

**Programm:** Leibniz-Professorinnenprogramm  
**Titel des Vorhabens:** Professorship Neurocognitive Development (NeuroKid)  
**Projektnummer:** P58/2017

## Executive Summary

In unserer komplexen und digitalisierten Welt ist die Kontrolle der Aufmerksamkeit eine kritische Ressource. Für Lernerfolg und schulische Leistungen ist die Fähigkeit, sich auf relevante Informationen zu konzentrieren und irrelevante Informationen auszublenden, essentiell. Ziel des Projektes war es, die Entwicklung von auditiver Aufmerksamkeit besser zu verstehen und dieses Wissen anzuwenden. Auditive Informationen haben einen privilegierten Zugang zu Wahrnehmung und Bewusstsein und müssen durch Aufmerksamkeit kontrolliert werden. Trotz dieser wichtigen Funktion ist nur wenig über die typische Entwicklung der auditiven Aufmerksamkeit im Kindesalter bekannt. Um diese Lücke zu schließen, wurde die Entwicklung der auditiven Aufmerksamkeit, relevante Einflussfaktoren und damit verbundene Lern- und Gedächtnisprozesse systematisch auf Verhaltensebene und neurophysiologischer Ebene untersucht. Außerdem wurden Aufmerksamkeitsfunktionen in alltagsnahen Umgebungen und von Kindern mit Aufmerksamkeitsstörungen einbezogen. Ein grundlegendes Ziel des Projektes war die Etablierung einer gemeinsamen Professur zwischen dem Leibniz-Institut für Neurobiologie und der Hochschule Magdeburg-Stendal. Die Professur hat die Förderung der Anwendung von Erkenntnissen über die Entwicklung von Aufmerksamkeit und damit verbundenen kognitiven Funktionen zum Ziel.

Die Projektergebnisse dokumentieren systematisch den Entwicklungsverlauf auditiver Aufmerksamkeit auf der Ebene des Gehirns und des Verhaltens. Es wurde eine deutliche Entwicklung im Alter von 4 bis 10 Jahren nachgewiesen, die jedoch noch nicht vollständig das Niveau von Erwachsenen erreicht. Wir haben kurzfristige Lernmechanismen identifiziert, die bei Grundschulkindern, nicht jedoch bei jüngeren Kindern, zu einer verbesserten Aufmerksamkeitskontrolle und damit zu geringerer Ablenkung führen. Auf der Basis einer Weiterentwicklung und Anwendung eines Pupillometrie-Ansatzes zur Erfassung von Aufmerksamkeit konnten aktuelle Theorien, die die Rolle des Locus Coeruleus-Noradrenalin-Systems für die Aufmerksamkeit betonen, um eine Entwicklungsperspektive ergänzt werden. Dieser Ansatz ermöglichte ebenfalls die Darstellung einer dysfunktionalen Erregungsregulation während fokussierter Aufmerksamkeit bei Kindern mit Aufmerksamkeitsstörungen. Neben grundlagenorientierten Forschungsansätzen haben wir die Aufmerksamkeit in alltagsnahen Kontexten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl die Wandgestaltung in klassenzimmerähnlichen Umgebungen als auch die Interaktion mit digitalen Medien unmittelbare Auswirkungen auf Aufmerksamkeit und Lernen haben. Die Forschungsergebnisse wurden in zahlreichen internationalen Fachzeitschriften publiziert und auf wissenschaftlichen Konferenzen vorgestellt.

Ein wichtiger Meilenstein für die Kommunikation von Forschungsergebnissen in die Gesellschaft und den Bildungssektor ist die gemeinsame Professur *Neurokognitive Entwicklung* an der Hochschule Magdeburg-Stendal, die nach einer positiven Evaluation entfristet wurde. Der Wissenstransfer und -austausch erfolgt sowohl über die Lehre, die pädagogische Fachkräfte im KiTa- und Hortbereich einschließt, als auch im Rahmen gemeinsamer Forschungsprojekte, Zusammenarbeit in wissenschaftlichen Netzwerken zur frühen Bildung und gemeinsamer Öffentlichkeitsarbeit. Die Ergebnisse des Projektes wurden in einer Vielzahl von Medien (Print, TV, Podcast, Onlineformate) in die Gesellschaft kommuniziert.

