



Explizite und implizite grammatische Fähigkeiten im Kontrast: Ein pupillometrischer Vergleich zwischen Kindern mit und ohne SES*

Explicit and implicit grammatical skills in contrast: A pupillometric comparison between children with and without DLD

Anna-Lena Scherger¹, Isabel Neitzel¹, Gianna Urbanczik²

¹ Fachgebiet Sprache und Kommunikation, Fakultät für Rehabilitationswissenschaften, Technische Universität Dortmund

² Department Linguistik, Strukturbereich Kognitionswissenschaften, Humanwissenschaftliche Fakultät, Universität Potsdam

Zusammenfassung

Hintergrund: Herkömmliche Methoden zur Sprachentwicklungsdiagnostik unterliegen bestimmten Einschränkungen, da sie in der Regel eine aktive Reaktion des Kindes voraussetzen. Die Pupillometrie ist eine Methode zur Online-Messung von Pupillenweiten, welche eine unmittelbare und implizite Reaktion, bspw. auf sprachliche Reize, abbildet.

Ziel: Die vorliegende Untersuchung verfolgt das Ziel, die Anwendbarkeit der Pupillometrie zur Spracherwerbsdiagnostik zu diskutieren.

Methodik: In einer Pilotuntersuchung mit 5- bis 6-Jährigen wurden 13 Kinder mit abgeschlossenem Erwerb der Subjekt-Verb-Kongruenz und unauffälliger Sprachentwicklung sowie drei Kinder mit einer Sprachentwicklungsstörung mithilfe eines computergestützten Experiments getestet. Hierzu wurden grammatische und ungrammatische sprachliche Stimuli in Form von Subjekt-Verb-Objekt-Sätzen dargeboten.

Ergebnisse: Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Kinder anders auf die ungrammatischen als auf die grammatischen Sätze reagierten (operationalisiert durch Veränderungen der Pupillengröße).

Diskussion: Mögliche Anwendungsfelder der Methode sowie deren Grenzen werden diskutiert.

Schlüsselwörter

Pupillometrie, Eyetracking, Spracherwerb, Diagnostik

Abstract

Background: Conventional assessment methods of language acquisition underlie certain limitations, as they usually require an active response from the child. Pupillometry is a method for online measurement of pupil dilations, which indicates an immediate and implicit reaction, e.g. to linguistic stimuli.

Aims: The present study aims to discuss the applicability of pupillometry for language assessment.

Methods: In a pilot study with children aged 5 to 6, 13 children with typical language development who have mastered the acquisition of subject-verb agreement as well as three children with DLD were tested with the help of a computer-assisted experiment. For this purpose, grammatical and ungrammatical linguistic stimuli were presented in the form of subject-verb-object sentences.

Results: The results show that the children reacted differently to the ungrammatical versus the grammatical sentences (operationalised by pupil changes).

Conclusions: Possible fields of application of the method and its limitations are discussed.

Keywords

Pupillometry, eye-tracking, language acquisition, diagnostics

* Dieser Beitrag hat das double-blind Peer-Review-Verfahren durchlaufen.

1 Einleitung mit theoretischem Hintergrund

1.1 Pupillometrie in der Sprachentwicklungsforschung

Für den schulischen und sozialen Werdegang von Kindern kommt einer altersgerechten Sprachentwicklung eine hohe Bedeutung zu. Kinder mit einer Sprachentwicklungsstörung (SES) sind gefährdet, akademische und partizipative Nachteile zu erfahren (Spreer, Glück & Theisel, 2019). Die frühzeitige Diagnose von Sprachauffälligkeiten ermöglicht eine frühzeitige Prävention und Intervention (Schwarz & Nippold, 2002). Bisherige Verfahren zur Diagnostik des Sprachentwicklungsstandes werden zumeist in direkter Interaktion mit dem Kind durchgeführt und können durch die Interaktion mit der Versuchsleitung beeinflusst werden. Die Messung der rezeptiven und expressiven Sprachfähigkeiten stellt in der Regel nur eine Momentaufnahme dar und ist an die Verwendung von Normdaten gebunden. Nicht für alle Populationen liegen solche Normdaten bereits vor; bspw. für zwei- oder mehrsprachig aufwachsende Kinder sind Werte, die an einsprachigen Kindern normiert wurden, nur eingeschränkt nutzbar (Lüke, 2011; Alternativen in Scherger, 2022a). Auch für Kinder mit intellektueller Beeinträchtigung sind Normdaten häufig nur eingeschränkt aussagekräftig (Adaptionsmöglichkeiten in Neitzel & Dittmann, 2021). Aufgrund dessen wurde dieser statische Diagnostikansatz in den letzten Jahren durch einen Fokus auf das Lernverhalten der Kinder (dynamischer Ansatz) ergänzt (Ehlert, 2021; Hasson, 2017; MacLeod & Glaspey, 2022). Da sowohl statische als auch dynamische Ansätze ein aktives und explizites Handeln in Form einer eigenen Sprachproduktion des Kindes voraussetzen, sind sie jedoch nicht für alle Zielgruppen und Fragestellungen geeignet. Der Einsatz einer geeigneten Untersuchungsmethode zur Sprachverarbeitung, bei der keinerlei Produktion oder explizite Reaktion des Kindes auf sprachliche Stimuli gefordert ist, scheint in diesem Zusammenhang vielversprechend. Die Pupillometrie als Methode zur Online1-Untersuchung impliziter Spracherwerbsmechanismen bietet sich hierfür an (Scherger, 2022b).

1.2 Verfahren und Forschungsstand

Bei der Pupillometrie handelt es sich um eine technologiegestützte Echtzeitmessung der Pupillengröße, die mithilfe einer Infrarotkamera zwischen 30- und 2000-mal pro Sekunde durchgeführt wird (Eyetrackingmethode). Die menschliche Pupille, welche im Ruhezustand einen Durchmesser von etwa 4 mm hat, reagiert als "Fenster zum Unbewussten" (Laeng, Sirois & Gredebäck, 2012) mit einer Verengung oder Weitung auf äußere Einflüsse und Reize (Variabilität von 1-9 mm; Beatty & Lucero-Wagoner, 2000). Dies geschieht von der Testperson unbemerkt, beispielsweise nach der Darbietung eines ungewohnten (Naber, Frässle, Rutishauser & Einhäuser, 2013), emotionalen (Zheng, Dong & Lu., 2014) oder kognitiv anspruchsvollen Reizes (Kosch, Hassib, Buschek & Schmidt, 2018). Eine besondere Bedeutung kommt hierbei der Präsentation unerwarteter Stimuli zu, die ein etabliertes Inputmuster verletzen: Diese Verstöße gegen die Erwartung (*violation of expectation paradigm, VoE*) lösen in einem experimentellen Kontext eine Weitung der Pupillen aus (z. B. bei Verstößen gegen erwartete Reimmuster oder gegen andere Konventionen; Yu, 2012; Scheepers, Mohr, Fischer & Roberts, 2013; Renner & Włodarczak, 2017). Die Auswertung von Pupillometriedaten kann softwaregestützt mit R erfolgen (R Core Team, 2020), z. B. mithilfe von R-Packages wie *PupillometryR* (Forbes, 2020) oder *gazeR* (Geller, Winn, Mahr & Mirman, 2020).

In der Sprachwissenschaft wurde die Pupillometrie als Methode bereits erfolgreich mit erwachsenen Proband:innen eingesetzt (Scherger et al., 2021; Überblick in Schmidtke, 2018). In Studien zu Erwachsenen mit einer erworbenen Sprachstörung (Aphasie) konnten Pupillometriemessungen Unterschiede in der Sprachverarbeitung sprachgesunder und sprachgestörter Proband:innen aufdecken (Chapman & Hallowell, 2015, 2021). Auch hierbei kam der Vorteil zum Tragen, dass die Methodik ohne produktive Anforderungen an die Proband:innen mit neurologischen Beeinträchtigungen auskommt. Neben der Zielgruppe erwachsener, beeinträchtigter Sprecher:innen bietet die Methodik auch große Potentiale für den Einsatz mit non-verbale oder prä-verbale Testpersonen im jungen Alter (Hepach & Westermann, 2016). Die Anwendung des VoE-Paradigmas wurde bei Kleinkindern bereits vereinzelt in die Spracherwerbsforschung implementiert. So konnten Tamási, McKean, Gafos, Fritzsche und Höhle (2017) schon bei 30-monatigen Kin-

1 Der Begriff *online* bezeichnet im Kontext von Blickbewegungsexperimenten die direkte Erfassung eines Verhaltens der Proband:innen, ohne dass eine entsprechende zeitverzögernde Handlung (wie das Drücken eines Tasters oder das Aussprechen eines Items) dazwischengeschaltet ist. Die Pupillometrie ist als Teil der Eyetrackingmethodik ein nicht-invasives technologiegestütztes Instrument, das einen Einblick in die Sprachverarbeitung der Proband:innen ermöglichen kann (Sirois & Brisson, 2014).

dern eine Sensibilität für Aussprachefehler belegen. Im Experiment wurde den Proband:innen z. B. das Bild eines Babys eingeblendet; die Pupillen der Kinder reagierten durch stärkere Weitung, wenn sie ergänzend zum Bild das Nichtwort *Shaby* hörten, als bei den Bildern, zu denen das Zielwort (hier Baby) gehört wurde. Die Autor:innen nutzten dabei graduell stärkere Kontraste (*baby – daby – faby – shaby*), welche, gemessen an der beobachteten Pupillenweite, bei den Proband:innen ein wachsendes Maß an Irritation hervorriefen. Mit Bezug auf grammatische Fehler konnten Süß, Hendricks, Fritzsche und Höhle (2018) in ähnlicher Weise eine stärkere Pupillenweite als Reaktion auf ungrammatische Stimuli (*„Da ist ein blauer Haus“², Genusverstoß) bei 30- bis 36-monatigen Kindern im typischen Spracherwerb nachweisen, als dies bei grammatischen Stimuli der Fall war („Da ist ein blaues Haus“). Erste Ergebnisse für eine Anwendbarkeit bei Kindern mit SES liegen von Lum, Youssef und Clark (2017) vor, welche eine distinkte Reaktion der Pupillen auf unterschiedlich lange Sätze bei Kindern mit typischer Sprachentwicklung beschrieben, diese aber nicht bei Kindern mit SES fanden. Letztere zeigten bereits bei kurzen Sätzen stark geweitete Pupillen. Einzelne Studien haben somit die Anwendung der Methode im Bereich des Spracherwerbs aufgegriffen, eine Erprobung als diagnostischer Marker im Kontext der frühen Sprachentwicklung steht jedoch noch aus.

