konzeption der RAN-Aufgaben habe ich in Absprache mit allen Co-Autorinnen und -Autoren eigenständig übernommen. Die Rekrutierung und Datenerhebung für beide Studien wurden von Bianca van Dorland (geb. Pötters) und mir eigenverantwortlich durchgeführt. Darüber hinaus wurde die Datenauswertung von Lisa Dortants, Jennifer Hahm und Nora Hartmann unterstützt. Erste Ergebnisse dieser Datenerhebung wurden in meiner Masterarbeit dargestellt. Im Rahmen meines Dissertationsprojektes erfolgte eine darüber hinausgehende neue theoretische Konzeption sowie differenzierte Auswertung und Reanalyse dieser Daten, die hauptverantwortlich von mir durchgeführt wurden.

Das Manuskript der Studie 1 wurde von mir unter der Betreuung von Prof. Dr. Alfred Schabmann selbständig verfasst. Die Ergebnisse wurden mit Prof. Dr. Alfred Schabmann, Dr. Barbara M. Schmidt und Prof. Dr. Prisca Stenneken diskutiert und das Manuskript diesbezüglich von mir abschließend angepasst. Vor der Einreichung wurde es von Dr. Anna Rosenkranz geprüft. Die Revision erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Alfred Schabmann sowie in Absprache mit Prof. Dr. Prisca Stenneken und Dr. Barbara M. Schmidt.

Das Manuskript von Studie 2 wurde von mir eigenständig verfasst. Die statistischen Analysen wurden von mir und in Rücksprache mit Prof. Dr. Alfred Schabmann angepasst. Das Manuskript wurde von Prof. Dr. Alfred Schabmann supervidiert und von Prof. Dr. Prisca Stenneken und Dr. Barbara M. Schmidt für die Einreichung final geprüft.

## 1 Einleitung

*Because RAN ability depends on a large number of perceptual and cognitive factors, one can think of RAN as the “check engine light” that indicates a problem, but doesn’t reveal the exact cause.*

*(Norton, 2020, S. 26)*

Die Fähigkeit, visuell dargebotene Stimuli einer bestimmten Kategorie, z. B. Objekte, schnell automatisiert zu benennen (Rapid Automatized Naming, im Folgenden RAN), ist ein Prädiktor für die Lesefähigkeit (Araújo et al., 2015), insbesondere für die Leseflüssigkeit (Landerl et al., 2019; McWeeny et al., 2022). Der Aufbau der Leseflüssigkeit spielt im Hinblick auf den Schriftspracherwerb eine wichtige Rolle und ist im deutschsprachigen Raum ein Unterrichtsziel ab der 2. Klasse (Klicpera et al., 2020). Aufgaben zur Erfassung von RAN werden seit fast 50 Jahren (Denckla & Rudel, 1974) zur Vorhersage von Lesefähigkeiten und potenziellen Lesestörungen eingesetzt und sind Bestandteil standardisierter diagnostischer Verfahren, wie z.B. für den deutschsprachigen Raum der *Test zur Erfassung der Phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit* (TEPHOBE; Mayer, 2020) und das *Leipziger Sprach-Instrumentarium Jugend - LSI.J* (Krause et al., 2020) oder international der *NEPSY II* (Korkman et al., 2007). Studien konnten zeigen, dass Menschen mit entwicklungsbedingten Lesestörungen schlechtere Leistungen in RAN-Aufgaben zeigen als unauffällige Leser<sup>1</sup> (z.B. Araújo & Faísca, 2019; Denckla & Rudel, 1976b). Somit kann eine verminderte Leistung im RAN ein Indikator für Auffälligkeiten im flüssigen Lesen sein. Über die zugrunde liegende Ursache wird noch diskutiert, vergleichbar mit der in der Literatur zu findenden Metapher der Motorkontrollleuchte, die auf das Problem, nicht aber auf die genaue Ursache hinweist (Norton, 2020).

---

<sup>1</sup> Aus Gründen der Lesbarkeit wird im Text nur die männliche Form gewählt. Die entsprechenden Angaben beziehen sich aber selbstverständlich auf Angehörige aller Geschlechter.

In der Forschung werden zwei Aufgabenformate für RAN unterschieden, das serielle Format mit simultaner Darbietung der Stimuli und das diskrete Format mit einer getrennten Darbietung der Stimuli (z.B. Altani et al., 2020b), die sich auch in ihrer Prädiktion der Leseflüssigkeit unterscheiden. Die Leistung in seriellen RAN-Aufgaben sagt die Leseflüssigkeit besser voraus als die Leistung in diskreten RAN-Aufgaben. Der Grund für diese bessere Prädiktion ist noch nicht abschließend geklärt, insbesondere liegen für den deutschsprachigen Raum keine Studien vor, die beide Aufgabenformate untersucht haben. Eine überzeugende Erklärung ist die Annahme der kaskadierten Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli wie beim seriellen RAN (Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018), für die aktuell noch nicht ausreichend Evidenz existiert. Demnach werden aufeinanderfolgende Stimuli teilweise parallel verarbeitet, was durch die Aufgabenformate von seriell und flüssigem Lesen (erfasst über Wortlisten) bedingt ist. Diese Annahme könnte auch die Tatsache erklären, dass die RAN-Leistung in seriellen Formaten schneller ist als in diskreten Formaten (Altani et al., 2020b). Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, weitere Evidenz für die Annahme der kaskadierten Verarbeitung als Erklärung für die Beziehung zwischen seriell und RAN und Leseflüssigkeit zu liefern und den Unterschied in der Verarbeitung von seriell und diskret dargebotenen RAN-Stimuli zu erklären.

Die Dissertation gliedert sich in vier inhaltliche Kapitel. Im ersten inhaltlichen Kapitel (Kapitel 2) werden RAN, die Beziehung zwischen RAN und der Leseflüssigkeit sowie die kaskadierte Verarbeitung als theoretische Grundlage für die empirische Überprüfung der Forschungsfragen dieser Arbeit beschrieben. Hierbei wird in den Kapiteln 2.1 und 2.2 ein Überblick über RAN als Konstrukt und die beiden RAN-Aufgabenformate gegeben. Nach einer zusammenfassenden Darstellung der empirischen Befunde zum Zusammenhang zwischen seriell und RAN und Leseflüssigkeit (Kapitel 2.3), folgt in Kapitel 2.4 ein Überblick über drei häufig diskutierte Erklärungsansätze und eine ausführliche Beschreibung der

Annahme der kaskadierten Verarbeitung als überzeugende Erklärungshypothese für die Beziehung zwischen seriellem RAN und der Leseflüssigkeit. Kapitel 3 beinhaltet die Ziele und Forschungsfragen der vorliegenden Dissertation, bevor ausgehend von der Annahme der kaskadierten Verarbeitung die Darstellungen der beiden empirischen Studien (Kapitel 4 und 5) folgen. Während in Studie 1 (Kapitel 4) unterschiedlich starke sprachliche Effekte für serielles RAN im Vergleich zu diskretem RAN überprüft werden, um Evidenz für die kaskadierte Verarbeitung als Erklärungshypothese zu generieren, untersucht Studie 2 (Kapitel 5) den Einfluss des phonologischen Kurzzeitgedächtnisses, das für serielles RAN und die kaskadierte Verarbeitung relevant sein könnte. Beide Studien werden mit einer identischen Stichprobe geübter erwachsener Leser durchgeführt. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse der beiden Studien zusammenfassend dargestellt und diskutiert sowie Limitationen aufgezeigt. Den Abschluss bilden ein Gesamtfazit und ein Ausblick auf weiteführende Forschungsvorhaben.

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Schnelles automatisiertes Benennen

RAN ist das schnelle, automatisierte und genaue Benennen von fünf bekannten Stimuli einer vorgegebenen Kategorie wie z. B. Farben, Objekte, Buchstaben oder Zahlen, die zehnmal wiederholt und randomisiert präsentiert werden. Der Begriff RAN wurde von Denckla und Rudel im Jahr 1974 geprägt und beinhaltet in seiner Bezeichnung die drei wichtigsten Aspekte dieser Fähigkeit: die Geschwindigkeit, mit der die visuellen Stimuli benannt werden sollen, die Automatisierung, mit der die zugrunde liegenden Prozesse der RAN-Fähigkeit ausgeführt werden, und die Benennung bzw. Artikulation der Stimuli. Um die Definition von RAN zu erweitern, wird im Folgenden ein Beitrag zur Automatisierung kurz zusammengefasst (siehe auch Gerhards & Stenneken, 2022). In der kognitiven Psychologie werden unter dem Konzept der Automatisierung ein Prozess oder ein Zielzustand verstanden, der entsteht, wenn Handlungen oder Verarbeitungsvorgänge durch Wiederholung bzw. Üben automatisiert werden. Diese erfordern nahezu keine Anforderungen mehr an Aufmerksamkeitsressourcen oder zentrale Kapazitäten (Müller & Krummenacher, 2002). In der Schriftsprache basieren automatisierte schriftsprachliche Fähigkeiten auf dem durch Wiederholung bzw. Übung erreichten Aufbau von stabilen (schrift-)sprachlichen Repräsentationen bzw. dem Zugriff auf diese. Ebenso sollten für gute Leistungen im RAN die visuell-verbale Assoziationen für die zu benennenden Stimuli durch Üben aufgebaut und der Zugriff auf diese automatisiert sein (Perfetti et al., 2005).

In der englischsprachigen Literatur werden verschiedene Begriffe synonym für RAN verwendet (z.B. *rapid naming*, Araújo & Faísca, 2019; *naming-speed*, Wolf et al., 2000; *continuous-naming*, van den Bos, 2002; *rapid serial naming*, Logan et al., 2011; (*rapid*) *serial / discrete naming*, Altani et al., 2020b; Denckla & Cutting, 1999; *serial / discrete RAN*, de Jong, 2011). Letztere lassen auf das bei der Erhebung genutzte Aufgabenformat von RAN

schließen, da ein serielles und ein diskretes RAN-Format differenziert werden. Im deutschsprachigen Raum existieren Übersetzungen ausschließlich für das serielle Aufgabenformat (*Benennungsgeschwindigkeit*, Schulte-Körne & Galuschka, 2019; *schnelle Benennung*, Glück, 2020; *Benennungsgeschwindigkeit*, Mayer, 2018). Die Abgrenzung zwischen RAN-Fähigkeit und RAN-Aufgabe ist in der Literatur nicht immer eindeutig. Dennoch wurde RAN basierend auf der Aufgabe als Konstrukt entwickelt. In der vorliegenden Dissertation bezieht sich RAN auf die Fähigkeit des schnellen, automatisierten Benennens und die Begriffe seriell und diskret spezifizieren, mit welcher Aufgabe sie erfasst wurde.

Es wird angenommen, dass bei RAN perzeptuelle, kognitive und sprachliche Prozesse ablaufen (Georgiou & Parrila, 2020; Wolf & Bowers, 1999), die zum Teil von der Kategorie der Stimuli abhängen. Beim schnellen automatisierten Benennen von Objekten und Farben sind u. a. folgende Prozesse beteiligt: Aufmerksamkeitsprozesse, visuelle Prozesse (Zugriff auf Forminformationen für bekannte Objekte bzw. Farbwahrnehmung), die semantisch-konzeptuelle Verarbeitung (Aktivierung semantischer Merkmale bzw. Farbkategorien), lexikalische Prozesse (Aktivierung der Wortform) und postlexikalische Prozesse (phonologische Enkodierung) sowie die Aussprache des Stimulus (Stadie et al., 2019). So spiegelt RAN u. a. die Automatisierung dieser verschiedenen Prozesse wider (Wolf et al., 2000). Für RAN von Buchstaben sind neben Aufmerksamkeitsprozessen und visuellen Prozessen (Merkmalerkennung) die Identifizierung und der Zugriff auf die Graphem-Phonem-Korrespondenz (Übersetzung des Graphems in das entsprechende Phonem, im Folgenden GPK), und schließlich die postlexikalischen Prozesse sowie die Aussprache der Buchstaben erforderlich. Die Verarbeitung beim RAN von Zahlen unterscheidet sich darin, dass ein Zugriff auf numerische Repräsentationen erfolgt, bevor sich lexikalische und postlexikalische Prozesse sowie die Artikulation anschließen (Wolf et al., 2000).

Die Beschreibung der beiden Aufgabenformate und deren Operationalisierung im folgenden Kapitel soll als Grundlage für das Verständnis der kaskadierten Verarbeitung und der Unterschiede in der Verarbeitung von seriellem und diskretem RAN dienen.

## **2.2 Aufgabenformate und Operationalisierung des schnellen automatisierten Benennens**

Die erstmals von Denckla (1972a, 1972b) eingesetzte Aufgabe zur Überprüfung der schnellen Farbbenennung war eine Adaption des Tests von Wells und Ruesch (1945) und beinhaltete die Benennung von fünf Farben (Rot, Blau, Grün, Gelb, Schwarz), die zehnmal wiederholt wurden (insgesamt 50 Farbquadrate). Denckla und Rudel (1974) prägten das serielle Präsentationsformat von RAN und erweiterten die bis dahin verwendete RAN-Aufgabe um die drei Kategorien Objekte (z. B. Gebrauchsgegenstände, Tiere), Buchstaben und Zahlen.

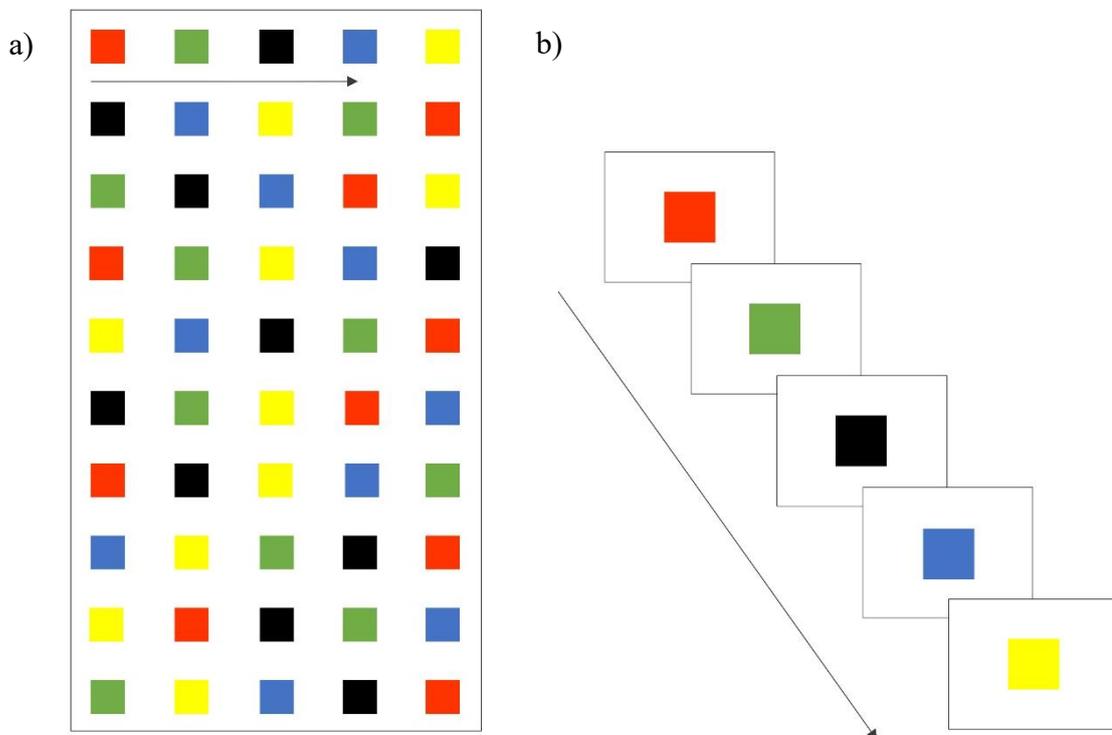
Bei diesem ursprünglich entwickelten seriellen Format (*serial RAN task*) wird pro Zeile ein Set aus fünf Stimuli (einer Kategorie) wiederholt. Es werden fünf Zeilen gleichzeitig dargeboten, so dass insgesamt 50 Stimuli analog zur Leserichtung, d. h. zeilenweise von links nach rechts, zu benennen sind (Altani et al., 2020b; Denckla & Rudel, 1974). Die Verarbeitung des Folgestimulus beim seriellen RAN wird durch die Testperson selbst gesteuert (vgl. Kapitel 2.4). In der Literatur finden sich Variationen in der Anordnung der RAN-Stimuli im seriellen Format. Für den deutschsprachigen Raum hat sich die Anordnung etwas vom ursprünglichen Präsentationsformat gelöst, so dass z. B. 50 Stimuli in zehn Zeilen zu je fünf Stimuli dargeboten werden (vgl. Abbildung 2.2.1 a); siehe auch Schatschneider et al., 2004). Die Präsentation erfolgt auf Papier oder in der Mitte eines PC-Bildschirms auf hellem Hintergrund. Eine weitere Adaption des seriellen Aufgabenformats ist die Integration von Stimuli aus zwei oder mehr Kategorien, wie z. B. Zahlen und Buchstaben, die innerhalb einer RAN-Aufgabe (*rapid automatic switching*) abwechselnd präsentiert werden und daher mit komplexeren

Anforderungen einhergehen, wie z. B. flexibel auf zwei unterschiedliche Stimuluskategorien zu reagieren (Amtmann et al., 2007; Närhi et al., 2005).

Beim diskreten RAN-Format (*discrete / isolated RAN task*) werden die 50 Stimuli (identische Zusammensetzung wie bei seriell) einzeln, nacheinander in der Mitte eines PC-Bildschirms dargeboten (vgl. Abbildung 2.2.1, b). Die Präsentation des nächsten Stimulus erfolgt durch den Untersucher, nachdem der Proband den aktuell präsentierten Stimulus vollständig benannt hat (Altani et al., 2020b; Georgiou et al., 2023). Um die Vertrautheit der Stimuli zu gewährleisten, gehen beiden RAN-Formaten Übungsversuche voraus. Die Instruktion für die Bearbeitung der RAN-Aufgabe ist identisch: Die Testperson soll die Stimuli möglichst schnell und fehlerfrei benennen, mit der Ergänzung der Bearbeitungsrichtung für serielles RAN.

**Abbildung 2.2.1**

*Experimentelles Design für serielles RAN (a) und diskretes RAN (b)*



Die Bezeichnung des diskreten Formats als ‚RAN‘ wurde kritisiert, da es vom ‚echten‘ seriellen Format abweicht (McWeeny et al., 2022). Die diskrete RAN-Aufgabe wurde ergänzend zum seriellen Format eingesetzt, um die zugrunde liegenden Prozesse, wie z. B. die Aktivierung der Wortform, präziser messen zu können und die mit der Leseflüssigkeit gemeinsamen Prozesse, wie z. B. die parafoveale Verarbeitung und die motorische Planung und Ausführung auszuschließen (Logan et al., 2011; Wolf, 1991). Das diskrete Format umfasst daher im Vergleich zum seriellen Format eine weniger komplexe Verarbeitung und stellt somit geringere Anforderungen an die Versuchsperson (z. B. Bowers & Swanson, 1991).

In den letzten 15 Jahren hat sich der Fokus der RAN-Forschung wieder verstärkt auf die Untersuchung beider Aufgabenformate gerichtet, sodass für einen direkten Vergleich von seriellen und diskretem RAN ein identisches Stimulus-Set verwendet wurde, d. h. die Anzahl der Stimuli und deren Wiederholungen stimmten für beide RAN-Aufgabenformate überein (z. B. Altani et al., 2018; Altani et al., 2020b; de Jong, 2011; Jones et al., 2009). Zoccolotti et al. (2013) konstatierten bei geübten erwachsenen Lesern einen zeitlichen Vorteil, d. h. kürzere Benennzeiten bei seriellen RAN-Aufgaben im Vergleich zu diskreten. Altani et al. (2020b) konnten diesen Effekt ebenfalls bei Kindern der 1., 3. und 5. Klasse nachweisen und bezeichneten diesen Effekt als seriellen Vorteil (*serial advantage*, im Folgenden SAE; Altani, Georgiou et al., 2017).

Des Weiteren werden die Leistungen in RAN-Aufgaben unterschiedlich ausgewertet. Für das serielle RAN-Format wird in den Studien die gesamte Reaktionszeit verwendet, gemessen von der Präsentation der 50 Stimuli bis zum letzten artikulierten Laut des letzten Stimulus (Denckla & Cutting, 1999). Falsche Benennungen oder Auslassungen werden nicht ausgeschlossen, sondern in die Berechnung mit eingeschlossen, da sie keinen relevanten Effekt gezeigt haben (Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018). Für eine noch genauere Analyse des seriellen RAN wird die Reaktionszeit in Artikulationszeit, d. h. die Dauer der

Aussprache der Stimuli (*articulation time*), und in die Zeit zwischen zwei artikulierten Stimuli (*pause time / latency*) unterteilt und auch Fehler, Selbstkorrekturen sowie Auslassungen ausgeschlossen, die nicht mit in die Analysen eingingen (z.B. Georgiou et al., 2006; Huschka et al., 2021). Die intraindividuelle Variabilität bzw. Konsistenz der Zeiten zwischen zwei Artikulationen (gemessen über die Standardabweichung geteilt durch den Mittelwert der Latenzen) wurde bisher wenig untersucht (Huschka et al., 2021; Li et al., 2009). Aktuellere Studien fokussierten die Messung von Blickbewegungen beim seriellen RAN (z.B. Araújo et al., 2021; Gordon & Hoedemaker, 2016; Kuperman et al., 2016).

Im Gegensatz dazu wurde beim diskreten RAN nur die Latenz (*latency*) gemessen, d.h. die Zeit zwischen der Präsentation jedes Stimulus und dem Beginn der Reaktion, und die durchschnittliche Latenz über alle korrekt benannten Stimuli berechnet (durchschnittliche Zeit pro Stimulus; z.B. Denckla & Cutting, 1999).

Zoccolotti et al. (2013) schließlich stellten diese Unterschiede bei der Messung beider RAN-Formate heraus und erhoben daher neben der Latenz auch die Artikulationszeit für das diskrete RAN. Fehler und Auslassungen wurden für beide RAN-Formate in die Analyse einbezogen und ein Score aus ‚Millisekunden pro Stimulus‘ berechnet. Nachfolgende Studien übernahmen diesen Ansatz und berechneten die Reaktionszeiten für beide RAN-Formate als Messwert aus ‚Anzahl der Stimuli pro Sekunde‘. Fehler wurden jedoch nur bei diskretem RAN ausgeschlossen, beim seriellen RAN wurden die Analysen ungeachtet möglicher falscher Benennungen sowie Auslassungen durchgeführt (vgl. Altani, Georgiou et al., 2017; Altani et al., 2020a, 2020b; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018).

Die in der Literatur sich abbildende Heterogenität bei der Messung von RAN schränkt die Vergleichbarkeit der Studienergebnisse untereinander ein. Der Großteil der Studien, der die Prädiktion von RAN für die Leseflüssigkeit untersuchte, verwendete einen direkten Vergleich der beiden RAN-Formate (z.B. Altani et al., 2018; Altani et al., 2020b; Logan et al., 2011).

Dementsprechend wird in den vorliegenden beiden Studien ein für serielles und diskretes RAN identisches Stimulus-Set verwendet.

### **2.3 Schnelles automatisiertes Benennen und Leseflüssigkeit**

In der Literatur lassen sich zahlreiche Befunde für den Zusammenhang zwischen RAN und der Leseflüssigkeit ausmachen. Den Grundstein dafür legten Geschwind und Fusillo (1966) mit dem Befund eines Patienten, der nach einem Schlaganfall sowohl eine erworbene reine Alexie ohne Agraphie (erstmalig von Dejerine im Jahr 1892 beschrieben) als auch eine Störung der Farbbenennung aufwies. Schließlich zeigte Denckla (1972a, 1972b) in Zusammenarbeit mit Rudel (1976b), dass die Leistungen im seriellen RAN gut zwischen auffälligen und nicht-auffälligen Lesern sowie Kindern mit und ohne Lernschwierigkeiten unterscheiden. Dieses Ergebnis wurde in den folgenden Jahren bestätigt und präzisiert. So wiesen Araújo et al. (2015) in Übereinstimmung zu einer früheren Metaanalyse (Swanson et al., 2003) die serielle RAN-Leistung als signifikantes Korrelat von Lesegenauigkeit und Leseflüssigkeit für verschiedene Orthographien und Altersgruppen nach (van den Bos et al., 2002). Dabei korrelierte die serielle RAN-Leistung stärker mit der Leseflüssigkeit als mit der Lesegenauigkeit (Araújo et al., 2015) und wurde daher als bester Prädiktor für die Leseflüssigkeit berichtet (z. B. Landerl et al., 2019; Norton & Wolf, 2012; Papadopoulos et al., 2016; Vaessen & Blomert, 2010).

Bezogen auf die beiden RAN-Formate sei angemerkt, dass die meisten Studien den Zusammenhang zwischen Leistungen im seriellen RAN und der Leseflüssigkeit fokussierten. Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Leistungen im diskreten RAN und der Leseflüssigkeit sind deutlich seltener und zeigen inkonsistente Ergebnisse. So konnte dieser Zusammenhang sowohl bestätigt (z. B. Bowers & Swanson, 1991) als auch widerlegt werden (z. B. Wolf & Bowers, 1999). In zwei kürzlich veröffentlichten Metaanalysen wurde diskretes

RAN sogar ausgeschlossen (Araújo et al., 2015; McWeeny et al., 2022). Durch die Untersuchung beider RAN-Formate wurde für verschiedene Klassenstufen konsistent berichtet, dass die serielle RAN-Leistung mit größeren Effektstärken mit der Leseflüssigkeit korrelierte als die diskrete RAN-Leistung (z. B. für Klasse 1, 2, 4: de Jong, 2011; Klasse 2: Protopapas et al., 2013a; Klasse 1, 3, 5: Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018; Klasse 5: van den Boer et al., 2016 und Klasse 6: Altani, Protopapas und Georgiou, 2017). Altani, Protopapas und Georgiou (2017) bezeichneten dies als seriellen Überlegenheitseffekt (*Serial Superiority Effect*; im Folgenden SSE) und präzisierten damit den ursprünglichen Begriff der RAN-Lese-Beziehung (*RAN-reading relationship*), indem sie das serielle Format sowohl für RAN als auch für die Leseflüssigkeit in den Vordergrund stellten. Weiterhin konnten sie für eine Stichprobe griechischsprachiger Kinder der 6. Klasse nachweisen, dass die Leistung im seriellen RAN über den Beitrag von der diskreten RAN-Leistung hinaus alleinige Varianzaufklärung in der Leseflüssigkeit leistete. Logan et al (2011) untersuchten bereits die diskrete RAN-Leistung als Mediatorvariable für die Beziehung zwischen serieller RAN-Leistung und Lesegenauigkeit bei englischsprachigen Kindern vom Kindergarten bis zur 2. Klasse. Für die ersten beiden Altersgruppen (Kindergarten und 1. Klasse) zeigten die Autoren bei Berücksichtigung beider RAN-Messungen, dass sich der Effekt der seriellen RAN-Leistung auf die Lesegenauigkeit erhöhte (statt für die Annahme der diskreten RAN-Leistung als Mediator zu sinken) und sich für die diskrete RAN-Leistung ein negatives Vorzeichen ergab. Sie interpretierten die diskrete RAN-Leistung als eine Suppressorvariable für die Beziehung zwischen serieller RAN-Leistung und Lesegenauigkeit, welche die Varianz im seriellen RAN unterdrückte, sodass die serielle RAN-Leistung ein präziserer Indikator für die Lesegenauigkeit war. Für die 2. Klasse konnte dieses Ergebnis nicht bestätigt werden, aber es zeigte sich ein signifikanter Effekt der seriellen RAN-Leistung auf die Lesegenauigkeit,

während der Effekt der diskreten RAN-Leistung nicht signifikant war (siehe auch für das Englische: Altani et al., 2018 und das Griechische: Protopapas et al., 2013a).