Die Projektleiterin repräsentiert darüber hinaus das Leibniz-Institut für Neurobiologie im Leibniz-Forschungsnetzwerk Bildungspotenziale und hat sich als Mentorin im Leibniz-Mentoring Programm engagiert. Die Relevanz des Forschungsschwerpunktes innerhalb der Leibniz-Gemeinschaft spiegelt sich auch in der Auswahl des geförderten Projektes für die bundesweite Kommunikationskampagne *Frag Leibniz* wider.

Die im Projekt gewonnen Erkenntnisse werden auf Basis der neu etablierten Kooperation mit der Hochschule Magdeburg-Stendal maßgeblich zur Konzeption optimaler Lernbedingungen

für Kinder unterschiedlichen Alters und mit unterschiedlicher Fähigkeit zur Aufmerksamkeitskontrolle beitragen.

## 1. Zielerreichung und Umsetzung der Meilensteine

Das Projekt *Professorship Neurocognitive Development* hat das primäre Ziel die Entwicklung auditiver Aufmerksamkeit in der Kindheit und damit verbundener Lern- und Gedächtnisprozesse besser zu verstehen und dieses Wissen anzuwenden.

Im Rahmen des Projektes wurden planmäßig eine Reihe von Studien zur Entwicklung von Aufmerksamkeitskontrolle im Kontext neuer, aber aufgabenirrelevanter Ereignisse bei Kindern im Kindergarten- und Schulalter durchgeführt. Es wurde die Entwicklung der Aufmerksamkeit in drei Schwerpunkten untersucht: (1) Grundlagenorientierte Forschungsansätze, die sich auf die Entwicklung von Aufmerksamkeitsfunktionen und damit zusammenhängenden Mechanismen wie Emotionsverarbeitung, sensorische Vorhersagen und Gedächtnis konzentrieren, (2) Entwicklung von Methoden, die die Untersuchung der Aufmerksamkeit mittels psychophysiologischer Ansätze auch bei jungen Kindern und Patienten und Patientinnen ermöglichen und (3) anwendungsorientierte Forschung mit direktem Bezug zu klinischen und pädagogischen Bereichen. Im Projekt wurden erfolgreich Mechanismen, die der Ablenkung von Aufmerksamkeit zugrunde liegen, in verschiedenen Altersgruppen spezifiziert sowie Einflussfaktoren (z.B. Emotion, digitale Medien, Alltagsaktivität) auf Aufmerksamkeitskontrolle identifiziert. Die Anwendung von Pupillometrie zur Untersuchung von Aufmerksamkeit wurde weiterentwickelt und in Bezug zu Aufmerksamkeitsmaßen auf Verhaltens- und neurophysiologischer Ebene gesetzt. Aufmerksamkeitskontrollprozesse wurden sowohl bei typisch entwickelten Kindern als auch bei Kindern mit ADHS sowie in unterschiedlichen anwendungsnahen Lernkontexten untersucht (s. Punkt 3).