Der Erwerb der rezeptiven und produktiven Grammatik stellt im Kleinkind- und Vorschulalter eine elementare Erwerbsaufgabe dar. Eine besonders frühe und relevante Struktur im Deutschen ist die Positionierung des Verbs an der zweiten Hauptsatzposition (Kauschke, 2012) (Papa *trinkt* Wasser vs. Papa Wasser *trinken*). Das Verb ist hierbei flektiert und der handelnden Person (Papa, 3. Person (Ps.) Singular (Sg.)) angeglichen (Suffix *-t* vs. Infinitivendung *-en*). Der 2. Ps. Sg. (du) kommt dabei eine besondere Erwerbsbedeutung zu (Penner & Kölliker Funk, 1998; Siegmüller & Kauschke, 2006), da das Suffix *-s(t)*³ als einziges einen eindeutigen Bezug zu einem *du*-Subjekt erkennen lässt (vgl. Bsp. [1] mit mehrdeutiger Endung gegenüber Bsp. [2] mit eindeutiger Endung). Produziert ein Kind somit die 2. Ps. Sg. in Kongruenz zum Subjekt, kann von einem abgeschlossenen Erwerb der SVK ausgegangen werden.

[1] *Mehrdeutiges Suffix -t*: Susi geht ins Kino. (3. Ps. Sg.)/Ihr geht ins Kino. (2. Ps. Plural)

[2] *Eindeutiges Suffix -s(t)*: Du gehs(t) ins Kino. (2. Ps. Sg.)

Im Grammatikerwerb produzieren Kleinkinder im Alter von 1;6 (Jahre;Monate) bis etwa 2;6 zunächst unflektierte Verben, die sich bei Zwei- und Mehrwortäußerungen in finaler Position befinden (vgl. Bsp. [3]). Im Zuge des grammatischen Erwerbs wird das Verb flektiert (vgl. Bsp. [5, 6]) und an die zweite Satzposition bewegt [4, 6].

[3] *Verb unflektiert in finaler Position*: Oma Brot **kaufen**.

[4] *Verb unflektiert in zweiter Position*: Oma **kaufen** Brot.

[5] *Verb flektiert in finaler Position*: Oma Brot **kauft**.

[6] *Verb flektiert in zweiter Position*: Oma **kauft** Brot.

Dieser Erwerbsprozess unterliegt jedoch interindividueller Variation, sodass bei vielen Kindern Überschneidungen der einzelnen Erwerbsphasen auftreten können und sich der Erwerbsprozess weder als klarer Stufenprozess darstellt noch alle Kinder jede dieser Möglichkeiten (v.a. [4] und [5]) ausschöpfen und produzieren. Teilweise werden die Varianten [3]-[5] innerhalb einer Erwerbsphase parallel verwendet (Kauschke, 2012). Die Beispiele [3]-[6] sind insofern eine vereinfachende Darstellung des realistischen Erwerbsprozesses, werden nicht immer alle im kindlichen Erwerb realisiert und verlaufen nicht chronologisch (Clahsen, Eisenbeiß & Penke, 1996). Gerade die flektierte Verbendstellung [5] wird vermehrt im ein- und zweisprachigen sprachauffälligen Erwerb beobachtet (Scherger, 2019, 2022a), ist aber auch für den unauffälligen Spracherwerb attestiert (Köhler & de Bruyère, 1996).

Die korrekte Produktion einer Subjekt-Verb-Objekt-Äußerung mit SVK (vgl. Bsp. [6]) lässt den laufenden oder abgeschlossenen Erwerb der Struktur erkennen. Obwohl der Strukturwerb erst durch die Sprachproduktion von außen erkenntlich wird, beginnt dieser bereits vorher auf rezeptiver Ebene (Scherger et al., 2023) sowie in der impliziten Wahrnehmung grammatischer Strukturen (Wulfeck et al., 2004; Marton et al., 2011). Eine Möglichkeit, diesen impliziten Erwerb

2 Der Asterisk (*) kennzeichnet eine ungrammatische Äußerung.

3 Die Schreibweise des Lautes *t* in Klammern (*-s(t)*) bezeichnet an dieser Stelle eine mögliche Aussprachevariation. Umgangssprachlich ist das *t* der Endung *st* häufig nicht zu hören („Du gehs(t) da lang!“). Das *s* reicht jedoch zur eindeutigen Kennzeichnung der 2. Ps. Sg. linguistisch bereits aus.

nachzuvollziehen, ist die Beobachtung der kindlichen Reaktion auf ungrammatische Stimuli, durch welche die (zu erwerbenden) grammatischen Regeln verletzt werden. Da dieser zunächst unbewusste Erwerbsprozess nicht durch Handlungsaufforderungen an das Kind überprüft werden kann, stellt dies eine methodische Limitation vieler rezeptiver und produktiver Sprachentwicklungstests dar. Eine Alternative bietet ein experimentelles Setting unter Verwendung von Online-Messungen, in unserem Fall mithilfe der Pupillometrie, da hier die Wahrnehmung und mögliche Irritationen des Kindes gemessen werden, ohne dass das Kind eine explizite Reaktion zeigen muss. In diesem Kontext können unterschiedliche grammatische Verstöße in einen direkten Kontrast gesetzt werden, um zu überprüfen, ob eine möglicherweise auftretende unterschiedliche Verarbeitung (un-)grammatischer Konstruktionen/grammatischer Verstöße ein früher Indikator für eine vorliegende SES sein könnte.

1.3 Ziele und Fragestellungen

Im Fokus der vorliegenden Pilotuntersuchung steht die Überprüfung der Anwendbarkeit der Pupillometrie mithilfe graduell manipulierter grammatischer und ungrammatischer Stimuli (s. Kap. 2.4.1) zur Einschätzung des impliziten Erwerbsstandes mit Blick auf Verb-Zweitstellung (V2) und SVK. Dieser Stand soll mit dem expressiven Erwerbsstand kontrastiert werden. Hierzu ist es notwendig, zunächst Kinder zu untersuchen, welche die genannten Strukturen schon produktiv erworben haben, um eine bereits ausgebildete rezeptive Sensibilität für grammatische Verstöße erwarten zu können. Gleichzeitig sollten die Leistungen mit denen von sprachentwicklungsauffälligen Kindern abgeglichen werden, um einschätzen zu können, ob sich auf Gruppen- und Einzelfallebene bereits Unterschiede in der Verarbeitung erkennen lassen. Somit ergibt sich die folgende übergeordnete Fragestellung:

- (1) Sind Kinder mit und ohne SES im Alter von fünf bis sechs Jahren gleichermaßen sensibel für grammatische Verstöße der SVK und/oder V2 in ihrem Input?

Als Hypothese lässt sich aus den bisherigen Forschungen abgeleitet formulieren, dass Kinder mit typischer Sprachentwicklung im Vorschulalter produktiv sowie rezeptiv über Kompetenzen in SVK und V2 und eine entsprechende Sensibilität für grammatische Verstöße verfügen. Erwartet werden über 90 % Korrektheitswerte in der expliziten Sprachproduktion sowie eine durch die Pupillometrie aufgedeckte implizite Sensibilität gegenüber grammatischen Verstößen. Diese sollte sich bei den untersuchten Kindern dahingehend äußern, dass die Pupillen als Zeichen der VoE stärker geweitet sind, wenn Äußerungen mit grammatischen Verstößen verarbeitet werden, als wenn grammatisch korrekte Äußerungen verarbeitet werden. Für die Kinder mit SES stellt der Erwerb des Verbs in finiter zweiter Satzposition eine entscheidende morphosyntaktische Kompetenz dar. Es ist zu erwarten, dass Kinder mit SES hier bis ins Schulalter noch Einschränkungen zeigen (Scherger, 2022a). Im Hinblick auf die rezeptive Verarbeitung grammatischer Verstöße der Verbstellung oder -flexion gehen wir davon aus, dass diese Kinder weniger sensibel auf Formen reagieren, die sie selbst produktiv noch nicht erworben haben. Die Verstöße entsprechen deshalb ihren eigenen Fehlproduktionen.

Als weitere, untergeordnete Fragestellung ist daher die folgende von besonderem Interesse:

- (2) Sind Kinder mit und ohne SES im Alter von fünf bis sechs Jahren gleichermaßen sensibel für unterschiedlich starke grammatische Verstöße in ihrem Input?

Aufgrund der graduellen Pupillenreaktionen auf unterschiedlich starke phonologische Abweichungen, die Támasi et al. (2017) beobachten konnten, vermuten wir auch für unterschiedlich starke grammatische Verstöße eine graduelle Pupillenreaktion. Hierzu werden die den Kindern präsentierten Stimuli graduell manipuliert in Anlehnung an die Beispielsätze [3] bis [6]. Die graduelle Pupillenreaktion sollte sich bei Kindern mit typischer Entwicklung dahingehend äußern, dass auf leichte grammatische Verstöße (Sätze mit unflektiertem Verb in zweiter Position oder Sätze mit flektiertem Verb in finaler Position) stärker reagiert wird als auf grammatische Äußerungen. Sätze, welche beide Verstöße vereinen (Sätze mit unflektiertem Verb in finaler Position), sollten die stärksten Irritationen in Form von Pupillenweitungen hervorrufen. Da hier sowohl gegen die Verbposition als auch gegen die Verbstellung verstoßen wird und Infinitive in finaler Position zudem chronologisch die ersten Strukturen sind, welche im Spracherwerb auftauchen, wird hier von einem schwereren Verstoß ausgegangen, als bei einem einzelnen Verstoß gegen

entweder Verbposition oder Verbstellung (was jeweils schon das Erreichen eines der beiden Erwerbsschritte V2 und SVK beinhalten würde). Bei Kindern mit SES erwarten wir als Ausdruck fehlender Sensibilität für grammatische Verstöße keine anderen Reaktionen auf ungrammatische als auf grammatische Stimuli und dementsprechend auch keine graduellen Abstufungen. Sollten Kinder mit SES widererwartend bereits sensibel auf grammatische Verstöße reagieren, würden wir diese lediglich bei stärkeren Verstößen erwarten (im Sinne kombinierter Verstöße).