Bisher existiert keine Übersichtsarbeit, die ausschließlich Studien enthält, die den Einfluss von Leistungen in seriellen und diskreten RAN-Aufgaben mit jeweils einem identischen Stimulus-Set auf die Leseflüssigkeit untersucht haben. Daher wurde eine orientierende Recherche mit diesen Studienbedingungen in den Datenbanken APA PsycInfo, Academic Search Ultimate und MEDLINE durchgeführt. Tabelle 2.3.1 (Studien mit berichteter hierarchischer Regression) und Tabelle 2.3.2 geben daher einen Überblick über Korrelationsstudien der letzten zehn Jahre, die den (alleinigen) Einfluss von Leistungen in seriellen vs. diskreten RAN-Aufgaben mit einem identischen Stimulus-Set auf die Leseflüssigkeit, erfasst über Wortlisten, untersucht haben.

**Tabelle 2.3.1**

*Übersicht über Studien, die den alleinigen Einfluss von Leistungen in seriellen RAN vs. diskreten RAN-Aufgaben mit identischem Stimulus-Set auf die Leseflüssigkeit untersuchten*

Studie	Orthographie	Mittleres Alter in Jahren (Stichprobengröße)	RAN-Messung	Lese-Messung	Alleinige Varianzaufklärung in der Leseflüssigkeit
van den Boer et al. (2016)	Englisch	10;7 (n = 92) 11;1 (n = 101)	DIS-RAN-Z+B SER-RAN-Z+B	Wörter mit 4 Buchstaben / Wörter mit 8 Buchstaben	ns / ns 33,7% <sup>b</sup> / 26,2% <sup>b</sup>
	Niederländisch		DIS-RAN-Z+B SER-RAN-Z+B	Wortleseflüssigkeit (seriell)	ns / ns 35,1% <sup>b</sup> / 22% <sup>b</sup>
Altani, Protopapas, & Georgiou (2017)	Griechisch	11;8 (n = 107)	SER-RAN-Z+O	Wortleseflüssigkeit (seriell)	40,9% <sup>c</sup>
Altani et al. (2018)	Englisch	6;7 (n = 167) 8;8 (n = 137) 10;8 (n = 125)	DIS-RAN-Z SER-RAN-Z	Wortleseflüssigkeit (seriell)	ns (6;7 J., 8;8 J., 10;8 J.) 4% <sup>a</sup> (6;7 J.), 25% <sup>b</sup> (8;8 J.), 27% <sup>b</sup> (10;8 J.)
De Jong & van den Boer (2021)	Niederländisch	8;11 (n = 180)	SER-RAN-Z+B	Leseflüssigkeit von kurzen / langen Wörtern / Nichtwörtern (seriell)	38,7% <sup>b</sup> / 27,6% <sup>b</sup> / 38,6% <sup>b</sup>

*Anmerkung.* Studien mit berichteter hierarchischer Regression, DIS-RAN = diskretes RAN,

SER-RAN = serielles RAN, Z = Zahlen, B = Buchstaben, O = Objekte, <sup>a</sup> =  $p < .05$ ; <sup>b</sup> =  $p <$

<sup>c</sup> =  $p < .001$ ; ns = statistisch nicht signifikant.

Tabelle 2.3.2

Übersicht über Studien, die den Einfluss von Leistungen in seriellen vs. diskreten RAN-Aufgaben mit identischem Stimulus-Set auf die Leseflüssigkeit untersuchten

Studie	Orthographie	Mittleres Alter in Jahren (Stichprobengröße)	RAN-Messung	Lese-Messung	Weitere untersuchte Variablen	$\beta$ -Koeffizient für direkten RAN-Leseflüchtigkeits-Effekt
Georgiou et al. (2013)	Griechisch	7;9 (n = 65), 11;9 (n = 65)	DIS-RAN-Z/O SER-RAN-Z/O	Wortlese- flüssigkeit (seriell)	-	ns / ns (7;9 J.), ns / ns (11;9 J.) -.619***/- .394** (7;9 J.), -.675***/- .745*** (11;9 J.)
Protopapas et al. (2013a)	Griechisch	7;8 (n = 101), 11;8 (n = 105)	DIS-RAN-Z+O SER-RAN-Z+O	Wortlese- flüssigkeit (seriell)	Wortlesen (diskret präsentiert)	-.18** (7;8 J.), ns (11;8 J.) .24*** (7;8 J.), .62*** (11;8 J.)
Altani, Georgiou et al. (2017)	Griechisch Englisch Chinesisch Koreanisch	8;9 (n = 108) 8;8 (n = 112) 9;1 (n = 113) 9;1 (n = 100)	DIS-RAN-Z SER-RAN-Z	Wortlese- flüssigkeit (seriell)	Wortlesen (diskret präsentiert)	-.59* <sup>a</sup> / -.84*** <sup>b</sup> / ns <sup>c</sup> / ns <sup>d</sup> .37*** <sup>a</sup> / .56*** <sup>b</sup> / .36*** <sup>c</sup> / .43*** <sup>d</sup>
Georgiou & Parrila, 2020	Englisch	7;49 (n = 137) 21;64 (n = 121)	DIS-RAN-B SER-RAN-B	Wortlese- flüssigkeit (seriell)	-	-.334*** (7;49 J.), ns (21;64 J.) -.465*** (7;49 J.), -.595*** (21;64 J.)

Anmerkung. DIS-RAN = diskretes RAN, SER-RAN = seriellles RAN, Z = Zahlen, O = Objekte, <sup>a</sup> = Angabe für das Griechische,

<sup>b</sup> = Angabe für das Englische, <sup>c</sup> = Angabe für das Chinesische, <sup>d</sup> = Angabe für das Koreanische, \* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ . \*\*\* $p < .001$ , ns = statistisch nicht signifikant.

Die hier aufgeführten Studien bestätigen den SSE konsistent. Araújo und Faísca (2019) kommen in der metaanalytischen Auswertung von 214 empirischen Studien zu dem Ergebnis, dass Menschen mit Lesestörungen Beeinträchtigungen im diskreten RAN aufweisen, diese aber im seriellen RAN stärker ausgeprägt sind. Dieses Ergebnis bestätigt den SSE ebenfalls. Die Kritik einiger Forschenden an der Relevanz des diskreten Formats scheint aufgrund des geringeren bzw. statistisch nicht signifikanten Effektes auf die Leseflüssigkeit (vgl. Tabelle 2.3.2) gegenüber dem seriellen Format nachvollziehbar (McWeeny et al., 2022). Protopapas et al. (2013a) konstatierten jedoch, dass insbesondere die Untersuchung beider RAN-Formate hilfreich sein könnte, um zu identifizieren, was serielles RAN als Prädiktor für die Leseflüssigkeit so bedeutend macht.

Modelltheoretisch werden für das (flüssige) Lesen in sogenannten Zwei-Wege-Modellen wie dem *Dual-Route Cascaded (DRC) Model*, zwei Leserouten unterschieden: bei der nicht-lexikalischen Verarbeitung werden einzelne graphematische Einheiten schrittweise in die entsprechenden phonologischen Einheiten übertragen (GPK). Die Repräsentationen und deren Abruf werden mit zunehmender Lesereife optimiert, sodass eine schnellere und robustere Verarbeitung größerer Einheiten erfolgen kann. Diese lexikalische Verarbeitung beschreibt die zweite Leseroute. Es wird angenommen, dass beide Leserouten parallel aktiviert werden können (z. B. Coltheart, 2005; Gerhards & Stenneken, 2022). Somit sind eine genaue und automatisierte Worterkennung sowie GPK, die zur automatisierten Worterkennung beitragen, relevante Komponenten für die Leseflüssigkeit (Ehri, 2014). Für die deutsche Orthographie mit eindeutiger Graphem-Phonem-Zuordnung hat die Messung der Geschwindigkeit die größte Aussagekraft (Klicpera & Schabmann, 1993; Landerl & Wimmer, 2008). Die Leseflüssigkeit wird über serielle Formate operationalisiert: Innerhalb einer vorgegebenen Zeit sollen Listen auf Wortebene möglichst schnell laut vorgelesen werden. Die Lesegenauigkeit (Anzahl richtig gelesener (Nicht-)Wörter) und die Lesegeschwindigkeit (vorgegebene Zeit) ergeben

zusammen den kombinierten Wert für die Leseflüssigkeit, d.h. die Anzahl richtig gelesener (Nicht-)Wörter pro Zeiteinheit (Landerl et al., 2019; Moll & Landerl, 2014). Protopapas, Katopodi, Altani und Georgiou (2018) stellten die teilweise simultane Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli als eine weitere Komponente der Leseflüssigkeit von Listen nicht zusammenhängender Wörter oder Nichtwörter heraus, die ebenfalls mit seriellen RAN-Aufgaben einhergeht bzw. erfasst wird.

Die oben dargestellten Befunde stellen serielles RAN als Prädiktor für die Leseflüssigkeit deutlich heraus, sodass die Erklärung dieses Zusammenhangs und der zugrunde liegenden Prozesse Gegenstand der RAN-Forschung geworden ist. Das Wissen über die Ursache des SSE hat nicht nur theoretische Auswirkungen auf das Verständnis von serielltem RAN und der Leseflüssigkeit, sondern insbesondere auch Implikationen für die Diagnostik und Förderung von Kindern mit Lesestörungen. Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden zunächst ein kurzer Überblick über die verschiedenen Erklärungshypothesen gegeben, bevor die Hypothese der kaskadierten Verarbeitung ausführlich beschrieben wird, für die es überzeugende Evidenz durch Blickbewegungsstudien gibt.

## 2.4 Die Annahme der kaskadierten Verarbeitung

Zur Erklärung des SSE existieren in der RAN-Forschung drei häufig diskutierte Gruppen von Erklärungsansätzen sowie ein vierter, aktueller Ansatz der kaskadierten Verarbeitung. Ausgehend von Georgiou und Parrila (2013), die die bis 2013 bestehenden möglichen Erklärungshypothesen zum SSE zusammenfassten, sind die drei häufig diskutierten Erklärungsannahmen die phonologische Verarbeitung, die orthographische Verarbeitung und die Verarbeitungsgeschwindigkeit (Papadopoulos et al., 2016). Diese wurden jeweils als Mediatorvariablen für den SSE diskutiert, konnten diesen aber nicht vollständig erklären. Hingegen ist die Annahme der kaskadierten Verarbeitung eine überzeugende Erklärung. Im Folgenden werden die drei verschiedenen wissenschaftlichen Ansätze kurz skizziert und die Annahme der kaskadierten Verarbeitung ausführlich erläutert.

Eine frühe Erklärung für den SSE stammt von Wagner und Torgesen (1987), die das serielle RAN neben dem phonologischen Kurzzeitgedächtnis (*phonological short-term memory*; im Folgenden PSTM) und der phonologischen Bewusstheit (*phonological awareness*; im Folgenden PA) unter dem Begriff der phonologischen Verarbeitung zusammenfassten. Das PSTM ist ein Speicher für verbales und akustisches Material mit begrenzter Kapazität (Hasselhorn et al., 2012) und die PA beschreibt die Fähigkeit, die Lautstruktur gesprochener Sprache zu analysieren und zu manipulieren (Schnitzler, 2008). So wurde serielles RAN als Maß für die Geschwindigkeit des Zugriffs auf phonologische Repräsentationen im Langzeitgedächtnis angenommen und als ein phonologischer Prozess klassifiziert (z. B. Lervåg & Hulme, 2009; Savage et al., 2007; Torgesen et al., 1994). Gestützt wurde diese Annahme durch Befunde, die die Leistung der PA als signifikanten Mediator für den SSE bestätigten (z. B. für die 4. Klasse: Bowey et al., 2005; für die Vorschule: Poulsen et al., 2015). Studien konnten jedoch zeigen, dass die serielle RAN-Leistung über den Beitrag von der PA-Leistung (z. B. für die 4. Klasse: Georgiou, Parrila, & Papadopoulos, 2016) und der PSTM-Leistung

(z.B. für die 1., 2., und 3. Klasse: Parrila et al., 2004) hinaus Varianz im Lesen erklärte. Amtmann et al. (2007) hingegen nahmen serielles RAN als Maß für die phonologische Schleife als Komponente des Arbeitsgedächtnisses an. Diese Auffassung ist allerdings problematisch, weil der Zugriff auf phonologische Repräsentationen bei allen sprachlichen Aufgaben, auch beim diskreten RAN, involviert ist. Dieser wurde daher vielmehr als einer von mehreren Teilprozessen für serielles RAN herausgestellt (Wolf et al., 2000).

Die Arbeitsgruppe von Wolf et al. (2000) nahm an, dass die serielle RAN-Leistung die Leseflüssigkeit vorhersagt, weil beide die schnelle Erkennung von orthographischen Einheiten erfordern. Sie argumentierten, dass für serielles RAN und flüssiges Lesen der Aufbau von GPK und größeren orthographischen Einheiten sowie deren schneller Zugriff von Bedeutung ist. Bei einer langsamen Erkennung von Graphemen können mehrere aufeinanderfolgende Grapheme innerhalb eines Wortes nicht in ausreichender Geschwindigkeit erfasst werden, sodass größere Einheiten nicht verarbeitet werden können (Wolf et al., 2000). Die Arbeitsgruppe schlussfolgerte, dass RAN-Aufgaben mit Buchstaben die Geschwindigkeit der Buchstabenerkennung messen. Es existieren allerdings auch gegenteilige Befunde, sodass die serielle RAN-Leistung über die orthographische Verarbeitung hinaus Varianz in der Lesefähigkeit erklärte (z.B. für die 1. bis 3. Klasse: Cutting & Denckla, 2001; für die 1. bis 2. Klasse: Georgiou et al., 2008) und somit die orthographische Verarbeitung den SSE nicht vollständig begründen kann.

Wolf et al. (2000) stellten zudem heraus, dass serielles RAN mehrere zugrunde liegende Teilprozesse umfasst und fokussierten als erweiterte Erklärung für den SSE die Geschwindigkeit, mit der Informationen innerhalb und zwischen diesen Teilprozessen zeitlich verarbeitet werden. In früheren Studien berichteten bereits Kail und Hall (1994) als Erklärung für den SSE die Verarbeitungsgeschwindigkeit von Informationen. Sie nahmen an, dass sowohl serielles RAN als auch die Lesefähigkeit die Zugriffsgeschwindigkeit auf Grapheme / Phoneme

bzw. orthographische / phonologische Repräsentationen bekannter Stimuli erfordern. Georgiou et al. (2012) konnten einen zunehmenden Zusammenhang zwischen der Verarbeitungsgeschwindigkeit und seriellen RAN bei griechischsprachigen Kindern der 2. bis 6. Klasse nachweisen. Weitere Studien widerlegten die Verarbeitungsgeschwindigkeit als Erklärung für den SSE (z.B. für die 4. Klasse: Bowey et al., 2005; Georgiou, Parrila, & Papadopoulos, 2016; für die 1. bis 3. Klasse: Cutting & Denckla, 2001).

Während frühere Studien die jeweiligen Erklärungsansätze getrennt voneinander untersuchten, bezogen aktuellere Studien alle drei Ansätze gleichzeitig mit in die Analysen ein (z.B. Georgiou, Parrila, & Papadopoulos, 2016; Papadopoulos et al., 2016). Beide Studien konnten den direkten Effekt der seriellen RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit zeigen und bestätigten die phonologische Verarbeitung zu Beginn der Leseentwicklung und die orthographische Verarbeitung für das fortgeschrittene Lesen als Mediatorvariablen für den SSE.

Georgiou, Parrila und Papadopoulos (2016) führten den seriellen Charakter bzw. die parallele Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli als Erklärung für den SSE an, da ein großer Anteil der Varianz von der seriellen RAN-Leistung in der Leseflüssigkeit nicht aufgeklärt wurde. Basierend auf der Annahme der diskreten RAN-Leistung als eine Suppressorvariable, welche den Beitrag der seriellen RAN-Leistung zur Erklärung der Leseflüssigkeit erhöht, schlussfolgerten Logan et al. (2011) die schnelle, sequenzielle Augenbewegung, also das visuelle Scannen als Erklärung für den SSE, da diese sowohl für die Leseflüssigkeit als auch für serielles RAN relevant ist und beim diskreten RAN keine Anwendung findet (vgl. Kuperman et al., 2016). Protopapas et al. (2013b) untersuchten die Hypothese des visuellen Scannens (Bearbeitungsrichtung), indem 107 griechischsprachige Kinder der 6. Klasse eine serielle RAN-Aufgabe sowohl in Leserichtung bearbeiteten als auch in entgegengesetzter Richtung, also von rechts nach links und von unten nach oben (*backward*

*RAN task*). Die Korrelationen zwischen der Leseflüssigkeit und den jeweiligen Bearbeitungsweisen der RAN-Aufgaben unterschieden sich nicht signifikant voneinander, sodass die Hypothese des visuellen Scannens bzw. der Bearbeitungsrichtung als Erklärung für den SSE ausgeschlossen werden konnte. So stellten Protopapas et al. (2013a) und Georgiou et al. (2013) die Relevanz der kaskadierten Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli als Erklärung für den SSE heraus, die im Folgenden ausführlich beschrieben wird.

Die Annahme zur kaskadierten Verarbeitung (*Cascaded Processing Hypothesis*, im Folgenden CPH) wurde erstmals von Protopapas et al. (2013a) als Erklärung für den SSE beschrieben und basiert auf der Beobachtung, dass die Messungen der Leseflüssigkeit im seriellen und diskreten Format bei fortgeschrittenen griechischsprachigen Lesern weniger stark korrelierten als bei Leseanfängern, da diese im frühen Stadium des Leserwerbs die Wörter noch einzeln verarbeiten. Darüber hinaus stellten sie fest, dass bei fortgeschrittenen Lesern die serielle Leseflüssigkeit höhere Korrelationen mit der seriellen RAN-Leistung als mit der diskreten Leseflüssigkeit (erfasst über ein diskretes Format) zeigte (vgl. Altani et al., 2018; de Jong, 2011; Protopapas et al., 2013). Sie führten dies auf eine kaskadierte Verarbeitung zurück. Zudem wiesen Protopapas, Katopodi, Altani, und Georgiou (2018) später nach, dass die Korrelation zwischen seriellem und diskretem RAN mit zunehmender Lesereife abnahm.

Protopapas et al. (2013a) stellten die Hypothese auf, dass mit zunehmender Lesereife RAN und Leseflüssigkeit, die in einem seriellen Format präsentiert werden, eine Verarbeitung in Kaskaden zugrunde liegt. Die Autoren definierten diese auf drei Ebenen: 1) die serielle Verarbeitung jedes Stimulus in aufeinanderfolgenden Verarbeitungsprozessen (z. B. visuelle Analyse, semantische, lexikalische, postlexikalische Verarbeitung und die Artikulation des Stimulus), 2) die serielle Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli und 3) die simultane Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli in verschiedenen Verarbeitungsschritten. Das bedeutet, dass für serielles RAN eine zum Teil parallele Verarbeitung mehrerer

aufeinanderfolgender Stimuli durch sich überlappende Verarbeitungsschritte angenommen wurde, welche am besten durch das Zahlen-RAN angezeigt wurde (Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018).

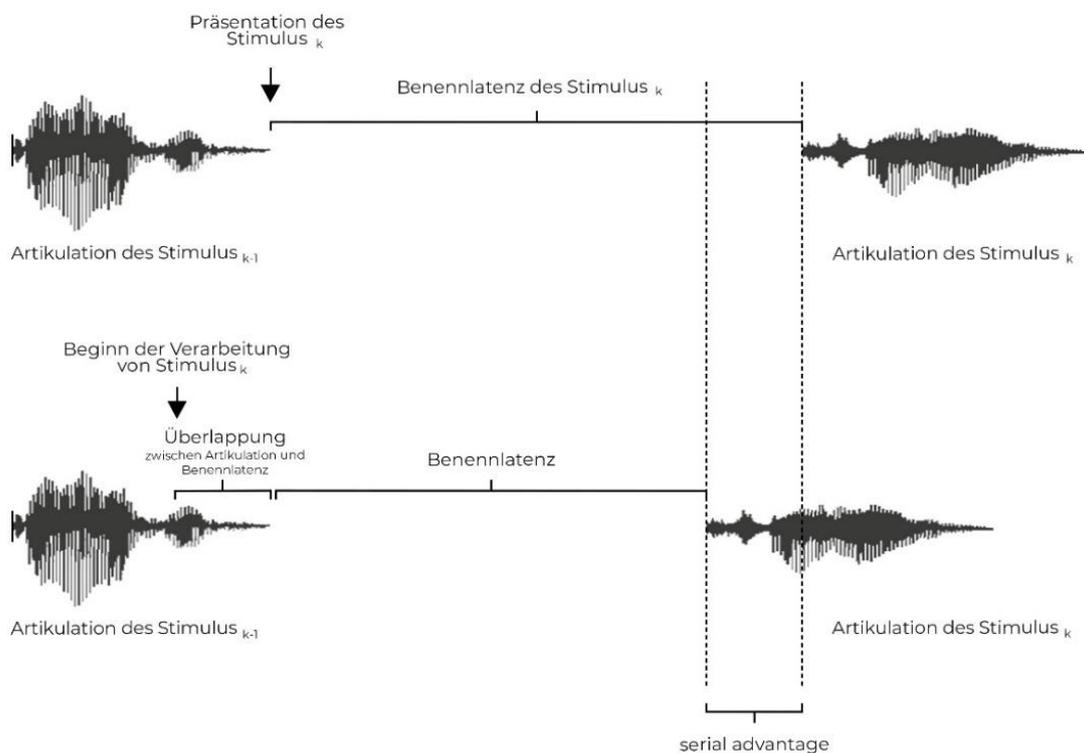
Empirische Evidenz für die CPH liefern Blickbewegungsstudien: Gordon und Hoedemaker (2016) haben bei einer Gruppe von 48 englischsprachigen Studenten die Augen-Sprach-Spanne (*Eye Voice Span*, im Folgenden EVS) gemessen, also die Anzahl der Stimuli, um welche die Aussprache bei RAN hinter dem fixierten Stimulus lag (Morton, 1964), und gezeigt, dass die Leistung bei seriellem RAN davon profitierte, wenn die Augen einen oder mehrere Stimuli vor der Artikulation fixierten. Die häufigste EVS umfasste einen Stimulus. Dies konnte in durchschnittlich 75,9 % der Artikulationen über alle vier RAN-Aufgaben (Objekte, Farben, Buchstaben und Zahlen) nachgewiesen werden. Bei den RAN-Aufgaben mit Buchstaben und Zahlen waren zwei oder mehr Stimuli die häufigsten EVS. Die Ergebnisse bestätigen die Annahme von Protopapas et al. (2013a), dass bei seriellem RAN der nächste Stimulus teilweise verarbeitet werden kann, während der vorherige Stimulus noch artikuliert wird. Weitere unterstützende Befunde der Relevanz der teilweise parallelen Verarbeitung mehrerer Stimuli für serielles RAN und die Leseflüssigkeit wurden auch durch RAN-Aufgaben für den Leseerwerb (Altani et al., 2018), durch die Messung von Blickbewegung bei seriellem RAN (Eberharter, 2019) und durch eine Studie zur entwicklungsbedingten Dyslexie (Stenneken et al., 2011) geliefert.

Altani et al. (2022) stellten fest, dass die kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli im seriellen RAN erhöhte kognitive Ressourcen erfordert. Während der zeitliche Beginn der Stimulusbenennung bei diskreten RAN-Aufgaben exogen, d.h. durch die Präsentationssoftware oder den Untersucher, gesteuert wird, ist er bei seriellen RAN-Aufgaben endogen, d.h. er wird durch die Versuchsperson selbst reguliert (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017; vgl. Kapitel 2.2). So ermöglicht das Aufgabenformat des

seriellen RAN erst die kaskadierte Verarbeitung, die im diskreten RAN nicht gegeben ist. Abbildung 2.4.1 veranschaulicht sowohl die kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli (Objekte) als auch den seriellen Vorteil (*SAE*), der sich aus dem Vergleich der Reaktionszeiten von seriell und diskretem RAN ergibt.

### Abbildung 2.4.1

*Die kaskadierte Verarbeitung und der serielle Vorteil (adaptiert nach Altani et al., 2020b und Gerhards, Stenneken, et al., 2023)*



Der obere Teil der Abbildung zeigt die Verarbeitung bei diskretem RAN mit getrennter Darbietung der Objekt-Stimuli. Die Verarbeitungsschritte überlappen zeitlich nicht, d.h. die Verarbeitung des Stimulus  $k$  (Latenz) kann erst nach abgeschlossener Artikulation des Stimulus  $k-1$  erfolgen. Der untere Teil der Abbildung zeigt die Verarbeitung für serielles RAN bei simultaner Darbietung der Stimuli. Die Überlappung der Artikulation des Stimulus  $k-1$  mit

der Verarbeitung des Stimulus<sub>k</sub> führt zu der kürzeren Reaktionszeit beim seriellen RAN im Vergleich zu diskretem RAN; der so genannte SAE (Altani et al., 2020b).

Weitere Blickbewegungsstudien mit Gruppenvergleichen konnten nachweisen, dass chinesischesprachige Kinder der 5. Klasse (Pan et al., 2013) und portugiesischsprachige Erwachsene (Silva et al., 2016) mit Lesestörungen aufeinanderfolgende Stimuli in seriellen RAN-Aufgaben weniger effizient parallel verarbeiten als die Kontrollgruppe und die CPH ebenfalls bestätigten. Auch für die Leseflüssigkeit ist die CPH durch die Messung der EVS gut belegt (Inhoff et al., 2011) und scheint mit einer Belastung des Arbeitsgedächtnisses bzw. des PSTM zusammenzuhängen (Laubrock & Kliegl, 2015).

Der SAE ist auf die kaskadierte Verarbeitung im seriellen RAN zurückzuführen (vgl. Abbildung 2.4. 1) und wurde bisher bei Kindern in verschiedenen Entwicklungsstadien (z. B. Altani et al., 2020b; Gasperini et al., 2014; Zoccolotti et al., 2013) und bei Erwachsenen (Jones et al., 2009) nachgewiesen. Zoccolotti et al. (2013) berichteten, dass italienischsprachige Kinder mit einem durchschnittlichen Alter von 11,8 Jahren einen signifikanten Vorteil im RAN und in der Leseflüssigkeit beim seriellen gegenüber dem diskreten Präsentationsformat aufwiesen. Bei Kindern mit Lesestörungen zeigte sich der SAE nur für die RAN-Leistung, aber die Leseflüssigkeit von Wörtern mit sieben Buchstaben war im diskreten Format besser als im seriellen Format. Altani et al. (2020b) bestätigten den SAE im Entwicklungsverlauf für Kinder der 1., 3. und 5. Klasse sowohl für das Griechische als auch für das Englische. Des Weiteren konnten sie zeigen, dass der SAE mit der seriellen RAN-Leistung stärker korrelierte als mit der diskreten RAN-Leistung. Die Autoren erklärten diesen Befund damit, dass serielles RAN eine größere Variabilität im Vergleich zum diskreten RAN aufwies und führten diesen Unterschied auf einen für serielles RAN erforderlichen zusätzlichen Faktor zurück, die kaskadierte Verarbeitung (Altani et al., 2020b). Die Ergebnisse zum SAE sind von besonderer Bedeutung,

da sie nicht nur zeigen, dass das serielle RAN einen zeitlichen Vorteil gegenüber dem diskreten RAN hat, sondern auch, dass es mit der CPH kompatibel ist.