Ein weiterer wichtiger Meilenstein war der Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung. Dies wurde mittels der neu eingerichteten W2-Professur *Neurokognitive Entwicklung* an der Hochschule Magdeburg-Stendal (HS) im Fachbereich Angewandte Humanwissenschaften realisiert. Die Professur wurde zunächst auf 5 Jahre befristet (2017-2023) und nach einer positiven Evaluation durch das Leibniz-Institut für Neurobiologie Magdeburg (LIN), den wissenschaftlichen Beirat des LIN und die HS in 2023 inklusive einer TA-Stelle entfristet. Die Professur ist mit einem wöchentlichen Lehrtag in Stendal (4 Semesterwochenstunden) in den Studiengängen *Leitung von Kindertageseinrichtungen – Kindheitspädagogik* (berufsbegleitend), *Rehabilitationspsychologie* und *Angewandte Kindheitswissenschaften* verbunden. Die enge Kooperation mit der HS umfasst darüber hinaus die Zusammenarbeit im Forschungsnetz Frühe Bildung Sachsen-Anhalt (z.B. Organisation eines Workshops für pädagogische Fachkräfte zum Thema *Frühe Bildung in der digitalen Welt*) sowie gemeinsame Forschungsprojekte und Wissenschaftskommunikation (z.B. Hochschulformat Podcast *Science Talk*). Ein weiterer Transfer unserer Forschungsergebnisse in Bildung und Gesellschaft erfolgte u.a. im Rahmen von Politikinformation (Besuch der Drogenbeauftragte der Bundesregierung Daniela Ludwig, 2020), die Vertretung des LIN im Leibniz-Forschungsnetzwerk Bildungspotenziale, Wissenschaftskommunikation in regionalen und überregionalen Medien (z.B. Süddeutsche Zeitung, MDR, ZDF) sowie mittels öffentlicher Vorträge für interessierte Bürger und Bürgerinnen (z.B. Wissenschaft im Rathaus Magdeburg).

Das geförderte Projekt hat den Forschungsfokus des LIN um die relevante Perspektive auf die Entwicklung von Aufmerksamkeit, Lernen und Gedächtnis erweitert. Die Ergebnisse sowie der Wissenstransfer in Gesellschaft und Bildungssektor tragen wesentlich zu einem besseren Verständnis der Entwicklung von Aufmerksamkeit bei und haben das Potenzial, Entwicklungs- und Lernbedingungen zu verbessern.

## 2. Aktivitäten und Hindernisse

Nach dem Aufbau eines modernen EEG-Eye-Tracking Kinderlabors am LIN sowie dem Aufbau einer engen Kooperation mit Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen in Magdeburg, war das erste Projektjahr 2018/19 geprägt von der Konzeption von Lehrveranstaltungen mit dem Schwerpunkt Neurokognitive Entwicklung in verschiedenen Studiengängen und dem Aufbau

einer engen Zusammenarbeit mit der HS. Die Forschungsgruppe am LIN wurde um weitere Mitglieder erweitert und lokale Kooperationen initiiert.

Die Covid-19-Pandemie beeinträchtigte dieses Projekt auf mehreren Ebenen erheblich was mit einer deutlichen Verlängerung der Laufzeiten der einzelnen Studien einherging. (1) Das Kinderlabor wurde für etwa 12 Monate geschlossen und der sonstige Betrieb wurde durch verschiedene Hygienemaßnahmen erheblich eingeschränkt. Eine Umstellung auf Online-Studien war nur begrenzt erfolgreich, da relevante Parameter audiovisueller experimenteller Forschung in Onlineformaten nicht kontrolliert werden konnten. (2) Datenerhebungen direkt in Schulen und Kindergärten waren nicht möglich, was die Durchführung von *real-life*-Studien stark limitierte. Dennoch konnte, dank des großen Engagements der gesamten Forschungsgruppe, eine Reihe der geplanten Studien publiziert werden. Noch laufende Studien werden aktuell zu Ende geführt und Publikationen vorbereitet.

### 3. Ergebnisse und Erfolge

#### **Forschungsergebnisse**

Während der Projektlaufzeit von 2018-2023 wurden 18 Studien in internationalen Fachzeitschriften mit Begutachtungssystem publiziert.