2 Methode

2.1 Stichprobe

Insgesamt nahmen 26 Kinder an den Testungen teil, davon 16 monolingual deutschsprachige 5- bis 6-jährige Kinder mit typischer Entwicklung (TD) sowie zehn Kinder mit SES in vergleichbarem Alter (s. Tab. 1, Mann-Whitney-U-Test: $U = 16,5$, $p = .439$). Aufgrund von Drop-outs, unvollständigen Datensätzen und Artefakten in den Daten werden im vorliegenden Beitrag die Daten von 13 Kindern mit TD und drei Kindern mit SES berichtet (siehe Tab. 1). Bei den Kindern mit TD wurde zum Ausschluss einer SES der SET 5-10 (Petermann, 2018) durchgeführt. Die Kinder mit SES hatten kurz vor Testzeitpunkt das Feststellungsverfahren für einen sonderpädagogischen Unterstützungsbedarf im Förderschwerpunkt Sprache durchlaufen und einen solchen Unterstützungsbedarf attestiert bekommen. Die Lehrkraft in der entsprechenden Schulklasse führt regelmäßig (standardisierte) Sprachstandsverfahren durch. Es konnte daher auf eine erneute Überprüfung mittels SET 5-10 verzichtet werden. Kinder in der Klasse, die nach Einschätzung der Lehrkraft andere Störungsbilder als eine SES, Komorbiditäten oder eine eingeschränkte Kognition aufwiesen, wurden im Vorfeld ausgeschlossen.

Tab. 1: Merkmale der Proband:innen mit typischer Entwicklung (TD) und Sprachentwicklungsstörung (SES)

Proband:innen	Anzahl (Geschlecht)	Alter (in J;M)	Alter (in Monaten)
Gruppe TD	n = 13 (7 ♀, 6 ♂)	5;7	67,9
Mittelwert			
Standardabweichung			
Spannweite			
Gruppe SES	n = 3 (3 ♂)	6;1	71,3
Mittelwert			
Standardabweichung			
Spannweite			

Anmerkungen: Eine:r der Proband:innen war Brillenträger:in, konnte aber aufgrund der lediglich leicht ausgeprägten Fehlsichtigkeit (-0.75 Dioptrien, beidseitig) das Pupillometrieexperiment ohne Brille durchführen.

2.2 Untersuchungskontext

Die Proband:innen nahmen an zwei Sitzungen mit je einer Dauer von 45 Minuten teil. Die Eltern der Kinder gaben vor der Testung ihre schriftliche informierte Einwilligung zur Studienteilnahme unter Verwendung der von der Ethikkommission der Fakultät Rehabilitationswissenschaften an der Technischen Universität Dortmund überprüften Einverständniserklärungen (GEKTU-DO-2021-13). Die Datenerhebung fand während der COVID-19-Pandemie und daher unter besonderen Vorsichtsmaßnahmen statt; beispielsweise waren das Tragen medizinischer Mund-Nasen-Bedeckungen für Schulkinder und die Testleiterin sowie zeitweise die Verwendung einer Plexiglastrennwand als Schutzbarriere auf dem Tisch obligatorisch. Alle Teilnehmer:innen wurden einzeln in einem ruhigen und reizarmen Raum an der Technischen Universität Dortmund oder in der von ihnen besuchten Sprachheilschule getestet. Die Eltern der Kinder mit TD warteten entweder in einem Nebenraum ($n = 2$) oder sie befanden sich im Testraum, wenn ihre Anwesenheit für das Kind eine Voraussetzung für die Kooperation war ($n = 8$). In diesem Fall wurden die Eltern gebeten, keine testrelevanten Antworten oder Hinweise zu geben und sich während der Pupillometrie-Aufgaben absolut geräuscharm zu verhalten. Die Testungen mit den Kindern mit SES fanden im Schulkontext ohne Anwesenheit der Eltern oder Lehrkräfte statt.

2.3 Sprachstandserhebung

2.3.1 Produktionsaufgabe: Subjekt-Verb-Kongruenz

Um die SVK sowie die Verbstellung in Hauptsätzen mit den Kontexten der 1., 2. und 3. Ps. Sg. zu erheben, wurde ein LITMUS-Instrument (*Language Impairment Testing in Multilingual Settings*; Armon-Lotem, de Jong & Meir, 2015) verwendet, das ursprünglich von de Jong und Kolleg:innen für u. a. das Englische entwickelt wurde (beschrieben in de Jong, 2015) und auch für die Anwendung mit deutschsprachigen Kindern als geeignet befunden wurde (Scherger, 2019). Die SVK-Aufgabe besteht aus vier Übungsitens und dreißig Testitens. Pro Item wird ein separates Bild auf dem Monitor präsentiert, um bestimmte Satzkonstruktionen zu elizitieren (s. Abbildung 1).



Abb. 1: Beispielitems aus dem LITMUS-SVK-Test (beschrieben in de Jong, 2015): *ich umarme dich* (1. Ps. Sg.), *du umarmst mich* (2. Ps. Sg.), *er umarmt mich* (3. Ps. Sg.).

Alle Bilder zeigen jeweils zwei der insgesamt drei symbolisch gekennzeichneten Figuren, die im Rahmen dieser Aufgabe auftreten: ein Kind mit einem Herzsymbol, ein Erwachsener mit einem Sternsymbol und ein weiterer Erwachsener mit einem Dreieck. Die Teilnehmer:innen werden gebeten, die Perspektive des Kindes einzunehmen (1. Ps. Sg.) und so zu tun, als sei der Erwachsene mit dem Sternsymbol der:die Testleiter:in (2. Ps. Sg.). Der Erwachsene mit dem Dreieck ist ein nicht anwesender Dritter. Aus dieser Perspektive heraus beschreiben die Kinder die dargestellten Handlungen (z. B. für Abb. 1, *ich umarme dich*, *du umarmst mich*, *er umarmt mich*). Die Aufgabe wurde als bildschirmgestützte Version mit Microsoft PowerPoint (2016) durchgeführt.

2.3.2 SET 5-10

Der SET 5-10 (Petermann, 2018) ist eine Testbatterie zur Sprachstandserhebung bei Kindern im Alter von fünf bis zehn Jahren. Im Rahmen dieser Studie wurden sieben der zehn Untertests mit den Kindern mit TD durchgeführt. Bei den Untertests 1 und 2 handelt es sich um Bildbenennungsaufgaben, die Nomen und Verben umfassen. Das Sprachverständnis wurde anhand der Untertests 4 (Satzebene) sowie 5 (Textebene) überprüft. Zudem wurde die gelenkte Sprachproduktion auf Text- (Untertest 6) und Satzebene (Untertest 7) erhoben. In Untertest 9 gab die Testleiterin grammatisch korrekte sowie inkorrekte Sätze vor, deren Korrektheit vom Kind beurteilt wurde. Für die Einschätzung der Kinder wurden die Normdaten des Tests herangezogen. Bei den in dieser Studie eingeschlossenen Proband:innen der Gruppe TD lagen alle Untertests im unauffälligen Bereich (T-Wert ≥ 40).

2.4 Pupillometrie-Experiment

2.4.1 Stimuli

Als Testitens des Pupillometrie-Experiments dienten 60 Drei-Wort-Sätze, welche in vier Bedingungen manipuliert wurden: eine grammatische Bedingung (Bedingung A) und drei ungrammatische Bedingungen (B, C und D; s. Tab. 2). Die verwendeten Bedingungen ermöglichen den Vergleich eines unterschiedlichen Schweregrades der Verstöße in der Wahrnehmung durch das Kind (s. Forschungsfrage (2)). Tabelle 2 zeigt diese Kontrastierung anhand der Stimuli auf, die im vorliegenden Experiment Anwendung fanden.

Tab. 2: Beispielstimuli aus dem Pupillometrie-Experiment

Bedingung	Grammatischer Verstoß	Typ I: 3. Person Singular (3sg)			Typ II: 2. Person Singular (2sg)		
A	---	<i>Papa</i> Sbj-3sg	<i>zeichnet</i> Verb-3sg	<i>Häuser</i> Objekt	<i>du</i> Sbj-2sg	<i>zeichnest</i> Verb-2sg	<i>Häuser</i> Objekt
B	SVK (Inf)	* <i>Papa</i> Sbj-3sg	<i>zeichnen</i> Verb-Inf	<i>Häuser</i> Objekt	* <i>du</i> Sbj-2sg	<i>zeichnen</i> Verb-Inf	<i>Häuser</i> Objekt
C	Verbposition (VE)	* <i>Papa</i> Sbj-3sg	<i>Häuser</i> Objekt	<i>zeichnet</i> Verb-3sg	* <i>du</i> Sbj-2sg	<i>Häuser</i> Objekt	<i>zeichnest</i> Verb-2sg
D	Verbposition (VE) und SVK (Inf)	* <i>Papa</i> Sbj-3sg	<i>Häuser</i> Objekt	<i>zeichnen</i> Verb-Inf	* <i>du</i> Sbj-2sg	<i>Häuser</i> Objekt	<i>zeichnen</i> Verb-Inf

Anmerkungen: SVK = Subjekt-Verb-Kongruenz; VE = Verb-Endposition; Sbj = Subjekt; Inf = Infinitiv; der Asterisk (*) kennzeichnet eine ungrammatische Äußerung.

Die grammatischen Sätze (60 % der Items, $n = 36$) bestanden aus einem Subjekt am Satzanfang, einem Verb an zweiter Position im Satz (V2) und einem Objekt am Satzende. Die ungrammatischen Sätze (40 % der Items, $n = 24$) waren Modifikationen der grammatischen Sätze. Diese Relation wurde gewählt, um keinen Gewöhnungseffekt an die ungrammatischen Sätze hervorzurufen. Die verwendeten ungrammatischen Sätze können in drei Bedingungen eingeteilt werden: In Bedingung B ($n = 8$) blieb das Verb in V2-Position, aber die Flexion des Verbs wurde manipuliert. Das flektierte Verb wurde durch eine Infinitivform ersetzt, was in inkorrekt resultiert. Die Items in Bedingung C ($n = 8$) wurden hinsichtlich der Verbposition manipuliert. Hierfür wurde das flektierte Verb von der V2-Position in die Endposition (Verb-Endposition; VE) verschoben. Die Bedingung D ($n = 8$) kombinierte beide Verstöße aus Bedingung B und C (s. Beispiel in Tab. 2).

Alle Stimuli wurden aus einer Sammlung von sechs Verben und achtzehn Substantiven, die als Objekte dienten, gebildet. Alle im Experiment verwendeten Verbformen bestanden aus zwei Silben, z. B. *schneiden* (Infinitiv), *schneidest* (2. Ps. Sg.), *schneidet* (3. Ps. Sg.). Jedes Verb wurde mit drei Objekten kombiniert. Dadurch ergaben sich 18 unterschiedliche Verb-Objekt-Kombinationen. Jede Verb-Objekt-Kombination wurde in zwei grammatischen Sätzen (Bedingung A: Typ I & II) und in 12 der 18 Fälle auch in zwei ungrammatischen Sätzen (Bedingung B, C oder D: Typ I & II) verwendet. Die Sätze vom Typ I ($n = 30$) begannen mit *Mama*, *Papa*, *Oma* oder *Opa* als Subjekt (gramm. Stimuli: $n = 18$; ungramm. Stimuli: $n = 12$), während die Sätze vom Typ II mit *du* begannen (gramm. Stimuli: $n = 18$; ungramm. Stimuli: $n = 12$). Typ I- und Typ II-Sätze waren gleichmäßig über alle Bedingungen verteilt.