**Schlussfolgerung.** Unter Berücksichtigung theoretischer und empirischer Arbeiten zur Erklärung des SSE, die zum Großteil mit Kindern in unterschiedlichen Entwicklungsstadien durchgeführt wurden, existieren unterschiedliche Annahmen, die sich auf spezifische Teilprozesse des seriellen RAN und der Leseflüssigkeit konzentrieren. Dennoch kann bis dato keiner dieser Annahmen den SSE vollständig erklären. Stattdessen scheint die Natur des seriellen RAN wichtiger für die Erklärung des SSE zu sein, als die Gemeinsamkeiten mit anderen Prozessen wie der oben beschriebenen phonologischen oder orthographischen Verarbeitung sowie der Verarbeitungsgeschwindigkeit. Ein bisher noch wenig untersuchter aber durchaus überzeugender Ansatz zur Erklärung des SSE ist daher die kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli, für die im Rahmen der beiden Studien der vorliegenden Arbeit weitere Evidenz generiert werden soll.

### 3 Ziele und Forschungsfragen der Arbeit

Basierend auf den Befunden zum SSE (vgl. Kapitel 2.3) verfolgt die vorliegende Dissertation das Ziel, weitere bestätigende Ergebnisse für die CPH zu generieren und den Unterschied in der Verarbeitung von seriell und diskret präsentierten RAN-Stimuli zu erklären. Der SSE konnte für verschiedene Orthographien und unterschiedliche Altersgruppen bestätigt werden, wobei geübte erwachsene Leser bisher nicht untersucht wurden (vgl. Kapitel 2.3). Des Weiteren existieren keine Studienergebnisse für den deutschsprachigen Raum, womit die Notwendigkeit weiterer Grundlagenforschung deutlich wird. In den beiden Studien im Rahmen dieser Dissertation werden daher sowohl serielle als auch diskrete RAN-Aufgaben mit einem identischen Stimulus-Set verwendet und vergleichbare Messungen erhoben (Kapitel 2.2).

Aufbauend auf der Replikation des SSE und SAE, soll **Studie 1** untersuchen, ob durch die Manipulation von Eigenschaften der RAN-Stimuli unterschiedlich starke sprachliche Effekte für Leistungen im seriellen und diskreten RAN gezeigt werden können, die sich aus der CPH ableiten lassen. Durch die Manipulation lexikalischer (Wortfrequenz) und postlexikalischer (Wortlänge) Eigenschaften der RAN-Stimuli können die sprachlichen Verarbeitungsprozesse für serielles und diskretes RAN bestimmt werden. Der Wortfrequenzeffekt beschreibt die schnellere Verarbeitung hochfrequenter Stimuli im Vergleich zu niedrigfrequenten Stimuli und wird auf frühe lexikalische Prozesse (Wortformabruf) zurückgeführt. Der Wortlängeneffekt beschreibt die schnellere Verarbeitung kurzer Stimuli im Vergleich zu langen Stimuli und wird auf die spätere postlexikalische Ebene der Sprachproduktion (phonologische Enkodierung) zurückgeführt. Ausgehend von der CPH ist theoretisch abzuleiten, dass ein stärkerer Frequenzeffekt für die Latenz im seriellen RAN als im diskreten RAN zu erwarten ist, da für serielles RAN die kognitiven Ressourcen für die lexikalische Verarbeitung aufgrund der CPH geringer sein sollten. Die CPH sollte daher frühe, lexikalische Prozesse betreffen. Auch ist zu erwarten, dass die parallele Verarbeitung die

Artikulation der Stimuli beim seriellen RAN im Vergleich zum diskreten RAN verlangsamen sollte. Darüber hinaus sollte sich der Effekt der Wortlänge für beide RAN-Formate nicht unterscheiden, da die CPH spätere, postlexikalische Prozesse nicht mehr betreffen sollte. Zeigt sich dieses Muster der Effekte, würden diese Ergebnisse einen weiteren unterstützenden Befund für die CPH liefern. Sollten sich für seriell und diskretes RAN keine Unterschiede bei den Effekten ergeben, ist davon auszugehen, dass die CPH weder lexikalische noch postlexikalische Prozesse beeinflusst.

In **Studie 2** soll der SSE anhand eines Strukturgleichungsmodells repliziert werden, sodass sich ein direkter Effekt der seriellen RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit zeigen sollte, der stärker sein sollte als der Effekt der diskreten RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit. Zudem soll Studie 2 den Einfluss der Leistungen in PSTM-Aufgaben auf die Leistung in seriellen und diskreten RAN-Aufgaben untersuchen. Es wird ein stärkerer Effekt der Leistung in den PSTM-Aufgaben auf die serielle RAN-Leistung erwartet als auf die diskrete RAN-Leistung, weil seriell RAN stärkere kognitive Ressourcen aufgrund der parallelen Verarbeitung erfordert als diskretes RAN. Dies würde die kaskadierte Verarbeitung bei seriellem RAN bestätigen und einen weiteren positiven Befund für die CPH (neben dem zu erwartenden von Studie 1) liefern. Zudem würde es den Unterschied in der Verarbeitung von seriellem und diskretem RAN erklären, da seriell RAN Kapazitäten des PSTM erfordert, die für diskretes RAN weniger bedeutsam sind. Sollte sich dies nicht bestätigen und die Leistung in den PSTM-Aufgaben beeinflusst seriell und diskretes RAN gleichermaßen, ist davon auszugehen, dass das PSTM als zugrunde liegende kognitive Funktion für seriell RAN und die kaskadierte Verarbeitung nicht relevant ist. Des Weiteren ist zu erwarten, dass die Leistung in PSTM-Aufgaben einen eigenständigen Anteil der Varianz in der Leseflüssigkeit erklärt.

## **4 Studie 1: Empirische Untersuchung der Annahme der kaskadierten Verarbeitung**

### **4.1 Theoretischer Hintergrund und Ziele von Studie 1**

Aus den in Kapitel 2.4 skizzierten theoretischen Annahmen lässt sich ableiten, dass insbesondere die CPH den SSE und SAE erklären kann. Wie in Kapitel 3 bereits beschrieben, nutzt Studie 1 die experimentelle Manipulation lexikalischer (Wortfrequenz) und postlexikalischer (Wortlänge) Eigenschaften der RAN-Stimuli, um Hinweise auf die zugrunde liegenden Verarbeitungsprozesse zu erhalten. Ziel der Studie 1 ist es, zu überprüfen, ob sich unterschiedlich starke Effekte von Wortfrequenz und Wortlänge für serielles und diskretes RAN zeigen, welche die CPH bestätigen könnten. Um die sprachlichen Effekte für serielles und diskretes RAN basierend auf der Annahme der kaskadierten Verarbeitung interpretieren zu können, sollen zunächst der SSE und der SAE repliziert werden. Daraus ergeben sich folgende zwei Forschungsfragen der Studie 1:

- 1. Lässt sich der SSE, d. h. serielles RAN als besserer Prädiktor für die Leseflüssigkeit als diskretes RAN, für das Deutsche replizieren?*
- 2. Lässt sich der SAE, der serielle Vorteil für die Benennungszeiten im seriellen RAN gegenüber dem diskreten RAN, für den deutschsprachigen Raum replizieren?*

Der am häufigsten untersuchte Indikator für den frühen lexikalischen Verarbeitungsprozess ist die Auftretenshäufigkeit bzw. Frequenz der Wortform (Forster & Chambers, 1973; Oldfield & Wingfield, 1965), welche für die Bildbenennung empirisch gut belegt ist (Friedmann et al., 2013; Székely et al., 2003) und auf die Aktivierung der Wortform zurückgeführt wird, die der postlexikalischen Verarbeitung vorausgeht (Levelt et al., 1999; Stadie et al., 2019). Darüber hinaus konnten Jescheniak und Levelt (1994) den Effekt der Worthäufigkeit auch bei dreimaliger Wiederholung der Stimuli noch nachweisen. Bisher

untersuchten wenige Studien den Wortfrequenzeffekt für RAN: Denckla und Rudel (1974) bestätigten den Einfluss der Wortfrequenz für serielles RAN und auch kürzlich veröffentlichte Studien konnten diesen für serielles RAN nachweisen (Araújo et al., 2019; Araújo et al., 2021). Araújo et al. (2021) untersuchten mittels Blickbewegung bei Erwachsenen mit Lesestörung (mittleres Alter 21,7 Jahre) und ohne Lesestörung (mittleres Alter 21,4 Jahre) im Niederländischen den Effekt der Wortfrequenz und der phonologischen Nachbarschaftsdichte, welche die phonologische Ähnlichkeit zwischen Stimuli und einen Vorteil für Stimuli mit vielen gegenüber wenigen phonologischen Nachbarn beschreibt. Beide Effekte sind auf lexikalische Verarbeitungsprozesse zurückzuführen (Vitevitch & Luce, 2016). Araújo et al. (2021) bestätigten durch kürzere Reaktionszeiten und Blickdauern für beide Gruppen, dass eine hohe Wortfrequenz sowie Wörter mit vielen phonologischen Nachbarn die lexikalische Verarbeitung erleichtern. Bisher existiert keine Studie, die den Wortfrequenzeffekt für diskretes RAN untersucht hat (aber siehe Wiseheart et al., 2019, die den Effekt der Reim-Nachbarschaftsdichte für serielles und diskretes RAN bestätigten).

Der Wortlängeneffekt (erfasst z. B. über die Silbenanzahl; z. B. Stenneken et al., 2007) wird auf die zeitlich spätere, postlexikalische Verarbeitung zurückgeführt (z. B. Eriksen et al., 1970; Klapp et al., 1973), bei der die korrekte Sequenzierung der segmentalen Einheiten (Phoneme, Silben) und der wortformspezifischen Informationen erfolgt (Meyer et al., 2003; Stadie et al., 2019). Für den Wortlängeneffekt finden sich in der Literatur zum Teil inkonsistente Ergebnisse im Vergleich zum Wortfrequenzeffekt: Während Studien zur Bildbenennung den Wortlängeneffekt, d. h. kürzere Latenzen für einsilbige im Vergleich zu mehrsilbigen Stimuli, nachweisen konnten (Friedmann et al., 2013; Roelofs, 2002; Santiago et al., 2000), gibt es auch gegenteilige Befunde (Bachoud-Lévi et al., 1998; Damian et al., 2010). Der Wortlängeneffekt wurde bis dato weder für serielles noch für diskretes RAN untersucht.

Für die Leseflüssigkeit sind der Wortfrequenzeffekt und der Wortlängeneffekt empirisch gut belegt (z. B. Gerth & Festman, 2021; Inhoff & Rayner, 1986; Kliegl et al., 2004). So wird die Manipulation von Stimulus-Eigenschaften auch für die Diagnostik von Personen mit beeinträchtigter (Schrift-) Sprache verwendet (z. B. Gerhards, Rubi-Fessen et al., 2023). Die Manipulation der Stimuli nach Wortfrequenz und Wortlänge liefert Informationen über die Einordnung zeitlich frühere oder spätere Verarbeitungsprozesse, die für die kaskadierte Verarbeitung relevant sind.

Wie in Kapitel 3 bereits skizziert, ist davon auszugehen, dass sich ein stärkerer Wortfrequenzeffekt für seriell als diskretes RAN zeigen sollte, da die kognitiven Ressourcen aufgrund der parallelen Verarbeitung (kaskadierte Verarbeitung) für die lexikalische Verarbeitung geringer sein könnten. Altani et al. (2022) untersuchten die Dauer zwischen der Fixation eines Stimulus und dessen Artikulation (*Temporal EVS*) für seriell und diskretes RAN und konnten nachweisen, dass diese bei seriell länger war als bei diskretem RAN und sich längere Verzögerungen bei RAN-Aufgaben mit Objekten als mit Zahlen ergaben. Damit stellten sie die mit der kaskadierten Verarbeitung einhergehende kognitive Belastung heraus. Bei geringeren kognitiven Ressourcen sollten daher schwierigere Aufgaben (lexikalischer Zugriff auf niedrigfrequente Stimuli) signifikant größere Effekte zeigen als einfachere Aufgaben (lexikalischer Zugriff auf hochfrequente Stimuli). Daher ist ein stärkerer Wortfrequenzeffekt für seriell als für diskretes RAN zu erwarten:

3. *Zeigt sich ein stärkerer Wortfrequenzeffekt im seriellen als im diskreten RAN für die Latenzen?*

Während Stimulus<sub>k-1</sub> artikuliert wird und parallel dazu Stimulus<sub>k</sub> lexikalisch verarbeitet wird, könnte die kaskadierte Verarbeitung die Artikulation jedes Stimulus im seriellen RAN verlangsamen. Bei stärkerer Belastung des Systems sollte die kaskadierte Verarbeitung frühe lexikalische Verarbeitungsprozesse betreffen. Für den Wortlängeneffekt

wird kein Unterschied zwischen seriellen und diskreten Latenzen erwartet, da sich die postlexikalische Verarbeitung nicht mit der Artikulation von Stimulus  $k-1$  überschneiden sollte.

4. *Lässt sich die Annahme, dass es keinen Unterschied für den Wortlängeneffekt im seriellen und diskreten RAN gibt, bestätigen?*

Wie in den meisten Studien zum SAE und SSE werden serielle und diskrete RAN-Aufgaben mit einem identischen Stimulus-Set durchgeführt (vgl. Altani et al., 2018; Altani et al., 2020b), um die Leistungen in beiden RAN-Aufgaben vergleichen zu können. Alleinstellungsmerkmal von Studie 1 ist die Trennung der Artikulationszeiten von den Gesamtzeiten, sodass diese neben den Latenzen korrekt benannter Stimuli sowohl für serielles als auch diskretes RAN analysiert werden können. Obwohl alphanumerisches RAN stärker mit der Leseflüssigkeit korreliert als nicht-alphanumerisches RAN (Araújo et al., 2015), sollen Objekte für die RAN-Aufgabe verwendet werden, da nur Objekte nach Wortfrequenz und Wortlänge manipuliert werden können.

Die Objekt-Stimuli werden orthogonal entsprechend der beiden sprachlichen Eigenschaften der Wortfrequenz (hochfrequent vs. niedrigfrequent) und der Wortlänge (ein- und zweisilbig vs. drei- und viersilbig) manipuliert und nach semantischer Kategorie kontrolliert. Folgende vier RAN-Aufgaben werden jeweils in der seriellen und diskreten RAN-Bedingung durchgeführt: 1) hochfrequente, ein- und zweisilbige Stimuli, 2) hochfrequente, drei- und viersilbige Stimuli, 3) niedrigfrequente, ein- und zweisilbige Stimuli und 4) niedrigfrequente, drei- und viersilbige Stimuli (siehe Appendix A). Darüber hinaus wird die Leseflüssigkeit von Wort- und Nichtwortlisten erfasst. Anhand einer ANOVA mit Messwiederholung werden die Unterschiede zwischen seriellem und diskretem RAN hinsichtlich der Effekte von Wortfrequenz und Wortlänge und der SSE anhand einer hierarchischen Regressionsanalyse überprüft. Im folgenden Kapitel wird Studie 1 beschrieben.

## 4.2 „Frühe“ vs. „späte“ sprachliche Verarbeitungsschritte<sup>2</sup>

### Abstract

**Background:** Theoretical accounts differ on whether they attribute the RAN–reading relationship to early or late stages of word-form processing. The present study aimed to further specify the underlying processes by directly comparing serial and discrete object RAN. An orthogonal manipulation of the word-form frequency and word length of the objects’ names was applied. Based on previous findings, we sought to replicate a word frequency effect in serial RAN. When comparing the two RAN formats, we expected effects of word frequency to be more pronounced in serial than in discrete RAN, whereas no difference between serial and discrete RAN in word length effects was expected.

**Methods:** Sixty-six German adults performed a reading fluency task and serial and discrete object RAN tasks. A regression analysis was run with naming latencies, articulation times and total times as independent variables and reading fluency as the dependent variable.

**Results:** RAN naming latencies confirmed the serial superiority effect, i.e. performance in serial RAN clearly predicted reading fluency, even after controlling for discrete RAN performance; the opposite was not true. Word frequency and word length differentially affected RAN performance: In serial RAN, naming latencies experienced a word frequency effect but no word length effect, whereas in discrete RAN, the reverse pattern was observed.

**Conclusions:** The present findings provide evidence for the predictive power of serial RAN performance for reading fluency. The pattern of lexical effects suggests that this predictive nature is associated with early processes involving access to the mental lexicon. Results are

---

<sup>2</sup> Dieses Kapitel entspricht: Gerhards, L., Schmidt, B. M., Stenneken, P., & Schabmann, A. (2023). *The RAN-Reading Relationship and Linguistic Effects* [Manuscript submitted for publication]. Department of Special Education and Rehabilitation, University of Cologne.

discussed in relation to cascaded lexical processing of multiple successive elements being at the core of the RAN-reading relationship.

*Keywords:* reading fluency, serial and discrete RAN, adult, word frequency, word length

### **Implications for Practice**

#### **What is already known about this topic**

- RAN performance is considered a predictor of reading fluency.
- Reading fluency correlates more strongly with serial RAN than with discrete RAN (serial superiority effect).
- Serial RAN performance has been found to be affected by the word-form frequency of the to be named items.

#### **What this paper adds**

- Results confirmed the specific predictive value of serial RAN for reading fluency in repeated object RAN.
- Lexical and post-lexical stimulus manipulations showed differential effects when directly comparing serial and discrete RAN tasks.
- Overall findings support a serial superiority effect arising from cascaded processing of multiple elements in serial RAN.

#### **Implications for theory, policy or practice**

- The present study supports attributing the RAN-reading relationship to rather early (lexical) stages of word-form processing.
- Retrieval from the mental lexicon in multiple-element processing should be promoted in reading instruction.

- Lexical word-form retrieval in multiple-element processing could be used as an indicator of reading disorders and should be considered in the treatment of reading disorders.

### **The RAN-Reading Relationship and Linguistic Effects**

Rapid automatized naming (RAN) of a set of randomly presented highly familiar stimuli (objects, colors, letters or digits) is a strong predictor of reading fluency in phonologically transparent orthographies like German (e.g., Landerl & Wimmer, 2008) and across other languages (see Georgiou, Aro et al., 2016; Landerl et al., 2019). In the research literature, RAN is assessed either with a serial or discrete task. In the serial RAN task (SER), the stimuli are presented simultaneously on a paper or a screen (e.g., Denckla & Rudel, 1974; Denckla & Rudel, 1976b; Jones et al., 2009), whereas in the discrete RAN task (DIS), the stimuli are presented one after the other on a screen (e.g., Altani et al., 2020b; Bowers & Swanson, 1991).

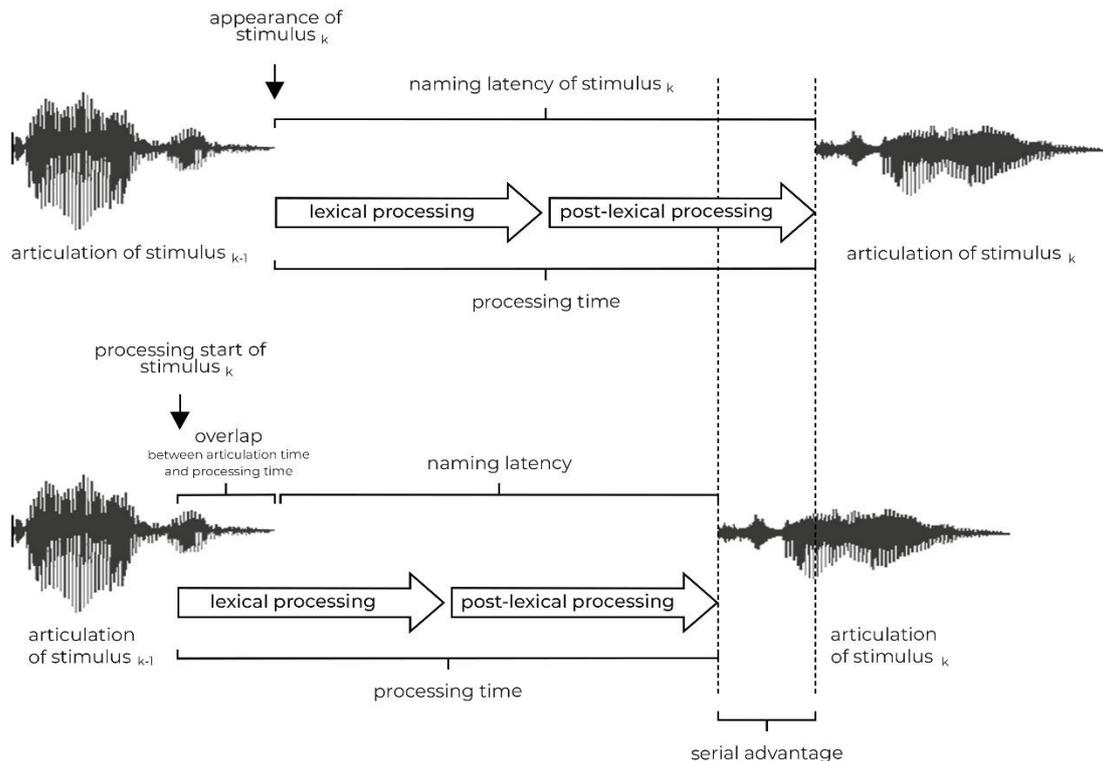
#### **Serial Advantage**

It is known that serial naming is faster than discrete naming (*serial advantage*). This has been found in young adults (e.g., Jones et al., 2009), children (e.g., Altani et al., 2020b; Gasperini et al., 2014; Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018; Zoccolotti et al., 2013; Zoccolotti et al., 2015) and beginning readers (e.g., Altani et al., 2020b; Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018). A possible explanation for the serial advantage could be the *cascaded processing* hypothesis (Protopapas et al., 2013a), which posits that in SER, the next stimulus is already being processed while the prior stimulus is being articulated. Empirical support for this hypothesis is provided by an eye-tracking study by Gordon and Hoedemaker (2016). The authors showed in undergraduates that

participants fixate on a stimulus while they are still naming the previous stimulus. Figure 4.2.1 illustrates the partial overlap in the processing of successive stimuli (see Altani et al., 2020b).

**Figure 4.2.1**

*The Cascaded Processing Hypothesis (adapted from Altani et al., 2020b)*



*Note.* The upper panel shows processing in discrete naming, where stimulus presentation occurs sequentially. Articulation time and naming latency do not overlap, so stimulus presentation and processing onset can be precisely determined. The lower panel shows processing during serial naming, where the stimuli are presented simultaneously. During the vocalization of stimulus  $k-1$ , stimulus  $k$  can already be processed (overlap), resulting in a smaller observable latency.

### **Frequency and Length Effects in RAN**

In order to understand the underlying processes of the RAN-reading relationship, two linguistic effects are important: (1) the word frequency effect (e.g., Forster & Chambers, 1973; Oldfield & Wingfield, 1965) and (2) the word length effect (e.g., Eriksen et al., 1970; Klapp et al., 1973). Both serve as empirically well-established markers for the activation and retrieval of word forms in speech production (Graves et al., 2007; Levelt et al., 1999).

The *word frequency effect* describes the fact that high-frequency words are activated and retrieved faster than low-frequency words. Supported by countless empirical evidence, the word frequency effect has been attributed to the level of access to word representations (i.e., *lexical selection*), which precedes phonological encoding in speech production (cf. theoretical account in Levelt et al., 1999). Studies that manipulate the frequency of words in picture naming tasks have demonstrated a robust frequency effect (e.g., Friedmann et al., 2013; Székely et al., 2003). This remains evident for repeated naming of the same stimuli (three repetitions per stimulus, Jescheniak & Levelt, 1994). Word frequency has also been demonstrated to systematically affect naming performance in RAN tasks (Denckla & Rudel, 1974), although investigations of frequency effects in studies on the RAN-reading relationship are sparse (but see a series of object RAN studies by Araújo et al., 2019; 2021).

The *word length effect* is attributed to the later *post-lexical* level of speech production (phonological encoding), assuming that it takes longer to generate the phonological form of longer words (e.g., Meyer et al., 2003). In line with the sequential nature of phonological encoding and the retrieval of articulatory programs, picture naming requires longer naming latencies for polysyllabic compared to monosyllabic words (e.g., Friedmann et al., 2013; Roelofs, 2002; Santiago et al., 2000). Compared to the frequency effect, empirical demonstrations of word length effects are less consistent, and some studies failed to produce such an effect in object picture naming in typical readers (e.g., Bachoud-Lévi et al., 1998;

Damian et al., 2010). To the best of our knowledge, the effect of word length or syllable number has not yet been examined in RAN study paradigms.

### **RAN as a Predictor for Reading - the Serial Superiority Effect**

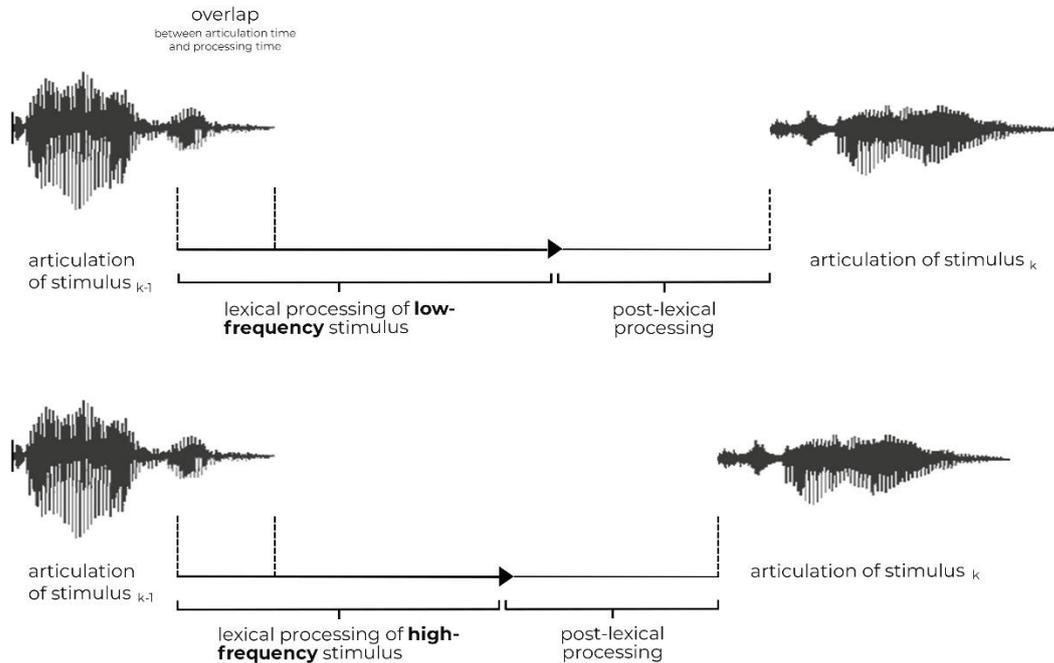
RAN has frequently been shown to be a predictor of reading fluency (e.g., Georgiou, Aro et al., 2016; Georgiou & Parrila, 2020; Landerl et al., 2019), but the source of RAN's predictive power for reading is still discussed (Georgiou & Parrila, 2020). Most frequently mentioned are efficient access to and retrieval of phonological codes from long-term memory (Lervåg & Hulme, 2009; Torgesen et al., 1994), general processing speed (Kail & Hall, 1994; Kail et al., 1999), the efficient activation of frequent orthographic patterns (Bowers & Wolf, 1993), and the automaticity of print to sound conversion (Pan et al., 2013). However, RAN is not correlated with orthographic processing (Rothe et al., 2014; see also: Georgiou et al., 2009), and accounts for additional variance in reading fluency when controlling for processing speed (e.g., Cutting & Denckla, 2001; Georgiou et al., 2009), orthographic processing (e.g., Georgiou et al., 2008; Li et al., 2012) or phonological processing (e.g., Parrila et al., 2004).

