

Chancen und Grenzen einer technologiebasierten Risikodiagnostik

Pupillometrische Erfassung sprachlicher Beeinträchtigungen bei mehrsprachigen Kindern mit wenig Deutschkontakt

Lisa Röbsteck¹ [\[0009-0007-1589-5985\]](https://orcid.org/0009-0007-1589-5985), Isabel Neitzel¹ [\[0000-0001-6341-8584\]](https://orcid.org/0000-0001-6341-8584)

& Anna-Lena Scherger¹ [\[0000-0001-9139-7573\]](https://orcid.org/0000-0001-9139-7573)

¹ TU Dortmund, Fachgebiet Sprache & Kommunikation, Deutschland

Zusammenfassung. Die Diagnostik sprachlicher Beeinträchtigungen im Kindesalter stellt im Kontext der Mehrsprachigkeit eine Herausforderung dar, da bisher keine effektiven Verfahren zur frühzeitigen und somit präventiven Erkennung sprachlicher Beeinträchtigungen für mehrsprachige Kinder existiert. Dieses Defizit besteht vor allem, da herkömmliche diagnostische Ansätze auf explizite sprachliche Reaktionen angewiesen sind, wodurch eine frühzeitige Anwendung bei bilingualen Kindern nahezu unmöglich wird. In diesem Kontext erweist sich die Pupillometrie als vielversprechende Alternative, da sie implizite kindliche Reaktionen auf Sprache erfasst, ohne auf explizite Sprachhandlungen angewiesen zu sein. Bisherige Studien konnten zeigen, dass die Pupillometrie erfolgreich zur Untersuchung der Sprachverarbeitung bei prä- und frühverbalen Personengruppen eingesetzt werden kann.

Der vorliegende Beitrag stellt eine Studie vor, die sich auf bilingual aufwachsende Kinder im Alter von zwei bis sechs Jahren (N = 51) mit begrenztem Deutschkontakt von weniger als zwölf Monaten bezieht. Das Hauptziel besteht darin, die Sensibilität dieser Kinder für grammatische Verstöße in ihrer Zweitsprache Deutsch zu überprüfen, um Rückschlüsse auf mögliche Beeinträchtigungen auf Sprachverarbeitungsebene ziehen zu können.

Trotz ihrer vielversprechenden Anwendungsmöglichkeiten birgt die Methodik der Pupillometrie auch Herausforderungen. Diese werden in dieser Studie näher erläutert, um anderen Forschungsgruppen Hinweise für eine mögliche zukünftige Arbeit mit dieser innovativen Methode geben zu können.

Opportunities and limitations of technology-based risk diagnosis Pupillometry of developmental language disorders in bilingual children with limited exposure to German

Abstract. The diagnosis of developmental language disorders in childhood presents a challenge in the context of bi- and multilingualism, as to date, there are no effective procedures for the early and thus preventive identification of language impairments for bilingual children. This deficit exists primarily because conventional diagnostic approaches rely on explicit linguistic responses which making early application with bilingual children almost impossible. In this context, pupillometry proves to be a promising alternative, as it captures implicit child responses to language without relying on explicit speech acts. Previous studies have shown that pupillometry can be successfully used to investigate language processing in pre-verbal and early verbal groups.

This paper presents a study focusing on bilingual growing children aged two to six years ($N = 51$) with limited contact to German of less than twelve months. The main aim is to examine these children's sensitivity to grammatical violations in their second language German to draw conclusions about possible disorders at the language processing level.

Despite its promising potential, the methodology of pupillometry also poses challenges. These are explained in more detail in this study to be able to give other research groups indications for possible future work with this innovative method.

1 Einleitung

Der Anteil mehrsprachiger Personen nimmt in Deutschland stetig zu. Aus diesem Grund rückt das Thema Mehrsprachigkeit immer mehr in den Fokus der Sprachwissenschaften. Derzeit hat etwa ein Drittel der Kinder in Deutschland einen Migrationshintergrund (Böhmer et al. 2020). Es kann davon ausgegangen werden, dass ein deutlicher Anteil dieser Kinder zu Hause eine (oder mehrere) andere Sprache(n) neben der Umgebungssprache Deutsch erwirbt. Entgegen weit verbreiteter Annahmen führt der simultane oder sukzessive Erwerb mehrerer Sprachen allerdings nicht zu einer ‚Sprachverwirrung‘ und ist auch nicht als ursächlich für Sprachstörungen anzusehen (Scherger 2018; Chilla 2019; Novogrodsky und Meir 2020).

Bilinguale Kinder weisen ein ähnlich hohes Risiko für Beeinträchtigungen in der Sprachentwicklung auf wie monolinguale Kinder. Die Prävalenz für Sprachentwicklungsstörungen (SES) liegt dabei insgesamt bei ungefähr fünf bis acht Prozent (Tomblin et al. 1997). Unter einer SES wird im vorliegenden Beitrag eine Störung der Sprachentwicklung ohne erkennbar mitverursachende Beeinträchtigung verstanden, was im Einklang mit aktuellen Terminologie-Empfehlungen von Kauschke et al. (2023) steht. Kinder mit SES weisen ein erhöhtes Risiko für Beeinträchtigungen des Lernens auf (Bashir und Scavuzzo 1992; Nelson et al. 2006). Eine mögliche Folge stellen niedrigere akademische Leistungen dar, die sich in Form schlechterer Chancen auf dem Arbeitsmarkt (Thomas, J. Schulz und Ryder 2019) und sozialer Schwierigkeiten (Conti-Ramsden und Botting 2004) auch auf die weitere Lebensführung auswirken.

Die beschriebenen, möglichen Langzeitfolgen zeigen die enorme Relevanz für eindeutige und frühzeitige Diagnosen einer SES. Die Feststellung ist bei mehrsprachigen Kindern allerdings nach wie vor erschwert, da es einerseits keine umfassenden standardisierten Beurteilungsinstrumente für die sprachlichen Fähigkeiten mehrsprachiger

Kinder gibt und andererseits eine vorliegende Bilingualität die Symptome einer SES verdecken kann (Thomas, Schulz und Ryder 2019). Existierende Diagnostikansätze zur Identifikation einer SES bei mehrsprachigen Kindern fokussieren vordergründig die Sprachproduktion oder das Sprachverständnis. So werden beispielsweise Wortschatzlisten in beiden Sprachen (s. SBE-2-KT, Suchodoletz 2011) oder die Produktion grammatischer Phänomene in der Zweitsprache Deutsch überprüft (LiSe-DaZ, Schulz und Tracy 2011). Dies hat zur Folge, dass SES mehrsprachiger Kinder häufig erst etwa eineinhalb bis zwei Jahre nach Spracherwerbsbeginn der Zweitsprache diagnostiziert werden, wenn diese bereits im Vorschul- oder Schuleintrittsalter sind. Ein in der Praxis verbreiteter Therapiebeginn mit fünf oder sechs Jahren ist deutlich zu spät, um einen erfolgreichen Start in die Schule zu gewährleisten (Grimm 2012). Entgegengesetzt kommt es in der Praxis ebenso vor, dass bei typisch entwickelten, mehrsprachig aufwachsenden Kindern mit pädagogischem Sprachförderbedarf (in Abgrenzung zu sprachtherapeutischem Bedarf) fälschlicherweise eine SES diagnostiziert wird, also eine Überdiagnose stattfindet (Grimm und Schulz 2014). (Inter-) nationale Studien deuten auf eine hohe Zahl an Fehldiagnosen (Botting, Conti-Ramsden und Crutchley 1997; Dollaghan und Horner 2011), wobei davon ausgegangen wird, dass die Anzahl der Unterdiagnosen deutlich höher als die der Überdiagnosen ist (Genesee, Paradis und Crago 2004; Paradis 2005). Überdiagnosen entstehen vordergründig, da die für monolinguale Kinder konzipierten Diagnostikverfahren und deren Normierungen häufig unangepasst auch für bilinguale Kinder eingesetzt werden. Diese erreichen allerdings im regelhaften frühen Zweitspracherwerb nicht immer die Normwerte der gleichaltrigen einsprachigen Kinder (Altman et al. 2022). Eine weitere Herausforderung in der Diagnostik mehrsprachiger Kinder betrifft die starke Varianz der Faktoren, die den Zweitspracherwerb beeinflussen. Dazu zählen das Alter bei Erwerbsbeginn der Zweitsprache, die Dauer des Sprachkontaktes sowie die Quantität und Qualität des Inputs in der Zweitsprache (Grimm und Schulz 2014).

Um den Zeitverlust in der Diagnostik mehrsprachiger Kinder umgehen und eine frühzeitigere therapeutische Versorgung ermöglichen zu können, wählt das im Folgenden beschriebene Projekt Pupil-BiLa (vgl. Abschnitt 3) einen innovativen Ansatz, der die Methode der Pupillometrie involviert und die sprachlichen Anforderungen an die Kinder dadurch minimiert. Es werden weder Sprachverständnis- noch Sprachproduktionsleistungen vorausgesetzt, wie im folgenden Kapitel zur Methodik dargestellt wird. Ziele des vorliegenden Beitrags sind eine kritische Auseinandersetzung mit der Methode der Pupillometrie sowie die Identifizierung von Chancen und Grenzen für die bestehende Problemstellung der (frühzeitigen) Sprachdiagnostik mehrsprachiger Kinder.