2.4.2 Erstellung der Audiodateien

Um den Einfluss akustischer Unterschiede zwischen den Stimuli zu reduzieren, wurden sowohl die grammatischen als auch die ungrammatischen Stimuli mithilfe einer Splicing-Technik erstellt: Die Stimuli wurden so geschnitten, dass die Startzeiten der einzelnen Elemente in allen Bedingungen identisch waren. Alle Sätze wurden zunächst einzeln aufgenommen und dann in drei Segmente geschnitten. Anschließend wurden die einzelnen Segmente zusammengefügt, um die endgültige Audiodatei zu erzeugen. Die finalen Audiodateien waren wie folgt aufgebaut: Das Audio begann unmittelbar mit dem ersten Segment (Subjekt). Das zweite Segment (Verb oder Objekt) begann 900 ms nach dem Audiostart. Das dritte und letzte Segment (Verb oder Objekt) begann 2000 ms nach dem Beginn des ersten Segments.

Alle Stimuli wurden von einer deutschen Muttersprachlerin mit einem Fame Studio CU2-Kondensatormikrofon aufgenommen. Die Open Source-Software Audacity (Version 3.0.0) wurde für die Aufnahme, das Schneiden und Zusammenführen der Stimuli verwendet.

2.4.3 Stimuluspräsentation

Um die Aufmerksamkeit der Kinder auf den Bildschirm zu lenken und dort zu halten, wurden während des Experiments je acht Zeichnungen von Monstern oder Robotern in unterschiedlichen Grautönen präsentiert. Jede Zeichnung wurde in einer anfänglichen visuellen Gewöhnungsphase für 2000 ms ohne begleitenden auditiven Reiz gezeigt. Jedes Bild blieb für sechs bis acht Items auf dem Bildschirm sichtbar. Auf farbige Zeichnungen wurde verzichtet, um durch starke Farbkontraste ausgelöste Pupillenänderungen zu vermeiden.

Es wurden zwei pseudorandomisierte Itemlisten erstellt. Beide Listen begannen mit vier grammatischen Sätzen. Der erste Satz nach einem Bildwechsel war jeweils ebenfalls grammatisch. Auf jeden auditiven Stimulus folgte eine Interstimuluspause von 4000 ms. Währenddessen wurde das jeweilige Bild weiterhin präsentiert.

Das Pupillometrie-Experiment wurde mit dem PsychoPy® Builder (PsychoPy®, Version v2021.2.3, Peirce et al., 2019) bzw. mit dem EyeLink Experiment Builder (Version v2.3.38; SR, Research, 2021) programmiert. Für das Eyetracking und die Bildpräsentation verwendeten wir einen monitorbasierten Tobii TX300-Eye Tracker bzw. einen Portable EyeLink Duo mit externem Bildschirm. Die Pupillendaten wurden mit 60 Hz aufgenommen (Tobii) bzw. mit 250 Hz aufgenommen und danach auf 60 Hz downgesampelt (EyeLink). Beide Geräte tracken binokular, d. h. die Pupillengrößen des rechten und linken Auges werden separat aufgezeichnet. Jedoch wurde im Anschluss nur ein Auge pro Kind (Ermittlung mittels Augendominanztest) ausgewertet.

2.5 Untersuchungsablauf

Für das Pupillometrie-Experiment zur Verbflexion (SVK) und Verbposition (Satzstellung) saßen die Proband:innen in einer für sie bequemen Position vor dem Monitor. Der Eyetracker wurde so positioniert, dass eine ideale Kalibrierung (9-Punkt, automatisiert) erzielt werden konnte. Für den idealen Sitzabstand sowie die ideale Neigung des Monitors gibt der Eyetracker automatisiert Rückmeldung auf die individuellen Größenverhältnisse der Kinder. Durchschnittlich lag der Auge-Monitorabstand bei 60-70 cm. Den Teilnehmer:innen wurde mitgeteilt, dass sie lustige Bilder von Robotern/Monstern sehen und Sätze hören würden und dass ihre Aufgabe nur darin bestünde, still zu sitzen, zuzuhören und auf den Bildschirm zu schauen. Das Experiment dauerte 7 Minuten. Im Verlauf der Sitzung(en) fanden die im Unterkapitel 2.3 beschriebenen Sprachstandstests statt (1-2 Termine pro Kind). Alle Sitzungen wurden auf Video aufgezeichnet, um eine detaillierte Analyse zu ermöglichen.

2.6 Datenanalyse

Die Vorverarbeitung der Pupillendaten wurde mit dem R-Paket *gazeR* (Geller et al., 2020; R Core Team, 2020) in *RStudio* (RStudio Team, 2020) durchgeführt. Fehlende Daten durch Artefakte – wie Blinzeln – wurden exkludiert. Datenpunkte 100 ms vor und nach einem Blinzeln wurden als fehlend kodiert und linear interpoliert. Anschließend wurden Artefakte anhand der mittleren absoluten Abweichung entfernt (Geller et al., 2020 für Details). Zur Glättung des Pupillenzeitverlaufs wurde ein gleitender 5-Punkte-Durchschnittswert über die Daten gelegt. Um spontane Schwankungen der Pupillengröße zu berücksichtigen, wurde der Pupillendurchmesser für jeden Versuch einzeln Baseline-korrigiert. Als Baseline wurden die 1000 ms vor dem Audio-Onset eines jeden Versuchs festgelegt. Darüber hinaus wurden intraindividuelle Ausreißer aus den Daten herausgefiltert. Hierfür wurden alle Datenpunkte mit einer Pupillengröße mit einem Durchmesser von 2,5 Standardabweichungen (SD) über und unter dem Mittelwert ausgeschlossen. Zur Analyse der Pupillendaten wurde jeweils der Kurvenmittelwert berechnet und zwischen grammatischen und ungrammatischen Stimuli sowie zwischen unterschiedlich starken grammatischen Verstößen verglichen.

3 Ergebnisse

3.1 Expressive Sprachleistungen

Die Ergebnisse der Kinder in Gruppe TD aus den Sprachstandstestungen und flankierenden Datenerhebungen zeigen unauffällige Befunde bezüglich der Sprachentwicklung. Keines der Kinder dieser Gruppe zeigte T-Werte ≤ 40 im SET 5-10. Für den Vergleich mit den Pupillometriedaten ist es wichtig, hervorzuheben, dass die Sprachproduktionsdaten bezüglich der SVK erwartungsgemäß bei allen getesteten fünf- bis sechsjährigen Kindern mit TD eine korrekt markierte SVK von 100 % sowie korrekte Verbstellung zu 100 % zeigten.

Die Sprachproduktionsleistungen der Kinder mit SES zeigten unauffällige Verbstellungsmuster ($M = 93,3\%$, $SD = 9,4$), aber auffällige Verbflexionsmuster ($M = 71,2\%$, $SD = 8,6$). Beispiele für die wenigen V2-Verstöße der sprachentwicklungsgestörten Kinder sind in [7a, b] gelistet. Deutlich häufiger wurde gegen die Verbflexion verstoßen. Beispiele sind [7c, d] zu entnehmen.

- [7] a. *du mich schieben*
- b. *du schon wieder mich schiebs*
- c. *du schieb-Ø mich*
- d. *der umarm-Ø dich*

Die Gruppenmittelwerte unterscheiden sich zwischen TD und SES signifikant hinsichtlich der Verbflexion (Mann-Whitney-U-Test: $U = 0, p < .001$), während hinsichtlich der Verbstellung keine signifikanten Gruppenunterschiede vorliegen (Mann-Whitney-U-Test: $U = 13, p = .439$).

3.2 Pupillometrie-Experiment

Abbildung 2 visualisiert die Pupillometriedaten, indem die Kurvenverläufe der Experimentalbedingungen A bis D gemittelt über die dreizehn Proband:innen in der Gruppe TD (Abb. 2A) bzw. gemittelt über die drei Proband:innen in der Gruppe SES (Abb. 2B) dargestellt werden. Die Abbildungen zeigen die gemittelte Pupillengröße über den Zeitverlauf eines Stimulus und der darauffolgenden Interstimuluspause.

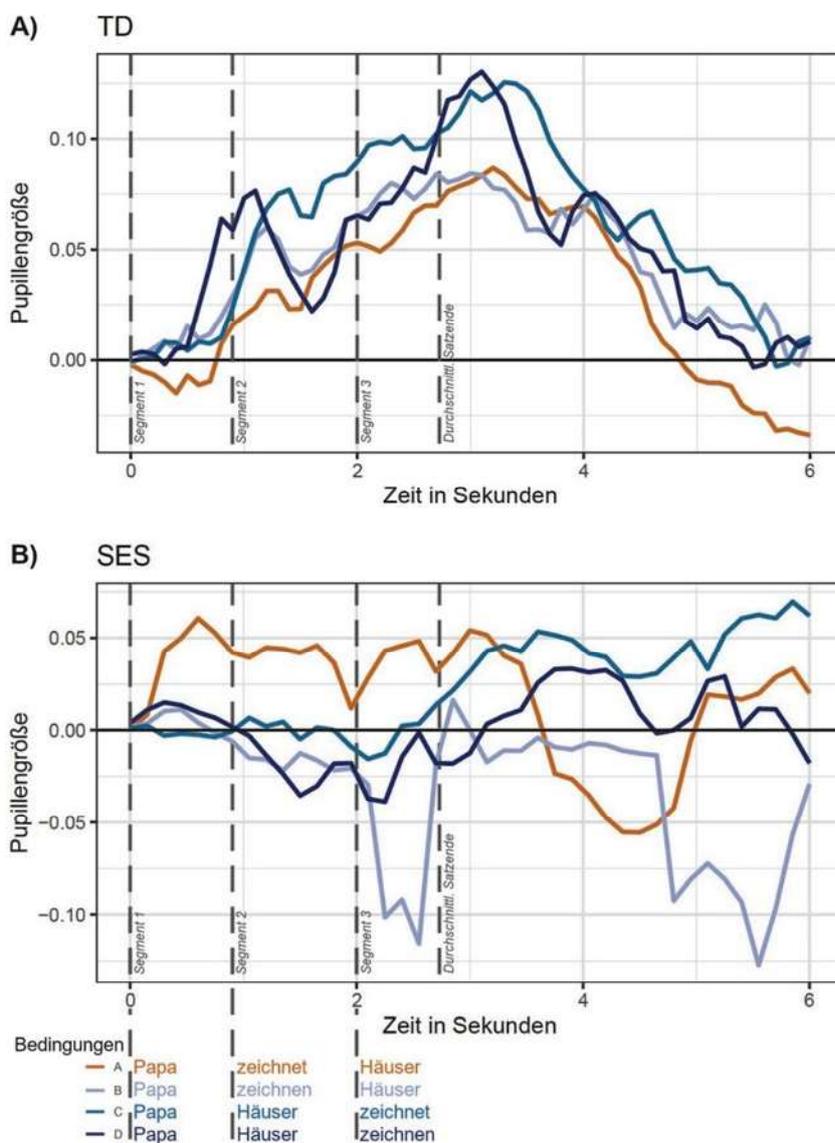


Abb. 2: Pupillengrößenveränderungen im Verlauf eines Stimulus (Mittelwert: 2,724 Sekunden Audio + Interstimulusintervall [= Audiopause]), separiert dargestellt für die Gruppe mit typischer Entwicklung (TD: $n = 13$; 2A) und die Gruppe mit Sprachentwicklungsstörungen (SES: $n = 3$; 2B); die gestrichelten Linien markieren den Onset der Satzsegmente bzw. den Zeitpunkt des durchschnittlichen Satzendes. Die Abweichung der Kurve von der 0-Linie bedeutet eine Veränderung der Pupillengröße im Vergleich zur Ausgangslage (Baseline).