Measures of SER are more strongly correlated with reading fluency than DIS. This *serial superiority effect* has been found in different languages (e.g., Dutch: de Jong, 2011; English: Altani et al., 2018; Georgiou & Parrila, 2020; Logan et al., 2011; Greek: Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017; Georgiou et al., 2013; Protopapas et al., 2013a; Italian: Zoccolotti et al., 2013). Some researchers assume this effect to be a consequence of the serial nature of both RAN and reading tasks (left-to-right downward scanning, Georgiou et al., 2013), particularly as the association between reading fluency and SER was even stronger when reading was assessed similarly to RAN (left to right, line by line; e.g., Protopapas et al., 2013a). However, Protopapas et al. (2013b) found that the strength of the correlation with reading was essentially the same for a backward-digit RAN task (in which there is no natural left-to-right scanning) compared to the standard SER.

### **The Present Study**

The aim of the present study was to better understand the linguistic processes underlying RAN by investigating mechanisms of word form retrieval (lexical processing) and encoding (post-lexical processing) in SER and DIS. We chose object RAN to be able to manipulate the stimuli according to the linguistic variables (word frequency and word length) and used an identical set of stimuli for SER and DIS. We examined the performance of mature skilled readers to rule out developmental effects (e.g., greater or lesser formation of a stable mental lexicon; cf. Bonin et al., 2004).

*Word frequency effects:* In SER, lexical processes overlap partially with the articulation of stimulus  $k-1$  and therefore may exceed the end of the articulation of stimulus  $k-1$  (which makes frequency effects measurable, Figure 4.2.2). Although longer latencies for low-frequency words are expected for both SER and DIS, parallel processing in SER requires enhanced cognitive resources (see Altani et al., 2022), leaving fewer resources for lexical processing. We hypothesize that with fewer cognitive resources available, more difficult tasks (lexical access to low-frequency stimuli) should show significantly larger effects than easier tasks (lexical access to high-frequency stimuli) (Paucke et al., 2015; Reissland & Manzey, 2016). Thus, we expect a stronger frequency effect in SER than in DIS.

**Figure 4.2.2***Linguistic Effects in Serial RAN*

*Note.* In serial RAN, lexical processes overlap with the articulation of stimulus  $k-1$ . This overlap may only be partial, so latency differences for low and high frequency words are measurable. Low-frequency words need a longer processing time than high-frequency words. Since the cascaded processing in serial RAN requires more cognitive resources than in discrete RAN, where there is no overlap, we assume a stronger frequency effect for serial than for discrete RAN.

*Word length effects:* We expect the word length effect to be similar for both SER and DIS, because post-lexical processing might not overlap with the articulation of stimulus  $k-1$  (Figure 2). In detail, we pose the following research questions:

1. Previous research has confirmed the serial advantage. In a first step, we try to replicate the serial advantage in response times for a German sample.

2. In accordance with the implications of the cascaded processing hypothesis, we ask whether different linguistic effects appear for SER and DIS.
  - a. We assume the frequency effect to be stronger in SER than in DIS latencies, because cognitive resources for lexical processing might be lower in SER due to cascaded processing. For articulation times, we cannot present a concrete hypothesis based on the literature, but we assume that in SER, parallel processing of the articulation of stimulus  $k-1$  and the lexical retrieving of stimulus  $k$  ought to slow the articulation.
  - b. For the word length effect, we expect no difference between SER and DIS latencies, since post-lexical processing ought not to overlap with the articulation of stimulus  $k-1$ .
3. We try to replicate the serial superiority effect for predicting reading fluency. In line with previous research, we assume this effect to appear in German just as in other languages.

## Method

### Participants

The participants in this study were 66 native German-speaking university students (54 female) aged between 19 and 38 years (mean age = 25.02 years,  $SD = 4.03$ ) and recruited at the University of Cologne. All participants had (corrected to) normal vision and were skilled readers according to the norms of the “Salzburger Lese- und Rechtschreibtest” (Salzburg Reading and Spelling Test - SLRT-II, Moll & Landerl, 2014; see below for a description). No participants had any kind of behavioral or sensory disorders.

## **Measures and Stimuli**

### ***Reading Fluency***

We administered the SLRT-II (Moll & Landerl, 2014). Participants read aloud lists of words and non-words of increasing length and complexity and decreasing frequency. The total number of words and non-words read correctly within one minute was scored.

### ***Rapid Automatized Naming***

Each participant performed four object SER and DIS tasks (five identical stimuli for serial and discrete). The stimuli were orthogonally manipulated with respect to word frequency and length of the corresponding words. According to the lexical database dlexDB (Heister et al., 2011), high-frequency stimuli had an average frequency of 460.60 per million tokens, low-frequency stimuli an average of 76.10 per million tokens, differing significantly ( $t(18) = 5.217$ ,  $p < .001$ ). Short words had an average of 1.5 syllables and long words of 3.1 syllables, differing significantly ( $t(18) = -8.232$ ,  $p < .001$ ). The stimulus objects were full-color pictures chosen from five semantic categories (animals, clothing, musical instruments, fruits and household objects).

## **Procedure**

Participants were tested individually in a quiet room at the university lab. As the stimuli were the same for SER and DIS, the sequence of conditions was randomized. We did not change the sequence of the individual tasks, but included breaks to avoid fatigue effects. The stimuli were on a white background on a computer screen (23.8" EIZO FORIS FS2423). Participants were instructed to name the stimuli as fast and accurately as possible. Both SER and DIS were preceded by a practice trial to ensure familiarity.

In SER, five stimuli were repeated ten times randomly in a format of ten rows by five stimuli in the center of the computer screen. Participants were required to name the stimuli in the direction of reading. In DIS, each stimulus was presented in the center of the computer

screen until a complete response was given, at which point the experimenter pressed a button to present the next stimulus. An acoustic stimulus (beep tone) was presented simultaneously with the appearance of each stimulus. Responses were digitally recorded and analyzed using the Audacity® software (version 2.2.2; Audacity Team, 2018).

### **Data Analysis**

Incorrect responses were excluded from analyses (1.05% of responses in total). The total time for each RAN task was measured from the appearance of the first stimulus (SER: matrix of stimuli) to the vocalization of the final stimulus. Naming latencies were defined as total time minus the articulations (see Figure 1). The onset and the offset of vocalization were determined manually from the oscillogram using Audacity®. Naming latencies were measured from the end of the vocalization of a particular stimulus (or the start of beep tone in DIS, respectively) to the onset of vocalization of the subsequent stimulus. Naming latencies and articulation times were averaged over all correctly named stimuli per task.

The Statistical Package for Social Sciences (IBM SPSS Statistics, Version 27) was used to perform all analyses. There were no missing data. Given an expected medium effect size (Cohens  $f = 0.25$ ) and a power of .95, the sample size is sufficient for the analysis undertaken (Alpha = .01).

## Results

### Descriptive Statistics

Descriptive statistics for all relevant variables are given in Table 4.2.1 and correlations between measures in Table 4.2.2. As expected, reading fluency was more strongly correlated with measures of SER than of DIS. The only discrete measure that correlated significantly with reading fluency was latencies of high-frequency short words. All other correlations with discrete measures were insignificant for latencies, articulation and total times. The mean correlation between latency and articulation time was higher for SER ( $r = .559$ ) than for DIS ( $r = .544$ ; Table 4.2.4 in the supplementary material).

**Table 4.2.1***Latency, Articulation Time and Total Time per Stimulus in Seconds in Serial and Discrete RAN*

Task	Frequency	Length	Latency <sup>*)</sup>				Articulation Time <sup>*)</sup>				Total Time <sup>*)</sup>			
			M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max	M	SD	Min	Max
Serial RAN	High-frequency	short	0.126	0.052	.05	.31	0.476	0.071	.37	.74	0.602	0.109	.44	1.01
		long	0.121	0.049	.04	.25	0.609	0.073	.46	.81	0.730	0.108	.51	1.00
	Low-frequency	short	0.140	0.056	.07	.43	0.488	0.066	.36	.71	0.628	0.105	.47	.95
		long	0.138	0.079	.05	.51	0.629	0.077	.44	.86	0.767	0.129	.49	1.18
Discrete RAN	High-frequency	short	0.549	0.065	.43	.79	0.339	0.049	.26	.46	0.888	0.092	.70	1.15
		long	0.558	0.070	.43	.79	0.504	0.070	.36	.65	1.063	0.113	.80	1.35
	Low-frequency	short	0.538	0.058	.37	.72	0.355	0.057	.21	.49	0.893	0.093	.72	1.09
		long	0.563	0.071	.45	.80	0.536	0.081	.38	.77	1.099	0.122	.83	1.38

*Note.* \*) time per stimulus in seconds

**Table 4.2.2***Correlations between RAN Components and Reading Fluency*

Task	Time	1	2	3	4	5	6	7
1	Serial Latency							
2	Articulation	.63**						
3	Total Time	.88**	.92**					
4	Discrete Latency	.45**	.56**	.57**				
5	Articulation	-.17	.23	.06	.40**			
6	Total Time <sup>*)</sup>	.17	.48**	.38**	.84**	.83**		
7	Reading	-.40**	-.41**	-.45**	-.25*	-.02	-.16	

Note. \* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ .

### Naming Latencies

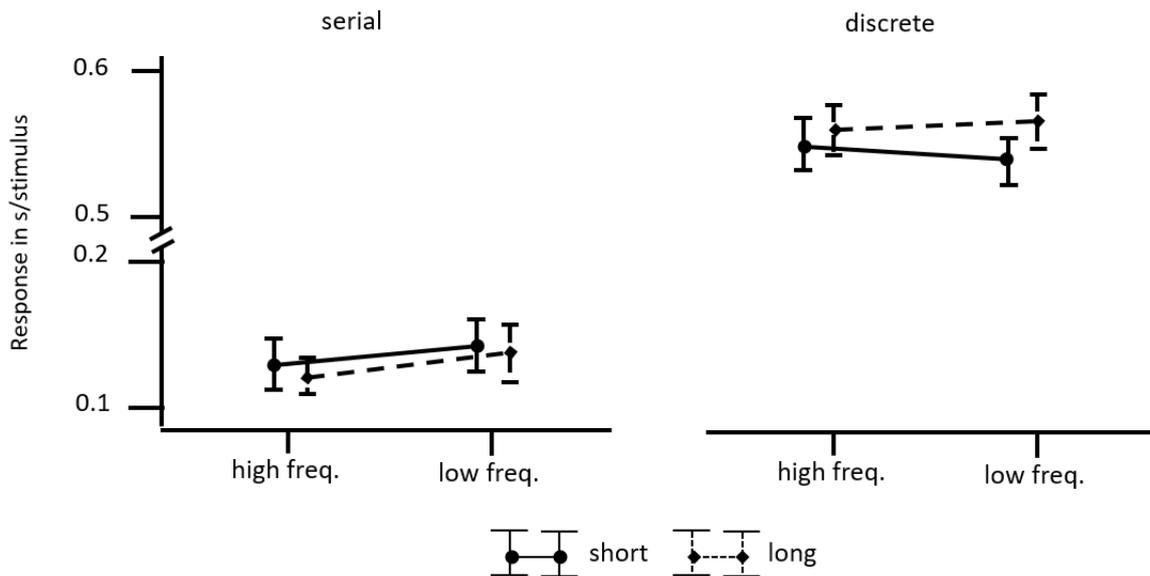
*Serial advantage:* A two (condition)  $\times$  two (word frequency)  $\times$  two (word length) repeated measurement ANOVA with naming latencies as dependent variable revealed a significant main effect of condition ( $F(1, 65) = 3495.82, p < .001, \eta_p^2 = .982$ ), indicating the serial advantage. Naming latencies in SER ( $M = .13, SD = .05$ ) were significantly shorter than in DIS ( $M = .55, SD = .06$ ).

*Frequency and length effects:* There was neither a main effect of word frequency ( $F(1, 65) = 3.83, p = .055, \eta_p^2 = .056$ ) nor a main effect of word length ( $F(1, 65) = 3.81, p = .055, \eta_p^2 = .055$ ). The interaction terms condition  $\times$  word frequency ( $F(1, 65) = 9.22, p = .003, \eta_p^2 = .124$ ) and condition  $\times$  word length were significant ( $F(1, 65) = 12.56, p = .001, \eta_p^2 = .162$ ). Post hoc tests revealed a significant difference between high- and low-frequency stimuli in SER ( $F(1, 65) = 12.04, p = .001, \eta_p^2 = .156$ ). Latencies were significantly longer for low-frequency stimuli than for high-frequency stimuli. The difference between short and long stimuli was non-significant ( $p = .464$ ). In DIS, post hoc comparisons revealed no significant difference between high- and low-frequency stimuli ( $p = .530$ ).

However, the difference between short and long stimuli was significant ( $F(1, 65) = 16.28, p < .001, \eta_p^2 = .200$ ). Naming latencies were significantly longer for long stimuli than for short stimuli. Further analysis revealed that this was only the case for low-frequency stimuli in this condition ( $F(1, 65) = 15.482, p = .001, \eta_p^2 = .192$ ). The interaction between word frequency and word length ( $F(1, 65) = 1.64, p = .205, \eta_p^2 = .025$ ) as well as the interaction among condition, word frequency and word length ( $F(1, 65) = 1.94, p = .168, \eta_p^2 = .029$ ) were non-significant (see Figure 4.2.3).

**Figure 4.2.3**

*Interaction Effects for Latency*



*Note.* High freq. = high-frequency stimuli; low freq. = low-frequency stimuli; short = short stimuli; long = long stimuli.

### Articulation Times

*Serial advantage:* A two (condition)  $\times$  two (word frequency)  $\times$  two (word length) repeated measurement ANOVA with articulation times as dependent variable revealed a significant main effect for condition ( $F(1, 65) = 163.07, p < .001, \eta_p^2 = .715$ ), indicating longer articulation times in SER ( $M = .55, SD = .06$ ) than in DIS ( $M = .43, SD = .06$ ).

*Frequency and length effects:* A main effect of word frequency ( $F(1, 65) = 35.66, p < .001, \eta_p^2 = .354$ ) was found. High-frequency stimuli were named faster than low-frequency stimuli. A main effect of word length ( $F(1, 65) = 2473.36, p < .001, \eta_p^2 = .974$ ) was found. Short stimuli were named faster than long stimuli. No significant effects for condition  $\times$  word frequency ( $F(1, 65) = 1.85, p = .179, \eta_p^2 = .028$ ), word frequency  $\times$  word length ( $F(1, 65) = 2.92, p = .092, \eta_p^2 = .043$ ) and condition  $\times$  word frequency  $\times$  word length ( $F(1, 65) = .361, p = .550, \eta_p^2 = .006$ ) were found. The interaction between condition and word length was significant ( $F(1, 65) = 17.74, p < .001, \eta_p^2 = .214$ ), indicating somewhat larger differences for DIS. Post hoc comparisons revealed a significant difference between short and long words in SER ( $F(1, 65) = 610.897, p < .001, \eta_p^2 = .904$ ), and in DIS ( $F(1, 65) = 1251.696, p < .001, \eta_p^2 = .951$ ), with shorter articulation times for short compared to long stimuli.

### Total Times

*Serial advantage:* A two (condition)  $\times$  two (word frequency)  $\times$  two (word length) repeated measurement ANOVA with total times as dependent variable indicated a main effect of condition ( $F(1, 65) = 493.32, p < .001, \eta_p^2 = .884$ ); total times in SER ( $M = .68, SD = .10$ ) were significantly shorter than in DIS ( $M = .99, SD = .10$ ).

*Frequency and length effects:* There was a main effect of word frequency ( $F(1, 65) = 29.479, p < .001, \eta_p^2 = .312$ ; high frequency stimuli were named faster than low-frequency stimuli), and a main effect of word length ( $F(1, 65) = 1199.538, p < .001, \eta_p^2 = .949$ ; short stimuli were named faster than long stimuli). Among the interaction terms, the effect of

condition  $\times$  word length ( $F(1, 65) = 35.212, p < .001, \eta_p^2 = .351$ ) was significant, indicating larger differences for the DIS.

Post hoc tests revealed a significant difference between short and long stimuli in both SER ( $F(1, 65) = 338.767, p < .001, \eta_p^2 = .839$ ), and DIS ( $F(1, 65) = 1012.204, p < .05, \eta_p^2 = .940$ ); short stimuli were named faster than long stimuli. The difference between high- and low-frequency stimuli was significant for short stimuli ( $F(1, 65) = 8.665, p < .05, \eta_p^2 = .118$ ; short high-frequency stimuli were named faster than short low-frequency stimuli), as well as for long stimuli ( $F(1, 65) = 20.897, p < .001, \eta_p^2 = .243$ ; long high-frequency stimuli were named faster than long low-frequency stimuli). The interaction terms condition  $\times$  word frequency ( $F(1, 65) = 1.714, p = .195, \eta_p^2 = .026$ ) as well as condition  $\times$  word frequency  $\times$  word length ( $F(1, 65) = 1.480, p = .228, \eta_p^2 = .022$ ) were non-significant.

### **Contribution of Serial and Discrete RAN to Reading Fluency**

Linear regression with the RAN measures as predictors and reading fluency as dependent variable revealed the following results (Table 3): Naming latencies in SER accounted for 10% of the variance in reading fluency after controlling for naming latencies in DIS (Model 1). When serial latencies were included first, they accounted for 16% of the variance in reading fluency, and discrete latencies had no significant effect (Model 2). We found virtually the same effect for articulation times and total times (with the exception that the small effect of DIS was not significant if entered first into the equations). Thus, the serial superiority effect was confirmed in the present study paradigm.

**Table 4.2.3**

*Hierarchical Regression Analyses using Serial and Discrete Latency, Articulation Time and Total Time to predict Reading Fluency*

	Latency <sup>*)</sup>							Articulation Time <sup>*)</sup>							Total Time <sup>*)</sup>						
	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	B	SE B	95% CI for B		β	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	B	SE B	95% CI for B		β	R <sup>2</sup>	ΔR <sup>2</sup>	B	SE B	95% CI for B		β
					LL	UL						LL	UL						LL	UL	
	Model 1																				
Discrete	.06	.06*	-1.07	0.51	-2.08	-0.05	-.25*	.00	.00	-0.08	0.54	-1.15	0.99	-.02	.03	.03	-0.42	0.31	-1.04	0.21	-.16
+ Serial	.17	.10**	-1.80	0.64	-3.08	-0.51	-.36**	.18	.18**	-1.76	0.48	-2.71	-0.80	-.43**	.20	.18**	-1.12	0.30	-1.73	-.52	-.45**
	Model 2																				
Serial	.16	.16**	-2.00	0.57	-3.14	-0.86	-.40**	.17	.17**	-1.68	0.46	-2.61	-0.75	-.41**	.20	.20**	-1.12	0.28	-1.67	-0.57	-.45**
+ Discrete	.17	.01	-0.38	0.54	-1.46	0.71	-.09	.18	.01	0.35	0.50	-0.66	1.35	.08	.20	.00	0.02	0.31	-0.60	0.64	.01

*Note.* <sup>\*)</sup> Time per stimulus in seconds; \* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ .

## Discussion

The aim of the present study was to understand RAN as a predictor of reading fluency in advanced readers by specifying levels of underlying linguistic processing. Therefore, we manipulated object RAN stimuli with respect to word frequency and length to identify the relevant processing levels.

### Naming Latencies

*Serial advantage:* We confirmed the serial advantage for naming latencies. Serial latencies were shorter than discrete latencies. We interpret this as indicative of an overlap in processing, in accordance with the cascaded processing hypothesis. However, previous studies have confirmed the serial advantage only for naming rate (e.g., Altani et al., 2020b; Jones et al., 2009). By measuring serial latencies directly, our study was able to add knowledge about differences between SER and DIS in naming latencies as well.

*Frequency and length effects:* A word frequency effect on latencies was found for serial naming, but not for discrete naming. The former is consistent with the cascaded processing hypothesis. We assumed that cascaded processing in SER "subtracts" cognitive resources from lexical processing. When naming low-frequency words, the cognitive system has to function with lower resources and a more difficult task (compared to naming high-frequency stimuli). Therefore, lexical processing needs more time in SER and might occur even after the articulation of the current stimulus (see Paucke et al., 2015; Reissland & Manzey, 2016).

The lack of a frequency effect in discrete latencies was contradictory to our assumptions. Previous studies have not yet examined the word frequency effect in DIS. However, there are studies examining the frequency effect in picture naming tasks, in which pictures are presented in a discrete manner without repeating the stimuli. Frequency has been proven to have a rather robust effect on picture naming latencies, e.g., for native Dutch speakers (Jescheniak & Levelt, 1994) and for university graduates, undergraduates as well as students

in non-university-based tertiary education aged between 20 and 42 years (Oldfield & Wingfield, 1965).

We assume that no word frequency effect in DIS was found in this study because the participants are advanced readers with a great deal of practice. DIS requires fewer cognitive resources and the lexical processing system might not be challenged to the same extent as in SER (Altani et al., 2022). This interpretation is in accordance with studies showing that a word frequency effect is likelier to arise in less skilled readers for whom the RAN task is more challenging, and with studies controlling for age of acquisition (Barry et al., 2001; Bonin et al., 2001). For instance, Cop et al. (2015) found a greater frequency effect for undergraduate students working in a second language compared to native speakers.

Also contrary to our hypotheses, we found a word length effect in DIS but not in SER. We interpret this as evidence that in SER, the processing system (at the post-lexical level) is no longer influenced by cascaded processing, and therefore long words do not slow down processing.

The length effect for discrete naming was significant. This result is in line with previous findings in picture naming tasks (e.g., Friedmann et al., 2013; Santiago et al., 2000). However, in our view, this is still a surprising and interesting result, since one would expect length effects either for both tasks or only for serial naming. As with the positive word length effect found in DIS, we can only speculate: What if in serial naming (in which the participant faces a monitor with all repeated stimuli), phonological processing is gradually activated for all objects. Then, post-lexical processing might be of minor relevance, as the system is “ready” for all (there are only five) stimuli. In this task, phonological encoding, i.e., maintaining the correct order of phonological information and supplying it for articulation (cf. Levelt, 2002), might not be crucial. However, the decision about which of the stimuli comes next still has to be made (word

frequency effect). With discrete presentation, it might be much harder to have all stimuli in the phonological buffer (even though there are only five in this case too).

### **Articulation Times**

*Serial advantage:* For articulation times, we found the reverse of a serial advantage, namely longer articulation times for SER. This is an interesting result, as previous studies found a serial advantage for total time (e.g., Altani et al., 2020b; Jones et al., 2009; Zoccolotti et al., 2013). However, in our study, latencies and articulation times were split. Thus, the results show that the serial advantage is mainly driven by latencies. We assume that lexical (pre-)-processing of the subsequent stimulus during pronunciation of the preceding stimulus in the serial task might slow articulation. Moreover, the higher articulation times in the serial condition could reflect strategic task effects. In the serial condition, articulation durations are non-critical for the continuation of the task, whereas in the discrete condition, articulation durations directly affect the presentation onset of the subsequent stimulus (for a related explanation regarding minimized non-speech intervals in the serial condition, see Protopapas, Katopodi, Altani, Sagris et al., 2018). Overall, the parallel processing (overlap between articulation of stimulus  $k-1$  and processing of stimulus  $k$ ) is also reflected in the larger mean correlation between latency and articulation time for SER compared to DIS.

*Frequency and length effects:* Although there was a general effect of word frequency, we found no differences in this effect with respect to RAN condition. This was expected, since articulation times primarily represent a post-lexical stage of processing, while the frequency effect is lexical. In accordance with previous findings (e.g., Friedmann et al., 2013; Roelofs, 2002; Santiago et al., 2000), we found a word length effect in both DIS and SER. This effect was somewhat smaller in the serial condition, probably due to longer articulation times.

### **Total Times**

*Serial advantage:* This was primarily driven by shorter latencies in the serial condition, which was a strong effect. Therefore, a serial advantage was also found for total times.

*Frequency and length effects:* Both frequency and length effects were found. We found no differences in the frequency effect between the RAN conditions, but as with articulation times, length interacted with condition.

### **Serial Superiority Effect**

Consistent with previous findings in other languages (e.g., Georgiou et al., 2013), we confirmed the serial superiority effect for this study paradigm. A linear regression revealed that latencies, articulation times and total times in SER predicted performance in reading fluency over and above DIS, while DIS was not predictive after controlling for SER. We assume that our findings of stronger word frequency effects in SER in a sample of skilled readers (compared to non-significant frequency effects in DIS) reflect the serial tasks' higher sensitivity to lexical processes (i.e., more efficient access to word representations underlying the RAN-reading relationship, cf. Araújo et al., 2019), which might be why SER is more strongly related to reading. In line with this, our data are consistent with previous studies assuming that SER is (at least in part) a measure of lexical retrieval speed (e.g., de Jong, 2011), which is also relevant in advanced reading.

### **Limitations and Future Directions**

Some limitations regarding the explanatory power of this study are worth mentioning. Our healthy adult sample made be difficult to find effects of frequency and length, especially for discrete RAN. Therefore, future studies should examine younger groups of children as well as persons with different levels of reading skills and/or additionally control for age of acquisition (cf. Bonin et al., 2001). The fact that we used only objects as RAN stimuli might also be seen as a shortcoming. However, if other forms of stimuli were used, it would be

difficult to manipulate them orthogonally along the two dimensions of word frequency and word length. Another critique concerns the fact that we did not randomize the sequence of individual RAN tasks (although we did randomize RAN conditions), so the results could be influenced by fatigue effects. However, we had breaks of 5 to 10 minutes between tasks to counteract fatigue and the stimuli were not the same within conditions. Furthermore, this argument would primarily hold for frequency effects, as in our sequence, low-frequency words followed the high-frequency ones. However, we found frequency effects only for SER, but not for DIS, even though both were tested under the same conditions.

### **Conclusion**

Our data support the relevance of the simultaneous processing of multiple elements for both serial naming and fluent reading, as has been suggested by RAN tasks for reading acquisition (Altani et al., 2018), eye movements in RAN tasks (Eberharter, 2019) and studies on developmental dyslexia (Stenneken et al., 2011). They also provide additional evidence for the cascaded processing hypothesis (Protopapas et al., 2013a).

Despite the limitations mentioned above, we believe that the strength of this study lies in the separation of articulation time from total response time, and thus in the assessment of latencies in both SER and DIS, which allows us to attribute different post-stimulus times to lexical vs. post-lexical processes. We showed that on the level of latencies, the SER measure might be influenced by lexical processes, while DIS might be more strongly influenced by post-lexical processing (though both show post-lexical effects when measuring articulation times and total times). We conclude that the serial superiority effect is primarily lexical in German, in that it reflects quick and accurate retrieval from the mental lexicon in multiple-element processing, consistent with the work of Araújo et al. (2019; see also de Jong, 2011; Protopapas et al., 2013a). Moreover, the present findings have practical implications in that retrieval from the mental lexicon in multiple-element processing should be taken into greater

account in reading instruction and probably in diagnosing and treating reading disorders as well.