(1) *Entwicklung auditiver Aufmerksamkeit.* Insgesamt dokumentieren die Projektergebnisse eine erhebliche Entwicklung der Aufmerksamkeitskontrolle im Kontext neuer Störgeräusche im Kindergartenalter, die sich im Grundschulalter weiter verbessert, jedoch noch nicht das Erwachseneniveau erreicht [1, 2]. Wir haben kurzfristige Lernmechanismen spezifiziert, die zu signifikanten qualitativen und quantitativen Entwicklungsveränderungen in der Aufmerksamkeitskontrolle vor allem im Übergang zwischen Kindergarten- und Grundschulalter beitragen [3, 4]. Darüber hinaus wurde der Einfluss von Emotion [5] und Alltagsaktivitäten [6] auf neuronale Mechanismen von Aufmerksamkeit in der mittleren Kindheit dokumentiert. Diese Ergebnisse haben u.a. Implikationen für die Gestaltung von Lernumgebungen und Aufgabenstrukturen in der frühkindlichen und schulischen Bildung.

Aktuelle Theorien zur Funktionsweise des Gehirns nehmen an, dass permanent Vorhersagen gebildet werden, um die Welt effizient wahrzunehmen [7]. Werden diese Vorhersagen auf der sensorischen Ebene verletzt, zieht dies häufig unwillkürlich Aufmerksamkeit auf sich [8-10]. Unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass trotz unausgereifter auditiver Verarbeitungsprozesse, Kinder auditive Vorhersagen so flexibel wie Erwachsene generieren können [11]. Dies stützt die Annahme, dass die Verletzung von Erwartungen und die daraus folgende Anpassung von Vorhersagemodellen ein wesentlicher Motor für kognitive Entwicklung ist [12], der bei Lernprozessen im schulischen Kontext aber auch in informellen Lernkontexten aktiv genutzt werden könnte.

Im Rahmen des Gedächtnisses konnten wir nachweisen, dass psychophysiologische Marker (Pupille) während des Lernens prädiktiv für den späteren Lernerfolg waren [13]. Die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Lernleistung, Gedächtnisleistung und physiologischen Parametern könnte dazu beitragen, Lernstoff optimal zu gestalten. Dies stellt insbesondere im Hinblick auf interaktive digitale Lernmedien einen interessanten Ansatz dar.

(2) *Methodenentwicklung.* In Kooperation mit der Universität Kassel wurde ein Tutorial, das sich an die internationale Forschungsgemeinde richtet, zur fortgeschrittenen Analyse von EEG-Kinderdaten, einschließlich Datensätzen und Analyseskripten, publiziert [14]. U.a. in Zusammenarbeit mit der Universität Leipzig wurden mehrere Studien publiziert, die zeigen, dass Veränderungen der Pupillengröße als Reaktion auf Störgeräusche ein sensibler und spezifischer Marker für die Aufmerksamkeit sind [5, 15, 16]. Die aus diesem Ansatz resultierenden Ergebnisse ergänzen und erweitern aktuelle Theorien, die die Rolle des Locus Coeruleus-Noradrenalin-Systems für die Aufmerksamkeit betonen, um eine wichtige Entwicklungsperspektive.

(3) *Anwendungsorientierte Forschung.* In Zusammenarbeit mit Bildungsexperten der HS wurde der Einfluss der Wandgestaltung in einem klassenzimmerähnlichen Raum auf Aufmerksamkeit und Lernen untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Grundschul Kinder flexibel ihre Aufmerksamkeit auf Bilder an den Wänden richten, die relevant für die aktuelle

Lernaufgabe sind, während irrelevante Bilder weniger beachtet werden. Relevante Bilder verbesserten die Lernleistung, auch langfristig, während irrelevante Bilder die Lernleistung nicht beeinträchtigten (Publikation im Begutachtungsprozess). Die Ergebnisse dieser Studie können relevant für die Gestaltung von Grundschulklassenzimmern sein und haben weitere Forschungsfragen zur Gestaltung von Lernumgebungen präzisiert.

In einer weiteren Studie wurde der Pupillometrie-Ansatz auf Kinder mit ADHS übertragen. Die Ergebnisse weisen auf eine dysfunktionale Erregungsregulation und verminderte Leistungen während einer Aufgabe hin, die eine anhaltend erhöhte Aufmerksamkeit erforderte [17].