Die Ergebnisse der Gruppe TD (vgl. Abb. 2A) zeigen signifikante Mittelwertsunterschiede in den Kurvenverläufen zwischen den Bedingungen (Friedman $\chi^2 = 29.722$, $df = 3$, $p < .001$). Post-hoc-Testungen ergeben, dass sich die Pupillenreaktionen auf grammatische Äußerungen (Bedingung A) jeweils signifikant von den Pupillenreaktionen auf Äußerungen mit unterschiedlich starken grammatischen Verstößen (Bedingungen B, C, und D) unterscheiden (Vergleich mittels Wilcoxon-Rangsummentest: A-B, A-C, A-D jeweils $p < .001$). Die ungrammatischen Bedingungen unterscheiden sich untereinander nicht (Bedingungen B-D, Bedingungen C-D jeweils $p > .05$), bis auf einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden leichten grammatischen Verstößen (Bedingungen B-C, $p = .026$).

Für die Gruppe SES (vgl. Abb. 2B) zeigt sich ein anderes Muster. Auch hier sind die Mittelwertsunterschiede in den Kurvenverläufen zwischen den Bedingungen signifikant (Friedman $\chi^2 = 35.238$, $df = 3$, $p < .001$). Post-hoc-Testungen zum Vergleich grammatischer und ungrammatischer Bedingungen ergeben jedoch nur für die Bedingungskombination A-C einen signifikanten Unterschied ($p < .001$). Weitere Vergleiche unter den Bedingungen unterstreichen, dass sich Bedingung C in jedem Vergleich von den anderen Bedingungen absetzt (B-C und D-C ebenfalls je $p < .001$). Alle weiteren Vergleiche sind in diesem within-group-Vergleich für die Kinder in der Gruppe SES nicht signifikant.

Ein Vergleich der Bedingungen zwischen den beiden Gruppen (between-group-Vergleich) zeigt keinen signifikanten Unterschied in der Verarbeitung der grammatischen Stimuli (Bedingung A, $p = .402$) auf. Alle drei ungrammatischen Bedingungen unterscheiden sich jedoch hinsichtlich der Mittelwertsunterschiede der Kurvenverläufe hoch signifikant zwischen den Gruppen (TD-SES für Bedingung B, C, D je $p < .001$).

Die individuellen Leistungen der Proband:innen gegenüber dem Gruppenmittel differieren in den Gruppen. Das Gesamtmodell der Gruppe TD ist individuell für alle Proband:innen (13/13) signifikant (Friedman $\chi^2 = 13.36$ -138.85, $p = .004$ für Proband:in 001, sonst $p < .001$), d. h. dass jedes getestete Kind auf die unterschiedlichen Bedingungen jeweils signifikant unterschiedlich reagiert. Bei allen Proband:innen dieser Gruppe unterscheidet sich die grammatische Bedingung A jeweils signifikant von mindestens einer ungrammatischen Bedingung (B, C oder D). Die grammatische Bedingung A differiert bei 61,5 % (8/13) der Kinder mit TD signifikant von allen ungrammatischen Bedingungen (B, C und D). Bei zwei Kindern unterscheiden sich jeweils zwei ungrammatische Bedingungen von Bedingung A signifikant. Insgesamt zeigt bei 84,6 % der Kinder der Gruppe TD der Vergleich der Bedingungen A und D signifikant unterschiedliche Reaktionen.

Bei den Kindern der Gruppe SES variiert die Reaktion auf die unterschiedlichen Bedingungen ebenfalls bei signifikantem Gesamtmodell (Friedman $\chi^2 = 88.071$ -128.31, alle bei $p < .001$). Bei einem Kind ist die signifikant andere Reaktion im Unterschied zu den grammatischen Stimuli (Bedingung A) bei Bedingung B gegeben, bei einem Kind bei Bedingung C und bei zwei Kindern bei Bedingung D. Die in den individuellen Datensätzen gefundenen Sensibilitäten gegenüber grammatischen Verstößen zeigen sich in den gemittelten Gruppenwerten lediglich in Bedingung C.

Zur Verdeutlichung der Ergebnisse für die drei Kinder mit SES zeigt Tabelle 3 die individuellen Ergebnisse aus der Produktionsaufgabe und dem Pupillometrieexperiment.

Tab. 3: Übersicht über die Ergebnisse der Kinder mit SES.

Kind	Produktion (zielsprachlich)		Pupillometrie		
	SVK	V2	A-B	A-C	A-D
1	65,0 %	80 %	n.s.	n.s.	$p < .001$
2	65,2 %	100 %	$p < .001$	n.s.	n.s.
3	83,3 %	100 %	n.s.	$p < .001$	$p < .001$

Anmerkungen: A = grammatische Bedingung, B = SVK-Verstoß, C = V2-Verstoß, D = SVK- und V2-Verstoß

4 Diskussion

Die Anwendbarkeit der Pupillometrie zur Untersuchung der Sensibilität monolingualer Sprecher:innen mit TD und SES wurde in dieser Pilotstudie im experimentellen Setting überprüft. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass eine Sensibilität der Kinder mit abgeschlossenem SVK-Erwerb für alle drei ungrammatischen Bedingungen vorlag, während sich die Gruppe

der Kinder mit SES in allen drei ungrammatischen Bedingungen von der Gruppe der Kinder mit TD unterschied und weniger auf grammatische Verstöße reagierte. Als Gruppenwert für die Gruppe der Kinder mit SES zeigt sich eine signifikante Irritation für die Bedingung C (Verletzung der Verbstellung, nicht der Verbflexion). Produktiv haben die Kinder mit SES im Gruppenmittel die Verbstellung, nicht aber die Verbflexion erworben. Die Ergebnisse der vorliegenden Pilotuntersuchung werden im Folgenden anhand der Fragestellungen und Hypothesen diskutiert.

4.1 Sensibilität für ungrammatische Stimuli

Die erste Forschungsfrage zielte darauf ab, die Sensibilität monolingualer Kinder mit abgeschlossenem SVK-Erwerb im Vergleich zu Kindern mit SES für die grammatischen Verstöße der Verbstellung und/oder der SVK zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Proband:innen implizit anders auf grammatische als auf ungrammatische Äußerungen reagieren. Hierbei zeigen sich jedoch unterschiedliche Muster für die beiden Gruppen: Während die Gruppe der Proband:innen mit TD auf alle ungrammatischen Stimuli stärker reagiert als auf grammatische Stimuli, trifft dies für die Proband:innen mit SES im Gruppenmittel nur im Hinblick auf Bedingung C zu. Auch wenn die Ableitung allgemeiner Annahmen anhand der vorliegenden Pilotierungsdaten mit einer sehr eingeschränkten Stichprobe nicht möglich ist, deutet dieser Gruppenvergleich auf einen Nachteil in der Sensibilität für grammatische Verstöße bei Kindern mit SES hin. Dies steht im Einklang mit vorherigen Studien, welche zeigen konnten, dass Kinder mit SES auch in Offline-Studien Schwierigkeiten mit Grammatikalitätsentscheidungen im Hinblick auf SVK aufwiesen (Cantiani et al., 2015; Rispens & Been, 2007; Überblick zu SVK-Defiziten bei SES z. B. bei Moscati et al., 2020).

Dies kann über Mittelwertsvergleiche auf Gruppenbasis, nicht aber auf Einzelfallbasis gezeigt werden. Es scheint individuell unterschiedlich, auf welche grammatischen Verstöße besonders reagiert wird (s. Tab. 3). Bei jedem untersuchten Kind der Gruppe TD wird mindestens ein Mittelwertsunterschied zwischen einer ungrammatischen Bedingung und der grammatischen signifikant, bei etwa zwei Drittel der Kinder zeigen alle Vergleiche zwischen grammatischer und allen ungrammatischen Bedingungen signifikante Unterschiede (A-B, A-C, A-D). In der Gruppe der Kinder mit SES ist dies bei keinem Kind der Fall. Dass es nicht bei allen Kindern dieselbe ungrammatische Bedingung ist, die sich von der grammatischen abhebt, könnte an individuellen Spracherwerbsbedingungen liegen. Hierzu gehört beispielsweise, dass die ‚Übergangsformen‘ zwischen zu satzfinalelem Infinitiv und finiter Verbzweitstellung (vgl. Beispiele in Abschnitt 2.1) von den Kindern nicht identisch erworben werden. Gegen eine solche Annahme sprechen allerdings die Produktionsergebnisse der Gruppe der Kinder mit TD, die zeigen, dass Verbflexion und Verbstellung zu 100 % erworben sind. Deutlich wird aber, dass sich bei den meisten der TD-Kinder (84,6 %) die von den Autorinnen als stark ungrammatische Bedingung angenommene Struktur (Verstöße gegen Verbflexion und -stellung) klar von der grammatischen abhebt (A vs. D) und stärkere Irritationen hervorruft. Aus den vorliegenden Daten kann auf eine Irritation der Proband:innen bei der Präsentation ungrammatischer Stimuli geschlossen werden. Dies unterstreicht eine implizite Sensibilität der Hörer:innen für grammatische Auffälligkeiten, wie sie auch Süß et al. (2018) bereits für Genusverstöße nachweisen konnten. Diese ersten Ergebnisse gilt es nun, anhand einer größeren Stichprobe zu belegen.