2 Pupillometrie in der Forschung

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Methode der Pupillometrie erläutert und von anderen, in der Sprachforschung eingesetzten, Methoden abgegrenzt (2.1). Anschließend widmen sich die folgenden zwei Unterkapitel den bisherigen, fachfremden Einsatzgebieten der Pupillometrie (2.2) sowie dem Einsatz dieser Methode in der Sprachforschung (2.3).

2.1 Beschreibung der Methode

Die Pupillometrie ist eine nicht-invasive Augenmessungsmethode, welche die Pupillenfläche oder den Pupillendurchmesser bzw. deren Größenveränderung im zeitlichen Verlauf betrachtet und misst. Dabei wird davon ausgegangen, die Pupille sei ein Fenster zur Vorbewusstheit (Laeng, Sirois und Gredebäck 2012) und berge den Vorteil der Implizitheit. Es bedarf also keiner expliziten (sprachlichen) Handlung der untersuchten Person. Dennoch können Reaktionen auf sprachlichen Input sichtbar gemacht werden. Die Pupillometrie ist Teil der Eyetracking-Technologie und ermöglicht damit, implizite Reaktionen (fast) ohne zeitlichen Verlust (*online*¹) zu beobachten.

Die durchschnittliche Pupillengröße beträgt in etwa vier Millimeter, kann aber mit Durchmessern zwischen einem und neun Millimetern variieren (Mertins 2016). Dabei reagiert die Pupille innerhalb von etwa 200 Millisekunden auf Umgebungsreize (Beatty und Lucero-Wagoner 2000) und verengt oder weitet sich je nach Helligkeit (Davson 1972). Diese kleinen Größenveränderungen dienen der Sichtverbesserung, indem reguliert wird, wie viel Licht durch die Pupille auf die Netzhaut trifft (Hepach und Westermann 2016). Allerdings kann nicht nur Helligkeit die Pupillengröße beeinflussen. Es konnte bereits gezeigt werden, dass unterschiedliche Parameter zu Pupillenveränderungen führen können. So bewirken beispielsweise kognitive und mentale Anstrengung (Sirois und Brisson 2014; Beatty 1982), Erregtheit (Piquado, Isaacowitz und Wingfield 2010; Bradshaw 1967), Neuheit (Bradley et al. 2008) und Aufgabenkomplexität (Naber et al. 2013; Schluroff 1982) Größenveränderungen in der Pupille. Dies geschieht, ohne dass sich die beobachteten Personen dessen bewusst sind (Hepach und Westermann 2016; Kosch et al. 2018; Schmidtke 2018).

Pupillometrie in der Psychologie- und Sprachforschung beschäftigt sich mit genau diesen Veränderungen der Pupillengröße. Die Beobachtung minimaler und schneller Fluktuationen im Pupillendurchmesser ist allerdings technisch herausfordernd, sodass erst der Einsatz moderner Eyetracker dazu beigetragen hat, dass die Messung der Pupille möglich wird (Mertins 2016) und in der Entwicklungspsychologie Anwendung findet (Zekveld, Koelewijn und Kramer 2018). Eyetracking-Geräte sind mit hochauflösenden Infrarotkameras ausgestattet und erlauben eine durchgehende Beobachtung der Pupille, indem diese zwischen 30 und 1000 Mal pro Sekunde gemessen wird (Davson 1972). Auch die Auswertung der Pupillendaten ist mittlerweile technologiebasiert erleichtert, da Programme wie gazerR (Geller et al. 2020) oder PupillometryR (Forbes 2020) eine automatisierte Analyse ermöglichen.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über Vorteile der Pupillometrie anderen (Online-)Methoden gegenüber, wobei an dieser Stelle explizit darauf hingewiesen wird, dass es sich lediglich um einen recht oberflächlichen Vergleich handelt, der der Vielschichtigkeit der einzelnen Methoden nicht im Detail gerecht werden kann.

¹ Die Unterscheidung zwischen offline, online und true-online beschreibt, inwieweit eine wissenschaftliche Methode die zugrundeliegenden mentalen und/oder neuronalen Prozesse untersuchen kann. Bei Online-Methoden handelt es sich um sogenannte Echtzeitmessungen, die einen Zugang zu tieferliegenden mentalen Prozessen ermöglichen und eine Betrachtung impliziter Reaktionen erlauben (Mertins 2016). Die Pupillometrie stellt eine solche Online-Methode dar.

Tabelle 1 Vergleich verschiedener Methoden unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile für den Einsatz mit der hier fokussierten Zielgruppe

Elizitation²	Pupillometrie	Blickbewegung	EEG³	fMRT⁴
Betrachtung expliziter Reaktionen mit Zeitverzögerung (offline) (Mertins 2016)	Betrachtung impliziter Reaktionen nahezu in Echtzeit (online) (Mertins 2016)	Betrachtung impliziter Reaktionen nahezu in Echtzeit (online) (Mertins 2016)	Betrachtung impliziter Reaktionen in Echtzeit (true-online) (Mertins 2016)	Betrachtung impliziter Reaktionen in Echtzeit (true-online) (Mertins 2016)
nicht-invasiv	nicht-invasiv	nicht-invasiv	teil-invasiv	nicht-invasiv, aber fordernd
Fokus lediglich auf Sprachperformanz (Mertins 2016)	Fokus auf Sprachkompetenz (Mertins 2016)	Fokus auf Sprachkompetenz (Mertins 2016)	Fokus auf Sprachkompetenz (Mertins 2016)	Fokus auf Sprachkompetenz (Mertins 2016)
einfache Durchführung	wenig anspruchsvolle Durchführung (Zekveld, Kolewijn und Kramer 2018)	wenig anspruchsvolle Durchführung (Zekveld, Kolewijn und Kramer 2018)	anspruchsvolle Durchführung	anspruchsvolle Durchführung

² Elizitation beschreibt „jede Form der Situationsgestaltung [...], die dem Zweck dient, sprachliches Handeln in Umfang und Art zu beeinflussen“ (Schu 2001). In der Sprachforschung bedeutet dies, dass spezifische sprachliche Situationen geschaffen werden, die das Auftreten eines bestimmten, zu untersuchenden linguistischen Phänomens provozieren. Dies ermöglicht eine gezielte Untersuchung linguistischer Strukturen.

³ Elektroenzephalographie (EEG) ist ein funktionales Bildgebungsverfahren, das die elektrische Aktivität des Gehirns an der Schädeloberfläche aufzeichnet. Es lassen sich so Wellenfrequenzen des Gehirns betrachten, die mit unterschiedlichen Ausprägungen von Aufmerksamkeit und Bewusstsein korrelieren. In der Sprachforschung werden auf Ebene des Sprachverständnisses vor allem sogenannte ereigniskorrelierte Potentiale (EKP) betrachtet (Kotz, Herrmann und Frisch 2009).

⁴ Die funktionale Magnetresonanztomographie (fMRT) ist ein nicht-invasives Bildgebungsverfahren, das neuronale Aktivität erkennt und misst. Es ist somit die einzige der beschriebenen Methoden, die eine räumliche Lokalisierung von Hirnaktivität erlaubt. So können beispielsweise sprachrelevante Hirnareale abgegrenzt und spezifischen Funktionen zugeordnet werden (Haag et al. 2012).

Elizitation ²	Pupillometrie	Blickbewegung	EEG ³	fMRT ⁴
Einsatz ab dem Kleinkindalter	Einsatz ab der Geburt (Laeng, Sirois und Gredebäck 2012)	Einsatz ab dem Säuglingsalter: preferential looking (Tafreshi, Thompson und Racine 2014)	Einsatz ab dem Säuglingsalter	teilweise schon ab dem späten Kleinkindalter
keine Angabe	unterliegt keinen Ermüdungserscheinungen (Jackson und Sirois 2009)	unterliegt Ermüdungserscheinungen (Jackson und Sirois 2009)	keine Angabe	keine Angabe
keine räumliche Lokalisation von kognitiven Prozessen	keine räumliche Lokalisation von kognitiven Prozessen	keine räumliche Lokalisation von kognitiven Prozessen	grobe Lokalisation der Hirnaktivität, aber nur Hinweis auf Lokalisation kognitiver Prozesse (Wentura und Frings 2013)	räumliche Lokalisation kognitiver Prozesse
einfache bis mittelschwere Auswertung	komplexe Auswertung	komplexe Auswertung	sehr komplexe Auswertung	sehr komplexe Auswertung

Legende:

grün: nahezu keine Einschränkungen in Bezug auf die Untersuchung und/oder die Ergebnisse
gelb: leichte bis mittlere Einschränkungen in Bezug auf die Untersuchung und/oder die Ergebnisse
rot: große Einschränkungen in Bezug auf die Untersuchung und/oder Ergebnisse

Im Gegensatz zu herkömmlichen Eyetracking-Studien, die Blickbewegungen und deren Dauer untersuchen, ist die Pupillengröße resistenter gegenüber Müdigkeitsercheinungen oder Aufmerksamkeitsreduktion (Mertins 2016). Pupillometrie liefert zudem die Möglichkeit, eine fortlaufende Messung der Sympatikus-Aktivität zu erhalten. Das bedeutet, dass dieses Verfahren eine Betrachtung, Quantifizierung und Interpretation von Prozessen ermöglicht, die man ansonsten nicht beobachten könnte. Dies ist vor allem für den Einsatz bei Kleinkindern im präverbalen Stadium von enormem Vorteil (Hepach und Westermann 2016), kommt jedoch auch der Forschungstätigkeit mit älteren Kindern zugute. Während in einem herkömmlichen Eyetracking-Design eine Anleitung an das Kind benötigt wird (z. B. „Schau so schnell wie möglich auf das richtige Bild!“; Cholewa et al. 2019) und dies sowohl eine mögliche zeitliche Verzögerung beinhaltet als auch eine erhöhte Anforderung an Sprachverständnis und Kooperation voraussetzt, erscheint ein Pupillometrie-Experiment mit wenig verbaler Anleitung umsetzbar (Scherger 2022).