Weiterhin haben wir die Verarbeitung von typischen Störgeräuschen während der Nutzung digitaler Medien im Grundschulalter untersucht. Während der Interaktion mit einem Tablet (vs. einem menschlichen Partner) wiesen Grundschulkinder eine verstärkte Hirnaktivität als Antwort auf irrelevante Geräusche auf, die mit frühen Informationsverarbeitungsprozessen und einer Ablenkung der Aufmerksamkeit assoziiert sind [18]. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass typische Situationen, in denen Kinder mit einem digitalen Medium (Tablet) interagieren (vs. Interaktion mit einem Menschen), direkte Auswirkungen auf neuronale Mechanismen haben, die die Wahrnehmung und Aufmerksamkeit im sich noch entwickelnden Gehirn steuern.

### **Weitere Ergebnisse und Erfolge**

Gruppenmitglieder haben die Projektergebnisse in rund 50 Beiträgen auf nationalen und internationalen wissenschaftlichen Veranstaltungen vorgestellt. Im Projektzeitraum wurden mehrere Symposien im Rahmen nationaler und internationaler Konferenzen organisiert (z.B. Developmental Psychology, Fachtagung Pädagogische und Entwicklungspsychologie der DGPs, Psychology and Brain Conference). Die Forschungsgruppe hat 2021 einen internationalen Workshop *Attention and Memory in Development* (AMiD) organisiert und Nicole Wetzel war an der Organisation weiterer wissenschaftlicher Veranstaltungen im Magdeburg beteiligt (z.B. International Conference on Auditory Cortex 2022; Workshop des Forschungsnetzwerkes Frühe Bildung in Sachsen-Anhalt (FFB) 2023, Symposium *Resources of Perception, Action, Learning*, 2023).

Im Projektzeitraum wurden zwei Dissertationen sowie ca. 12 Bachelor- und Masterarbeiten erfolgreich abgeschlossen. Weiterhin wurden gemeinsam mit Dr. Aurelie Bidet-Caulet (Institut de Neurosciences des Systèmes, Aix Marseille University) Projektmittel im Programm *Franco-German Call in Humanities and Social Sciences* der ANR und DFG zum Thema *Control of attention in children: Interaction of voluntary and involuntary attention* eingeworben.

Neben den unter Punkt 1 aufgeführten Transferaktivitäten wurde das geförderte Projekt von der Leibniz-Gemeinschaft für die Kommunikationskampagne *Frag Leibniz* ausgewählt, was mit verschiedenen Aktivitäten im Bereich Öffentlichkeitsarbeit einherging. Die Gruppe hat zu vielfältigen Öffentlichkeitsformaten beigetragen (z.B. Leibniz-Format *Book a Scientist*, Vortrag *Tag der Erziehung* in Magdeburg, *Girls and Boys Day*, *Lange Nacht der Wissenschaft*).

## **4. Chancengleichheit, Karriereförderung und Internationalisierung**

Die Forschungsgruppe *Neurokognitive Entwicklung* bestand aus weiblichen und männlichen Mitgliedern, wobei der Anteil der Frauen höher war. Einige Gruppenmitglieder hatten einen internationalen Hintergrund (Europa, Asien, Afrika). Die Ausschreibung der Stellen erfolgte überwiegend international. Nachwuchswissenschaftler und -wissenschaftlerinnen wurden aktiv gefördert, indem sie beispielsweise ermutigt wurden, ihre Forschungsergebnisse auf nationalen und internationalen Konferenzen vorzustellen, Workshops zur Methodenausbildung zu besuchen und Forschungsaufenthalte in internationalen Partnergruppen zu absolvieren. Promovierende wurden zusätzlich von einem Thesiskomitee unterstützend begleitet.