Aus der Gruppe der Kinder mit SES reagiert kein Kind auf alle drei ungrammatischen Bedingungen. Allerdings reagiert jedes Kind auf mindestens eine ungrammatische Bedingung anders als auf die grammatische. Der Vergleich der Gruppen TD versus SES zeigt keinen Unterschied zwischen der Verarbeitung der grammatischen Bedingung, wohl aber Unterschiede zwischen allen drei ungrammatischen Bedingungen. Dieser Befund lässt darauf schließen, dass Verstöße gegen grammatische Regeln anders verarbeitet werden, je nachdem, ob intakte oder nicht intakte Sprachverarbeitungsmechanismen vorliegen. Grammatische Strukturen werden von allen Kindern ähnlich verarbeitet.

Bei der geringen Datenlage ist allerdings eine individuelle Interpretation der Daten wichtig. Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass Kind 1 noch beide hier untersuchten Erwerbsschritte meistern muss (beispielsweise ersichtlich an einer Äußerung dieses Kindes aus der SVK-Produktionsaufgabe: ich auch dich ärgern). Implizit reagiert dieses Kind lediglich auf Bedingung D, bei der beide Verstöße (SVK und V2) vorliegen. Bei diesem Befund wäre zu vermuten, dass dieses Kind mit SES zwar implizit schon sensibel dafür ist, dass diese Äußerung nicht grammatisch ist, dies aber selbst produktiv noch nicht umsetzen kann. Dafür spricht auch, dass auf beide anderen Einzelverstöße nicht reagiert wird. Dieses Kind reagiert konform zu unserer Hypothese, dass Kin-

der mit SES lediglich auf die starken grammatischen Verstöße reagieren, während die einzelnen Verstöße (B und C) noch nicht erkannt werden. Kind 2 hingegen, das den V2-Erwerb produktiv abgeschlossen hat und dessen SVK-Auswertung zeigt, dass dieser Erwerbsschritt mit 65%-iger Zielsprachlichkeit noch nicht abgeschlossen ist, reagiert lediglich auf Bedingung B (SVK-Verstoß). Dieser Befund ist unerwartet, könnte aber dahingehend interpretiert werden, dass die Sensibilität gegenüber grammatischen Verstößen dort am größten ist, worin gerade die nächste Erwerbsaufgabe liegt. Ein gegenteiliges Bild zeigt allerdings Kind 3, das den V2-Erwerb abgeschlossen hat und mit 80%-iger Zielsprachlichkeit auch im SVK-Erwerb schon fortgeschritten ist. Dieses Kind reagiert auf Bedingung C und D. Bedingung B (SVK-Verstoß) wird nicht als Verstoß verarbeitet, bzw. zeigt keine Unterschiede zur Verarbeitung der grammatischen Strukturen. Hier könnte man argumentieren, dass das Kind kurz vor Abschluss beider Erwerbsaufgaben steht und insgesamt schon sensibel auf zwei von drei Verstößen reagiert. Andererseits wäre auch denkbar, dass dieses Kind (unabhängig von seinem Erwerbsstand hinsichtlich der SVK) V2-Verstöße als ungrammatisch wahrnimmt und daher nicht nur auf die Bedingung mit dem reinen V2-Verstoß (C), sondern auch auf die Bedingung mit dem kombinierten Verstoß (D) reagiert. Der Interpretationsspielraum ist allerdings bei dieser geringen Datenlage noch zu groß, um eine vertiefte und fundierte Schlussfolgerung zur Verarbeitung von Flexions- und Verbstellungsverstößen zu formulieren.

Ungeklärt bleibt, warum lediglich acht von 13 Kindern aus der Gruppe TD auf alle ungrammatischen Bedingungen reagieren, obwohl alle den SVK- und Verbstellungserwerb produktiv gemeistert haben. Dies zu untersuchen, steht für nachfolgende Forschungsarbeiten noch aus.

Während die Hypothese zur ersten Fragestellung durch die Gruppendaten gestützt werden konnte, auf individueller Ebene allerdings noch mehr Daten für eine finale Interpretation nötig sind, liegen zur zweiten Fragestellung teilweise überraschende Ergebnisse vor. In Anlehnung an Tamási et al. (2017), die in ihren Untersuchungen zeigen konnten, dass die Pupillenweitungen – und damit die Irritation der Kinder – graduell mit der Stärke der phonologischen Abweichung anstiegen (*baby – daby – faby – shaby*), wurde auch für unser experimentelles Setting mit einer graduellen Veränderung der Pupillenweite als Reaktion auf unterschiedlich starke grammatische Verstöße gerechnet (Bedingungen B, C: leicht ungrammatisch, Bedingung D: stark ungrammatisch). Dieser graduelle Unterschied konnte in der vorliegenden Pilotstudie jedoch nicht nachgewiesen werden. Während sich im Gruppenwert bei der Gruppe der Kinder mit TD signifikante Abweichungen für alle ungrammatischen Bedingungen zeigten, stach bei der Gruppe von Kindern mit SES die Bedingung C hervor. Für die Gruppe TD lässt ein deskriptiver Blick auf die Daten (vgl. Abb. 2A) eine starke Irritation der Proband:innen zum Zeitpunkt der Stimuluspräsentation sowohl für die Bedingungen C als auch D erkennen, obwohl die Bedingung C einen verhältnismäßig leichteren grammatischen Verstoß enthielt (Verletzung der Verbstellung, jedoch nicht der SVK) als die Bedingung D (Verletzung der Verbstellung und der SVK). Die signifikanten Unterschiede zwischen den Bedingungen C und B (Verletzung der SVK, nicht jedoch der Verbstellung) überraschen in diesem Kontext zunächst, lassen jedoch darauf schließen, dass die Verletzung der Verbstellung für die Kinder einen gravierenderen oder weniger erwarteten Verstoß darstellt als der Verstoß gegen die SVK. Auch bei der Gruppe der Kinder mit SES wird durch die Bedingungsvergleiche die Bedeutung der Bedingung C deutlich, welche sich signifikant von den anderen ungrammatischen Bedingungen (B, D) und als einzige auch signifikant von der grammatischen Bedingung (A) unterscheidet. Somit scheint die von uns aus theoretischen Gründen vorher als „leichter grammatischer Verstoß“ eingestufte Experimentalbedingung C eine stärkere Irritation hervorzurufen als angenommen. Hinzu kommt, dass das Verb *zeichnen* in zweiter Position (wie in Bedingung B) in einer oberflächlich identischen Form jedoch bei einem Subjekt im Plural (*Papa und Opa zeichnen Häuser*) durchaus korrekt wäre und damit eventuell vertrauter erscheint, während das finite Verb in Verbendposition in den präsentierten Hauptsätzen der Bedingung C in keinem grammatischen Kontext korrekt wäre. Anders wäre dies im Deutschen jedoch in subordinierenden Nebensätzen (Bsp. ..., *weil Opa zum Supermarkt geht.*), in denen das finite Verb in der Tat in finaler Position auftritt. Es wäre demnach auch denkbar, dass die Kinder mit SES besonders für diese Bedingung (C) sensibel waren, weil sie sich vielleicht gerade mitten im Erwerb komplexer Satzstrukturen, beispielsweise von Nebensätzen, befinden. Dies wäre gesichert nur anhand eines standardisierten Grammatikverfahrens, näherungsweise jedoch auch anhand einer Spontansprachprobe jedes Kindes beurteilbar. Da diese für die Kinder jedoch nicht vorliegen, ist eine weiterführende Interpretation nicht möglich. Wichtig ist festzuhalten, dass unsere rein auf strukturellen Aspekten basierenden Annahmen über die Art der Verstöße (einzel-

= leichter Verstoß, kombiniert = starker Verstoß) in den vorliegenden Daten nicht widergespiegelt werden. Es scheinen auch andere Aspekte wie die Vorkommenshäufigkeit ähnlicher Strukturen im Input zum Tragen zu kommen.

Neben diesen Überlegungen könnten die unterschiedlichen Befunde zu den in Tamási et al. (2017) gefundenen graduellen Abstufungen auch in dem experimentellen Aufbau liegen. Dieser ist zwar auf den ersten Blick vergleichbar, birgt jedoch entscheidende Unterschiede. Tamási und Kolleg:innen haben aufsteigend jeweils ein Merkmal manipuliert (von baby zu daby = Manipulation der Artikulationsortes, von baby zu faby = Manipulation der Artikulationsart und der Stimmhaftigkeit, von baby zu shaby = Manipulation von Artikulationsort, -art und der Stimmhaftigkeit) und finden bei drei Merkmalsunterschieden größere Pupillenweitungen als bei einem Merkmalsunterschied. Unser Experimentaldesign sieht hingegen zwei unterschiedliche Abweichungen mit jeweils einer Merkmalsmanipulation vor (SVK oder V2) und eine kombinierte mit zwei Merkmalsmanipulationen (SVK und V2). Dahingehend ist die Anzahl der Merkmalsmanipulationen zwischen dem vorliegenden und dem von Tamási et al. (2017) entwickelten Experiment nicht vergleichbar. Zusätzlich zu den Unterschieden im Untersuchungsgegenstand und den inhärenten Unterschieden zwischen phonetischer und morphosyntaktischer Manipulation könnte demnach die tatsächliche Anzahl der Manipulationen zu unterschiedlichen Befunden geführt haben.

Des Weiteren kann mit diesen Pilotdaten nicht zur Diskussion beigetragen werden, ob sich eine Reaktion auf Ungrammatisches stets in Pupillenweitungen oder individuell auch in Verengungen zeigen kann. So diskutierte Hess (1965) beispielsweise die durch negative Stimuli hervorbrachte Verengung der Pupille. Diese Ergebnisse werden heute allerdings als „Luminance confounds“ (also Konfundierungen mit Einflüssen von Lichteinfall) angesehen und es besteht Einigkeit darin, dass psychologische Effekte auf den Pupillendurchmesser lediglich mit Pupillenweitungen verbunden sind (Sirois & Brisson, 2014, S. 681). Die Pupillenverengungen, die in der vorliegenden Untersuchung zumindest graphisch in Abbildung 2B bei Kindern mit SES in Bedingung B zu sehen sind, werden ob der fehlenden Signifikanz in den Unterschieden zu den anderen Bedingungen hier nicht interpretiert.

Weiterführende Untersuchungen sollten klären, ob die hiesigen Ergebnisse ein zugrundeliegendes Muster aufdecken – in diesem Fall, dass ein doppelter grammatischer Verstoß die Irritation nicht zwangsläufig verstärkt –, oder ob es sich um rein methodische Problematiken handelt. Das formale Aufaddieren der Verstöße, das von uns zunächst theoriegeleitet vorgenommen wurde (Verbstellungs- + Verbflexionsverstoß ergeben den größtmöglichen Verstoß), scheint in der Realität für die Kinder kein stärkerer Verstoß zu sein als andere (B und C). Das geht einher mit der zu den Beispielen [3]-[6] vorgenommenen Anmerkung, dass der Spracherwerbsverlauf vieler Kinder nicht in klaren Stufen verläuft und sich vor allem bei den beiden Phänomenen der Verbstellung und der Verbflexion empirisch keine klar voneinander abgrenzbaren Erwerbsschritte belegen lassen. Häufig wird die Verbzweitstellung mit der Verbflexion gemeinsam erworben (Clahsen et al., 1996).