2.2 Bisherige Einsatzgebiete

Die Pupillometrie konnte bereits in unterschiedlichen Disziplinen angewendet werden. Es finden sich zudem erste positive Machbarkeitsbelege für kindliche Proband*innen. Bisher wurde die Methodik jedoch gehäuft in der Psychologie mit Fokus auf das Erwachsenenalter eingesetzt. Eine Studie von Hess und Polt (1964) konnte beispielsweise zeigen, dass sich beim Lösen von Kopfrechenaufgaben die Pupillen erwachsener Proband*innen mit steigender Komplexität der Aufgaben vergrößern. Dies lässt vermuten, dass die Pupillengröße Hinweise auf die kognitive Belastung bei Verarbeitungsleistungen geben kann (Beatty 1982). Ein Design innerhalb der psychologischen Forschung, in dem die Pupillometrie mit Kindern bereits gewinnbringend eingesetzt wurde, ist das Violation of Expectation (VoE)-Paradigma. Die Pupillenveränderungen werden hierbei dazu genutzt, den Grad der Überraschung zu messen. Studien aus dem Bereich der VoE konnten beispielsweise zeigen, dass Säuglinge im Alter von sieben Monaten mit einer Pupillenweitung reagieren, wenn ihnen physikalisch unmögliche Vorgänge gezeigt werden (Jackson und Sirois 2009). Darüber hinaus konnte herausgestellt werden, dass sich die Pupillen bei Kleinkindern im Alter von zwölf Monaten vergrößern, wenn sie irrationale soziale Interaktionen sehen (Gredebäck und Melinder 2010). Diese Studien verdeutlichen, dass das kindliche Gehirn spezifische Hypothesen darüber entwickelt, was als nächstes passieren wird, und bei einem Verstoß gegen diese Vorhersagen implizit auf Pupillenebene reagiert – und das bereits im Säuglingsalter (Yu 2012; Scheepers et al. 2013; Renner und Włodarczak 2017). Auch in der Medizin wird Pupillometrie eingesetzt, vor allem in der Alzheimer- (Iijima et al. 2003) und Demenz-Forschung (Fletcher et al. 2015). Alle genannten Personen stellen vulnerable oder eingeschränkt kooperationsfähige Zielgruppen dar, welche auch in der Sprachforschung häufig adressiert werden.

2.3 Pupillometrie in der Sprachforschung

In der Linguistik ist die Methode der Pupillometrie anhand von Studien mit erwachsenen Proband*innengruppen (Schmidtke 2018; Just und Carpenter 1993; Engelhardt, Ferreira und Patsenko 2010; Fernandez et al. 2018; Scherger et al. 2021) zu einer zentralen Erkenntnis gekommen: Die Pupillometrie scheint eine valide Messtechnik zu sein, mit der die linguistische Komplexität einer Äußerung eingeschätzt werden kann. Je komplexer eine linguistische Struktur ist, desto schwieriger ist sie auditiv für Proband*innen zu verarbeiten. Eine erhöhte Verarbeitungsleistung wiederum hat eine Weitung der Pupille zur Folge.

Aus dem oben beschriebenen Vorteil, dass Pupillometrie unbewusste bzw. vorbewusste Reaktionen misst, ohne eine explizite Aktion zu verlangen, leitet sich die Idee ab, diese Methode bei Personengruppen einzusetzen, die (noch) keine Sprache produzieren oder gerade erst damit begonnen haben (präverbale oder frühverbale Phase; Hepach und Westermann 2016). Allerdings gibt es bislang nur wenige Studien zur Sprachverarbeitung von Säuglingen oder Kleinkindern, die auf Pupillenmessungen basieren (Jackson und Sirois 2009; Gredebäck und Melinder 2010; Hochmann und Papeo 2014). Im Bereich der VoE haben Tamási et al. (2017) untersucht, wie sensibel Kinder im Alter von 30 Monaten auf Aussprachefehler reagieren. Die Forschungsgruppe konnte zeigen, dass sich die Pupillen vergrößern, wenn das Kind einen fehlerhaften Begriff zu einem gezeigten Bildstimulus hört, also eine VoE vorliegt (z. B. shaby statt baby). Dabei konnte auch verdeutlicht werden, dass sich verschiedene Abstufungen

bzgl. der Schwere des Verstoßes in unterschiedlich starken Pupillenweitungen äußern (z. B. shaby schwerwiegender als daby). Süß et al. (2018) wiederum untersuchten die Genusmarkierung bei Kindern im Alter von 30 bis 36 Monaten. Sie fanden heraus, dass die Pupillenweitungen der Kinder bei ungrammatischen Äußerungen („da ist ein gelbes Bus“) im Mittel größer ausfielen als bei grammatischen Sätzen („da ist ein gelber Bus“).

Pupillometrie kann ebenfalls eingesetzt werden, um die Sprachverarbeitung bei bilingualen Kindern mit typischer Entwicklung (TE) oder bei Erwachsenen zu untersuchen und die Leistungen ggf. mit der Sprachverarbeitung monolingualer Personen zu vergleichen. Bislang gibt es jedoch nur wenig Studien in diesem Bereich. Schmidtke (2014) führte eine Studie durch, in der 53 Erwachsene (frühbilingual: N = 17, spätbilingual: N = 15 und monolingual: N = 21) mit einer Wort-Bild-Zuordnungs-Aufgabe konfrontiert wurden. Dabei wurden sowohl Effekte der Wortfrequenz (Häufigkeit des Wortes) als auch der lexikalischen Nachbarschaftsdichte betrachtet (wie hoch ist die Anzahl der Wörter, die durch Addition, Streichung oder Substitution eines Lauts geschaffen werden können). Es konnte unter anderem gezeigt werden, dass eine erhöhte Abrufanstrengung bei bilingualen Erwachsenen eher mit einer geringeren Sprachkenntnis bzw. Spracherfahrung in Zusammenhang gebracht werden kann und nicht als kategorische Benachteiligung bilingualer Sprecher*innen anzusehen ist. Eine weitere Studie mit bilingualen Erwachsenen wurde von Scherger et al. (2021) durchgeführt. Sie untersuchten potenzielle Effekte von frühem im Vergleich zu spätem Zweitsprachbeginn bei N = 18 bilingualen und N = 26 monolingualen Erwachsenen. Die Ergebnisse der Pupillometrieuntersuchung zeigen, dass bilingualer Sprecher*innen anders auf starke grammatische Verstöße reagierten als monolinguale Proband*innen. Tamási et al. (2017) setzten Pupillometrie in einer Studie mit monolingualen und bilingualen Kleinkindern im Alter von zwei Jahren ein. Sie verglichen die Sensibilität auf Aussprachefehler (einsilbige Nomen mit einer Vokal- oder Konsonantenveränderung) in beiden Gruppen. Die Forschungsgruppe konnte zeigen, dass die bilingualen Kinder, im Gegensatz zu den einsprachigen Kindern, eine Pupillenweitung zeigten, wenn sie Wörter mit Aussprachefehlern hörten. Außerdem war bei den bilingualen Kindern ein geringerer Pupillendurchmesser bei korrekt ausgesprochenen Wörtern zu beobachten als bei den monolingualen Kindern. Basierend auf der Erkenntnis, dass eine Pupillenweitung in Zusammenhang mit kognitiver Anstrengung steht, argumentieren sie, dass bilingualer Kinder scheinbar weniger Ressourcen benötigen, um korrekte Wörter zu verarbeiten, während sie für die Verarbeitung falsch geäußerter Wörter möglicherweise mehr Ressourcen nutzen müssen, um den passenden lexikalischen Eintrag im mentalen Lexikon zu aktivieren.

Auch in der klinischen Linguistik, speziell in der Aphasieforschung, wurde Pupillometrie bereits eingesetzt. Aphasiker*innen stellen, ähnlich wie prä- und frühverbale (mehrsprachige) Kinder, eine Untersuchungsgruppe dar, die von einem Experimentaldesign profitieren kann, das nicht auf explizit sprachlichen Reaktionen und Sprachverständnisfähigkeiten basiert. Chapman und Hallowell haben eine Reihe solcher Studien mit aphasischen Personen unter Einsatz der Pupillometrie durchgeführt. Sie untersuchten beispielsweise die mentale Anstrengungsleistung bei der Verarbeitung simpler und komplexer Nomen (Chapman und Hallowell 2015) oder einfacherer Subjekt-Relativsätze und schwierigerer Objekt-Relativsätze (Chapman und Hallowell 2019, 2021). Aphasiker*innen zeigten zum Teil, entgegen den Erwartungen, keine

Pupillenweitungen bei den komplexeren Satzkonstruktionen, obwohl bei den Kontrollproband*innen eine solche Weitung zu beobachten war. Die Autorinnen kamen zu der Vermutung, dass dies durch eine kognitive Überlastung erklärt werden könne, die beim Dekodieren der komplexen Objekt-Relativsätze auftritt.