Die Projektleiterin Nicole Wetzel hat sich als Mentorin im Leibniz-Mentoringprogramm für junge Nachwuchswissenschaftlerinnen engagiert und ihre Führungskompetenzen im Rahmen verschiedener Weiterbildungen weiterentwickelt (z.B. Leibniz Führungsakademie).

## 5. Strukturen und Kooperationen

Ein spezifisches Ziel des Projektes war, im Rahmen der gemeinsamen Professur, aktuelle wissenschaftliche Befunde im Feld der neurokognitiven Entwicklung in die Ausbildung von pädagogischen Fachkräften und Entwicklungspsychologen und -psychologinnen einzubringen. Dies wurde u.a. durch die Lehre, Exkursionen an das LIN, die Betreuung von Abschlussarbeiten und Praktika am LIN, die Zusammenarbeit bei wissenschaftlichen Veranstaltungen und gemeinsame Studienprojekte erfolgreich umgesetzt. Die Evaluationen der Lehrveranstaltungen zum Thema neurokognitive Entwicklung durch die Studierenden, die auch erfahrene pädagogische Fachkräfte aus KiTa und Hort umfassen, waren durchweg positiv.

Auf nationaler Ebene wurde die Zusammenarbeit mit dem Leibniz Forschungsnetzwerk Bildungspotenziale (LERN) erfolgreich umgesetzt, indem sich die Projektleiterin als Repräsentantin des LIN in LERN engagiert hat.

Im Laufe des Projektes wurden neben der engen Kooperation mit der HS und dem Institut de Neurosciences des Systèmes, Aix Marseille University verschiedene internationale, nationale und lokale Forschungsk Kooperationen initiiert (z.B. Universität Magdeburg einschl. Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie, Universität Kassel, Universität Gießen, University of Helsinki). Einige Kooperationen schlagen sich bereits in Publikationen nieder [8, 14, 19, 20]. Darüber hinaus kooperieren wir erfolgreich mit lokalen Schulen und Kindergärten, was wiederum mit Wissenschaftskommunikation verbunden ist.

## 6. Qualitätssicherung

Die Einhaltung guter wissenschaftlicher Praxis wird als Grundlage der Forschungsarbeit in der Gruppe verstanden. Geplante Projekte wurden der örtlichen Ethikkommission zur Prüfung vorgelegt. Wenn möglich wurden unsere Ergebnisse in Open Access Journals publiziert (83 %). Die Daten und teilweise Analyseskripte von mehreren Studien wurden publiziert (z.B. [https://github.com/FlorianScharf/PCA\\_Tutorial/](https://github.com/FlorianScharf/PCA_Tutorial/)). Alle Studien wurden in internationalen wissenschaftlichen Fachzeitschriften mit Begutachtungssystem publiziert. Im Projekt erfolgte eine Beteiligung an einer internationalen Multi-Lab-Initiative, die die Replizierbarkeit von Forschungsergebnissen prüft. Die Qualität der Lehre wird durch positive Evaluationen der Studierenden bestätigt.

## 7. Zusätzliche Ressourcen

Das Projekt wurde mit rd. 1.1400.000 € kofinanziert. Verschiedene Einschränkungen, bedingt durch die Covid-19-Pandemie (2020-2022), führten zu Verschiebungen von Ausgaben im Rahmen der Projektfinanzierung.

## 8. Ausblick

Die Forschung zur Entwicklung von Aufmerksamkeit wird im Schnittpunkt zwischen LIN und Hochschule unter Einbeziehung der vielfältigen bestehenden Forschungsnetzwerke fortgeführt. Künftige Forschungsfragen adressieren (1) das Zusammenspiel zwischen willkürlicher und unwillkürlicher Aufmerksamkeit, die Entwicklung der beteiligten Gehirnetzwerke, die Rolle von sensorischen Vorhersagen des Gehirns für Aufmerksamkeit und Lernen sowie (2) Aufmerksamkeitskontrolle im Alltag von Kindern. Hier steht insbesondere die Interaktion von digitalen Lernumgebungen und kognitiven Funktionen sowie deren neuronalen Mechanismen im Fokus.