### **4.3 Diskussion der Ergebnisse von Studie 1**

Die Ergebnisse von Studie 1 zeigen, dass die serielle RAN-Leistung die Leseflüssigkeit über die diskrete RAN-Leistung hinaus vorhersagt. Damit ist der SSE für den deutschen Sprachraum für die Latenzen, Artikulationszeiten und Gesamtzeiten bestätigt. Die diskrete RAN-Leistung sagt nach Kontrolle von der seriellen RAN-Leistung die Leseflüssigkeit nicht signifikant vorher (Studie 1, Forschungsfrage 1). Des Weiteren kann der SAE für die Latenzen und Gesamtzeiten ebenfalls bestätigt werden, da sich schnellere Leistungen im seriellen als im diskreten RAN für die beiden Zeitmessungen zeigen (Studie 1, Forschungsfrage 2). Es wird angenommen, dass insbesondere die Latenzen den SAE bestimmen. Dieses Ergebnis unterstützt die CPH. Für die Artikulationszeiten ist hingegen ein Nachteil des seriellen gegenüber dem diskreten RAN-Format zu berichten, da die Artikulationszeiten im seriellen RAN bei identischem Stimulus-Set signifikant länger sind als im diskreten RAN. Dieses Ergebnis könnte auf die kaskadierte Verarbeitung zurückgeführt werden, welche die Artikulationen im seriellen RAN verlangsamen, weil parallel der nächste Stimulus bereits lexikalisch verarbeitet wird. Eine andere Erklärung dafür könnten strategische Aufgabeneffekte sein, die sich durch die endogen gesteuerte Bearbeitung ergeben (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017). Während im seriellen RAN die Artikulationszeit für die Präsentation des nächsten Stimulus nicht entscheidend ist, beeinflusst diese im diskreten RAN den Präsentationsbeginn des nachfolgenden Stimulus (siehe für eine ähnliche Interpretation Protopapas, Katopodi, Altani, Sagris et al., 2018). Die gezeigte größere, mittlere Korrelation zwischen Latenz und Artikulationszeit für serielles RAN im Vergleich zu diskretem RAN unterstützt ebenfalls die CPH aufgrund der parallelen Verarbeitungsschritte.

Es zeigt sich ein Wortfrequenzeffekt für die Latenzen im seriellen RAN, aber nicht im diskreten RAN. Der Wortfrequenzeffekt für seriellles RAN stimmt mit der CPH überein, da die kognitiven Ressourcen für die lexikalische Verarbeitung aufgrund der kaskadierten Verarbeitung geringer sein könnten und demnach niedrigfrequente Objektbegriffe schwieriger zu verarbeiten sind als hochfrequente Objektbegriffe. Dadurch benötigt die lexikalische Verarbeitung mehr Zeit und kann auch noch nach der Artikulation des aktuellen Stimulus stattfinden (vgl. für das *Dual-Task-Paradigma* Paucke et al., 2015; Reissland & Manzey, 2016). Entgegen den Erwartungen zeigt sich kein signifikanter Wortfrequenzeffekt für die Latenz im diskreten RAN. Die Literatur zeigt bei Erwachsenen einen robusten Effekt der Wortfrequenz auf die Latenz beim Bildbenennen, bei dem die Stimuli nicht wiederholt werden (Jescheniak & Levelt, 1994; Oldfield & Wingfield, 1965). Eine Erklärung für dieses Ergebnis könnte sein, dass die Versuchsteilnehmer geübte Leser sind und somit voll entwickelte Lesefähigkeiten aufweisen. Insbesondere das diskrete RAN erfordert weniger kognitive Ressourcen, sodass die lexikalische Verarbeitung nicht so stark gefordert wird wie beim seriellen RAN. Gestützt wird diese Interpretation durch Studien, die den Wortfrequenzeffekt bei weniger geübten Lesern zeigen konnten und Studien, die zusätzlich das Erwerbsalter von Objektbegriffen berücksichtigten (Barry et al., 2001; Bonin et al., 2001).

Für den Effekt der Wortlänge zeigt sich das umgekehrte Muster: Der Wortlängeneffekt ist für die Latenz im diskreten RAN signifikant, aber nicht für die Latenz im seriellen RAN. Der signifikante Wortlängeneffekt für die Latenz im diskreten RAN stimmt mit empirischen Befunden überein, die den Wortlängeneffekt bei der Bildbenennung zeigten (Friedmann et al., 2013; Santiago et al., 2000). Dennoch ist dieses Ergebnis überraschend, da dieser entweder für beide RAN-Formate oder für seriellles RAN erwartet wurde. Der nicht signifikante Effekt der Wortlänge für die Latenz im seriellen RAN könnte damit erklärt werden, dass die phonologische Enkodierung (Aufrechterhaltung der richtigen Reihenfolge der phonologischen Informationen

und deren Bereitstellung für die Artikulation; Levelt, 2002) durch die kaskadierte Verarbeitung nicht beeinflusst wird. Demnach sollten lange Wörter die Verarbeitung nicht verlangsamen. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass beim seriellen RAN die phonologische Enkodierung von geringerer Bedeutung ist, weil die zu benennenden (nur fünf) Stimuli bereits aktiviert sind (simultane Präsentation der Stimuli). Die Entscheidung, welcher der Stimuli als nächstes kommt, muss jedoch noch getroffen werden (vgl. Wortfrequenzeffekt). Beim diskreten RAN könnte die Aufrechterhaltung der fünf Stimuli schwieriger sein, da die Versuchsteilnehmer die nachfolgenden Stimuli nicht vorausschauen können.

Die Ergebnisse von Studie 1 unterstützen die CPH für serielles RAN (Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018). Sowohl der bestätigte SAE, der primär durch die Latenzen bestimmt wird, als auch die längeren Artikulationszeiten im seriellen RAN im Vergleich zum diskreten RAN können durch die CPH erklärt werden. Der SAE scheint primär lexikalische Verarbeitungsprozesse widerzuspiegeln. Auch die stärkeren Wortfrequenzeffekte im seriellen RAN bei geübten Lesern im Vergleich zu nicht signifikanten Frequenzeffekten im diskreten RAN bestätigen die CPH und unterstreichen die höhere Sensitivität des seriellen RAN für frühe lexikalische Prozesse (Aktivierung der Wortform; vgl. Araújo et al., 2019). So scheinen die Latenzen des seriellen RAN stärker von frühen lexikalischen Prozessen beeinflusst zu werden, während die Latenzen des diskreten RAN stärker von späteren postlexikalischen Prozessen beeinflusst werden. Es wurden jedoch signifikante Wortlängeneffekte für die Gesamt- und Artikulationszeiten gezeigt. Daraus lässt sich schließen, dass serielles RAN zumindest teilweise ein Maß für die Aktivierung der Wortform bei der Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli zu sein scheint (de Jong, 2011). Dieses Ergebnis steht in Einklang mit den nachgewiesenen Wortfrequenzeffekten bei der Leseflüssigkeit (z. B. Rau et al., 2015).

Die Unterschiede in den sprachlichen Effekten zwischen Leistungen im seriellen und diskreten RAN basieren auf zum Teil parallel ablaufenden Verarbeitungsschritten im seriellen RAN. Allerdings gibt Studie 1 keinen Aufschluss darüber, welche kognitiven Funktionen für serielles RAN erforderlich sind, die bei diskretem RAN nicht relevant sind. Altani, Georgiou et al. (2017) wiesen darauf hin, dass die Unterschiede in der Verarbeitung von seriellen und diskretem RAN untersucht werden sollten, da die gemeinsamen Prozesse, die dem seriellen und diskreten RAN zugrunde liegen, nicht zur Erklärung des SSE beitragen (siehe auch Logan et al., 2011; Protopapas et al., 2013a). Auch die in Kapitel 2.4 präsentierten Erklärungsannahmen haben gezeigt, dass nach Kontrolle der zugrunde liegenden Prozesse von seriellen RAN (phonologische Verarbeitung, orthographische Verarbeitung) der SSE bestehen bleibt. So konnte gezeigt werden, dass die CPH sowohl für serielles RAN als auch für die Leseflüssigkeit von Wortlisten relevant ist. Für die kaskadierte Verarbeitung bzw. serielles RAN könnten unterschiedliche kognitive Verarbeitungsmechanismen relevant sein, die in der Literatur diskutiert werden (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017). In Studie 2 soll daher unter Berücksichtigung der kaskadierten Verarbeitung das PSTM als kognitiver Einflussfaktor für serielles und diskretes RAN sowie für die Leseflüssigkeit bei einer Stichprobe geübter erwachsener Leser überprüft werden.

## 5 Studie 2: Zugrunde liegende kognitive Funktionen

### 5.1 Theoretischer Hintergrund und Ziele von Studie 2

Die in Kapitel 2.4 dargestellte Evidenz zur CPH zeigt, dass unterschiedliche kognitive Verarbeitungsmechanismen für die kaskadierte Verarbeitung relevant sein können. So nahmen Protopapas et al. (2013a) an, dass die Kaskadierung kognitive Prozesse wie Exekutivfunktionen zur Koordination und Überwachung der einzelnen Stimuli erfordert, wobei von einer automatisierten Verarbeitung der einzelnen Stimuli, d.h. einer automatisierten Aktivierung der Wortform, ausgegangen wurde. Altani et al. (2017) überprüften diese Annahme, dass serielles RAN und Leseflüssigkeit gemeinsame Anforderungen an Exekutivfunktionen stellen. Sie untersuchten die von Miyake et al. (2000) definierten Exekutivfunktionen der Hemmung (*Inhibition*), des flexiblen Wechsels zwischen verschiedenen Aufgabenanforderungen (*Shifting*) und der Aktualisierung und Manipulation von im Arbeitsgedächtnis präsenten Informationen (*Updating*). Für die Verarbeitung im seriellen RAN wurde die Notwendigkeit der Hemmung bereits aktivierter Stimuli, die Speicherung und Überwachung aufeinanderfolgender Stimuli und der Wechsel von einem Stimulus zum nächsten angenommen. Diese Hypothese wurde widerlegt, da die Messungen der Exekutivfunktionen nicht mit der seriellen RAN-Leistung und der Leseflüssigkeit korrelierten, stattdessen aber mit diskreten RAN-Leistungen und der Leseflüssigkeit. Es sei an dieser Stelle anzumerken, dass für die Operationalisierung der Exekutivfunktionen diskrete Präsentationsformate verwendet wurden, was einen Einfluss genommen haben könnte (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017). Auch Gordon und Hoedemaker (2016) stellten in ihrer Blickbewegungsstudie heraus, dass für serielles RAN eine zeitliche Koordination erforderlich ist, sodass die Fixation des Stimulus der Artikulation mit einem bestimmten Abstand vorausgeht (siehe Kapitel 2.4), um die entsprechenden Informationen kurzzeitig im Arbeitsgedächtnis zu speichern. Dabei sollte die EVS nicht zu groß sein, damit die Stimulus-

Informationen noch effizient verarbeitet werden können. So müssen die Informationen der aufeinanderfolgenden Stimuli und deren Reihenfolge bis zur Artikulation aufrechtgehalten werden (Gordon & Hoedemaker, 2016), was die Aufgabe zur Erfassung des PSTM beschreibt. Unter Berücksichtigung der CPH könnte das PSTM daher für serielles RAN relevant sein. Ziel von Studie 2 ist es, die Beziehung zwischen den Leistungen von PSTM, RAN und der Leseflüssigkeit für den deutschsprachigen Raum zu untersuchen. Dazu soll zunächst der SSE repliziert werden (vgl. Gerhards, Schmidt et al., 2023). Die erste Forschungsfrage von Studie 2 lautet demnach:

- 1. Zeigt sich ein direkter Effekt der seriellen RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit und lässt sich der SSE replizieren, sodass die Beziehung zwischen der seriellen RAN-Leistung und der Leseflüssigkeit stärker ist als die Beziehung zwischen der diskreten RAN-Leistung und der Leseflüssigkeit?*

Neben dem seriellen RAN ist auch das PSTM ein Prädiktor für den Leseerwerb (Dufva et al., 2001) und für die Leseflüssigkeit (Jacobson et al., 2011), wobei noch unklar ist, inwiefern die serielle RAN-Leistung und Leistungen des PSTM jeweils unabhängig voneinander Varianz in der Leseflüssigkeit erklären. Studien belegen insbesondere den Einfluss von Leistungen in PSTM-Aufgaben auf das phonologische Rekodieren im frühen Leseerwerb, bei dem nach erfolgter GPK die phonologischen Repräsentationen bis zur Artikulation kurzzeitig im PSTM gespeichert werden (Cunningham et al., 2021; Dufva et al., 2001; Swanson et al., 2009). Der Zusammenhang zwischen PSTM-Leistungen und Leseflüssigkeit ist bei geübten erwachsenen Lesern bisher kaum untersucht worden: Studien berichteten, dass Erwachsene mit einer Lesestörung bei PSTM-Aufgaben schlechtere Leistungen aufweisen als durchschnittlich lesende Erwachsene (Amtmann et al., 2007; Tractenberg, 2002). Inkonsistente Ergebnisse zeigten sich in Studien, die den Einfluss von Leistungen in PSTM-, RAN- und PA-Aufgaben untersuchten (Georgiou et al., 2021; Georgiou et al., 2008; Parrila et al., 2004; Ziegler et al.,

2010). Neuere Studien zeigten, dass die *Immediate Serial Recall-Aufgaben* (z. B. Wiedergabe von Wortspannen) nicht nur die temporäre Aktivierung von Repräsentationen im Kurzzeitgedächtnis messen, sondern auch die Fähigkeit, die korrekte Reihenfolge der Stimuli zu erfassen. Erwachsene mit Dyslexie zeigten in PSTM-Aufgaben, bei denen die Reihenfolge der Stimuli korrekt wiedergegeben werden musste, schlechtere Leistungen als die Kontrollgruppe (Martinez Perez et al., 2013).

In Studie 2 wird untersucht, inwieweit der SAE (Kapitel 2.4) und der SSE (Kapitel 2.3) durch unterschiedliche kognitive Verarbeitungsmechanismen erklärt werden können. Ausgehend von der CPH ergeben sich unterschiedliche Effekte der PSTM-Leistung auf die Leistung in seriellen und diskreten RAN-Aufgaben: Serielles RAN sollte aufgrund der kaskadierten Verarbeitung eine deutlich höhere kognitive Beanspruchung des PSTM erfordern als diskretes RAN, sodass die Beziehung zwischen den Messungen von PSTM und seriellem RAN größer sein sollte als die Beziehung zwischen den Messungen von PSTM und diskretem RAN. Es gibt keine vergleichbaren Studien, die den Effekt der PSTM-Leistung auf die Leistung in seriellen vs. diskreten RAN-Aufgaben untersucht haben. Es liegen sowohl Befunde vor, die für eine Beziehung zwischen PSTM- und serieller RAN-Leistung sprechen (Ennemoser et al., 2012; Parrila et al., 2004) als auch Befunde, die keinen Zusammenhang zeigen konnten (Decker et al., 2013; Närhi et al., 2005). Im Chinesischen korrelierte die Leistung des PSTM nicht signifikant mit der diskreten RAN-Leistung (Liu & Georgiou, 2017). Es ergeben sich folgende Forschungsfragen für Studie 2:

2. *Zeigt sich eine stärkere Beziehung zwischen der PSTM-Leistung und der seriellen RAN-Leistung im Vergleich zur Beziehung zwischen der PSTM-Leistung und der diskreten RAN-Leistung?*
3. *Zeigt die PSTM-Leistung einen direkten Effekt auf die Leseflüssigkeit und einen indirekten Effekt über die serielle RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit?*

Für Studie 2 werden die RAN-Aufgaben mit einem identischen Stimulus-Set im seriellen und diskreten Format sowie die Erfassung der Leseflüssigkeit von Wort- und Nichtwortlisten wie in Studie 1 bei geübten erwachsenen Lesern erhoben (Kapitel 4). Zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen Studien werden für RAN die Gesamtzeiten verwendet und in eine Skala ‚Anzahl korrekt benannter Stimuli pro Sekunde‘ transformiert. Zusätzlich wird das PSTM zum einen über die korrekte Wiedergabe einer vorgegebenen Reihe von ein- und dreisilbigen Wörtern (Wortspannen) und zum anderen über das Nachsprechen von Nichtwörtern erfasst.

## **5.2 Unterschiedliche kognitive Anforderungen für serielles und diskretes schnelles automatisiertes Benennen<sup>3</sup>**

### **Abstract**

Phonological short-term memory (PSTM) and rapid automatized naming (RAN) are predictors of reading. However, it is unclear to what extent these two constructs independently explain variance in reading. RAN correlates more strongly with reading when measured serially (simultaneous presentation of stimuli) than when measured discretely (separate presentation of stimuli) (serial superiority effect). In addition, the serial presentation format shows shorter naming times than the discrete one (serial advantage effect). By way of explanation, a partially parallel processing of successive stimuli is assumed (cascaded processing), in which different cognitive processing mechanisms could be relevant. Taking cascaded processing into account, the aim of the study is to investigate the relationship between PSTM, RAN, and reading. Sixty-six German-speaking students completed tasks on PSTM, object RAN in serial and discrete format, and reading. Using a structural equation model, significant direct effects of PSTM were

---

<sup>3</sup> Dieses Kapitel entspricht: Gerhards, L., Stenneken, P., Schmidt, B. M., Schabmann, A. (2023). *Different Cognitive Demands in Serial and Discrete RAN – Evidence from the Relationship of Phonological Short-Term Memory, RAN and Reading* [Manuscript submitted for publication]. Department of Special Education and Rehabilitation, University of Cologne.

found on both serial RAN and reading, but not on discrete RAN. Similarly, serial but not discrete RAN explained variance in reading. The results support the assumptions of cascaded processing as an explanation for the serial superiority effect and show that discrete RAN makes no explanatory contribution.

*Keywords:* Phonological short-term memory, rapid automatized naming, reading fluency, adults, cascaded processing

### **Different Cognitive Demands in Serial and Discrete RAN - Evidence from the Relationship of Phonological Short-Term Memory, RAN and Reading**

The influence of rapid automatized naming (RAN) on reading fluency is well established for both transparent and opaque orthographies (e.g., Landerl et al., 2019; Vaessen & Blomert, 2010). In addition, phonological short-term memory (PSTM) has been shown to be a predictor of reading accuracy (e.g., Cunningham et al., 2021; Kudo et al., 2015; Swanson & Howell, 2001; Swanson et al., 2009) and reading fluency (e.g., Jacobson et al., 2011) over and above RAN. However, it is still unclear to what extent RAN and PSTM each independently explain variance in reading. This question is of particular interest in light of the fact that different types of RAN measures are used, which have different predictive validity for reading (Logan et al., 2011; Protopapas et al., 2013a). In addition to differences in the stimuli (objects, letters, numbers, colors), it is primarily the task format that leads to different results. Two types of RAN tasks are distinguished. In the serial RAN task (SER), five different stimuli are usually repeated ten times and presented simultaneously in random order in the form of a matrix (e.g., Denckla & Rudel, 1974; Denckla & Rudel, 1976a; Jones et al., 2009). In contrast, in the discrete RAN task (DIS), stimuli are presented sequentially on a computer screen (e.g., Altani et al., 2020b; Bowers & Swanson, 1991). Two effects were found, the serial advantage effect, which describes a higher processing speed in SER compared to DIS (Altani et al., 2020b), and the

serial superiority effect, which describes a higher correlation with reading in SER (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017). In the present study, we investigate the extent to which these effects can be explained by different cognitive processing mechanisms. We assume the cascaded processing hypothesis (Protopapas et al., 2013a), which postulates a partial parallel processing of successive stimuli in SER, and show that different effects of PSTM on SER or DIS result from this hypothesis.

### **The Relevance of the PSTM for Reading**

PSTM is a limited capacity memory for verbal and acoustic material. Through maintenance processes called rehearsal, verbal information can be actively maintained in phonological memory through subvocal repetition to avoid immediate degradation of memory content (Baddeley, 2012). PSTM is operationalized by range tasks in the immediate serial recall format (auditory/visual presentation of a series of words/numbers to be recalled in the correct order) and/or by repeating non-words (Hasselhorn et al., 2012).

In the present context, two kinds of effects of PSTM on reading fluency are possible: one is a direct effect, and the other is an indirect effect mediated by RAN. The latter presupposes an effect of RAN on reading fluency, which has been demonstrated several times (cf. Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017, 2018; Protopapas et al., 2013a) (in what follows, corresponding effects are presented with  $\rightarrow$ , here RAN  $\rightarrow$  reading).

### **PSTM Influences Reading**

Numerous studies have confirmed that PSTM is a predictor of children's reading in transparent (e.g., Dufva et al., 2001) as well as opaque orthographies (e.g., for children in grades 1, 2 and 3: Cunningham et al., 2021; for five-year-olds: Gathercole et al., 1991; for children in grades 3 to 9: Swanson et al., 2009; for first graders: Wagner & Torgesen, 1987).

An early explanation for a direct effect of PSTM on reading comes from Gathercole & Baddeley (1993): A good PSTM performance could lead to a stable construction of grapheme-

phoneme correspondences (GPC) and facilitate phonological recoding. In transparent orthographies, reading acquisition initially occurs non-lexically through phonological recoding (intraword processing, cf. Altani et al., 2020a), i.e., individual graphemes of a word are translated into the corresponding phonemes (grapheme-phoneme conversion) and the phonological representations are briefly held in PSTM until pronunciation. However, adults with reading difficulties also showed poorer performance on PSTM tasks compared to average reading adults (Amtmann et al., 2007; Tractenberg, 2002). Recent studies have also shown that immediate serial recall tasks (e.g., reproduction of word spans) measure not only short-term memory (i.e., the temporary activation of representations in short-term memory), but also the specific ability to retrieve the correct order of stimuli. Therefore, tasks were distinguished where stimuli had to be reproduced without considering the order and compared with tasks where the order of the stimuli had to be reproduced correctly, e.g., by reconstructing the order of animal names via picture cards that had been presented previously in auditory form (serial-order PSTM, Martinez Perez et al., 2013). The abilities assessed with serial-order PSTM tasks showed an impact on early literacy acquisition (Majerus & Cowan, 2016). In addition, adults with dyslexia perform worse than controls, especially on serial-order PSTM tasks (Martinez Perez et al., 2013).

In the present context, studies where no direct effect of PSTM on reading could be shown when controlling for RAN and other variables (e.g., Georgiou et al., 2008; Parrila et al., 2004) are particularly interesting. Ziegler et al. (2010) investigated the influence of phonological awareness (PA), serial RAN, PSTM, non-verbal IQ, and vocabulary on reading performance. They showed that PSTM had a significant impact on the reading accuracy of second graders in Hungary, but not on reading speed. Georgiou et al. (2021) examined the influence of PSTM, RAN and PA on the reading development of 75 Greek-speaking children in two developmental periods (1st-4th grade and 4th-10th grade). The PSTM predicted reading

fluency in both developmental periods, but somewhat higher in the younger children than in the older children. They explained it as use of the GPC rule, which is important at the beginning of reading acquisition.

### **RAN Influences Reading**

RAN, i.e., the rapid automatized naming of different stimuli presented randomly, is a strong predictor of reading fluency (e.g., Georgiou, Aro et al., 2016; Landerl et al., 2019). However, which component of the RAN tasks is predictive for reading is still unclear (Georgiou & Parrila, 2020). Different explanations have been discussed, such as the speed and accuracy of accessing and retrieving phonological information from long-term memory (Lervåg & Hulme, 2009; Torgesen et al., 1994), general processing speed (Kail & Hall, 1994; Kail et al., 1999), rapid activation of frequent letter sequences (Bowers & Wolf, 1993), or automatization of print to sound conversion (Pan et al., 2013). However, RAN has been confirmed as explaining additional variance in reading fluency when phonological processing (e.g., Parrila et al., 2004) or processing speed (e.g., Cutting & Denckla, 2001; Georgiou et al., 2009) are controlled for. Recent studies have shown that there are two effects in distinguishing SER from DIS, namely the serial advantage and the serial superiority effects (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018).

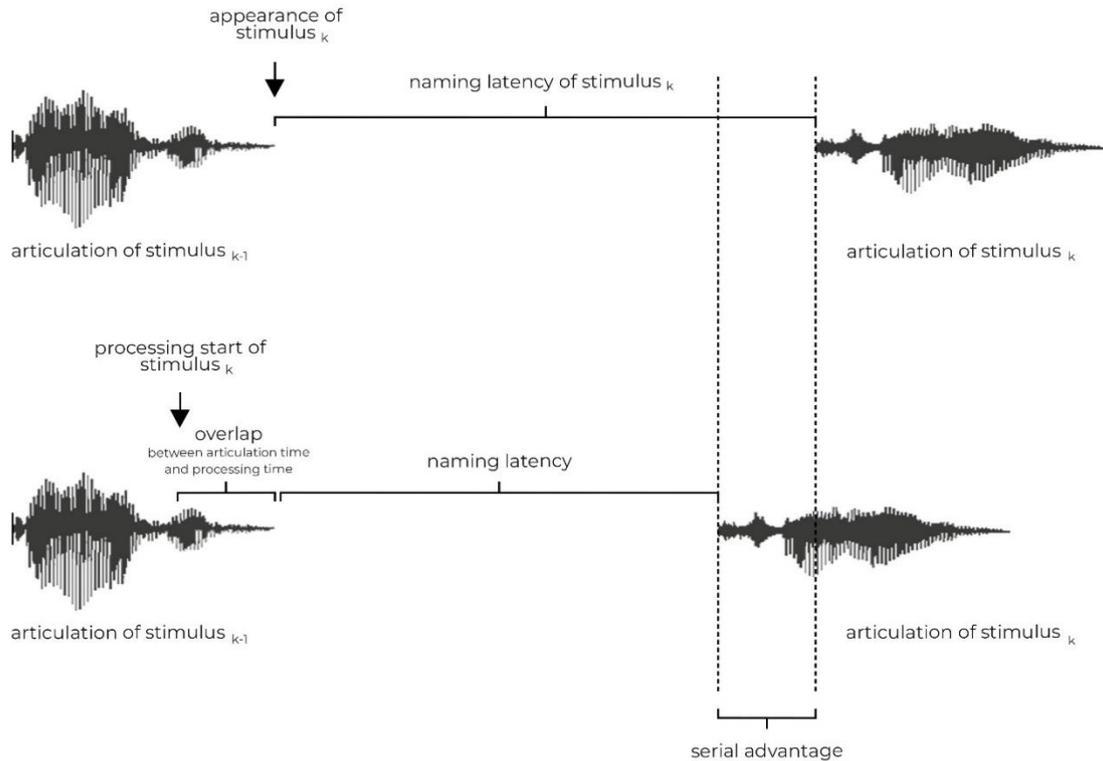
### ***Serial Advantage***

Previous studies have confirmed the effect of faster naming for SER compared to DIS (serial advantage effect) in young adults (e.g., Gordon & Hoedemaker, 2016; Jones et al., 2009), children (e.g., Altani et al., 2020b; Gasperini et al., 2014; Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018; Zoccolotti et al., 2013; Zoccolotti et al., 2015) and novice readers (e.g., Altani et al., 2020b; Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018). This advantage could be explained by the cascaded processing hypothesis (Protopapas et al., 2013a). Cascaded processing refers to the efficient

processing of two successive stimuli through overlapping processing phases. This means that in SER, the next stimulus is already being processed while the preceding stimulus is still being articulated (Altani et al., 2020b; Protopapas et al., 2013a, Fig. 5.2.1). Gordon and Hoedemaker (2016) confirmed this assumption and showed in their eye-tracking study that students had already fixated on a (next) stimulus while naming the previous stimulus.