4.2 Limitationen

Um generalisierbare Aussagen über Kinder mit SES und deren Verarbeitung grammatischer Verstöße festhalten zu können, werden größere Stichproben und vertiefte statistische Analysen benötigt. Gerade für die Kinder mit SES hat sich allerdings gezeigt, dass die Drop-out-Rate sehr hoch ist. Ein Grund hierfür könnte im Störungsbewusstsein liegen. Auch wenn die Kinder hier nicht zu expliziten (Sprach-)Handlungen angehalten werden, so sollen sie doch der Sprache, die sie hören, zugewandt über einen längeren Zeitraum sitzen bleiben. Möglicherweise ist das bereits Grund genug, den Blick abzuwenden und nicht mehr auf dem Monitor zu halten.

Darüber hinaus ist in der aktuellen Forschungsliteratur noch kein Goldstandard für die Analyse von Pupillendaten gefunden (van Rij, Hendricks, van Rijn, Baayen & Wood, 2019). Während die gemittelte Pupillengröße über den Zeitverlauf eines Stimulus ein relativ grobes Vergleichsmaß darstellt, wären weitere Kennwerte wie die Dauer bis zur maximalen Pupillenweitung (peak latency) sowie die Höhe der maximalen Pupillenweitung (peak amplitude) in die Analysen zu inkludieren. Neben diesen könnte auch eine growth curve Analyse (GCA; Mirman et al., 2008) oder ein Regressionsansatz (generalized additive mixed modeling, GAMMs; van Rij et al., 2019) genauere Aussagen über zeitliche Auflösungen bieten (Mathot, 2018; Mathôt & Vilotijević, 2022). Eine derartige statistische Auswertung setzt größere Datengrundlagen voraus und wäre dementsprechend zukünftig bei größeren Stichproben mitzudenken. Die ersten vorläufigen Ergebnisse

der hier präsentierten Pilotdaten geben daher lediglich Einblicke und Hinweise auf mögliche Verarbeitungsmuster bei SES. Sie sind keinesfalls zu generalisieren.

5 Klinische Implikationen

Die beschriebenen Ergebnisse liefern erste Evidenz dafür, dass die Pupillometrie als Untersuchungsinstrument geeignet zu sein scheint, um implizite Sensibilität monolingualer Kinder für grammatische Verstöße nachzuweisen. Damit könnte die Pupillometrie zukünftig als zeitökonomisches und nicht-invasives Untersuchungsverfahren eine gewinnbringende Methode zur Analyse impliziter Spracherwerbsprozesse darstellen. Während die untersuchten Kinder mit TD im Rahmen der Pilotuntersuchung produktiv bereits SVK und Verbstellung erworben hatten und ihr grammatischer Entwicklungsstand damit auch mit Offline-Verfahren gut eingeschätzt werden konnte, ist dies bei Sprecher:innen im frühen grammatischen Erwerb nicht der Fall. Auch bei Kindern mit SES wird der Erwerbsstand häufig anhand gängiger produktiver Verfahren eingeschätzt, obwohl diese keinen Aufschluss über den rezeptiven und vor allem den impliziten Spracherwerbsstand geben können. Es ist zu vermuten, dass Kinder bereits deutlich früher implizit sensibel für SVK-Strukturen werden, als sie produktiv in der Lage sind, diese Strukturen zu bilden. Gerade aufgrund der gravierenden Auswirkungen grammatischer Defizite im Spracherwerb (Kardinalsymptom der Sprachentwicklungsstörung; Thelen, 2014) wäre denkbar, dass die Pupillometrie einen bedeutsamen Beitrag zur früheren Identifikation von Kindern leisten könnte, die im Spracherwerb andere Sprachsensibilitätsmuster aufweisen und damit vom typischen Erwerb frühzeitig abweichen. Auf Basis der aktuellen Daten kann die Anwendbarkeit der Methode mit kindlichen Teilnehmer:innen im (Vor-)Schulalter gezeigt werden. Anhand der vorliegenden Datenmenge kann nicht geschlussfolgert werden, ob die Verwendung der Pupillometrie-Ergebnisse zur Einzelfalldiagnostik valide erscheint. Hier wäre eine umfangreiche Untersuchung mit einer hohen Anzahl an Kindern notwendig.

Zudem sollten diese idealerweise im Längsschnitt durchgeführt werden, um sowohl die frühen Ergebnisse der Pupillometrie zu erhalten als auch gesicherte spätere Diagnosen einer SES. Die Überprüfung der Pupillometrie als diagnostisches Frühinstrument bei Vorschulkindern mit SES wird derzeit im Rahmen einer DFG-geförderten Längsschnittstudie (Projektnummer 493770011) vorgenommen, welches einen besonderen Fokus auf die diagnostische Aussagekraft bei mehrsprachigen Kindern legt.

Pupillometrie ist ein nicht-invasives Verfahren und kann ohne großen Aufwand durchgeführt werden (anders als z. B. EEG, bei dem aufwändige Vorbereitungen im Rahmen jeder Untersuchungssitzung nötig sind). Eine hohe Akzeptanz von Kleinkindern für die Untersuchung mithilfe der Pupillometrie wurde in der Literatur bereits beschrieben (Süss et al., 2018; Tamási et al., 2017). An dieser Stelle könnte somit methodisch angesetzt werden, um die Untersuchung von grammatischen Spracherwerbsphänomenen sowie von Sprachauffälligkeiten im gesamten Kindesalter zu implementieren.

6 Fazit und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen die Anwendbarkeit der Pupillometrie als Untersuchungsmethode von Spracherwerbsphänomenen, zeigen aber auch noch methodische Schwierigkeiten auf. Aufgrund ihrer nicht-invasiven und zeitökonomischen Durchführung ist diese Methode geeignet, um auch bei jüngeren Kindern und Zielgruppen mit kurzer Aufmerksamkeitsspanne Anwendung zu finden. Perspektivisch wäre zu überprüfen, ob die Pupillometrie zur frühzeitigen Identifikation von Kindern genutzt werden kann, die genetisch bedingt ein erhöhtes Risiko für eine spätere SES haben (Scherger, 2022b). Eine weitere Implementierung der Pupillometrie in die deutschsprachige Spracherwerbsforschung ist somit von hoher klinischer Relevanz.

Danksagung

Wir danken für die Förderung dieser Studie durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) – Projektnummer 493770011. Zudem danken wir allen Proband:innen und ihren Familien herzlich für die Teilnahme. Ganz besonderen Dank sprechen wir Timon Ludwigs für die Unterstützung bei der Datenauswertung sowie Pia Korell und Julia Wojtecki für die Unterstützung bei der

Datenerhebung aus. Herzlich bedanken wir uns auch bei unserer Kollegin Prof. Dr. Sarah Weigelt und dem Fachgebiet Sehen, Sehbeeinträchtigung und Blindheit an der Technischen Universität Dortmund für die unkomplizierte Nutzung ihres Eyetrackers.

Literatur

- Armon-Lotem, S., de Jong, J. H., & Meir, N. (Eds.) (2015). *Assessing multilingual children: Disentangling bilingualism from language impairment*. Multilingual matters.
- Beatty, J. & Lucero-Wagoner, B. (2000). The pupillary system. In J. Cacioppo, L. Tassinary & G. Berntson (Hrsg.), *Handbook of psychophysiology* (S. 142–162). Cambridge University Press.
- Cantiani, C., Lorusso, M.L., Perego, P., Molteni, M., & Guasti, M.T. (2015). Developmental dyslexia with and without language impairment: ERPs reveal qualitative differences in morphosyntactic processing. *Developmental Neuropsychology*, 40(5), 291–312. <https://doi.org/10.1080/87565641.2015.1072536>
- Chapman, L. R. & Hallowell, B. (2015). A novel pupillometric method for indexing word difficulty in individuals with and without aphasia. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 58(5), 1508–1520. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-L-14-0287
- Chapman, L. R. & Hallowell, B. (2021). Expecting questions modulates cognitive effort in a syntactic processing task: Evidence from pupillometry. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 64(1), 121–133. https://doi.org/10.1044/2020_JSLHR-20-00071
- Clahsen, C., Eisenbeiß, S. & Penke, M. (1996). Lexical learning in early syntactic development. In H. Clahsen (Hrsg.), *Generative perspectives on language acquisition* (S. 129–159). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company. <https://doi.org/10.1075/lald.14.08cla>
- Clahsen, H., Bartke, S., & Göllner, S. (1997). Formal features in impaired grammars: A comparison of English and German SLI children. *Journal of Neurolinguistics*, 10(2-3), 151–171.
- de Jong, J. (2015). Elicitation Task for Subject–Verb Agreement. In S. Armon-Lotem, J. de Jong & N. Meir (Hrsg.), *Assessing multilingual children disentangling bilingualism from language impairment* (Communication disorders across languages, Bd. 13, S. 25–37). Bristol: Multilingual Matters. <https://doi.org/10.21832/9781783093137-003>
- Drenhaus, H. (2012). Sprachverarbeitung. In B. Höhle (Hrsg.), *Psycholinguistik* (S. 95–109). Berlin: Akademie Verlag.
- Ehlert, H. (2021). *Dynamic Assessment: Prozess und Potential in der Diagnostik von Sprachentwicklungsstörungen*. Wiesbaden: Springer.
- Forbes, S. (2020). PupillometryR: An R package for preparing and analysing pupillometry data. *Journal of Open Source Software*, 5(50), 2285. <https://doi.org/10.21105/joss.02285>
- Geller, J., Winn, M. B., Mahr, T. & Mirman, D. (2020). GazeR: A package for processing gaze position and pupil size data. *Behavior Research Methods*, 52(5), 2232–2255. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01374-8>
- Hasson, N. (2017). *The dynamic assessment of language learning*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315175423>
- Hepach, R. & Westermann, G. (2016). Pupillometry in infancy research. *Journal of Cognition and Development*, 17(3), 359–377. <https://doi.org/10.1080/15248372.2015.1135801>
- Hess, E. (1965). Attitude and pupil size. *Scientific American*, 212, 46–54.
- Kauschke, C. (2012). *Kindlicher Spracherwerb im Deutschen. Verläufe, Forschungsmethoden, Erklärungsansätze* (Germanistische Arbeitshefte, Bd. 45). Berlin, Boston: De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110283891>
- Köhler, K., & Bruyère, S. (1996). Finiteness and verb placement in the L1 acquisition of German. *Wiener Linguistische Gazette*, 53, 63–86.
- Kosch, T., Hassib, M., Buschek, D. & Schmidt, A. (2018). Look into my eyes: using pupil dilation to estimate mental workload for task complexity adaptation. In R. Mandryk & M. Hancock (Hrsg.), *Extended abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (S. 1–6).
- Laeng, B., Sirois, S. & Gredebäck, G. (2012). Pupillometry: A window to the preconscious? *Perspectives on Psychological Science*, 7(1), 18–27. <https://doi.org/10.1177/1745691611427305>
- Lum, J. A. G., Youssef, G. J. & Clark, G. M. (2017). Using pupillometry to investigate sentence comprehension in children with and without specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 60(6), 1648–1660. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-L-16-0158
- Lüke, C. (2011). Sprachdiagnostik bei mehrsprachigen Schulkindern. *L.O.G.O.S. interdisziplinär*, 19, 164–172.
- MacLeod, A. A. N. & Glaspey, A. M. (2022). Dynamic assessment of multilingual children's word learning. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 1–30. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12723>
- Marton, K., Campanelli, L. & Farkas, L. (2011). Grammatical sensitivity and working memory in children with language impairment. *Acta Linguistica Hungarica*, 58(4), 448–466. <https://doi.org/10.1556/ALing.58.2011.4.4>
- Mathôt, S. (2018). Pupillometry: Psychology, physiology, and function. *Journal of Cognition*, 1(1): 16. <https://doi.org/10.5334/joc.18>
- Mathôt, S., & Vilotijević, A. (2022). *Methods in Cognitive Pupillometry: Design, Preprocessing, and Statistical Analysis*. Preprint on bioRxiv: <https://doi.org/10.1101/2022.02.23.481628>
- Mirman, D., Dixon, J. A., & Magnuson, J. S. (2008). Statistical and computational models of the visual world paradigm: Growth curves and individual differences. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 475–494. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.11.006>
- Moscatti, V., Rizzi, L., Vottari, I., Chilosi, A.M., Salvadorini, R. & Guasti, M.T. (2020). Morphosyntactic weaknesses in Developmental Language Disorder: the role of structure and agreement configurations. *Journal of Child Language*, 47(5), 909–944. <https://doi.org/10.1017/S0305000919000709>
- Naber, M., Frässle, S., Rutishauser, U. & Einhäuser, W. (2013). Pupil size signals novelty and predicts later retrieval success for declarative memories of natural scenes. *Journal of Vision*, 13(2), 11. <https://doi.org/10.1167/13.2.11>
- Neitzel, I. & Dittmann, F. (2021). Standardisierte Sprachdiagnostik bei älteren Kindern und Jugendlichen mit Down-Syndrom. *Vierteljahresschrift für Heilpädagogik und ihre Nachbargebiete*, 90 (3), 191–205.
- Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H. et al. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>
- Penner, Z., & Kölliker Funk, M. (1998). *Therapie und Diagnose von Grammatikstörungen: Ein Arbeitsbuch*. Luzern: Edition SZH/SPC.

