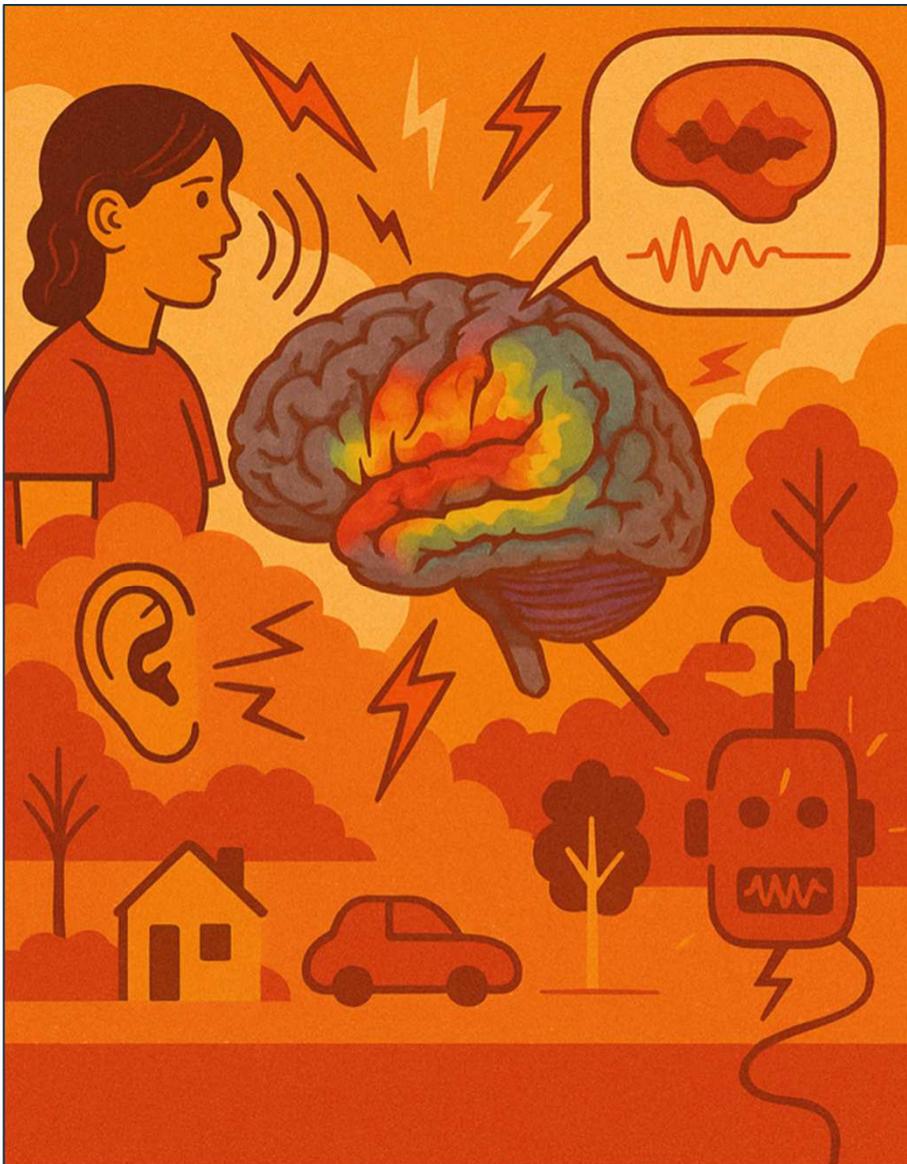


2025 VOLUME 31 ISSUE 2
e-ISSN 2363-7013

NEUROFORUM

Organ der
Neurowissenschaftlichen Gesellschaft



NWVG

NEUROWISSENSCHAFTLICHE
GESELLSCHAFT

GERMAN NEUROSCIENCE SOCIETY

Herausgegeben von der
Neurowissenschaftlichen Gesellschaft e.V.

NEUROFORUM

2025 Volume 31 Issue 2

Juni 2025

e-ISSN 2363-7013

Herausgegeben von:

Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V. (NWG),
Kontakt: Stefanie Korthals, Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, Robert-
Rössle-Straße 10, 13092 Berlin, Tel. +49 (0) 30 9406 3336, korthals@mdc-berlin.de,
www.nwg-info.de

Chefredaktion:

Prof. Dr. Katharina von Kriegstein, Professor for Cognitive and Clinical Neuroscience-
School of Science, Faculty of Psychology, Institute of General Psychology, Biopsychology
and Methods of Psychology, Technische Universität Dresden, 01069 Dresden,
Tel.: +49 (0) 351 463 43900, katharina.von_kriegstein@tu-dresden.de

und

Prof. Dr. Christiane Thiel, Biologische Psychologie, Department für Psychologie, Fakultät
für Medizin und Gesundheitswissenschaften, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,
Ammerländer Heer Str. 114-118, 26111 Oldenburg, Tel.: +49 (0) 441 798 3641,
christiane.thiel@uol.de