Im Bereich der klinischen Linguistik gibt es aktuell nur zwei Studien, die diese Methode einsetzen, um Kinder mit sprachlichen Beeinträchtigungen zu untersuchen. Lum, Youssef und Clark (2017) führten eine Studie mit sechs Jahre alten Kindern mit TE bzw. mit SES durch. Die Forschungsgruppe testete das Verständnis syntaktisch einfacher Vier- bis Fünfwortsätze sowie anspruchsvollerer Sieben- bis Achtwortsätze. Bei den TE-Kindern weiteten sich die Pupillen lediglich beim Hören und Verarbeiten der komplexeren Sätze, während sich bei den Kindern mit SES auch bei den einfachen Satzkonstruktionen bereits Pupillenvergrößerungen zeigten. Diese weisen auf eine erhöhte Verarbeitungsleistung bzw. -anstrengung hin, die bei Kindern mit SES bereits bei kurzen Sätzen zu beobachten ist. Die Erkenntnisse aus der Studie von Lum, Youssef und Clark (2017) stehen in Einklang mit bisherigen Forschungsergebnissen, die zeigen konnten, dass Kinder mit SES Sprache im Allgemeinen langsamer verarbeiten als TE-Kinder (Montgomery 2000; Miller et al. 2001). Eine weitere Studie im Bereich SES wurde von Scherger, Neitzel und Urbanczik (2023) durchgeführt. Die Autor*innen untersuchten in einer Pilotstudie fünf bis sechs Jahre alte Kinder mit TE bzw. mit einer SES. Den Kindern wurden verschiedene grammatische und ungrammatische Sätze mit Subjekt-Verb-Objekt-Struktur auditiv präsentiert. Die ungrammatischen Sätze waren hinsichtlich der Subjekt-Verb-Kongruenz sowie der Verbzweitstellung im Aussagesatz manipuliert. Es konnte gezeigt werden, dass die untersuchten Kinder anders auf die grammatischen als auf die ungrammatischen Sätze reagierten und vor allem, dass die Kinder mit SES eine von den TE-Kindern abweichende Reaktion auf die ungrammatischen Sätze zeigten. Diese Erkenntnisse weisen übereinstimmend auf eine Umsetzbarkeit einer Einschätzung der kindlichen Sprachverarbeitung anhand eines experimentalen Pupillometrie-Designs hin. Allerdings kann die Interpretation der limitierten Erkenntnisse aus dieser Pilotuntersuchung nur mit großer Vorsicht vorgenommen werden.

Beide Studien zu SES weisen darauf hin, dass Kinder mit SES gegenüber Kindern mit TE Schwierigkeiten beim Dekodieren von sprachlichem Input aufweisen. Die Diagnose einer SES oder anderer sprachlicher Beeinträchtigungen bei Kindern ist, wie oben bereits dargestellt wurde, nach wie vor schwierig und fehleranfällig und erfolgt häufig verspätet. Aus diesem Grund ist ein diagnoseunterstützendes Verfahren, das ohne explizite sprachproduktive Leistungen seitens der untersuchten Kinder auskommt und in der Folge deutlich früher für die Störungsdiagnostik eingesetzt werden kann als herkömmliche Diagnoseverfahren, von enormer Relevanz – vor allem bei mehrsprachigen Kindern.

3 Untersuchungsdesign des laufenden Projekts

Der bestehenden Versorgungslücke in der Sprachdiagnostik bei mehrsprachigen Kindern und der oben benannten Bedeutung des VoE-Paradigmas entstammt die Idee, das Risiko für SES bei mehrsprachigen Kindern mittels Pupillometrie zu identifizieren. Diese Methode wurde bislang nicht für die individuelle Diagnostik von SES eingesetzt, weder bei monolingualen noch bei bilingualen Kindern. Sie scheint jedoch vielversprechend, um das Risiko für SES prognostisch abschätzen zu können. Pupillometrie birgt außerdem den Vorteil, dass implizites Sprachwissen lange vor ersten sprachproduktiven Äußerungen in der entsprechenden Sprache begutachtet werden kann. Daher konzentriert sich das im Folgenden beschriebene Forschungsprojekt, anders als reguläre diagnostisch orientierte Untersuchungen, nicht auf explizite sprachliche Reaktionen, sondern auf implizites Sprachwissen.

Das DFG-geförderte Projekt *Die Anwendung der Pupillometrie in der mehrsprachigen Sprachentwicklungsdiagnostik* (Leitung: Anna-Lena Scherger) an der Technischen Universität Dortmund verfolgt das Ziel, zu untersuchen, inwieweit die implizite Reaktion auf die Verletzung grammatischer Strukturen als ein prognostischer Faktor für SES belegt werden kann. Es liegt die Annahme zugrunde, dass Kinder mit TE schon früh eine Sensibilität für grammatische Strukturen und vor allem für die Verletzung dieser Strukturen aufbauen. Die für die Studie ausgewählten grammatischen Phänomene, nämlich die Subjekt-Verb-Kongruenz (SVK) und die Verbzweitstellung (V2-Stellung), sind frühe syntaktische Meilensteine (Tracy 2011) und eignen sich daher zur Untersuchung der frühen Sensibilität für Grammatikverstöße. Im typischen einsprachigen Erwerb werden beide morpho-syntaktischen Phänomene im Laufe des dritten Lebensjahres erworben. Durch das Studiendesign wird aufgegriffen, dass die Pupillometrie eine geeignete Messmethode zur Darstellung der Sensibilität für Kongruenzverstöße darstellt (Fernandez et al. 2018). In der laufenden Studie werden mehrsprachige Kinder zwischen zwei und sechs Jahren (bisherige Stichprobe: N = 51; Altersdurchschnitt in Jahren: 4,43; SD: 1,32) untersucht, deren Deutschkontakt seit maximal zwölf Monaten besteht. Angelehnt an die Studie von Friederici, Mueller und Oberecker (2011), werden den Kindern die Stimuli auditiv entsprechend eines repetitiven Familiarisierungsparadigmas präsentiert. Dies bedeutet, dass die Kinder in der sogenannten Familiarisierungsphase zunächst 21 grammatische Äußerungen hören (wie „Papa öffnet Briefe“) und sich mit dem entsprechenden sprachlichen Muster vertraut machen können. Anschließend werden ihnen in der Testphase 17 grammatische und ungrammatische (wie „Papa Briefe öffnen“) Stimuli auditiv präsentiert. Angenommen wird hierbei, dass durch die vorherige Familiarisierung auch bei Kindern, welche die jeweilige Struktur noch nicht erworben haben, aber eine intakte Sprachverarbeitung aufweisen, eine Irritation durch die ungrammatischen Stimuli hervorgerufen wird. Diese sollte an der Pupillenreaktion ablesbar sein. Der Wechsel zwischen Familiarisierung und Testphase (s. Abb. 1) erfolgt insgesamt dreimal, sodass die Kinder insgesamt 114 Items hören. Zwischen den Blöcken werden zur Erholung und Motivationsförderung kurze Videosequenzen aus der *Sendung mit der Maus* abgespielt.

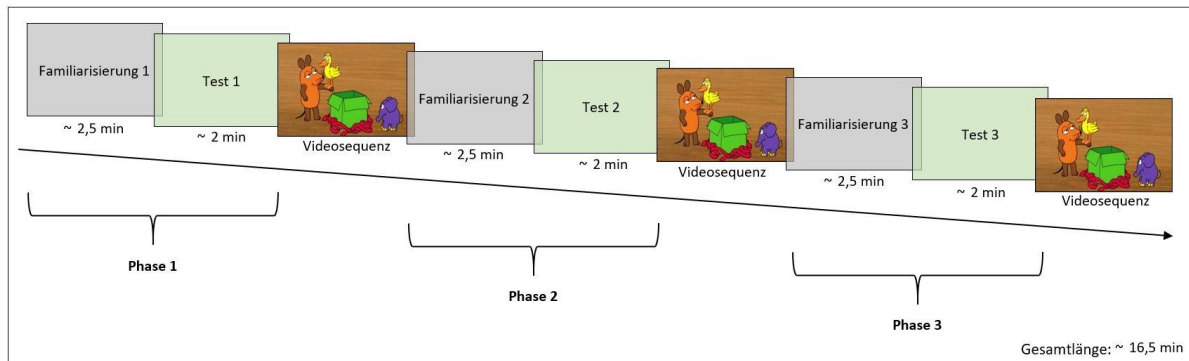


Abbildung 1 Familiarisierungsdesign (in Anlehnung an Friederici, Mueller und Oberecker 2011)