## Referenzen\*

1. Wetzel, N., F. Scharf, and A. Widmann, *Can't Ignore-Distraction by Task-Irrelevant Sounds in Early and Middle Childhood*. Child Development, 2019. 90(6): p. e819-e830.
2. Selezneva, E. and N. Wetzel, *The impact of probabilistic cues on sound-related pupil dilation and ERP responses in 7–9-year-old children*. Auditory Perception & Cognition, 2022. 5(1-2): p. 86-106.
3. Wetzel, N., A. Widmann, and F. Scharf, *Distraction of attention by novel sounds in children declines fast*. Sci Rep, 2021. 11(1): p. 5308.
4. Volkmer, S., et al., *Attentional control in middle childhood is highly dynamic-Strong initial distraction is followed by advanced attention control*. Dev Sci, 2022. 25(6): p. e13275.
5. Bonmassar, C., A. Widmann, and N. Wetzel, *The impact of novelty and emotion on attention-related neuronal and pupil responses in children*. Dev Cogn Neurosci, 2020. 42: p. 100766.
6. Debnath, R. and N. Wetzel, *Processing of task-irrelevant sounds during typical everyday activities in children*. Dev Psychobiol, 2022. 64(7): p. e22331.
7. Friston, K., *A theory of cortical responses*. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 2005. 360(1456): p. 815-36.
8. Dercksen, T.T., et al., *Somatosensory omissions reveal action-related predictive processing*. Hum Brain Mapp, 2024. 45(4): p. e26550.
9. Dercksen, T.T., A. Widmann, and N. Wetzel, *Salient omissions-pupil dilation in response to unexpected omissions of sound and touch*. Front Psychiatry, 2023. 14: p. 1143931.
10. Dercksen, T.T., et al., *Omission related brain responses reflect specific and unspecific action-effect couplings*. Neuroimage, 2020. 215: p. 116840.
11. Dercksen, T.T., et al., *Sound omission related brain responses in children*. Dev Cogn Neurosci, 2022. 53: p. 101045.
12. Stahl, A.E. and L. Feigenson, *Cognitive development. Observing the unexpected enhances infants' learning and exploration*. Science, 2015. 348(6230): p. 91-4.
13. Wetzel, N., W. Einhauser, and A. Widmann, *Picture-evoked changes in pupil size predict learning success in children*. J Exp Child Psychol, 2020. 192: p. 104787.
14. Scharf, F., et al., *A tutorial on the use of temporal principal component analysis in developmental ERP research - Opportunities and challenges*. Dev Cogn Neurosci, 2022. 54: p. 101072.
15. Bonmassar, C., et al., *On the relationship of arousal and attentional distraction by emotional novel sounds*. Cognition, 2023. 237: p. 105470.
16. Selezneva, E., et al., *Comparison of Pupil Dilation Responses to Unexpected Sounds in Monkeys and Humans*. Front Psychol, 2021. 12: p. 754604.
17. Wetzel, N., et al., *Pupil dilation as a marker of dysfunctional arousal regulation during sustained attention in children and adolescents with ADHD*. preprint.
18. Wetzel, N., D. Kunke, and A. Widmann, *Tablet PC use directly affects children's perception and attention*. Sci Rep, 2021. 11(1): p. 21215.
19. Meinhardt-Injac, B., et al., *The Irrelevant Sound Effect on Serial Recall is Independent of Age and Inhibitory Control*. Auditory Perception & Cognition, 2022. 5(1-2): p. 25-45.
20. Rios-Lopez, P., et al., *The effect of background speech on attentive sound processing: A pupil dilation study*. Int J Psychophysiol, 2022. 174: p. 47-56.

---

\* Publikationen der Forschungsgruppe Neurokognitive Entwicklung in schwarz