Redaktion:

Solveyg Blanke, Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V. (NWG), Max-Delbrück-Centrum
für Molekulare Medizin, Robert-Rössle-Straße 10, 13092 Berlin,
Tel. +49 (0) 30 9406 3127, s.blanke@nwg-info.de

Umschlagfoto:

Abbildung erstellt von Martin Bleichner mit Hilfe von ChatGPT, OpenAI, 2025

© 2025 Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V., Berlin

Vorstand der Amtsperiode 2025-2027

Präsident

Prof. Dr. Ansgar Büschges

Vizepräsident

Prof. Dr. Andreas Nieder

Generalsekretär

Prof. Dr. Gary Lewin

Schatzmeisterin

Prof. Dr. Christine R. Rose

Sektionssprecher

Computational Neuroscience

Prof. Dr. Tatjana Tchumatchenko

Entwicklungsneurobiologie/Neurogenetik

Prof. Dr. Frank Bradke

jNWG (junge NWG)

Jonas Fisch

Klinische Neurowissenschaften

Prof. Dr. Sven Meuth

Kognitive Neurowissenschaften

Prof. Dr. Katharina von Kriegstein

Molekulare Neurobiologie

Prof. Dr. Tobias Böckers

Neuropharmakologie/-toxikologie

Prof. Dr. Franziska Richter Assencio

Systemneurobiologie

Prof. Dr. Ilka Diester

Verhaltensneurowissenschaften

Dr. Silke Sachse

Zelluläre Neurobiologie

Prof. Dr. Jochen Roeper

Ehrenpräsident

Prof. Dr. Frank Kirchhoff

Inhaltsverzeichnis

Editorial

Prof. Dr. Christiane Thiel

Prof. Dr. Katharina von Kriegstein

5

Wissenschaftliche Beiträge

Daria Antonenko, Axel Thielscher

Individualisierte Neuromodulation kognitiver Funktionen im Kontext der Hirnalterung

6

Martin G. Bleichner

Innere Zustände erkennen – mit Elektroenzephalografie und Alltagsgeräuschen

12

Peter Bang, Yulia Oganian

Neurophysiologie der Sprachverarbeitung: Ein Blick ins Gehirn

17

Claudia Roswadowitz

Neurokognitive Perspektive auf stimmbasierte soziale Interaktionen im digitalen Zeitalter

22

Wissenschaftliche Einrichtung

Emrah Düzel, Michael R. Kreutz

SFB 1436: Neurale Ressourcen der Kognition -
Das kognitive Potenzial des Gehirns mobilisieren

27

CRC 1436: Neural Resources of Cognition –
Unlocking the Full Cognitive Potential of the Brain

28

Nachrichten aus der Gesellschaft

Frank Kirchhoff

Tierversuche in der Grundlagenforschung: Transparenz, Verantwortung, Dialog

31

Lehrerfortbildungen und Methodenkurse

32

Göttinger Jahrestagung 2025

33

Schilling-Forschungspreis 2025

35

Breaking News' Best Paper Award 2025

35

Protokoll der Mitgliederversammlung

36

Neu auf dasGehirn.info

39

Editorial

Liebe Leserinnen und Leser, liebe Mitglieder der Neurowissenschaftlichen Gesellschaft, wir freuen uns, Ihnen mit dieser Ausgabe des Neuroforum aktuelle Entwicklungen im Bereich der kognitiven Neurowissenschaften präsentieren zu dürfen, einem dynamischen Forschungsfeld an der Schnittstelle zwischen Psychologie und Neurowissenschaften.

Die kognitiven Neurowissenschaften erlebten mit der sogenannten „Dekade des Gehirns“ in den 1990er Jahren einen rasanten Aufschwung, insbesondere durch die Einführung der funktionellen Bildgebung, die unser Wissen über die neuronalen Grundlagen kognitiver Prozesse im menschlichen Gehirn wesentlich erweitert hat. Seither konnten bedeutende Fortschritte erzielt werden, nicht nur im Verständnis der neuronalen Grundlagen kognitiver Funktionen, sondern auch darin, wie diese Prozesse in komplexen Hirnnetzwerken implementiert sind, sich über die Lebensspanne verändern oder durch neurologische und psychische Erkrankungen beeinträchtigt sind.

Methodisch hat sich das Feld in den letzten Jahren rasant weiterentwickelt. Methoden aus dem Bereich der Computational Neuroscience, etwa in Form von komplexen Netzwerkanalysen zur Untersuchung funktioneller und struktureller Konnektivität oder Machine-Learning-Methoden zur Mustererkennung und Prädiktion, haben das Methodenspektrum substantiell erweitert und neue Erkenntnisse erbracht. Zugleich nimmt die Nutzung großer, öffentlich zugänglicher Datenbanken und Datenteile zu, ein Bereich, in dem die kognitiven Neurowissenschaften eine Vorreiterrolle im Sinne von Open Science einnehmen. Ein zweiter wichtiger Trend ist die stärkere Verknüpfung mit den klinischen Neurowissenschaften, um die Translation der grundlagenwissenschaftlichen Befunde zu stärken. Es ist eine kontinuierliche Herausforderung, Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung in konkrete diagnostische oder therapeutische Anwendungen zu übertragen, die dem einzelnen Patienten oder Patientin zugutekommen.