- Petermann, F. (2018). *SET 5-10. Sprachstandserhebungstest für Kinder im Alter zwischen 5 und 10 Jahren*. Göttingen: Hogrefe.
- R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich. Verfügbar unter: <https://www.R-project.org/>
- Renner, L. F. & Włodarczak, M. (2017). When a dog is a cat and how it changes your pupil size: Pupil dilation in response to information mismatch. In *Proceedings Interspeech 2017* (S. 674–678).
- Rispens, J., & Been, P. (2010). Subject-verb agreement and phonological processing in developmental dyslexia and specific language impairment (SLI): a closer look. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 42(3), 293–305. <https://doi.org/10.1080/13682820600988777>
- RStudio Team. (2020). *RStudio: Integrated Development for R [Computer software]*. Boston, MA, USA: RStudio, PBC. Verfügbar unter: <http://www.rstudio.com/>
- Scheepers, C., Mohr, S., Fischer, M. H. & Roberts, A. M. (2013). Listening to limericks: A pupillometry investigation of perceivers' expectancy. *PLoS One*, 8(9), e74986. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074986>
- Scherger, A.-L. (2019). Elicited subject-verb agreement in German early L2 children with developmental language disorders. *Journal of the European Second Language Association*, 3(1), 46–57.
- Scherger, A.-L. (2020). Erprobung von LITMUS-Screenings für SES bei Mehrsprachigkeit – Morphosyntax und phonologische Komplexität. *Forschung Sprache*, 2, 10–25.
- Scherger, A.-L., Urbanczik, G., Ludwigs, T., & Kizilirmak, J. M. (2021). The bilingual native speaker competence: Evidence from explicit and implicit language knowledge using elicited production, sentence-picture matching, and pupillometry. *Frontiers in Psychology*, 12, 717379.
- Scherger, A.-L. (2022a). The role of age and timing in bilingual assessment: non-word repetition, subject-verb agreement and case marking in L1 and eL2 children with and without SLI. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 36(1), 54–74.
- Scherger, A.-L. (2022b). Rethinking bilingual language assessment: Considering implicit language acquisition mechanisms by means of pupillometry. *Research Methods in Applied Linguistics*, 1(2), 100014.
- Scherger, A.-L., Kizilirmak, J. M., & Folta-Schoofs, K. (2023). Ditransitive structures in child language acquisition: An investigation of production and comprehension in children aged five to seven. *Journal of Child Language*, 50(4), 1022–1039.
- Schmidtke, J. (2018). Pupillometry in linguistic research. An introduction and review for second language researchers. *Studies in Second Language Acquisition*, 40(3), 529–549. <https://doi.org/10.1017/S0272263117000195>
- Schwarz, I. E. & Nippold, M. A. (2002). The importance of early intervention. *Advances in Speech Language Pathology*, 4(1), 69–73. <https://doi.org/10.1080/14417040210001669271>
- Siegmüller, J., & Kauschke, C. (2006). *Pathologische Therapie bei Sprachentwicklungsstörungen*. München: Elsevier.
- Sirois, S. & Brisson, J. (2014). Pupillometry. *Wiley Interdisciplinary Reviews. Cognitive Science*, 5(6), 679–692. <https://doi.org/10.1002/wcs.1323>
- Spreer, M., Glück, C. W. & Theisel, A. (2019). Sprachliche Fähigkeiten und Schulleistungen von Grundschulkindern mit sonderpädagogischem Förderbedarf Sprache im Längsschnitt. *Empirische Sonderpädagogik*, 11(4), 318–338. <https://doi.org/10.25656/01:18338>
- SR Research (2021). *EyeLink Experiment Builder, Version v2.3.38 [Computer software]*. Informationen unter: <https://www.sr-research.com/wp-content/uploads/2021/02/Winter-2020-Newsletter.pdf>
- Süss, A., Hendricks, P., Fritzsche, T. & Höhle, B. (2018). Acquisition of adjectival agreement in German: Sensitivity to grammar is reflected in 3-year-olds' pupil dilation. In A. Bertolini & M. Kaplan (Hrsg.), *BUCLD 42: Proceedings of the 42nd annual Boston University Conference on Language Development* (S. 722–735). Cascadia Press: Somerville, MA.
- Tamási, K., McKeane, C., Gafos, A., Fritzsche, T. & Höhle, B. (2017). Pupillometry registers toddlers' sensitivity to degrees of mispronunciation. *Journal of Experimental Child Psychology*, 153, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.07.014>
- Thelen, K. (2014). Störungen der Grammatik zwischen 3;0 und 5;0 Jahren. In A. Fox (Hrsg.), *Handbuch Spracherwerb und Sprachentwicklungsstörungen. Kindergartenphase*, S. 55–72. München: Elsevier.
- van Rij, J., Hendriks, P., van Rijn, H., Baayen, R.H., & Wood, S.N. (2019). Analyzing the time course of pupillometric data. *Trends in Hearing*, 23. <https://doi.org/10.1177/2331216519832483>
- Wulfeck, B., Bates, E., Krupa-Kwiatkowski, M. & Saltzman, D. (2004). Grammaticality sensitivity in children with early focal brain injury and children with specific language impairment. *Brain and Language*, 88(2), 215–228. [https://doi.org/10.1016/S0093-934X\(03\)00100-7](https://doi.org/10.1016/S0093-934X(03)00100-7)
- Yu, A. J. (2012). Change is in the eye of the beholder. *Nature Neuroscience*, 15(7), 933–935.
- Zheng, W.-L., Dong, B.-N. & Lu, B.-L. (2014). Multimodal emotion recognition using EEG and eye tracking data. In Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (Hrsg.), *36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)* (S. 5040–5043).

Zu den Autorinnen

Dr. Anna-Lena Scherger ist Professorin für „Partizipation bei Beeinträchtigungen der Sprache und Kommunikation“ an der Technischen Universität Dortmund. Als Klinische Linguistin (Abschluss an der Philipps-Universität Marburg) und promovierte Mehrsprachigkeitsforscherin (Promotion in der Romanistik der Bergischen Universität Wuppertal) liegen ihre Forschungsschwerpunkte im Spracherwerb, der Diagnostik von Sprachentwicklungsstörungen und in der Mehrsprachigkeit.

Dr. Isabel Neitzel ist staatlich anerkannte Logopädin, studierte Lehr- und Forschungslogopädie (M.Sc.) an der RWTH Aachen University und promovierte 2021 an der Universität zu Köln im Fach Heilpädagogik. Ihren Forschungsschwerpunkte sind die sprachliche Teilhabe von Personen mit einer intellektuellen Beeinträchtigung und die (technikgestützte) Diagnostik. Derzeit ist sie in verschiedenen Forschungsprojekten an der TU Dortmund tätig.

Gianna Urbanczik ist Sprachtherapeutin (B.A.) und Linguistin (M.A.). Sie promoviert derzeit im IDEALAB-Programm (International Doctorate for Experimental Approaches to Language and Brain) an den Universitäten Potsdam (DE), Macquarie (AU), Groningen (NL) und Newcastle (UK).

Korrespondenzadressen

Anna-Lena Scherger
Technische Universität Dortmund
Fakultät Rehabilitationswissenschaften
Fachgebiet Sprache & Kommunikation
Emil-Figge-Str. 50
44227 Dortmund

Isabel Neitzel
Technische Universität Dortmund
Fakultät Rehabilitationswissenschaften
Fachgebiet Sprache & Kommunikation
Emil-Figge-Str. 50
44227 Dortmund

Gianna Urbanczik
Universität Potsdam
Department Linguistik
Karl-Liebknecht-Straße 24-25
14476 Potsdam