### *Serial Superiority*

SER is more strongly correlated with reading fluency than DIS. This effect has already been confirmed for different languages (e.g., Dutch: de Jong, 2011; English: Altani et al., 2018; Georgiou & Parrila, 2020; Logan et al., 2011; Greek: Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017; Georgiou et al., 2013; Protopapas et al., 2013a; Italian: Zoccolotti et al., 2013). Some authors explain the effect by the fact that subjects must maintain the same processing direction in both reading and SER (left to right downward scanning, Georgiou et al., 2013). However, Protopapas et al. (2013b) showed that the strength of the association with reading fluency was essentially the same in a RAN task with reverse naming (right to left and bottom to top) compared to standard SER.



**Fig. 5.2.1** Processing of Discrete and Serial RAN. The upper part of the figure shows processing in DIS with the isolated presentation of stimuli. The processing phases do not overlap in time. The lower part of the figure shows the processing for SER with simultaneous presentation of the stimuli. The overlap of the vocalization of stimulus  $k-1$  with the processing of stimulus  $k$  leads to the shorter total naming times for SER

### PSTM Influences RAN

Based on the cascaded processing hypothesis for SER (Protopapas et al., 2013a), it follows that the  $\text{PSTM} \rightarrow \text{SER}$  relationship should be stronger than  $\text{PSTM} \rightarrow \text{DIS}$ . In SER stimuli  $k$  and  $k-1$  are partially processed in parallel, which should result in a significantly higher demand on the PSTM than in DIS. However, to our knowledge, there are no comparable studies, and results for the influence of PSTM on DIS are rare or have not yet been investigated for German. For Chinese, Liu & Georgiou (2017) showed that PSTM skills did not significantly

correlate with performance in DIS. With regard to the PSTM → SER relationship, the findings are mixed. For example, Parrila et al. (2004) found a significant relationship between PSTM and SER in kindergarten-age and 1st grade children, while Närhi et al. (2005) could not confirm PSTM as a predictor of SER in Finnish-speaking children aged 8 to 11 years nor could Decker et al. (2013) in English-speaking children aged 5 to 12 years. For German-speaking countries, Ennemoser et al. (2012) examined children longitudinally from the last year of kindergarten to the end of primary school in two studies and showed moderate significant correlations between measures of PSTM and SER.

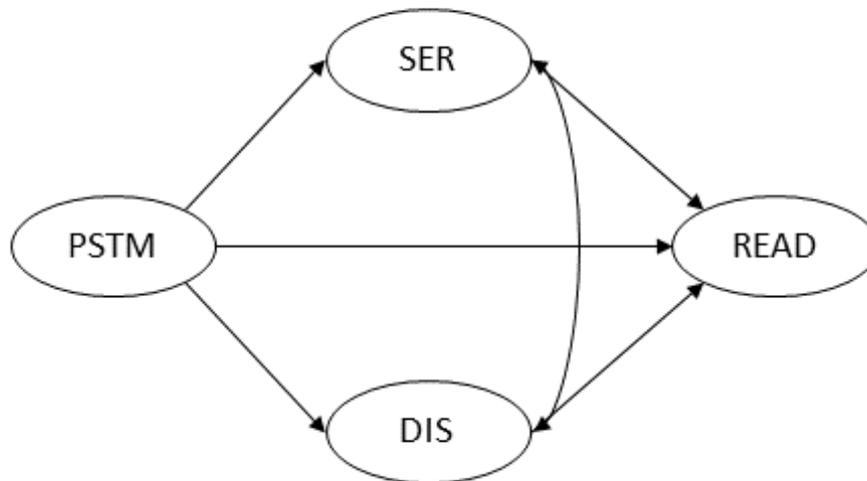
### **The Aim of the Present Study and Research Questions**

From the findings, a model for the interaction of DIS and SER, PSTM and reading is shown in Fig. 5.2.2. The aim of the present study is to test this model empirically. To control for linguistic variables (word frequency and word length), we chose object RAN and used an identical set of stimuli for SER and DIS. In the present study, skilled adult readers were examined in order to exclude developmental influences (e.g., the sufficiently strong formation of a stable mental lexicon; cf. Bonin et al., 2004).

The model includes the following hypotheses:

1. We expect a direct SER → reading effect and at the same time a replication of the SSE, i.e., the SER → reading relationship should be significantly stronger than the DIS → reading relationship (H1).
2. If the PSTM → DIS relationship proves to be weaker than the PSTM → SER relationship, this supports (as a further result) the cascaded processing hypothesis. Parallel processing requires stronger cognitive resources than the successive processing of individual stimuli (e.g., Altani et al., 2022). This is also the present working hypothesis (H2).

3. Finally, we assume that PSTM explains an independent amount of the variance in reading (H3).



**Fig. 5.2.2** Standard Model (Model 0). PSTM = phonological short-term memory, SER = serial RAN, DIS = discrete RAN, READ = reading fluency of words and non-words

## Method

### Participants

The sample comprises 66 German-speaking young adults (18.2 % male) aged between 19 and 38 years ( $M = 25.02$ ;  $SD = 4.03$ ). The participants are native German speakers with normal or corrected-to-normal vision. All participants showed average reading performance according to the norms of the SLRT-II: Salzburg Reading and Spelling Test (Moll & Landerl, 2014).

### Measurements

#### *Phonological Short-Term Memory*

Performance in PSTM was assessed with the word span tasks and the repetition of non-words from the standardized German working memory test battery (AGTB 5-12, Hasselhorn et al., 2012). Two span tasks were presented: one with one-syllable words and the other with three-syllable words. Both span tasks were performed identically. Participants were required to listen to a verbal sequence of words until a signal was given and then reproduce the given sequence of words in the correct order. Each participant performed a practice trial with a span of four words. The word spans were given according to an adaptive algorithm: each span of  $k$  words was given twice. If both spans of  $k$  words were reproduced correctly, the following two-word spans were increased by  $k+1$  words. If one of the word spans of  $k$  words was reproduced correctly and the other incorrectly, the number of words for the subsequent two-word spans remained the same. If both word spans were reproduced incorrectly, the number of words was reduced by  $k-1$  words for the next two-word spans. The average number of correctly repeated word spans across eight targets is reported.

For the repetition of non-words, the number of syllables in the non-words varied between four, five and six syllables. A total of 24 non-words, eight per syllable count, was presented in a normal or modulated (i.e., slightly distorted) speaking voice. The participants

were required to correctly repeat a spoken non-word. This task was also preceded by a practice trial. The number of all correctly repeated non-words was included in the calculations. All three tasks loaded on a factor that explained 70% of the variance.

### ***Rapid Automatized Naming***

The following four RAN tasks were performed in both the serial and discrete RAN conditions: 1) high-frequency, one- and two-syllable stimuli (hfs), 2) high-frequency, three- and four-syllable stimuli (hfl), 3) low-frequency, one- and two-syllable stimuli (lfs), and 4) low-frequency, three- and four-syllable stimuli (lfl; see Table 1). A total of eight RAN tasks were presented. The object stimuli were also controlled for semantic category (fruit, musical instruments, clothing, household objects, animals). The objects were colored drawings. Each of the four RAN tasks comprised five different objects, which were repeated and presented in randomized order.

For SER, the stimuli were presented in randomized order in a matrix of 50 stimuli in total (5 in a row and 10 rows in total) on the computer screen. Participants were asked to name the RAN objects in reading order as accurately and quickly as possible.

For DIS, the stimuli were presented randomly, in isolation, one after the other on the computer screen. When a stimulus was presented, participants simultaneously heard a beep. Each stimulus was presented until a complete response was given, at which point the examiner pressed a button to present the next stimulus. The task was to name the objects as accurately and quickly as possible as soon as they appeared on the computer screen.

Both SER and DIS were preceded by a practice trial. All RAN tasks were presented with the experimental software DMDX (Forster & Forster, 2003) and the reaction time was recorded with a recording device.

***Analysis of RAN***

For SER, response time included both articulation time and pauses between vocalizations. For DIS, response time includes both articulation time and latency. Using the Audacity® program (version 2.2.2; Audacity Team, 2018), response times were cleaned of misnamed objects. For better comparability of both RAN formats, response times were converted into a 'number of correctly named stimuli per second' scale (cf. Altani et al., 2020b).

**Table 5.2.1**

*Characteristics of Object Names: Mean Word Frequency, Word Length over the Number of Phonemes, Syllables, and Letters*

Variables	High-frequency stimuli		Low-frequency stimuli	
	1 & 2 syllables	3 & 4 syllables	1 & 2 syllables	3 & 4 syllables
Frequency	493.6 (128.47)	427.6 (75.93)	78.8 (26.12)	73.40 (30.65)
Number of phonemes	3.8 (0.37)	7.2 (0.20)	4.2 (0.73)	7.2 (0.73)
Number of syllables	1.6 (0.24)	3.0 (0.00)	1.4 (0.24)	3.2 (0.20)
Number of letters	4.8 (0.20)	7.6 (0.24)	5.0 (0.71)	7.6 (0.75)

*Note.* The standard error of the mean is given in brackets. Word frequency per million is according to dlexDB (Heister et al., 2011; available at <http://dlexdb.de/>)

***Reading Fluency***

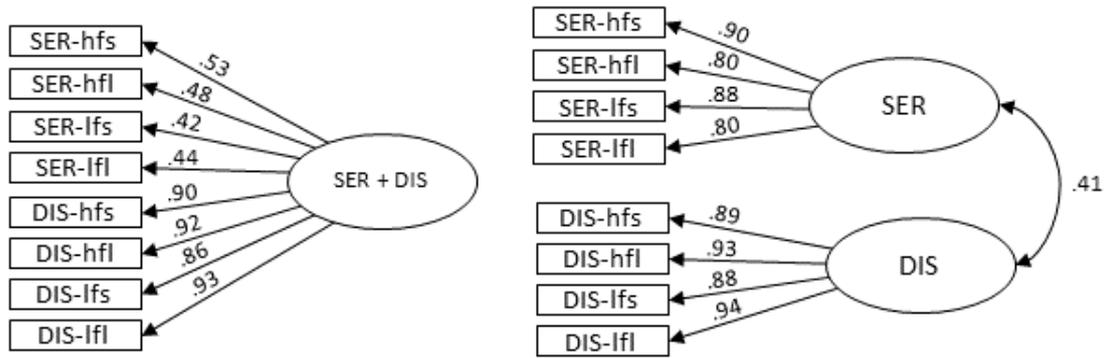
Reading fluency was assessed with the "One-Minute Reading Fluency Test" from SLRT-II (Moll & Landerl, 2014). Participants were given a list of words and a list of non-words. Each list was to be read in columns as quickly and accurately as possible within one minute. In both tasks, the number of words or non-words read correctly per minute was calculated. Both tasks loaded on a factor that explained 88% of the variance.

### **Procedure and Statistical Analyses**

The tasks were performed with each participant in a single session in a laboratory at the University of Cologne. Prior to participation, informed consent was obtained and information about the study was provided. The tasks were presented in a random order.

Data analysis was conducted using IBM SPSS Statistics (version 29). In a first step, the (two)factorial structure of the RAN tasks was checked. Two models were compared. In the one-factor model, all manifest variables load on a single factor, whereas in the two-factor model, two correlated factors were specified (SER and DIS). The two-factor solution was found to be significantly better fitted to the data, so that, as theoretically assumed, two separable latent dimensions could be computed for RAN (Fig. 5.2.3, Table 5.2.2).

In a second step, the model shown in Figure 5.2.2 was specified according to our hypothesis. PSTM was introduced into the equations as a predictor for SER and DIS as well as for reading, SER, and DIS as further predictors for reading (model A). All coefficients were tested for significance and, in a final step, this model was compared with a more parsimonious one in which the coefficients that were not significantly different from zero were set to zero (Model B).



**Fig. 5.2.3** One-Factor and Two-Factor Model. Standardized regression coefficients. SER = serial RAN, DIS = discrete RAN, hfs = high-frequency short stimuli, hfl = high-frequency long stimuli, lfs = low-frequency short stimuli, lfl = low-frequency long stimuli

**Table 5.2.2**

*Comparison of the One- and Two-Factor Solutions for RAN*

Model	$\chi^2$	<i>df</i>	<i>p</i>	SRMR	RMSEA	NFI	CFI	AIC
One-Factor Model	158.01	16	.00	.22	.37	.67	.68	214.01
Two-Factor Model	16.09	15	.38	.05	.03	.97	1.00	74.09

## Results

The descriptive statistics for all tasks are shown in Table 5.2.3. For three variables, the presence of a normal distribution is in question, although the deviations are not serious. However, this was considered in the following analysis by using a bootstrapping procedure with bias-corrected confidence intervals.

The correlations between the PSTM measures (word span with one-syllable stimuli, word span with three-syllable stimuli, repetition of non-words,  $r = .45$  to  $.71$ , all  $p < .01$ ) were moderate to high. Serial RAN measures (hfs, hfl, lfs, lfl,  $r = .65$  to  $.79$ , all  $p < .01$ ) and discrete RAN measures (hfs, hfl, lfs, lfl,  $r = .78$  to  $.88$ , all  $p < .01$ ) were in the high range. Measures of word reading fluency correlated highly with non-word reading fluency ( $r = .77$ ,  $p < .01$ ). PSTM (word span with one-syllable stimuli) correlated significantly with SER (hfs, hfl, lfs), and PSTM (repetition of non-words) also correlated significantly with SER-hfl; correlations with measures of DIS were not significant. The PSTM measures as well as the SER measures showed moderate significant correlations with the reading fluency measures. Word reading fluency correlated moderately with both DIS-hfs ( $r = .36$ ,  $p < .01$ ) and DIS-lfl ( $r = .26$ ,  $p < .05$ ). The correlations between the other reading fluency measures and the DIS measures were not significant (see Table 5.2.4).

**Table 5.2.3***Descriptive Statistics*

		<i>M</i>	<i>SD</i>	Min.	Max.	Skew		Kurt		Shapiro-Wilk	
						Skew	<i>SE</i>	Kurt	<i>SE</i>	W	<i>p</i>
PSTM	WS 1	4.932	0.988	2.380	7.13	-0.0532	0.295	-0.318	0.582	0.988	0.793
	WS 3	3.885	0.741	2.880	6.75	1.3237	0.295	2.513	0.582	0.900	< .001
	R-NW	18.212	3.719	9.000	24.00	-0.9126	0.295	0.226	0.582	0.915	< .001
SER	Hfs	1.711	0.277	0.986	2.26	-0.2759	0.295	-0.395	0.582	0.987	0.695
	Hfl	1.398	0.201	0.996	1.96	0.1775	0.295	0.122	0.582	0.979	0.313
	Lfs	1.633	0.246	1.052	2.13	-0.3094	0.295	-0.327	0.582	0.983	0.509
	Lfl	1.337	0.206	0.848	2.05	0.0552	0.295	1.398	0.582	0.957	0.024
DIS	Hfs	1.138	0.114	0.873	1.44	-0.0256	0.295	-0.164	0.582	0.992	0.960
	Hfl	0.952	0.102	0.743	1.25	0.4195	0.295	0.774	0.582	0.977	0.268
	Lfs	1.131	0.118	0.918	1.39	0.2387	0.295	-0.695	0.582	0.975	0.196
	Lfl	0.921	0.103	0.726	1.21	0.3210	0.295	-0.147	0.582	0.985	0.588
Reading	W	130.136	14.667	97.000	156.00	-0.1205	0.295	-0.651	0.582	0.978	0.277
	NW	85.318	15.806	56.000	117.00	-0.0136	0.295	-0.830	0.582	0.979	0.309

*Note.* PSTM = phonological short-term memory, WS 1 = word span for one-syllable stimuli, WS 3 = word span for three-syllable stimuli, R-NW = repetition of non-words; SER = serial RAN, DIS = discrete RAN, hfs = high-frequency short stimuli, hfl = high-frequency long stimuli, lfs = low-frequency short stimuli, lfl = low-frequency long stimuli; W = number of correctly read words per minute, NW = number of correctly read non-words per minute. The measures for SER and DIS are reported as number of correctly named stimuli per second

**Table 5.2.4**

*Correlations between Measures of Phonological Short-Term Memory, Serial RAN, Discrete RAN, and Reading*

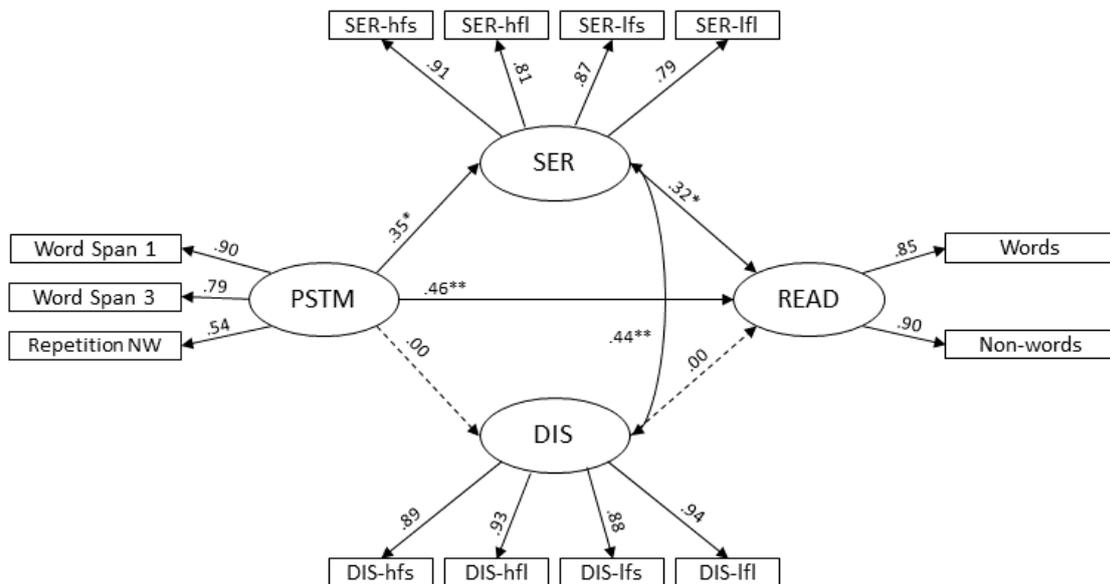
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	PSTM WS 1													
2	WS 3	.71**												
3	R-NW	.47**	.45**											
4	SER Hfs	.35**	.24	.14										
5	Hfl	.32**	.24	.27*	.73**									
6	Lfs	.28*	.18	.19	.79**	.70**								
7	Lfl	.21	.12	.06	.71**	.65**	.71**							
8	DIS Hfs	.05	-.06	.00	.48**	.43**	.34**	.35**						
9	Hfl	.10	.00	.03	.41**	.37**	.28*	.27*	.84**					
10	Lfs	.09	-.04	.03	.26*	.20	.16	.21	.78**	.82**				
11	Lfl	.07	-.05	-.08	.39**	.34**	.27*	.33**	.83**	.88**	.84**			
12	Reading W	.41**	.25*	.29*	.51**	.44**	.36**	.36**	.36**	.22	.23	.26*		
13	NW	.51**	.44**	.31*	.35**	.35**	.31*	.32**	.05	-.02	.03	.00	.77**	

*Note.* PSTM = phonological short-term memory, WS 1 = mean word span for monosyllabic stimuli, WS 3 = mean word span for three-syllable stimuli, R-NW = mean number of correctly repeated non-words; SER = serial RAN, DIS = discrete RAN, hfs = high-frequency short stimuli, hfl = high-frequency long stimuli, lfs = low-frequency short stimuli, lfl = low-frequency long stimuli; W = number of correctly read words per minute, NW = number of correctly read non-words per minute. Measures of SER and DIS are reported as number of correctly named stimuli per second.

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ .

Model A shows a good fit to the data ( $\chi^2 = 73.4$ ,  $df = 59$ ,  $p = .10$ ; RMSEA = .06; CFI = .98; NFI = .90). However, the coefficients for PSTM  $\rightarrow$  DIS ( $p = .72$ ) and DIS  $\rightarrow$  reading ( $p = .67$ ) were not found to be significantly different from zero. Therefore, this model was compared

with a more parsimonious model (B) where these two coefficients were set to zero. Model B ( $\chi^2 = 73.7$ ,  $df = 61$ ,  $p = .13$ ; RMSEA = .06; CFI = .98; NFI = .89) is statistically equivalent to model A ( $\Delta \chi^2 = .22$ ,  $\Delta df = 2$ ,  $p = .90$ ). It revealed a significant direct effect of PSTM on SER ( $\beta = .35$ ,  $p < .05$ , Fig. 5.2.4) and a significant direct effect of PSTM on reading fluency ( $\beta = .46$ ,  $p < .01$ ). In addition, SER showed a significant direct effect on reading fluency ( $\beta = .32$ ,  $p < .05$ ). Thus, a significant indirect effect of PSTM on reading fluency was also found ( $\beta = .12$ ,  $p < .05$ ). No effect was found involving DIS. SER and DIS correlate (above the common predictor PSTM) with  $r = .44$  ( $p < .01$ , Fig. 5.2.4).



**Fig. 5.2. 4** Structural Equation Model on the Influence of Phonological Short-Term Memory, Serial RAN, and Discrete RAN on Reading. Standardized solution. PSTM = phonological short-term memory, Word Span 1 = word span for one-syllable stimuli, Word Span 3 = word span for three-syllable stimuli, Repetition NW = repetition of non-words; READ = reading; SER = serial RAN, DIS = discrete RAN, hfs = high-frequency short stimuli, hfl = high-frequency long stimuli, lfs = low-frequency short stimuli, lfl = low-frequency long stimuli. All the loadings are significant.

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ .

## Discussion

The aim of the present study was to relate the SSE repeatedly observed in the literature to the different requirements for PSTM in SER and DIS.

Our first question concerned the replication of SSE (hypothesis 1). The assumption of this effect implies that there are underlying differences in the processing of SER and DIS, i.e., that SER and DIS should be regarded as separate (albeit correlated) dimensions. The confirmatory factor analysis confirms this. Despite identical stimuli, only the different presentation format "creates" separate factors that cannot be substituted by a common factor. This is quite consistent with the literature (Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018). Although correlations between SER and DIS exist, they are only of moderate magnitude (e.g., Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017, 2018; Georgiou & Parrila, 2020). Furthermore, Protopapas, Katopodi, Altani, and Georgiou (2018) showed that the correlation between SER and DIS decreases with increasing reading level.

In comparing the effects of SER  $\rightarrow$  reading and DIS  $\rightarrow$  reading, a significant direct effect of SER on reading fluency was confirmed, while the direct effect of DIS on reading fluency was not significant. These results confirm SSE in German-speaking adults and are consistent with previous studies in children (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017; Altani et al., 2020a; Logan et al., 2011), not only regarding the effect of SER on reading but also regarding the absence of influence of DIS (Gasperini et al., 2014; Georgiou et al., 2013).

Based on the most common explanation of SSE, namely the cascaded processing hypothesis, it follows that the effect PSTM  $\rightarrow$  DIS should be smaller than the effect PSTM  $\rightarrow$  SER (hypothesis 2). This result was achieved. While PSTM was found to have a significant effect on SER, the corresponding effect on DIS is absent. This result is consistent with the hypothesis of cascaded processing in serial RAN tasks: due to the parallel processing of two successive stimuli in the serial condition, the PSTM is more challenged than in the discrete

condition, where apparently no greater challenge to the PSTM is needed in the skilled adult readers of our study.

Finally, in hypothesis 3, we assumed that PSTM can explain an independent part of the variance in reading beyond the mediated effect of RAN (hypothesis 3). Our results showed a significant direct effect of PSTM on reading fluency in highly proficient adult readers. This is consistent with the results of previous studies investigating the impact of PSTM on reading fluency in children (see Cunningham et al., 2021; Ennemoser et al., 2012; Georgiou et al., 2021; Jacobson et al., 2011). The findings of Ennemoser (2012) imply that this direct influence is moderated by phonological skills. This is in line with the presented previously idea that the PSTM is involved in the construction of stable grapheme-phoneme correspondences (GPC) (cf. Altani et al., 2020a). However, the extent to which this explanation can hold for high-reading adults is questionable, as their GPC should already be fully developed. In any case, the fact that the PSTM tasks correlate slightly higher with the pseudowords than with the words in our data supports this explanation

### **Conclusion**

Overall, the results of the present study support the assumptions of cascaded processing as an explanation for the serial superiority effect (replicated here) as well as the assumption of an additional effect of PSTM. Theoretical importance aside, this suggests that discrete RAN measurements of the nature conducted in this study are isolated from both PSTM (which is clearly important for reading) and reading itself. This is an unfortunate matter, especially since the idea was to use DIS to get a "purer" measure of retrieval speed from long-term memory (Bowers & Swanson, 1991; Jones et al., 2009; Stanovich et al., 1983; Wolf, 1991). This assumption may still be true, but neither PSTM nor reading are involved. Thus, it could be argued that reading fluency is relatively independent of pure retrieval speed, and only the

combination of serial presentation and parallel processing is close enough to reading to show prognostic validity.

### **Limitations and Research Desiderata**

The model presented here is primarily intended as a model for the advanced adult reader, although many of the considerations are derived from studies with children or adults with dyslexia. We assume that our results apply to children as well. However, we cannot estimate what the exact structure is for persons with severe reading disorders. Therefore, the model should be validated on further samples. Furthermore an interesting approach would be to bring other components of working memory (e.g. the central executive; cf. Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017) into account, as well as possibly other tasks at the level of retrieval from long-term memory with letters and numbers, because these are supposed to have differential correlations with different components of working memory (phonological loop vs. inhibition, shifting) (e.g. Rapid Automatic Switching, cf. Amtmann et al., 2007).

## **5.3 Diskussion der Ergebnisse von Studie 2**

In Übereinstimmung mit Protopapas, Katopodi, Altani, und Georgiou (2018) bestätigt die konfirmatorische Faktorenanalyse ausschließlich aufgrund der Unterschiede im Aufgabenformat serielles und diskretes RAN als getrennte (wenn auch korrelierte) Fähigkeitsdimensionen, obwohl für beide RAN-Aufgaben ein identisches Stimulus-Set verwendet wurde. Auch das Ergebnis der mittleren Korrelationen zwischen der Leistung im seriellen und diskreten RAN findet sich in der Literatur wieder (Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017, 2018; Georgiou & Parrila, 2020).

Darüber hinaus zeigt sich ein signifikanter direkter Effekt der seriellen RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit, während der direkte Effekt der diskreten RAN-Leistung auf die Leseflüssigkeit nicht signifikant ist (Studie 2, Forschungsfrage 1). Der SSE ist bei

deutschsprachigen Erwachsenen repliziert (vgl. Gerhards, Schmidt, et al., 2023) und stimmt mit früheren Studien mit Kindern überein (Altani et al., 2017, 2020a; Logan et al., 2011). Des Weiteren kann ein direkter Effekt der PSTM-Leistung auf die Leistung im seriellen RAN, aber nicht auf die Leistung im diskreten RAN berichtet werden (Studie 2, Forschungsfrage 2). Dieses Ergebnis kann mit der kaskadierten Verarbeitung erklärt werden, da seriell RAN das PSTM aufgrund der parallelen Verarbeitung von zwei aufeinanderfolgenden Stimuli stärker beansprucht als diskretes RAN. Für die Bearbeitung des diskreten RAN scheint bei den reifen erwachsenen Lesern unserer Studie offensichtlich keine größere Beanspruchung des PSTM nötig zu sein. Die Ergebnisse von Studie 2 stützen die CPH als Erklärung für den (hier replizierten) SSE.