Um die Aufmerksamkeit während des Experimentes aufrechtzuerhalten und sicherzustellen, dass die Kinder durchgehend auf den Bildschirm schauen, werden ihnen währenddessen graustufige Abbildungen von sich wiederholenden Robotern gezeigt. Diese sind so ausgewählt und aufgebaut, dass sie sich weder in der Helligkeit unterscheiden noch besonders spannend oder neuartig sind, um bestmöglich Effekte auf die Pupille durch visuelle Stimuli auszuschließen. Auf der anderen Seite müssen die Stimuli ausreichend spannend sein, um die Aufmerksamkeit durchgängig auf den Computermonitor zu lenken. Auch wenn in neuerer Literatur von der Nutzung visueller Stimuli in herkömmlichen Pupillometrie-Ansätzen abgeraten wird (Hepach 2024), werden diese hier bewusst eingesetzt, da eine dauerhafte Kooperation von Kleinkindern ohne adäquate Reize nicht gewährleistet werden kann. Von der Präsentation von bewegtem Bildmaterial – wie in anderen Pupillometriestudien im Kontrast zu Hepach (2024) teilweise eingesetzt – wurde allerdings aus Gründen der Konfusion innerhalb der Interpretation der Pupillendaten abgesehen. Für die Pupillometrieuntersuchung wird ein portabler EyeLink Duo Eyetracker mit externem Bildschirm genutzt. Die Pupillendaten werden zunächst mit einer *sampling rate* von 250 Hz aufgenommen. Anschließend wird ein Downsampling auf 60 Hz vorgenommen. Die Ergebnisse der Pupillometrie-Untersuchung werden anschließend mit den Leistungen in einem Nichtwort-Nachsprechttest (NWR) abgeglichen. Auffällige Leistungen beim Nachsprechen von Nichtwörtern gelten als valider klinischer Marker für sprachliche Beeinträchtigungen bei bilingualen Sprecher*innen (Schwob et al. 2021). Hierfür kommt der mehrsprachigkeits- und kultursensibel entwickelte Nichtwort-Nachsprechttest von A. Grimm (2022) zum Einsatz. Dieser basiert auf den häufigsten Vokalen und Konsonanten in mehreren Sprachen, sodass zweisprachige Kinder, die noch wenig Input im Deutschen hatten, beim Wiederholen der Nichtwörter nicht benachteiligt werden. Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung mit den Nichtwort-Nachsprechleistungen werden im vorliegenden Beitrag nicht thematisiert, da sie sich noch in einem work-in-progress-Stadium befinden (Scherger und Neitzel, in Vorbereitung).

Das hier beschriebene Forschungsprojekt ist als Längsschnittstudie aufgebaut, um die prognostische Validität der pupillometrischen Untersuchung bestimmen zu können. Dazu wird nach 18 Monaten eine Follow-up-Untersuchung durchgeführt, in der der Sprachstand erneut gemessen und eingestuft wird. Dieser zeitliche Abstand wurde gewählt, da davon ausgegangen werden kann, dass die SVK nach einer Kontaktzeit von eineinhalb Jahren erworben sein kann (Pagonis und Karas-Bauer 2020; Schulz et al. 2017). In dieser Follow-up-Untersuchung werden Sprachproduktionsdaten mittels eines standardisierten und für zweisprachige Kinder normierten Testverfahrens für die Morphosyntax erhoben. Ziel ist, retrospektiv verifizieren zu können,

ob Kinder mit spät diagnostizierter SES bereits in der vorsprachlichen Sprachverarbeitung ihrer Zweitsprache entsprechende Auffälligkeiten im Pupillometrie-Experiment zeigten.

4 Kritische Auseinandersetzung mit der Methode

Neben den in Kapitel 2 genannten Vorteilen der Pupillometrie, die literaturbasiert herausgearbeitet werden konnten, liegt der Fokus dieses Beitrags auch auf einer kritischen Auseinandersetzung mit dem Einsatz dieser technologiebasierten Methodik in der Spracherwerbsforschung. Es werden konkrete Problemstellungen aus den bereits erfolgten Erhebungen zu Testzeitpunkt 1 beschrieben und individuelle Lösungsansätze präsentiert, die weiteren Forschungsgruppen zugutekommen können.

4.1 Herausforderungen in der Durchführung von Pupillometriestudien in der Spracherwerbsforschung

Eine allgemeine, zentrale Herausforderung, die im Studiendesign oder der Durchführung entsprechender experimenteller Untersuchungen berücksichtigt werden muss, ist die kurze Aufmerksamkeitsspanne von kleinen Kindern und die damit einhergehende sinkende Kooperation (Hepach und Westermann 2016). Dies ist vor allem eine Herausforderung, da der Eyetracker für eine bestmögliche Interpretierbarkeit der Daten eine fortlaufende Messung der Pupillengröße benötigt und Proband*innen dementsprechend dauerhaft auf den Bildschirm schauen müssen. Aus diesem Grund scheint es sinnvoll, die Aufmerksamkeit der Kinder mittels Bildmaterial während der Testung aufrechtzuerhalten. Ebenfalls zielführend scheint die Unterteilung der Testung in einzelne Blöcke. Dies ermöglicht Erholungspausen zwischen den Blöcken, die hier mit kurzen Videoeinspielern aus der Sendung mit der Maus gefüllt wurden. Derzeit gibt es außerdem keine standardisierten Vorgehensweisen im Umgang mit Pupillometrie-Daten (Hepach 2024; Mathôt und Vilotijević 2023), was eine einheitliche Analyse und studienübergreifende Vergleiche erschwert.

Von der methodisch saubereren Durchführung der Datenerhebung im Labor musste aufgrund von erheblichem Aufwand der Eltern (das Bringen der Kinder zur Universität) abgesehen werden. Die Erhebungen in den Einrichtungen sind mit der Menge an Technik-Equipment nicht einfach umzusetzen. Bereits die Rekrutierung von geeigneten Proband*innen ist nach wie vor durch den enormen Personalmangel in vielen Betreuungseinrichtungen stark erschwert und erlebte weitere Hürden in den Herbst- und Wintermonaten, als die grassierende, post-pandemische Erkrankungswelle ihren Höhepunkt erreichte. Testungen wurden in der Folge aufgrund erkrankter Kinder bzw. Mitarbeiter*innen oder sogar gänzlich geschlossener Einrichtungen immer wieder verschoben, sodass dies zu einem enormen Verzug der Aufnahmen führte.

Auch die Durchführung des Experimentes selbst führte zu zahlreichen Schwierigkeiten, da die Zielgruppe (Kinder zwischen zwei und fünf Jahren mit geringem Deutschkontakt) spezifische und sehr individuelle Voraussetzungen mitbringt. Zunächst kam es teilweise zu einem nachträglichen Ausschluss einiger Proband*innen, da diese, entgegen der Informationen der Einrichtungen, zu gute Deutschkenntnisse zeigten. Waren die Deutschkenntnisse so gering, wie in den Einschlusskriterien der Studie intendiert, führte dies in Kombination mit der meist kurzen Eingewöhnungszeit in den entsprechenden Einrichtungen bei vielen Kindern zu einer ausgeprägten Verunsicherung.

In der Folge wollten oder mussten die jeweiligen Bezugspersonen (Erzieher*in oder Elternteil) teilweise bei der Testung anwesend sein. Trotz vorheriger Einweisung dieser Begleitpersonen zeigten diese häufig kein anleitungskonformes Verhalten, mit der Folge, dass Daten unter Umständen verfälscht wurden und im Zuge der Analysen ausgeschlossen werden müssen.

Auch das Eyetracking-Setup selbst brachte technische Hürden mit sich. Gemäß den Empfehlungen des Manuals wurde zunächst die Testung der Kinder mit Hilfe einer Kopfstütze favorisiert, auf die das Kind während der Testung das Kinn auflegt und so eine einheitliche Kopfposition beibehält. Aufgrund der Größe der Kinder in Kombination mit unzureichenden Sitzmöbeln in den Räumen der Einrichtung (nicht höhenverstellbar etc.) und motorischer Unruhe der Kinder war dieses Vorgehen nicht umsetzbar. Nach der Pilotierungsphase fand eine Umstellung auf eine Remote-Testung mit Stickern statt, welche auf die Stirn der Kinder aufgeklebt werden. Die Sticker werden vom Eyetracker automatisch als ‚Target‘ (Ziel) erkannt und für die Berechnung der Pupillenreaktion genutzt. Die Testung mittels Sticker stellte sich zwar als leichter umsetzbar für die meisten Kinder dar, allerdings konnten einige wenige Testungen zunächst nicht durchgeführt werden, da bei einzelnen Kindern eine taktil-kinästhetische Aversion gegen Gegenstände auf der Haut vorlag. Für die betroffenen Kinder wurde der Sticker entweder auf eine eigene Kopfbedeckung des jeweiligen Kindes geklebt (Kappe mit dem Schirm nach hinten gedreht) oder eine Faceshield-Halterung (ohne Gesichtsbedeckung) genutzt. Eine solche Halterung sollte demnach zur Absicherung Teil der Testausrüstung sein. Auch modellhaftes Verhalten der Testleitung („Schau mal, ich klebe mir auch einen Sticker auf die Stirn!“ – „Du darfst mir einen Sticker aufkleben und ich klebe dann deinen auf.“) oder mittels einer Handpuppe erwiesen sich als probate Alternativen.

Wie bereits hinsichtlich der Sitzposition der Kinder angedeutet, stellen die unterschiedlichen räumlichen Bedingungen in den Einrichtungen ein Problem für die Durchführung der Testaufgaben dar. Räume waren unter Umständen zu klein und/oder schlecht ausgestattet (keine Tische und Stühle, viele ablenkende Gegenstände, Durchgangsraum, etc.) oder konnten nicht verdunkelt werden. In diesem Fall wurde ein eigenes Verdunkelungstuch genutzt, das mit Saugnäpfen problemlos an Fenstern befestigt werden kann. Besonders die Lautstärke in den Einrichtungen erwies sich als stete Herausforderung, daher wurde zu einer Testung mit Kopfhörern übergegangen. Um dennoch zu gewährleisten, dass der Ton während des Abspielens auch für die Testleitung uneingeschränkt zu hören ist, wurden zwei gekoppelte Kopfhörer eingesetzt, die jeweils von Proband*in und Testleiter*in getragen wurden. Um die Sitzposition der Kinder so ruhig wie möglich zu halten, wurde ein sogenannter ‚Therapiehund‘ (beschwertes Stofftier, das etwa 3 kg wiegt) auf dem Schoß der Kinder platziert. Dies führt zum einen dazu, dass die Kinder sich durch die Anwesenheit eines Stofftiers geborgener fühlen und zum anderen dazu, dass durch das Gewicht auf dem Schoß übermäßige Bewegungen vermieden werden.