Obwohl diskretes RAN als präzisere Messung des lexikalischen Zugriffs auf die Wortform interpretiert wurde (Bowers & Swanson, 1991; Jones et al., 2009; Stanovich et al., 1983; Wolf, 1991), ist es weder für die Leseflüssigkeit relevant (Gasperini et al., 2014; Georgiou et al., 2013) noch erfordert es das PSTM, welches hingegen für die Lesefähigkeit von Bedeutung ist. Es wird angenommen, dass die Aktivierung der Wortform eine weniger bedeutsame Rolle für die Leseflüssigkeit einnimmt und nur die Kombination aus seriell Format und teilweise paralleler Verarbeitung dem Leseprozess so ähnlich sind, um prognostische Validität aufzuweisen.

Der signifikante direkte Effekt der PSTM-Leistung auf die Leseflüssigkeit (Studie 2, Forschungsfrage 3) stimmt mit den Ergebnissen früherer Studien überein, die den Einfluss der PSTM-Leistung auf die Lesefähigkeit bei Kindern untersuchten (vgl. Cunningham et al., 2021; Ennemoser et al., 2012; Georgiou et al., 2021; Jacobson et al., 2011). Die Ergebnisse von Ennemoser (2012) legen nahe, dass dieser direkte Einfluss durch phonologische Fähigkeiten moderiert wird. Dies entspricht der oben vorgestellten Idee, dass das PSTM am Aufbau stabiler GPK beteiligt ist (vgl. Altani et al., 2020a). Es ist allerdings fraglich, inwieweit diese Erklärung

für geübte erwachsene Leser zutreffen kann, deren GPK vollständig ausgebildet sein sollten. Die höheren Korrelationen der PSTM-Leistungen mit der Leseflüssigkeit von Nichtwörtern als mit der Leseflüssigkeit von Wörtern deuten in diese Richtung.

## 6 Diskussion

Ziel der vorliegenden Dissertation war es, weitere Evidenz für die Annahme der kaskadierten Verarbeitung als Erklärung für den SSE zu liefern und den Unterschied in der Verarbeitung von seriell vs. diskret dargebotenen RAN-Stimuli zu erklären. Sowohl mit der in Studie 1 durchgeführten hierarchischen Regressionsanalyse als auch mit dem in Studie 2 getesteten Strukturgleichungsmodell konnte der SSE mit einem identischen Stimulus-Set für serielles und diskretes RAN repliziert werden. Die Ergebnisse beider Studien unterstützen die CPH als Erklärung für den SSE bei erwachsenen deutschsprachigen Lesern und ergänzen die bisherige Evidenz (z.B. Eberharter, 2019; Gordon & Hoedemaker, 2016; Protopapas et al., 2013a; Protopapas, Katopodi, Altani, & Georgiou, 2018). Somit kann der SSE durch die teilweise parallele Verarbeitung gleichzeitig dargebotener Stimuli erklärt werden. Die CPH stimmt auch mit dem nachgewiesenen SAE überein, der einen Vorteil für serielles RAN gegenüber diskretem RAN beschreibt (Altani et al., 2020b; Gasperini et al., 2014; Gerhards, Schmidt, et al., 2023; Jones et al., 2009; Zoccolotti et al., 2013). Während Protopapas, Katopodi, Altani und Georgiou (2018) berichteten, dass die kaskadierte Verarbeitung am besten durch RAN mit Zahlen im Vergleich zu RAN mit Objekten oder Würfeloberflächen angezeigt wurde, liefern die vorliegenden Ergebnisse weitere bestätigende Hinweise für das Objekt-RAN.

Darüber hinaus konnten Studien nachweisen, dass der Zusammenhang zwischen der seriellen RAN-Leistung und der Leseflüssigkeit auch dann bestehen bleibt, wenn die Leistungen der phonologischen Verarbeitung (z.B. Parrila et al., 2004), der orthographischen Verarbeitung (z.B. Cutting & Denckla, 2001; Georgiou et al., 2008) und der Verarbeitungsgeschwindigkeit (z.B. Cutting & Denckla, 2001; Georgiou et al., 2009) kontrolliert werden (vgl. Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017; Altani et al., 2020b). Diese Studien fokussierten einzelne Teilprozesse von RAN und der Leseflüssigkeit als mögliche

Erklärung für den SSE, konnten diese allerdings nicht bestätigen. Diese früheren Befunde unterstützen ebenfalls die CPH als Erklärung für den SSE.

Die frühe lexikalische Verarbeitung, d.h. die Aktivierung der Wortform, scheint von der parallelen Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli beeinflusst zu werden, was auch zu verlängerten Artikulationszeiten im seriellen RAN führt (Gerhards, Schmidt et al., 2023). Die kaskadierte Verarbeitung erfordert kognitive Ressourcen für die lexikalische Verarbeitung, sodass weniger kognitive Ressourcen zur Verfügung stehen und niedrigfrequente Objektnamen schwieriger zu verarbeiten sind als hochfrequente Objektnamen (vgl. Araújo et al., 2021; Gerhards, Schmidt et al., 2023). Dieses Ergebnis stimmt mit dem Befund von Inhoff und Rayner (1986) überein, die kürzere Fixationen für hochfrequente Wörter im Vergleich zu niedrigfrequenten Wörtern und dem nachfolgenden Stimulus zeigten. Studie 2 konnte bestätigen, dass serielles RAN im Gegensatz zu diskretem RAN das PSTM erfordert (Gerhards, Stenneken et al., 2023). Es wird angenommen, dass serielles RAN bzw. die kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender RAN-Objekte das PSTM beansprucht, wenn der aktuelle Stimulus artikuliert wird und der nachfolgende Stimulus teilweise parallel lexikalisch verarbeitet wird. Das PSTM könnte daher für die kurzzeitige Speicherung bereits verarbeiteter Stimulusinformationen und deren Reihenfolge benötigt werden (siehe auch Gordon & Hoedemaker, 2016). Auch Laubrock und Kliegl (2015) stellten fest, dass die EVS mit der Aktualisierung des PSTM während des Lesens zusammenhängt. Dabei ist anzumerken, dass das PSTM in Studie 2 über seriell dargebotene Wortspannen (und das Nachsprechen von Nichtwörtern) erfasst wurde und somit neben der temporären Informationsspeicherung auch die serielle Reihenfolge gemessen wurde. Um diesen Einfluss zu kontrollieren, sollten die vorliegenden Ergebnisse mit einer größeren Stichprobe und weiteren möglichen Einflussfaktoren, wie z.B. PSTM-Aufgaben mit und ohne Berücksichtigung der Reihenfolge (Martinez Perez et al., 2013), ergänzt und erneut überprüft werden.

Protopapas, Katopodi, Altani und Georgiou (2018) konstatierten, dass die kaskadierte Verarbeitung, die über die automatisierte Aktivierung der Wortform jedes Stimulus hinausgeht, für die Leseflüssigkeit relevant ist. Die Autoren nahmen an, dass die kaskadierte Verarbeitung eine vom automatisierten Wortformabruf trennbare Fähigkeit ist. Die Ergebnisse beider Studien der vorliegenden Dissertation zeigen, dass seriellles RAN bzw. die kaskadierte Verarbeitung das PSTM beansprucht, aber wie genau eine effiziente kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli erfolgt, ist noch unklar. Zukünftig sollten daher auch exekutive Prozesse des Arbeitsgedächtnisses wie zum Beispiel Hemmung und Flexibilität (vgl. Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017) sowie RAN-Aufgaben mit Buchstaben und Zahlen untersucht werden, da diese einen stärkeren Zusammenhang mit der Leseflüssigkeit zeigen (Araújo et al., 2015).

Darüber hinaus scheinen spätere postlexikalische Prozesse nicht mehr von der kaskadierten Verarbeitung im seriellen RAN beeinflusst zu werden, sind aber für das diskrete RAN von Bedeutung (Studie 1, Gerhards, Stenneken et al., 2023). Es wurde angenommen, dass beim diskreten RAN die Aufrechterhaltung der fünf Stimuli schwieriger sein könnte, da die Versuchsteilnehmer die nachfolgenden Stimuli nicht antizipieren können. Nach dieser Erklärung wäre ein signifikanter direkter Effekt der PSTM-Leistung auf die diskrete RAN-Leistung zu erwarten, welcher in Studie 2 jedoch nicht bestätigt werden konnte. Eine alternative Erklärung könnte sein, dass für die Aktivierung der fünf verschiedenen Stimuli bei der diskreten RAN-Aufgabe keine Kapazitäten des PSTM erforderlich sind. Im Gegensatz dazu erfordert seriellles RAN aufgrund der kaskadierten Verarbeitung Kapazitäten des PSTM, sodass sich der Effekt für seriellles RAN zeigt. Dies sollte durch zukünftige Studien überprüft werden, indem sowohl die Effekte von Wortfrequenz und Wortlänge als auch andere kognitive Verarbeitungsmechanismen wie z. B. exekutive Prozesse (Hemmung, Flexibilität, Speicherung und Manipulation von Informationen) als das PSTM untersucht werden, um die Unterschiede

in der Verarbeitung von seriell und diskret RAN zu identifizieren und erklären zu können.

In einer kürzlich veröffentlichten Studie berichteten Steinhilber et al. (2023), dass die visuelle Aufmerksamkeitsspanne (*Visual Attention Span*, im Folgenden VAS) die Effekte von Lexikalität (Wort vs. Nichtwort) und Wortlänge beeinflusste. Eine hohe VAS, als Maß für die parallele Verarbeitung mehrerer Stimuli, führte in einer computergestützten Modellierung zu einer Verringerung des Wortlängeneffekts, da eine Verarbeitung größerer orthographischer Repräsentationen angenommen wurde. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit dem nicht signifikanten Wortlängeneffekt im seriellen RAN.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Dissertation war es, den Unterschied in der Verarbeitung von seriell und diskret präsentierten RAN-Stimuli zu untersuchen. Das diskrete Format wurde als präzisere Messung der Aktivierung der Wortform im Vergleich zum seriellen RAN angenommen (Bowers & Swanson, 1991; Jones et al., 2009; Stanovich et al., 1983; Wolf, 1991). Im Vergleich dazu umfasst serielles RAN zusätzliche Prozesse wie die Verarbeitung aufeinanderfolgender gleichzeitig präsentierter Stimuli und wurde daher als komplexere Verarbeitung interpretiert (z.B. Altani et al., 2018). Serielles RAN stellt im Vergleich zu diskretem RAN höhere Anforderungen an die Verarbeitung, wie z.B. an die Ressourcen des PSTM, die auch den Anforderungen für flüssiges Lesen ähnlicher sind (Studie 2, Gerhards, Stenneken et al., 2023). Dabei geht es nicht um die Richtung der Aufgabenbearbeitung, also die Leserichtung (vgl. Protopapas et al., 2013b), sondern um die kaskadierte Verarbeitung. Die diskrete RAN-Leistung liefert keinen über die serielle RAN-Leistung hinausgehenden Erklärungsbeitrag für die Leseflüssigkeit (Altani et al., 2018; Georgiou et al., 2013; Protopapas et al., 2013a). Die Annahme, dass diskretes RAN ein genaueres Maß für den Zugriff auf die Wortform ist, könnte zwar zutreffen, scheint aber als Erklärung für den SSE nicht ausreichend, da sie sowohl vom PSTM als auch von der Leseflüssigkeit isoliert ist (Studie 2, Gerhards,

Stenneken et al., 2023). Daraus lässt sich schließen, dass die Aktivierung der Wortform eine weniger bedeutsame Rolle für die Leseflüssigkeit einnimmt und nur die Kombination aus serieller Vorgabe und paralleler Verarbeitung dem Leseprozess so ähnlich sind, um prognostische Validität aufzuweisen. Dies stellt die Relevanz des seriellen RAN-Formats im Vergleich zum diskreten RAN-Format für die Vorhersage von Lesefähigkeit und möglichen Lesestörungen heraus. In Anlehnung an Norton und Wolf (2012), die serielles RAN als "a microcosm or mini-circuit of the later-developing reading circuitry" (Norton & Wolf, 2012; S. 430) beschrieben haben, könnte serielles RAN als eine reduzierte Form der seriellen Vorgabe und parallelen Verarbeitung spezifiziert werden.

### **Fazit und Ausblick**

Die vorliegende Dissertation liefert durch die Untersuchung sprachlicher und kognitiver Prozesse bei geübten erwachsenen Lesern für den deutschsprachigen Raum weitere bestätigende Hinweise für die CPH als Erklärung für den SSE. Die vorliegenden Ergebnisse konnten zeigen, dass die kaskadierte Verarbeitung zum einen insbesondere frühe lexikalische Prozesse betrifft und zum anderen das PSTM beansprucht. Dies steht auch im Einklang mit früheren Befunden, die zeigten, dass die kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli eine besondere Herausforderung für Kinder und Erwachsene mit Auffälligkeiten im flüssigen Lesen darstellt (Pan et al., 2013; Silva et al., 2016; Zoccolotti et al., 2013).

Die Ergebnisse stellen insbesondere die Relevanz des seriellen RAN sowohl für die Forschung als auch für die Früherkennung von möglichen, späteren Auffälligkeiten im flüssigen Lesen heraus. Die diskrete RAN-Leistung zeigte keinen signifikanten Zusammenhang mit der Leseflüssigkeit. Obwohl die kaskadierte Verarbeitung die Erklärung für den SSE ist, sind die zugrunde liegenden kognitiven Verarbeitungsmechanismen noch nicht vollständig verstanden. Dennoch liefert die vorliegende Grundlagenforschung Hinweise darauf, dass die kaskadierte Verarbeitung aufeinanderfolgender Stimuli für die Leseflüssigkeit

von Nutzen sein könnte und als Kernfähigkeit im Rahmen der Prävention und Therapie von Auffälligkeiten im flüssigen Lesen gefördert werden sollte. Die Ergebnisse deuten auch auf einen möglichen Nutzen der Förderung von PSTM hin, da dieses bei geübten Lesern sowohl direkt als auch indirekt über die serielle RAN-Leistung einen positiven Effekt auf die Leseflüssigkeit zeigt (Studie 2, Gerhards, Stenneken et al., 2023). Es sei jedoch anzumerken, dass die Förderung von Arbeitsgedächtnisleistungen und deren Effektivität in der Literatur kontrovers diskutiert wird (z. B. Klingberg et al., 2002; St Clair-Thompson et al., 2010).

### **Weitere Forschungsvorhaben**

Die Ergebnisse beider Studien bestätigten die CPH als Erklärung für den SSE. Dennoch ist weitere Grundlagenforschung zur CPH erforderlich, um die Kaskadierung bei seriellen RAN und der Leseflüssigkeit von Wortlisten zu spezifizieren und die zugrunde liegenden kognitiven Verarbeitungsmechanismen weiter zu untersuchen. Dazu sollten die im Rahmen der vorliegenden Dissertation durchgeführten Studien kombiniert werden, sodass die RAN-Stimuli nach lexikalischen und postlexikalischen Eigenschaften manipuliert werden, um Hinweise auf die zugrunde liegenden sprachlichen Verarbeitungsprozesse zu erhalten, und der Einfluss des PSTM sowie weiterer exekutiver Prozesse (vgl. Hemmung, Altani, Protopapas, & Georgiou, 2017) auf die serielle vs. diskrete RAN-Leistung und die Leseflüssigkeit untersucht werden. Dann könnten die Effekte der Wortfrequenz und Wortlänge gemeinsam mit den Effekten der kognitiven Verarbeitungsmechanismen interpretiert werden.

Darüber hinaus sollten zusätzlich zu den Gesamtzeiten von RAN und der Leseflüssigkeit auch die Blickbewegung gemessen werden, da diese eine präzisere Analyse zugrunde liegender Verarbeitungsprozesse durch Richtung und Abfolge der Blickbewegungen sowie Dauer der Fixationen ermöglicht (Araújo et al., 2021; Gordon & Hoedemaker, 2016; Kuperman et al., 2016). Des Weiteren lassen sich mit Hilfe der Blickbewegung sogenannte Regressionen, d. h. Rückwärtssprünge der Augen, messen, die als Störungen der reibungslosen

Verarbeitung interpretiert werden können. Außerdem könnte eine detailliertere Analyse der Reaktionszeiten im seriellen RAN nach Zeit pro Stimulus durchgeführt werden, um weitere Hinweise auf die kaskadierte Verarbeitung zu erhalten (vgl. intraindividuelle Variabilität, Huschka et al., 2021).

Die Ergebnisse der in dieser Arbeit durchgeführten Studien basieren auf Untersuchungen mit geübten, erwachsenen Lesern, sodass die Ergebnisse insbesondere an einer Stichprobe mit Kindern in verschiedenen Entwicklungsstufen des flüssigen Lesens überprüft werden sollten (vgl. Altani et al., 2018; van den Boer et al., 2016). Daraus könnten Implikationen für die Früherkennung bzw. Diagnostik abgeleitet werden, bevor in zukünftigen Studien die Wirksamkeit einer Förderung der kaskadierten Verarbeitung auf die Leseflüssigkeit untersucht werden sollte.

---

## Literaturverzeichnis

- Altani, A., Katsamanis, A., Kouzelis, T., Voukelatou, D., Zelihic, D., Simonsen, K., Ziaka, L., & Protopapas, A. (2022). *Temporal eye-voice span in naming tasks as an index of cascading efficiency*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34224.84487>
- Altani, A., Georgiou, G. K., Deng, C., Cho, J.-R., Katopodi, K., Wei, W., & Protopapas, A. (2017). Is processing of symbols and words influenced by writing system? Evidence from Chinese, Korean, English, and Greek. *Journal of Experimental Child Psychology, 164*, 117–135. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.07.006>
- Altani, A., Protopapas, A., & Georgiou, G. K. (2017). The contribution of executive functions to naming digits, objects, and words. *Reading and Writing, 30*(1), 121–141. <https://doi.org/10.1007/s11145-016-9666-4>
- Altani, A., Protopapas, A., & Georgiou, G. K. (2018). Using serial and discrete digit naming to unravel word reading processes. *Frontiers in Psychology, 9*, 524. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00524>
- Altani, A., Protopapas, A., Katopodi, K., & Georgiou, G. K. (2020a). From individual word recognition to word list and text reading fluency. *Journal of Educational Psychology, 112*(1), 22–39. <https://doi.org/10.1037/edu0000359>
- Altani, A., Protopapas, A., Katopodi, K., & Georgiou, G. K. (2020b). Tracking the serial advantage in the naming rate of multiple over isolated stimulus displays. *Reading and Writing, 33*(2), 349–375. <https://doi.org/10.1007/s11145-019-09962-7>
- Amtmann, D., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2007). Mixture growth models of RAN and RAS row by row: insight into the reading system at work over time. *Reading and Writing, 20*(8), 785–813. <https://doi.org/10.1007/s11145-006-9041-y>

- Araújo, S., & Faísca, L. (2019). A meta-analytic review of naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Scientific Studies of Reading, 23*(5), 349–368.  
<https://doi.org/10.1080/10888438.2019.1572758>
- Araújo, S., Fernandes, T., & Huettig, F. (2019). Learning to read facilitates the retrieval of phonological representations in rapid automatized naming: Evidence from unschooled illiterate, ex-illiterate, and schooled literate adults. *Developmental Science, 22*(4), e12783. <https://doi.org/10.1111/desc.12783>
- Araújo, S., Huettig, F., & Meyer, A. S. (2021). What underlies the deficit in rapid automatized naming (RAN) in adults with dyslexia? Evidence from eye movements. *Scientific Studies of Reading, 25*(6), 534–549.  
<https://doi.org/10.1080/10888438.2020.1867863>
- Araújo, S., Reis, A., Petersson, K. M., & Faísca, L. (2015). Rapid automatized naming and reading performance: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology, 107*(3), 868–883. <https://doi.org/10.1037/edu0000006>
- Audacity Team (2018). *Audacity®: Free audio editor and recorder* (Version 2.2.2) [Computer software]. <https://audacityteam.org/>
- Bachoud-Lévi, A.-C., Dupoux, E., Cohen, L., & Mehler, J. (1998). Where is the length effect? A cross-linguistic study of speech production. *Journal of Memory and Language, 39*(3), 331–346. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2572>
- Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology, 63*, 1–29. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100422>
- Barry, C., Hirsh, K. W., Johnston, R. A., & Williams, C. L. (2001). Age of acquisition, word frequency, and the locus of repetition priming of picture naming. *Journal of Memory and Language, 44*(3), 350–375. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2743>

- Bonin, P., Barry, C., Méot, A., & Chalard, M. (2004). The influence of age of acquisition in word reading and other tasks: A never ending story? *Journal of Memory and Language*, 50(4), 456–476. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2004.02.001>
- Bonin, P., Fayol, M., & Chalard, M. (2001). Age of acquisition and word frequency in written picture naming. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology a*, 54(2), 469–489. <https://doi.org/10.1080/02724980042000219>
- Bowers, P. G., & Swanson, L. B. (1991). Naming speed deficits in reading disability: Multiple measures of a singular process. *Journal of Experimental Child Psychology*, 51(2), 195–219. [https://doi.org/10.1016/0022-0965\(91\)90032-N](https://doi.org/10.1016/0022-0965(91)90032-N)
- Bowers, P. G., & Wolf, M. (1993). Theoretical links among naming speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing*, 5(1), 69–85. <https://doi.org/10.1007/BF01026919>
- Bowey, J. A., McGuigan, M., & Ruschena, A. (2005). On the association between serial naming speed for letters and digits and word-reading skill: towards a developmental account. *Journal of Research in Reading*, 28(4), 400–422. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00278.x>
- Coltheart, M. (2005). Modeling Reading: The dual-route approach. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The science of reading: A handbook* (pp.6–23). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470757642.ch1>
- Cop, U., Keuleers, E., Drieghe, D., & Duyck, W. (2015). Frequency effects in monolingual and bilingual natural reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(5), 1216–1234. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0819-2>

- Cunningham, A. J., Burgess, A. P., Witton, C., Talcott, J. B., & Shapiro, L. R. (2021). Dynamic relationships between phonological memory and reading: A five year longitudinal study from age 4 to 9. *Developmental Science*, 24(1), e12986. <https://doi.org/10.1111/desc.12986>
- Cutting, L. E., & Denckla, M. B. (2001). The relationship of rapid serial naming and word reading in normally developing readers: An exploratory model. *Reading and Writing*, 14(7/8), 673–705. <https://doi.org/10.1023/A:1012047622541>
- Damian, M. F., Bowers, J. S., Stadthagen-Gonzalez, H., & Spalek, K. (2010). Does word length affect speech onset latencies when producing single words? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(4), 892–905. <https://doi.org/10.1037/a0019446>
- Decker, S. L., Roberts, A. M., & Englund, J. A. (2013). Cognitive predictors of rapid picture naming. *Learning and Individual Differences*, 25, 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2013.03.009>
- Dejerine, J. (1892). Contribution a l'etude anatomo-pathologique et clinique des differentes varietes de cecite verbale. *Mémoires De La Société De Biologie*(4), 61–90.
- De Jong, P. F. (2011). What discrete and serial rapid automatized naming can reveal about reading. *Scientific Studies of Reading*, 15(4), 314–337.
- De Jong, P. F., & van den Boer, M. (2021). The relation of visual attention span with serial and discrete rapid automatized naming and reading. *Journal of Experimental Child Psychology*, 207, 105093. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2021.105093>
- Denckla, M. B. (1972a). Color-naming defects in dyslexic boys. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 8(2), 164–176. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(72\)80016-9](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(72)80016-9)

- Denckla, M. B. (1972b). Performance on color tasks in kindergarten children. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 8(2), 177–190.  
[https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(72\)80017-0](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(72)80017-0)
- Denckla, M. B., & Rudel, R. (1974). Rapid "automatized" naming of pictured objects, colors, letters and numbers by normal children. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 10(2), 186–202. [https://doi.org/10.1016/s0010-9452\(74\)80009-2](https://doi.org/10.1016/s0010-9452(74)80009-2).
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976a). Naming of object-drawings by dyslexic and other learning disabled children. *Brain and Language*, 3(1), 1–15.  
[https://doi.org/10.1016/0093-934X\(76\)90001-8](https://doi.org/10.1016/0093-934X(76)90001-8)
- Denckla, M. B., & Rudel, R. G. (1976b). Rapid "automatized" naming (R.A.N): Dyslexia differentiated from other learning disabilities. *Neuropsychologia*, 14(4), 471–479.  
[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(76\)90075-0](https://doi.org/10.1016/0028-3932(76)90075-0)
- Denckla, M. B., & Cutting, L. E. (1999). History and significance of rapid automatized naming. *Annals of Dyslexia*, 49(1), 29–42. <https://doi.org/10.1007/s11881-999-0018-9>
- Dufva, M., Niemi, P., & Voeten, M. J.M. (2001). The role of phonological memory, word recognition, and comprehension skills in reading development: from preschool to grade 2. *Reading and Writing*, 14(1/2), 91–117.  
<https://doi.org/10.1023/A:1008186801932>
- Eberharter, P. R. (2019). *Cascaded processing in serial RAN and reading fluency: A study with university students*. <https://doi.org/10.7939/r3-hexc-bp97>
- Ehri, L. C. (2014). Orthographic mapping in the acquisition of sight word reading, spelling memory, and vocabulary learning. *Scientific Studies of Reading*, 18(1), 5–21.  
<https://doi.org/10.1080/10888438.2013.819356>

- Ennemoser, M., Marx, P., Weber, J., & Schneider, W. (2012). Spezifische Vorläuferfertigkeiten der Lesegeschwindigkeit, des Leseverständnisses und des Rechtschreibens. *Zeitschrift Für Entwicklungspsychologie Und Pädagogische Psychologie*, *44*(2), 53–67. <https://doi.org/10.1026/0049-8637/a000057>
- Eriksen, C. W., Pollack, M. D., & Montague, W. E. (1970). Implicit speech: Mechanism in perceptual encoding? *Journal of Experimental Psychology*, *84*(3), 502–507. <https://doi.org/10.1037/h0029274>
- Forster, K. I., & Chambers, S. M. (1973). Lexical access and naming time. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *12*(6), 627–635. [https://doi.org/10.1016/s0022-5371\(73\)80042-8](https://doi.org/10.1016/s0022-5371(73)80042-8)
- Forster, K. I., & Forster, J. C. (2003). Dmdx: A windows display program with millisecond accuracy. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, *35*(1), 116–124. <https://doi.org/10.3758/BF03195503>
- Friedmann, N., Biran, M., & Dotan, D. (2013). Lexical retrieval and its breakdown in aphasia and developmental language impairment. In C. Boeckx & K. K. Grohmann (Eds.), *The Cambridge Handbook of Bilingualism* (pp. 350–374). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511980435.021>
- Gasparini, F., Brizzolara, D., Cristofani, P., Casalini, C., & Chilosi, A. M. (2014). The contribution of discrete-trial naming and visual recognition to rapid automatized naming deficits of dyslexic children with and without a history of language delay. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 652. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00652>
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (1993). Phonological working memory: A critical building block for reading development and vocabulary acquisition? *European Journal of Psychology of Education*, *8*(3), 259–272. <https://doi.org/10.1007/BF03174081>

- Gathercole, S. E., Willis, C., & Baddeley, A. D. (1991). Differentiating phonological memory and awareness of rhyme: Reading and vocabulary development in children. *British Journal of Psychology*, 82(3), 387–406. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1991.tb02407.x>
- Georgiou, G. K., Aro, M., Liao, C.-H., & Parrila, R. (2016). Modeling the relationship between rapid automatized naming and literacy skills across languages varying in orthographic consistency. *Journal of Experimental Child Psychology*, 143, 48–64. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.10.017>
- Georgiou, G. K., Inoue, T., Papadopoulos, T. C., & Parrila, R. (2021). Examining the growth trajectories and cognitive predictors of reading in a consistent orthography: Evidence from a 10-year longitudinal study. *Applied Psycholinguistics*, 42(5), 1287–1311. <https://doi.org/10.1017/S0142716421000321>
- Georgiou, G. K., Papadopoulos, T. C., Fella, A., & Parrila, R. (2012). Rapid naming speed components and reading development in a consistent orthography. *Journal of Experimental Child Psychology*, 112(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.11.006>
- Georgiou, G. K., & Parrila, R. (2013). Rapid Automatized Naming and Reading: A review. In H. L. Swanson, K. R. Harris, & S. Graham (Eds.), *Handbook of learning disabilities* (2nd ed., pp. 169–185). The Guilford Press.
- Georgiou, G. K., & Parrila, R. (2020). What mechanism underlies the rapid automatized naming-reading relation? *Journal of Experimental Child Psychology*, 194, 104840. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2020.104840>
- Georgiou, G. K., Parrila, R., Cui, Y., & Papadopoulos, T. C. (2013). Why is rapid automatized naming related to reading? *Journal of Experimental Child Psychology*, 115(1), 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.10.015>

- Georgiou, G. K., Parrila, R., & Kirby, J. (2006). Rapid naming speed components and early reading acquisition. *Scientific Studies of Reading, 10*(2), 199–220.  
[https://doi.org/10.1207/s1532799xssr1002\\_4](https://doi.org/10.1207/s1532799xssr1002_4)
- Georgiou, G. K., Parrila, R., & Kirby, J. R. (2009). RAN components and reading development from grade 3 to grade 5: What underlies their relationship? *Scientific Studies of Reading, 13*(6), 508–534. <https://doi.org/10.1080/10888430903034796>
- Georgiou, G. K., Parrila, R., & Papadopoulos, T. C. (2008). Predictors of word decoding and reading fluency across languages varying in orthographic consistency. *Journal of Educational Psychology, 100*(3), 566–580. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.100.3.566>
- Georgiou, G. K., Parrila, R., & Papadopoulos, T. C. (2016). The anatomy of the RAN-reading relationship. *Reading and Writing, 29*(9), 1793–1815.  
<https://doi.org/10.1007/s11145-016-9653-9>
- Georgiou, G. K., Tao, S., Romero, S., Ma, L., Chen, R., Li, Y., Liu, N., Wang, L., & Protopapas, A. (2023). Serial and discrete naming and reading in Chinese first graders: Testing predictions from the cascaded processing hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology, 231*, 105650.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105650>
- Gerhards, L., Rubi-Fessen, I., Weinzierl, C., & Stenneken, P. (2023). Kölner LeseListen für die Diagnostik der visuellen Wortverarbeitung.  
<https://doi.org/10.17605/OSF.IO/WSNFJ>
- Gerhards, L., Schmidt, B. M., Stenneken, P., Rosenkranz, A., & Schabmann, A. (2023). *The RAN-Reading Relationship and Linguistic Effects* [Manuscript submitted for publication]. Department of Special Education and Rehabilitation, University of Cologne.

- Gerhards, L., Stenneken, P., Schmidt, B. M., & Schabmann, A. (2023). *Different Cognitive Demands in Serial and Discrete RAN – Evidence from the Relationship of Phonological Short-Term Memory, RAN and Reading* [Manuscript submitted for publication]. Department of Special Education and Rehabilitation, University of Cologne.
- Gerhards, L., & Stenneken, P. (2022). Automatisierung. In S. Schierholz (Ed.), *Wörterbücher zur Sprach- und Kommunikationswissenschaft (WSK)*. De Gruyter.  
[https://www.degruyter.com/database/WSK/entry/wsk\\_id\\_wsk\\_artikel\\_artikel\\_14716/html](https://www.degruyter.com/database/WSK/entry/wsk_id_wsk_artikel_artikel_14716/html)
- Gerth, S., & Festman, J. (2021). Reading development, word length and frequency effects: An eye-tracking study with slow and fast readers. *Frontiers in Communication*, 6, Article 743113. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.743113>
- Geschwind, N., & Fusillo, M. (1966). Color-naming defects in association with alexia. *Archives of Neurology*, 15(2), 137–146.  
<https://doi.org/10.1001/archneur.1966.00470140027004>
- Glück, C. W. (2020). Wortfindungsstörungen im Grundschul- und jungen Erwachsenenalter. Advance online publication. <https://doi.org/10.25932/publishup-47485> (325 KB).
- Gordon, P. C., & Hoedemaker, R. S. (2016). Effective scheduling of looking and talking during rapid automatized naming. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 42(5), 742–760. <https://doi.org/10.1037/xhp0000171>
- Graves, W. W., Grabowski, T. J., Mehta, S., & Gordon, J. K. (2007). A neural signature of phonological access: Distinguishing the effects of word frequency from familiarity and length in overt picture naming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(4), 617–631. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.4.617>
- Hasselhorn, M. (2012). *Arbeitsgedächtnistestbatterie für Kinder von 5 bis 12 Jahren* (1. Auflage). Hogrefe.

- Heister, J., Würzner, K.-M., Bubenzer, J., Pohl, E., Hanneforth, T., Geyken, A., & Kliegl, R. (2011). dlexDB – eine lexikalische Datenbank für die psychologische und linguistische Forschung. *Psychologische Rundschau*, *62*(1), 10–20.  
<https://doi.org/10.1026/0033-3042/a000029>
- Huschka, S. S., Georgiou, G. K., Brandenburg, J., Ehm, J.-H., & Hasselhorn, M. (2021). Examining the contribution of RAN components to reading fluency, reading comprehension, and spelling in German. *Reading and Writing*, *34*(9), 2317–2336.  
<https://doi.org/10.1007/s11145-021-10145-6>
- Inhoff, A. W., & Rayner, K. (1986). Parafoveal word processing during eye fixations in reading: Effects of word frequency. *Perception & Psychophysics*, *40*(6), 431–439.  
<https://doi.org/10.3758/BF03208203>
- Inhoff, A. W., Solomon, M., Radach, R., & Seymour, B. A. (2011). Temporal dynamics of the eye-voice span and eye movement control during oral reading. *Journal of Cognitive Psychology*, *23*(5), 543–558.  
<https://doi.org/10.1080/20445911.2011.546782>
- Jacobson, L. A., Ryan, M., Martin, R. B., Ewen, J., Mostofsky, S. H., Denckla, M. B., & Mahone, E. M. (2011). Working memory influences processing speed and reading fluency in ADHD. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *17*(3), 209–224.  
<https://doi.org/10.1080/09297049.2010.532204>
- Jescheniak, J. D., & Levelt, W. J. M. (1994). Word frequency effects in speech production: Retrieval of syntactic information and of phonological form. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(4), 824–843.  
<https://doi.org/10.1037/0278-7393.20.4.824>

- Jones, M. W., Branigan, H. P., & Kelly, M. L. (2009). Dyslexic and nondyslexic reading fluency: Rapid automatized naming and the importance of continuous lists. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(3), 567–572.  
<https://doi.org/10.3758/PBR.16.3.567>
- Kail, R., & Hall, L. K. (1994). Processing speed, naming speed, and reading. *Developmental Psychology*, *30*(6), 949–954. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.30.6.949>
- Kail, R., Hall, L. K., & CASKEY, B. J. (1999). Processing speed, exposure to print, and naming speed. *Applied Psycholinguistics*, *20*(2), 303–314.  
<https://doi.org/10.1017/S0142716499002076>
- Klapp, S. T., Anderson, W. G., & Berrian, R. W. (1973). Implicit speech in reading: Reconsidered. *Journal of Experimental Psychology*, *100*(2), 368–374.  
<https://doi.org/10.1037/h0035471>
- Klicpera, C., & Schabmann, A. (1993). Do German-speaking children have a chance to overcome reading and spelling difficulties? A longitudinal survey from the second until the eighth grade. *European Journal of Psychology of Education*, *8*(3), 307–323.  
<https://doi.org/10.1007/BF03174084>
- Klicpera, C., Schabmann, A., Gasteiger-Klicpera, B., & Schmidt, B. (2020). *Legasthenie - LRS: Modelle, Diagnose, Therapie und Förderung: mit 100 Übungsfragen* (6., aktualisierte Auflage). *utb-studi-e-book: Vol. 2472*. Ernst Reinhardt Verlag.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, *16*(1-2), 262–284.  
<https://doi.org/10.1080/09541440340000213>

- Klingberg, T., Forssberg, H., & Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *24*(6), 781–791. <https://doi.org/10.1076/jcen.24.6.781.8395>
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2007). *NEPSY-II* (2nd edition). TX: Harcourt Assessment.
- Krause, C. D., Wagner, S., Holzgrefe-Lang, J., Lorenz, E., Oelze, V., Schütz, V., Peinhardt, U., & Glück, C. W. (2020). Diagnostik des auditiven Sprachverstehens bei Jugendlichen – die App »Leipziger Sprach-Instrumentarium Jugend« (LSIJ). Advance online publication. <https://doi.org/10.25932/publishup-47493> (2518 KB).
- Kudo, M. F., Lussier, C. M., & Swanson, H. L. (2015). Reading disabilities in children: A selective meta-analysis of the cognitive literature. *Research in Developmental Disabilities*, *40*, 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.01.002>
- Kuperman, V., van Dyke, J. A., & Henry, R. (2016). Eye-movement control in RAN and reading. *Scientific Studies of Reading*, *20*(2), 173–188. <https://doi.org/10.1080/10888438.2015.1128435>
- Landerl, K., Freudenthaler, H. H., Heene, M., Jong, P. F. de, Desrochers, A., Manolitsis, G., Parrila, R., & Georgiou, G. K. (2019). Phonological awareness and rapid automatized naming as longitudinal predictors of reading in five alphabetic orthographies with varying degrees of consistency. *Scientific Studies of Reading*, *23*(3), 220–234. <https://doi.org/10.1080/10888438.2018.1510936>
- Landerl, K., & Wimmer, H. (2008). Development of word reading fluency and spelling in a consistent orthography: An 8-year follow-up. *Journal of Educational Psychology*, *100*(1), 150–161. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.100.1.150>
- Laubrock, J., & Kliegl, R. (2015). The eye-voice span during reading aloud. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1432. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01432>

- Lervåg, A., & Hulme, C. (2009). Rapid automatized naming (RAN) taps a mechanism that places constraints on the development of early reading fluency. *Psychological Science*, 20(8), 1040–1048. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2009.02405.x>
- Levelt, W. J. M. (2002). Phonological encoding in speech production: Comments on Jurafsky et al., Schiller et al., and van Heuven & Haan. In C. Gussenhoven & N. Warner (Eds.), *Laboratory phonology VII* (pp. 87–99). De Gruyter.
- Levelt, W. J., Roelofs, A., & Meyer, A. S. (1999). A theory of lexical access in speech production. *The Behavioral and Brain Sciences*, 22(1), 1-38; discussion 38-75. <https://doi.org/10.1017/s0140525x99001776>
- Li, H., Shu, H., McBride-Chang, C., Liu, H., & Peng, H. (2012). Chinese children's character recognition: Visuo-orthographic, phonological processing and morphological skills. *Journal of Research in Reading*, 35(3), 287–307. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2010.01460.x>
- Li, J. J., Cutting, L. E., Ryan, M., Zilioli, M., Denckla, M. B., & Mahone, E. M. (2009). Response variability in rapid automatized naming predicts reading comprehension. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 31(7), 877–888. <https://doi.org/10.1080/13803390802646973>
- Liu, C., & Georgiou, G. K. (2017). Cognitive and environmental correlates of rapid automatized naming in Chinese kindergarten children. *Journal of Educational Psychology*, 109(4), 465–476. <https://doi.org/10.1037/edu0000151>
- Logan, J. A. R., Schatschneider, C., & Wagner, R. K. (2011). Rapid serial naming and reading ability: The role of lexical access. *Reading and Writing*, 24(1), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s11145-009-9199-1>

- Majerus, S., & Cowan, N. (2016). The nature of verbal short-term impairment in dyslexia: The importance of serial order. *Frontiers in Psychology, 7*, 1522.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01522>
- Martinez Perez, T., Majerus, S., & Poncelet, M. (2013). Impaired short-term memory for order in adults with dyslexia. *Research in Developmental Disabilities, 34*(7), 2211–2223. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.04.005>
- Mayer, A. (2018). Benennungsgeschwindigkeit und Lesen. *Forschung Sprache, 6*, 20–43.
- Mayer, A. (2020). *Test zur Erfassung der phonologischen Bewusstheit und der Benennungsgeschwindigkeit (TEPHOBE)*. Ernst Reinhardt Verlag.
- McWeeny, S., Choi, S., Choe, J., LaTourrette, A., Roberts, M. Y., & Norton, E. S. (2022). Rapid automatized naming (RAN) as a kindergarten predictor of future reading in english: A systematic review and meta-analysis. *Reading Research Quarterly, 57*(4), 1187–1211. <https://doi.org/10.1002/rrq.467>
- Meyer, A. S., Roelofs, A., & Levelt, W. J.M. (2003). Word length effects in object naming: The role of a response criterion. *Journal of Memory and Language, 48*(1), 131–147.  
[https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00509-0](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00509-0)
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "Frontal Lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology, 41*(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Moll, K., & Landerl, K. (2014). *SLRT-II: Weiterentwicklung des Salzburger Lese- und Rechtschreibtests (SLRT) : Manual* (2., korrigierte Auflage mit erweiterten Normen). Hogrefe.

- Morton, J. (1964). The effects of context upon speed of reading, eye movements and eye-voice span. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *16*(4), 340–354.  
<https://doi.org/10.1080/17470216408416390>
- Müller, H. J., & Krummenacher, J. (2002). Aufmerksamkeit. In J. Müsseler & M. Rieger (Eds.), *Allgemeine Psychologie* (2nd ed., pp. 103–154).
- Närhi, V., Ahonen, T., Aro, M., Leppäsaari, T., Korhonen, T. T., Tolvanen, A., & Lyytinen, H. (2005). Rapid serial naming: Relations between different stimuli and neuropsychological factors. *Brain and Language*, *92*(1), 45–57.  
<https://doi.org/10.1016/j.bandl.2004.05.004>
- Norton, E. S. (2020). What educators need to know about rapid automatized naming (RAN). *LDA Bulletin*, *52*(1), 25–28.
- Norton, E. S., & Wolf, M. (2012). Rapid automatized naming (RAN) and reading fluency: Implications for understanding and treatment of reading disabilities. *Annual Review of Psychology*, *63*, 427–452. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-120710-100431>
- Oldfield, R. C., & Wingfield, A. (1965). Response latencies in naming objects. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *17*(4), 273–281.  
<https://doi.org/10.1080/17470216508416445>
- Pan, J., Yan, M., Laubrock, J., Shu, H., & Kliegl, R. (2013). Eye-voice span during rapid automatized naming of digits and dice in Chinese normal and dyslexic children. *Developmental Science*, *16*(6), 967–979. <https://doi.org/10.1111/desc.12075>
- Papadopoulos, T. C., Spanoudis, G. C., & Georgiou, G. K. (2016). How is RAN related to reading fluency? A comprehensive examination of the prominent theoretical accounts. *Frontiers in Psychology*, *7*, 1217. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01217>

- Parrila, R., Kirby, J. R., & McQuarrie, L. (2004). Articulation rate, naming speed, verbal short-term memory, and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development? *Scientific Studies of Reading*, 8(1), 3–26.  
[https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0801\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0801_2)
- Paucke, M., Oppermann, F., Koch, I., & Jescheniak, J. D. (2015). On the costs of parallel processing in dual-task performance: The case of lexical processing in word production. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 41(6), 1539–1552. <https://doi.org/10.1037/a0039583>
- Perfetti, C. A., Landi, N., & Oakhill, J. (2005). The acquisition of reading comprehension skill. In M. J. Snowling & C. Hulme (Eds.), *The Science of Reading: A handbook* (pp. 227–247). Blackwell Publishing Ltd.  
<https://doi.org/10.1002/9780470757642.ch13>
- Poulsen, M., Juul, H., & Elbro, C. (2015). Multiple mediation analysis of the relationship between rapid naming and reading. *Journal of Research in Reading*, 38(2), 124–140.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2012.01547.x>
- Protopapas, A., Katopodi, K., Altani, A., Sagris, D., Kolotoura, I., & Georgiou, G. K. (2018, July 19). Articulation and pause time in serial and discrete naming and reading: Where do interrelations come from? In A. Protopapas (Chair), *Toward understanding reading processes through the study of naming tasks* [Symposium]. Twenty-Fifth Annual Meeting of the Society for the Scientific Study of Reading, Brighton, United Kingdom.
- Protopapas, A., Altani, A., & Georgiou, G. K. (2013a). Development of serial processing in reading and rapid naming. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(4), 914–929. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.004>

- Protopapas, A., Altani, A., & Georgiou, G. K. (2013b). RAN backward: A test of the visual scanning hypothesis. *Scientific Studies of Reading, 17*(6), 453–461.  
<https://doi.org/10.1080/10888438.2013.769556>
- Protopapas, A., Katopodi, K., Altani, A., & Georgiou, G. K. (2018). Word reading fluency as a serial naming task. *Scientific Studies of Reading, 22*(3), 248–263.  
<https://doi.org/10.1080/10888438.2018.1430804>
- Reissland, J., & Manzey, D. (2016). Serial or overlapping processing in multitasking as individual preference: Effects of stimulus preview on task switching and concurrent dual-task performance. *Acta Psychologica, 168*, 27–40.  
<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2016.04.010>
- Roelofs, A. (2002). Syllable structure effects turn out to be word length effects: Comment on Santiago et al. (2000). *Language and Cognitive Processes, 17*(1), 1–13.  
<https://doi.org/10.1080/01690960042000139>
- Rothe, J., Schulte-Körne, G., & Ise, E. (2014). Does sensitivity to orthographic regularities influence reading and spelling acquisition? A 1-year prospective study. *Reading and Writing, 27*(7), 1141–1161. <https://doi.org/10.1007/s11145-013-9479-7>
- Santiago, J., MacKay, D. G., Palma, A., & Rho, C. (2000). Sequential activation processes in producing words and syllables: Evidence from picture naming. *Language and Cognitive Processes, 15*(1), 1–44. <https://doi.org/10.1080/016909600386101>
- Savage, R., Pillay, V., & Melidona, S. (2007). Deconstructing rapid automatized naming: Component processes and the prediction of reading difficulties. *Learning and Individual Differences, 17*(2), 129–146. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2007.04.001>

- Schatschneider, C., Fletcher, J. M., Francis, D. J., Carlson, C. D., & Foorman, B. R. (2004). Kindergarten prediction of reading skills: A longitudinal comparative analysis. *Journal of Educational Psychology, 96*(2), 265–282. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.96.2.265>
- Schnitzler, C. D. (2008). *Phonologische Bewusstheit und Schriftspracherwerb*. Georg Thieme Verlag.
- Schulte-Körne, G., & Galuschka, K. (2019). *Lese-/Rechtschreibstörung (LRS)* (1. Auflage). *Ciando library: Band 26*. Hogrefe.
- Silva, S., Faísca, L., Araújo, S., Casaca, L., Carvalho, L., Petersson, K. M., & Reis, A. (2016). Too little or too much? Parafoveal preview benefits and parafoveal load costs in dyslexic adults. *Annals of Dyslexia, 66*(2), 187–201. <https://doi.org/10.1007/s11881-015-0113-z>
- St Clair-Thompson, H., Stevens, R., Hunt, A., & Bolder, E. (2010). Improving children's working memory and classroom performance. *Educational Psychology, 30*(2), 203–219. <https://doi.org/10.1080/01443410903509259>
- Stadie, N., Hanne, S., Lorenz, A., Lauer, N., & Schrey-Dern, D. (2019). *Lexikalische und semantische Störungen bei Aphasie*. Georg Thieme Verlag.
- Stanovich, K. E., Feeman, D. J., & Cunningham, A. E. (1983). The development of the relation between letter-naming speed and reading ability. *Bulletin of the Psychonomic Society, 21*(3), 199–202. <https://doi.org/10.3758/BF03334686>
- Steinhilber, A., Diard, J., Ginestet, E., & Valdois, S. (2023). Visual attention modulates the transition from fine-grained, serial processing to coarser-grained, more parallel processing: A computational modeling study. *Vision Research, 207*, 108211. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2023.108211>

- Stenneken, P., Conrad, M., & Jacobs, A. (2007). Processing of syllables in production and recognition tasks. *Journal of Psycholinguistic Research*, 36(1), 65–78.  
<https://doi.org/10.1007/s10936-006-9033-8>
- Stenneken, P., Egetemeir, J., Schulte-Körne, G., Müller, H. J., Schneider, W. X., & Finke, K. (2011). Slow perceptual processing at the core of developmental dyslexia: A parameter-based assessment of visual attention. *Neuropsychologia*, 49(12), 3454–3465. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.08.021>
- Swanson, H. L., & Howell, M. (2001). Working memory, short-term memory, and speech rate as predictors of children's reading performance at different ages. *Journal of Educational Psychology*, 93(4), 720–734. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.93.4.720>
- Swanson, H. L., Trainin, G., Necochea, D. M., & Hammill, D. D. (2003). Rapid naming, phonological awareness, and reading: A meta-analysis of the correlation evidence. *Review of Educational Research*, 73(4), 407–440.  
<https://doi.org/10.3102/00346543073004407>
- Swanson, H. L., Xinhua, Z., & Jerman, O. (2009). Working memory, short-term memory, and reading disabilities: A selective meta-analysis of the literature. *Journal of Learning Disabilities*, 42(3), 260–287. <https://doi.org/10.1177/0022219409331958>
- Székely, A., D'Amico, S., Devescovi, A., Federmeier, K., Herron, D., Iyer, G., Jacobsen, T., & Bates, E. (2003). Timed picture naming: Extended norms and validation against previous studies. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers: A Journal of the Psychonomic Society, Inc*, 35(4), 621–633. <https://doi.org/10.3758/BF03195542>
- Torgesen, J. K., Wagner, R. K., & Rashotte, C. A. (1994). Longitudinal studies of phonological processing and reading. *Journal of Learning Disabilities*, 27(5), 276-86; discussion 287-91. <https://doi.org/10.1177/002221949402700503>

- Tractenberg, R. E. (2002). Exploring hypotheses about phonological awareness, memory, and reading achievement. *Journal of Learning Disabilities, 35*(5), 407–424.  
<https://doi.org/10.1177/00222194020350050201>
- Vaessen, A., & Blomert, L. (2010). Long-term cognitive dynamics of fluent reading development. *Journal of Experimental Child Psychology, 105*(3), 213–231.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2009.11.005>
- van den Boer, M., Georgiou, G. K., & Jong, P. F. de (2016). Naming of short words is (almost) the same as naming of alphanumeric symbols: Evidence from two orthographies. *Journal of Experimental Child Psychology, 144*, 152–165.  
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.11.016>
- van den bos, K. P., Zijlstra, B. J. H., & lutje Spelberg, H. C. (2002). Life-span data on continuous-naming speeds of numbers, letters, colors, and pictured objects, and word-reading speed. *Scientific Studies of Reading, 6*(1), 25–49.  
[https://doi.org/10.1207/S1532799XSSR0601\\_02](https://doi.org/10.1207/S1532799XSSR0601_02)
- Vitevitch, M. S., & Luce, P. A. (2016). Phonological neighborhood effects in spoken word perception and production. *Annual Review of Linguistics, 2*(1).  
<https://doi.org/10.1146/annurev-linguist-030514-124832>
- Wagner, R. K., & Torgesen, J. K. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin, 101*(2), 192–212. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.101.2.192>
- Wells, F. L., & Ruesch, J. (1945). *Mental examiner's handbook*. (2nd ed.). Psychological Corporation.

- Wiseheart, R., Kim, S., Lombardino, L. J., & Altmann, L. J. P. (2019). Indexing effects of phonological representational strength on rapid naming using rime neighborhood density. *Applied Psycholinguistics*, *40*(2), 253–277.  
<https://doi.org/10.1017/S0142716418000565>
- Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities*, *33*(4), 387–407.  
<https://doi.org/10.1177/002221940003300409>
- Wolf, M. (1991). Naming speed and reading: The contribution of the cognitive neurosciences. *Reading Research Quarterly*, *26*(2), 123.  
<https://doi.org/10.2307/747978>
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexias. *Journal of Educational Psychology*, *91*(3), 415–438.  
<https://doi.org/10.1037/0022-0663.91.3.415>
- Ziegler, J. C., Bertrand, D., Tóth, D., Csépe, V., Reis, A., Faísca, L., Saine, N., Lyttinen, H., Vaessen, A., & Blomert, L. (2010). Orthographic depth and its impact on universal predictors of reading: A cross-language investigation. *Psychological Science*, *21*(4), 551–559. <https://doi.org/10.1177/0956797610363406>
- Zoccolotti, P., Luca, M. de, Lami, L., Pizzoli, C., Pontillo, M., & Spinelli, D. (2013). Multiple stimulus presentation yields larger deficits in children with developmental dyslexia: A study with reading and RAN-type tasks. *Child Neuropsychology: A Journal on Normal and Abnormal Development in Childhood and Adolescence*, *19*(6), 639–647. <https://doi.org/10.1080/09297049.2012.718325>
- Zoccolotti, P., Luca, M. de, & Spinelli, D. (2015). Discrete versus multiple word displays: A re-analysis of studies comparing dyslexic and typically developing children. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1530. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01530>

---

## Appendix

### Appendix A

#### Tabelle A

*Die Objekt-Stimuli für jede RAN-Aufgabe*

RAN-Aufgabe	Objektnamen
1) hochfrequent, ein- und zweisilbig	Ziege, Geige, Birne, Topf, Schal
2) hochfrequent, drei- und viersilbig	Paprika, Kalender, Elefant, Trompete, Krawatte
3) niedrigfrequent, ein- und zweisilbig	Fön, Kirsche, Pfau, Harfe, Dirndl
4) niedrigfrequent, drei- und viersilbig	Triangel, Flamingo, Ventilator, Tomate, Bikini

## Appendix B

**Table 4.2.4**

*Correlations between Latency and Articulation Time*

Task	Frequency	Length	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Latency <sup>*)</sup>	High		.83**	.73**	.75**	.28*	.29*	.22	.38**
2		long	.72**		.70**	.77**	.35**	.30*	.23	.41**
3		Low			.80**	.65**	.70**	.44**	.50**	.30*
4		long	.63**	.55**	.54**		.24*	.24	.17	.28*
5	Articulation Time <sup>*)</sup>	High						.59**	.58**	.53**
6		long	.46**	.57**	.46**	.36**	.60**		.73**	.68**
7		Low							.45**	.44**
8		long	.48**	.46**	.47**	.37**	.76**	.62**		.75**
										.59**
			.49**	.42**	.51**	.37**	.68**	.60**	.65**	

*Note.* Above the diagonal = discrete RAN; below the diagonal = serial RAN; <sup>\*)</sup> time per stimulus in seconds

\* $p < .05$ . \*\* $p < .01$ .