Neben den genannten technischen und organisatorischen Herausforderungen gehen auch mit der gewählten Zielgruppe einige Besonderheiten einher. Faktoren, die in Experimenten mit Personen mit nicht-deutscher Erstsprache einkalkuliert werden müssen, sind ein großer Organisationsaufwand sowie hohe Kosten für Übersetzungen des Informationsmaterials, der Datenschutzerklärung, der Einverständniserklärung und der kurzen Audioanweisungen für die Kinder (in unserem Fall wurden die Testinstruk-

tionen für den Nichtwort-Nachsprechttest in über 20 Sprachen übersetzt und von muttersprachlichen Personen eingesprochen, sodass wir die mp3-Dateien in den Herkunftssprachen der Kinder abspielen konnten, um ein Aufgabenverständnis zu sichern). Zu beachten ist bei Letzteren, dass nicht alle Übersetzungsbüros das Einsprechen von Audiospuren als Standardleistung anbieten, was mit höherer Bearbeitungsdauer und höheren Kosten verbunden sein kann. Als Folge einer großen Anzahl von Geflüchteten im Zuge des Ukraine-Kriegs und der damit verbundenen Vielzahl an Übersetzungsanfragen, kam es zum Teil außerdem zu verlängerten Wartezeiten. Zudem beschreiben Böse, Neitzel und Scherger (2023) die hohen Drop-out-Raten bei der Retournierung von Elternfragebögen und der daraus resultierenden lückenhaften Informationslage zu soziodemographischen Informationen.

Aus technischer Sicht ist bei dieser Art von Forschung zu bedenken, einen gut funktionierenden technischen Support zur Verfügung zu haben, der über das anfängliche erste Jahr des Geräteinsatzes weiterhin aktiv unterstützt. In dem hier beschriebenen Projekt kam es zu mehreren Fehlermeldungen des Geräts, welche stets schnell und problemlos durch den Techniksport in Kanada behoben werden konnten.

Die oben genannten Herausforderungen zeigen, dass bei Testungen außerhalb des eigenen Labors und mit einer vulnerablen Proband*innengruppe trotz eingehender Planung eine Vielzahl an Hürden auftreten kann. Vielen Schwierigkeiten konnte und kann zwar mit wenig Aufwand oder kostengünstig begegnet werden, allerdings treten diese häufig unerwartet auf und können nicht umgehend gelöst werden. Dies kann zu einer starken organisatorischen Belastung des Projektpersonals sowie zu weiteren Verzögerungen im Testungsprozess führen. Der schlimmste Fall stellt dabei ein nachträglicher Ausschluss bestimmter Aufnahmen oder Proband*innen dar.

5 Fazit und Ausblick

Der vorliegende Beitrag behandelt die zunehmende Bedeutung der Mehrsprachigkeit in Deutschland in Zusammenhang mit SES bei bilingualen Kindern. Ein zentrales Anliegen sind dabei die unzureichenden diagnostischen Möglichkeiten zur Feststellung einer SES bei Mehrsprachigkeit, die nach wie vor zu einer drastisch verspäteten Diagnose oder zu Über- und Unterdiagnosen führen. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf den Beginn und den Erfolg der therapeutischen Intervention.

In diesem Kontext wird die Pupillometrie als vielversprechende technologiegestützte Methode zur frühzeitigen Risikodiagnose von SES bei mehrsprachigen Kindern vorgestellt. Pupillometrie ermöglicht eine Begutachtung impliziter sprachbezogener Prozesse, ohne dabei auf explizite Handlungen seitens der Kinder angewiesen zu sein. Somit stellt die Pupillometrie eine geeignete Methode dar, um mehrsprachige Kinder in der prä- oder frühverbalen Phase der Zweitsprache zu untersuchen. Eine Vielzahl an Studien weist darauf hin, dass die Betrachtung der Pupillenveränderungen valide Einblicke in die Sprachverarbeitung erlaubt und somit Aufschluss über Verarbeitungsleistung und/oder -anstrengung geben kann. In diesem Zusammenhang wurde die eigene, laufende Studie *Die Anwendung der Pupillometrie in der mehrsprachigen Sprachentwicklungsdiagnostik* vorgestellt, die die Möglichkeit der Pupillometrie als frühdiagnostisches Mittel zur Bestimmung einer SES bzw. des Risikos für die Entwicklung einer SES zu überprüfen sucht.

Auch wenn die Pupillometrie im Forschungsbereich der SES (bei Mehrsprachigkeit) als sinnvolle Methode angesehen werden kann, stellt die vorliegende Arbeit vordergründig auch die Herausforderungen dar, mit denen Forschende beim Einsatz der Methode konfrontiert werden. Das Aufzeigen von Schwierigkeiten sowie zielführend erscheinender Lösungsansätze soll hier der präventiven Vorbereitung auf die Planungs- und Erhebungsphase zukünftiger Forschungsstudien im Bereich der Spracherwerbsforschung mittels Pupillometrie dienen. Schwierigkeiten entstehen in allen Studienphasen und betreffen somit die Rekrutierung von geeigneten Proband*innen genauso wie die Planung des Experimentaldesigns und die tatsächliche Durchführung. Viele Hindernisse treten unerwartet auf und bedürfen schneller, aber durchdachter Lösungsmöglichkeiten, die jedoch häufig dennoch zu zeitlichen Verzögerungen im Studienverlauf führen.

Insgesamt konnte dargestellt werden, dass die Pupillometrie scheinbar eingesetzt werden kann, um die Sprachverarbeitung mehrsprachiger Kinder zu untersuchen und die bilinguale SES-Diagnostik zu unterstützen. Dazu bedarf es weiterer Studien, die die Entwicklung geeigneter Diagnostikinstrumente voranbringen und so die Versorgungslücke in der Evaluation sprachspezifischer Fähigkeiten bei mehrsprachigen Kindern schließen.

Acknowledgments

Wir bedanken uns bei den teilnehmenden Kindern und deren Eltern, bei den Einrichtungsleitungen sowie dem pädagogischen Fachpersonal in Kitas und Schulen für die Unterstützung unserer Erhebungen. Bei der DFG bedanken wir uns für die Förderung des Projekts (493770011). Dem WDR sei für die Bereitstellung der Sendung-mit-der-Maus-Clips gedankt. Wir bedanken uns darüber hinaus bei allen studentischen und wissenschaftlichen Hilfskräften, die die umfangreichen Datenerhebungen unterstützt haben: Lea Sommer, Julia Wojtecki, Timon Ludwigs, Cäcilie Eigemann, Karolin Reschke, Antonia Bongartz und Charlotte Ellerkmann.

Literaturverzeichnis

- Altman, Carmit, Efrat Harel, Natalia Meir, Peri Iluz-Cohen, Joel Walters und Sharon Armon-Lotem. 2022. „Using a Monolingual Screening Test for Assessing Bilingual Children.“ *Clinical Linguistics & Phonetics* 36 (12): 1132–52. <https://doi.org/10.1080/02699206.2021.2000644>.
- Bashir, Anthony S. und Anna Scavuzzo. 1992. „Children with Language Disorders: Natural History and Academic Success.“ *Journal of Learning Disabilities* 25 (1): 53–65; discussion 66–70. <https://doi.org/10.1177/002221949202500109>.
- Beatty, Jackson. 1982. „Task-evoked pupillary responses, processing load, and the structure of processing resources.“ *Psychological Bulletin* 91 (2): 276–92. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.91.2.276>.
- Beatty, Jackson und Brennis Lucero-Wagoner. 2000. „The Pupillary System.“ In *Handbook of Psychophysiology*, hrsg. von John T. Cacioppo, Louis G. Tassinari und Gary G. Berntson. Fourth edition, 142–62. Cambridge Handbooks in Psychology. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

- Böhmer, Simon, Kristina Broens, Claudia Niemeyer und Johanna Washington. 2020. „Gelebte Vielfalt: Familien mit Migrationshintergrund in Deutschland.“ <https://www.bmfsfj.de/resource/blob/116880/a75bd78c678436499c1afa0e718c1719/gelebte-vielfalt-familien-mit-migrationshintergrund-in-deutschland-data.pdf>.
- Böse, Jannika, Isabel Neitzel und Anna-Lena Scherger. 2023. „Der PaBiQ-Fragebogen in der sprachtherapeutischen Versorgung mehrsprachiger Kinder.“ *Sprachtherapie aktuell: Forschung – Wissen – Transfer* 10 (1): e2023-11.
- Botting, Nicola, Gina Conti-Ramsden und Alison Crutchley. 1997. „Concordance Between Teacher/therapist Opinion and Formal Language Assessment Scores in Children with Language Impairment.“ *European Journal of Disorders of Communication : the Journal of the College of Speech and Language Therapists, London* 32 (3): 317–27. <https://doi.org/10.3109/13682829709017898>.
- Bradley, Margaret M., Laura Miccoli, Miguel A. Escrig und Peter J. Lang. 2008. „The Pupil as a Measure of Emotional Arousal and Autonomic Activation.“ *Psychophysiology* 45 (4): 602–7. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>.
- Bradshaw, Jeff. 1967. „Pupil Size as a Measure of Arousal During Information Processing.“ *Nature* 216 (5114): 515–16. <https://doi.org/10.1038/216515a0>.
- Chapman, Laura R. und Brooke Hallowell. 2015. „A Novel Pupillometric Method for Indexing Word Difficulty in Individuals with and Without Aphasia.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 58 (5): 1508–20. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-L-14-0287.
- Chapman, Laura R. und Brooke Hallowell. 2019. „Real-Time Tracking of Cognitive Effort During Sentence Processing in Aphasia: Pupillometric Evidence: Poster presented at the Clinical Aphasiology Conference, Whitefish, MT.“, 2019.
- Chapman, Laura R. und Brooke Hallowell. 2021. „The Unfolding of Cognitive Effort During Sentence Processing: Pupillometric Evidence from People with and Without Aphasia.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 64 (12): 4900–4917. https://doi.org/10.1044/2021_jslhr-21-00129.
- Chilla, Solveig. 2019. „Spracherwerbsverzögerung – Spracherwerbsstörung.“ In *Sprachdiagnostik Deutsch als Zweitsprache*, hrsg. von Stefan Jeuk und Julia Settineri, 71–96: De Gruyter.
- Cholewa, Jürgen, Isabel Neitzel, Annika Bürsgens und Thomas Günther. 2019. „Online-Processing of Grammatical Gender in Noun-Phrase Decoding: An Eye-Tracking Study with Monolingual German 3rd and 4th Graders.“ *Frontiers in Psychology* 10:2586. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02586>.
- Conti-Ramsden, Gina und Nicola Botting. 2004. „Social Difficulties and Victimization in Children with SLI at 11 Years of Age.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research : JSLHR* 47 (1): 145–61. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2004\)013](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2004)013).
- Davson, Hugh. 1972. *The Physiology of the Eye*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Dollaghan, Christine A. und Elizabeth A. Horner. 2011. „Bilingual Language Assessment: A Meta-Analysis of Diagnostic Accuracy.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research : JSLHR* 54 (4): 1077–88. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2010\)10-0093](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2010)10-0093).
- Engelhardt, Paul E., Fernanda Ferreira und Elena G. Patsenko. 2010. „Pupillometry Reveals Processing Load During Spoken Language Comprehension.“ *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 63 (4): 639–45. <https://doi.org/10.1080/17470210903469864>.

- Fernandez, Leigh, Barbara Höhle, Jon Brock und Lyndsey Nickels. 2018. „Investigating auditory processing of syntactic gaps with L2 speakers using pupillometry.“ *Second Language Research* 34 (2): 201–27. <https://doi.org/10.1177/0267658317722386>.
- Fletcher, Phillip D., Jennifer M. Nicholas, Timothy J. Shakespeare, Laura E. Downey, Hannah L. Golden, Jennifer L. Augustus, Camilla N. Clark et al. 2015. „Dementias Show Differential Physiological Responses to Salient Sounds.“ *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 9:73. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00073>.
- Forbes, Samuel. 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>.
- Friederici, Angela D., Jutta L. Mueller und Regine Oberecker. 2011. „Precursors to Natural Grammar Learning: Preliminary Evidence from 4-Month-Old Infants.“ *PLoS one* 6 (3): e17920. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017920>.
- Geller, Jason, Matthew B. Winn, Tristian Mahr und Daniel Mirman. 2020. „GazeR: A Package for Processing Gaze Position and Pupil Size Data.“ *Behavior Research Methods* 52 (5): 2232–55. <https://doi.org/10.3758/s13428-020-01374-8>.
- Genesee, Fred, Johanne Paradis und Martha B. Crago. 2004. *Dual Language Development & Disorders: A Handbook on Bilingualism and Second Language Learning*. Communication and language intervention series. Baltimore: Paul H. Brookes Publishing Co.
- Gredebäck, Gustaf und Annika Melinder. 2010. „Infants’ Understanding of Everyday Social Interactions: A Dual Process Account.“ *Cognition* 114 (2): 197–206. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.09.004>.
- Grimm, Angela. 2022. „The Use of the LITMUS Quasi-Universal Nonword Repetition Task to Identify DLD in Monolingual and Early Second Language Learners Aged 8 to 10.“ *Languages* 7 (3): 218. <https://doi.org/10.3390/languages7030218>.
- Grimm, Angela und Petra Schulz. 2014. „Specific Language Impairment and Early Second Language Acquisition: The Risk of Over- and Underdiagnosis.“ *Child Indicators Research* 7 (4): 821–41. <https://doi.org/10.1007/s12187-013-9230-6>.
- Grimm, Hannelore. 2012. *Störungen der Sprachentwicklung: Grundlagen, Ursachen, Diagnose, Intervention, Prävention*. 3., überarbeitete Auflage. Göttingen, Bern, Wien, Paris, Oxford, Prag: Hogrefe.
- Haag, A., S. B. Bonelli, F. G. Woermann und M. J. Koepp. 2012. „Funktionelle Bildgebung von Sprachfunktionen.“ *Zeitschrift für Epileptologie* 25 (3): 182–87. <https://doi.org/10.1007/s10309-012-0257-3>.
- Hepach, Robert. 2024. „Pupillometry in Developmental Psychology.“ In *Modern Pupillometry: Cognition, Neuroscience, and Practical Applications*, hrsg. von Megan H. Papeš und Stephen D. Goldinger: Springer Cham
- Hepach, Robert und Gert Westermann. 2016. „Pupillometry in Infancy Research.“ *Journal of Cognition and Development* 17 (3): 359–77. <https://doi.org/10.1080/15248372.2015.1135801>.
- Hess, Eckhard H. und James M. Polt. 1964. „Pupil Size in Relation to Mental Activity During Simple Problem-Solving.“ *Science* 143 (3611): 1190–92. <https://doi.org/10.1126/science.143.3611.1190>.
- Hochmann, Jean-Rémy und Liuba Papeo. 2014. „The Invariance Problem in Infancy: A Pupillometry Study.“ *Psychological science* 25 (11): 2038–46. <https://doi.org/10.1177/0956797614547918>.

- Iijima, Atsuhiko, Munetaka Haida, Norio Ishikawa, Akinori Ueno, Haruyuki Minamitani und Yukito Shinohara. 2003. „Re-Evaluation of Tropicamide in the Pupillary Response Test for Alzheimer’s Disease.“ *Neurobiology of Aging* 24 (6): 789–96. [https://doi.org/10.1016/s0197-4580\(02\)00235-x](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(02)00235-x).
- Jackson, Iain und Sylvain Sirois. 2009. „Infant Cognition: Going Full Factorial with Pupil Dilation.“ *Developmental Science* 12 (4): 670–79. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00805.x>.
- Just, Marcel A. und Patricia A. Carpenter. 1993. „The Intensity Dimension of Thought: Pupillometric Indices of Sentence Processing.“ *Canadian Journal of Experimental Psychology* 47 (2): 310–39. <https://doi.org/10.1037/h0078820>.
- Kauschke, Christina, Carina Lüle, Andrea Dohmen, Andrea Haid, Christina Leitinger, Claudia Männel, Tanja Penz et al. 2023. „Delphi-Studie zur Definition und Terminologie von Sprachentwicklungsstörungen - eine interdisziplinäre Neubestimmung für den deutschsprachigen Raum.“ *Logos* 31 (2): 2–20.
- Kosch, Thomas, Mariam Hassib, Daniel Buschek und Albrecht Schmidt. 2018. „Look into my Eyes.“ In *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, hrsg. von Regan Mandryk, Mark Hancock, Mark Perry und Anna Cox, 1–6. New York, NY, USA: ACM.
- Kotz, Sonja A., Christoph Herrmann und Stefan Frisch. 2009. „Die Verwendung ereigniskorrelierter Potentiale in der Sprachverarbeitung: Beispiele zu Untersuchungen mit hirngesunden und hirngeschädigten Probanden.“ *Das Neurophysiologie-Labor* 31 (1): 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.neulab.2008.09.001>.
- Laeng, Bruno, Sylvain Sirois und Gustaf Gredebäck. 2012. „Pupillometry: A Window to the Preconscious?“. *Perspectives on Psychological Science : a Journal of the Association for Psychological Science* 7 (1): 18–27. <https://doi.org/10.1177/1745691611427305>.
- Lum, Jarrad A. G., George J. Youssef und Gillian M. Clark. 2017. „Using Pupillometry to Investigate Sentence Comprehension in Children with and Without Specific Language Impairment.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 60 (6): 1648–60. https://doi.org/10.1044/2017_jslhr-l-16-0158.
- Mathôt, Sebastiaan und Ana Vilotijević. 2023. „Methods in Cognitive Pupillometry: Design, Preprocessing, and Statistical Analysis.“ *Behavior Research Methods* 55 (6): 3055–77. <https://doi.org/10.3758/s13428-022-01957-7>.
- Mertins, Barbara. 2016. „The Use of Experimental Methods in Linguistic Research: Advantages, Problems, and Possible Pitfalls.“ In *Slavic Languages in Psycholinguistics: Chances and Challenges for Empirical and Experimental Research*, hrsg. von Tanja Anstatt, Christina Clasmeier und Anja Gattnar, 15–33. Tübinger Beiträge zur Linguistik 554. Tübingen: Narr Francke Attempto.
- Miller, Carol A., Robert Kail, Laurence B. Leonard und J. Bruce Tomblin. 2001. „Speed of Processing in Children with Specific Language Impairment.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 44 (2): 416–33. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2001\)034](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2001)034).
- Montgomery, James W. 2000. „Relation of working memory to off-line and real-time sentence processing in children with specific language impairment.“ *Applied Psycholinguistics* 21 (1): 117–48. <https://doi.org/10.1017/S0142716400001065>.
- Naber, Marnix, Stefan Frässle, Ueli Rutishauser und Wolfgang Einhäuser. 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>.

- Nelson, Heidi D., Peggy Nygren, Miranda Walker und Rita Panoscha. 2006. „Screening for Speech and Language Delay in Preschool Children: Systematic Evidence Review for the US Preventive Services Task Force.“ *Pediatrics* 117 (2): e298-319. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-1467>.
- Novogrodsky, Rama und Natalia Meir. 2020. „Multilingual Children with Special Needs in Early Education.“ In *Handbook of Early Language Education*, hrsg. von Mila Schwartz, 1–29. Springer International Handbooks of Education. Cham: Springer International Publishing.
- Pagonis, Giulio und Monika Karas-Bauer. 2020. „Zum Erwerb des Deutschen als Zweitsprache durch zugewanderte Kinder im Grundschulalter: Entwicklungsstand im Bereich der Verbstellung nach zwölf Kontaktmonaten.“ *Informationen Deutsch als Fremdsprache* 47 (4): 359–75. <https://doi.org/10.1515/infodaf-2020-0061>.
- Paradis, Johanne. 2005. „Grammatical Morphology in Children Learning English as a Second Language: Implications of Similarities with Specific Language Impairment.“ *Language, Speech, and Hearing Services in Schools* 36 (3): 172–87. [https://doi.org/10.1044/0161-1461\(2005/019\)](https://doi.org/10.1044/0161-1461(2005/019)).
- Piquado, Tepring, Derek Isaacowitz und Arthur Wingfield. 2010. „Pupillometry as a Measure of Cognitive Effort in Younger and Older Adults.“ *Psychophysiology* 47 (3): 560–69. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00947.x>.
- Renner, Lena F. und Marcin Włodarczak. 2017. „When a Dog is a Cat and How it Changes Your Pupil Size: Pupil Dilation in Response to Information Mismatch.“ In *Interspeech 2017*, 674–78. ISCA: ISCA.
- Scheepers, Christoph, Sibylle Mohr, Martin H. Fischer und Andrew M. Roberts. 2013. „Listening to Limericks: A Pupillometry Investigation of Perceivers’ Expectancy.“ *PLoS one* 8 (9): e74986. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074986>.
- Scherger, Anna-Lena. 2018. „German Dative Case Marking in Monolingual and Simultaneous Bilingual Children with and Without SLI.“ *Journal of Communication Disorders* 75:87–101. <https://doi.org/10.1016/j.jcomdis.2018.06.004>.
- Scherger, Anna-Lena. 2022. „Rethinking bilingual language assessment: Considering implicit language acquisition mechanisms by means of pupillometry.“ *Research Methods in Applied Linguistics* 1 (2): 100014. <https://doi.org/10.1016/j.rmal.2022.100014>.
- Scherger, Anna-Lena und Isabel Neitzel. „Pupillometry in bilingual language assessment – Preliminary results from early second language acquisition of German: Talk at Conference of the International Clinical Phonetics and Linguistics Association (ICPLA 2023)“, Salzburg, Austria.
- Scherger, Anna-Lena, Isabel Neitzel und Gianna Urbanczik. 2023. „Explizite und implizite grammatische Fähigkeiten im Kontrast. Ein pupillometrischer Vergleich zwischen Kindern mit und ohne SES.“ *Forschung Sprache* 11 (2): 151–67.
- Scherger, Anna-Lena, Gianna Urbanczik, Timon Ludwigs und Jasmin M. Kizilirmak. 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. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.717379>.
- Schluroff, M. 1982. „Pupil Responses to Grammatical Complexity of Sentences.“ *Brain and Language* 17 (1): 133–45. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(82\)90010-4](https://doi.org/10.1016/0093-934X(82)90010-4).

- Schmidtke, Jens. 2014. „Second Language Experience Modulates Word Retrieval Effort in Bilinguals: Evidence from Pupillometry.“ *Frontiers in Psychology* 5:137. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00137>.
- Schmidtke, Jens. 2018. „Pupillometry in Linguistic Research.“ *Studies in Second Language Acquisition* 40 (3): 529–49. <https://doi.org/10.1017/S0272263117000195>.
- Schu, Josef. 2001. „Formen der Elizitation und das Problem der Natürlichkeit von Gesprächen.“ In *Text- und Gesprächslinguistik*, hrsg. von Klaus Brinker, Gerd Antos, Wolfgang Heinemann und Sven F. Sager, 1013–21: De Gruyter.
- Schulz, Petra, Angela Grimm, Rabea Schwarze und Magdalena Wojtecka. 2017. „Spracherwerb bei Kindern mit Deutsch als Zweitsprache: Chancen und Herausforderungen.“ In *Entwicklungsverläufe verstehen - Kinder mit Bildungsrisiken wirksam fördern: Forschungsergebnisse des Frankfurter IDeA-Zentrums*, hrsg. von Ulrike Hartmann, Marcus Hasselhorn und Andreas Gold. 1. Auflage, 190–207. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Schulz, Petra und Rosemarie Tracy. 2011. *LiSe-DaZ: Linguistische Sprachstandserhebung - Deutsch als Zweitsprache*. Göttingen: Hogrefe.
- Schwob, Salomé, Laurane Eddé, Laurent Jacquin, Mégane Leboulanger, Marguerite Picard, Patricia Ramos Oliveira und Katrin Skoruppa. 2021. „Nonword repetition: Systematic review.“ *ASHA Journals*. <https://doi.org/10.23641/asha.15152370.v1>.
- Sirois, Sylvain und Julie Brisson. 2014. „Pupillometry.“ *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive Science* 5 (6): 679–92. <https://doi.org/10.1002/wcs.1323>.
- Suchodoletz, Waldemar von. 2011. *Früherkennung von Sprachentwicklungsstörungen*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- Süss, Maria Aurica, Petra Hendriks, Fritzsche und Barbara Höhle. 2018. „Acquisition of Adjectival Agreement in German: Sensitivity to Grammar Is Reflected in 3-Year-Olds’ Pupil Dilation.“ In *Proceedings of the 42nd Annual Boston University Conference on Language Development*, hrsg. von Anne B. Bertolini und Maxwell J. Kaplan. Somerville, MA: Cascadilla Press. 722-735.
- Tafreshi, Donna, Joseph J. Thompson und Timothy P. Racine. 2014. „An Analysis of the Conceptual Foundations of the Infant Preferential Looking Paradigm.“ *Human Development* 57 (4): 222–40. <https://doi.org/10.1159/000363487>.
- Tamási, Katalin, Cristina McKean, Adamantios Gafos, Tom Fritzsche und Barbara Höhle. 2017. „Pupillometry Registers Toddlers’ Sensitivity to Degrees of Mispronunciation.“ *Journal of Experimental Child Psychology* 153:140–48. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.07.014>.
- Thomas, Sheila, Joerg Schulz und Nuala Ryder. 2019. „Assessment and diagnosis of Developmental Language Disorder: The experiences of speech and language therapists.“ *Autism & Developmental Language Impairments* 4:239694151984281. <https://doi.org/10.1177/2396941519842812>.
- Tomblin, J. Bruce, Nancy L. Records, Paula Buckwalter, Xuyang Zhang, Elaine Smith und Marlea O’Brien. 1997. „Prevalence of Specific Language Impairment in Kindergarten Children.“ *Journal of Speech, Language, and Hearing Research : JSLHR* 40 (6): 1245–60. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4006.1245>.
- Tracy, Rosemarie. 2011. „Konstruktion, Dekonstruktion und Rekonstruktion: Minimalistische und (trotzdem) konstruktivistische Überlegungen zum Spracherwerb.“ In *Sprachliches Wissen zwischen Lexikon und Grammatik*, hrsg. von Stefan Engelberg, Anke Holler und Kristel Proost, 397–428: De Gruyter.

- Wentura, Dirk und Christian Frings. 2013. *Kognitive Psychologie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Yu, Angela J. 2012. „Change Is in the Eye of the Beholder.“ *Nature Neuroscience* 15 (7): 933–35. <https://doi.org/10.1038/nn.3150>.
- Zekveld, Adriana A., Thomas Koelewijn und Sophia E. Kramer. 2018. „The Pupil Dilation Response to Auditory Stimuli: Current State of Knowledge.“ *Trends in Hearing* 22. <https://doi.org/10.1177/2331216518777174>.

Diesen Artikel zitieren:

Röbstek, Lisa; Neitzel, Isabel & Scherger, Anna-Lena (2024). Chancen und Grenzen einer technologiebasierten Risikodiagnostik – Pupillometrische Erfassung sprachlicher Beeinträchtigungen bei mehrsprachigen Kindern mit wenig Deutschkontakt. In: Vanessa Heitplatz & Leevke Wilkens (Hrsg.). *Die Rehabilitationstechnologie im Wandel: Eine Mensch-Technik-Umwelt Betrachtung*, 613-633. Dortmund: Eldorado.