Zwei der in diesem Heft versammelten Beiträge widmen sich genau dieser Schnittstelle zwischen Forschung und Anwendung: Daria Antonenko und Axel Thielscher zeigen, wie computergestützte Simulationen zur personalisierten Hirnstimulation beitragen können, mit dem Ziel, kognitive Einbußen im Alter gezielter zu behandeln oder ihnen vorzubeugen. Martin Bleichner stellt mit seinem Beitrag zur „Alltagsneurowissenschaft“ ein aufstrebendes Forschungsfeld vor, das kognitive Funktionen, psychische Zustände und Hirnaktivität außerhalb des Labors und im natürlichen Lebensumfeld mit mobilen EEG-Systemen untersucht. Solche alltagsnahen Ansätze, die sich von hochkontrollierten Laborsituationen wegbewegen, könnten langfristig die Übertragbarkeit neurowissenschaftlicher Erkenntnisse in reale Anwendungsszenarien entscheidend verbessern.

Ein besonders alltagsrelevanter Stimulus ist gesprochene Sprache, nicht nur als Träger von Information, sondern auch als soziales Signal. Peter Bang und Yulia Oganian kombinieren in ihrem Beitrag elegant invasive und nicht-invasive Methoden (MEG, iEEG) mit linguistischer Analyse, um zu zeigen, wie das Gehirn Sprache in Echtzeit verarbeitet, und welche Implikationen dies für Entwicklungsstörungen wie Lese-Rechtschreib-Schwäche oder Autismus haben kann. Kommunikation findet heute nicht mehr nur zwischen Menschen statt, sondern zunehmend auch mit digitalen Sprachsystemen, deren Stimmen künstlich erzeugt sind. Claudia Roswandowitz zeigt in ihrem Beitrag, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit solche Stimmen als sozial glaubwürdig wahrgenommen werden, eine neue Perspektive für die kognitiven Neurowissenschaften im digitalen Zeitalter.

Wir danken allen Autor:innen herzlich für ihre Beiträge, die aktuelle Entwicklungen in einem vielfältigen und dynamischen Forschungsfeld eindrucksvoll widerspiegeln. Das Titelbild dieser Ausgabe visualisiert exemplarisch die in den Artikeln beschriebenen unterschiedlichen Zugänge und methodischen Perspektiven, von der computergestützten Simulation über mobile EEG-Systeme bis hin zur neuronalen Analyse sozialer Sprachsignale. Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, wünschen wir viel Spaß beim Lesen!

Christiane Thiel & Katharina von Kriegstein



Prof. Dr. Christiane Thiel

Sektionssprecherin „Kognitive Neurowissenschaften“ - past

Biologische Psychologie
Department für Psychologie
Fakultät für Medizin und Gesundheitswissenschaften
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg,
Ammerländer Heer Str. 114-118
26111 Oldenburg

Tel.: +49 (0) 441 798 3641

Fax: +49 (0) 441 798 3848

christiane.thiel@uol.de

<https://uol.de/biologische-psychologie>



Prof. Dr. Katharina von Kriegstein

Sektionssprecherin „Kognitive Neurowissenschaften“

Professor for Cognitive and Clinical Neuroscience
School of Science, Faculty of Psychology
Institute of General Psychology, Biopsychology
and Methods of Psychology
Technische Universität Dresden
01069 Dresden

Tel.: +49 (0) 351 463 43900

Fax: +49 (0) 351 463 43910

katharina.von_kriegstein@tu-dresden.de

<https://tu-dresden.de/mn/psychologie/ifap/kknw/die-professur/inhaber-in>

Wissenschaftlicher Beitrag

Daria Antonenko^{1*}, Axel Thielscher²

Individualisierte Neuromodulation kognitiver Funktionen im Kontext der Hirnalterung

Abstract

Aging is associated with cognitive decline, particularly in memory functions. Non-invasive brain stimulation (NIBS), such as transcranial electrical stimulation (tES), has shown potential in modulating brain networks and enhancing cognitive performance. Recent studies suggest that combining tES with cognitive training can lead to lasting improvements in memory in older adults and individuals with mild cognitive impairment. However, the effects of tES are highly variable, influenced by individual anatomical differences, stimulation parameters, and cognitive status. Computational modeling of electric fields provides insights into interindividual variability and helps optimize stimulation protocols. Individualized tES approaches, integrating neuroanatomical and functional data, may enhance efficacy. Despite promising findings, further research is needed to establish robust dose-response relationships and identify predictors of stimulation effects. Personalized, evidence-based interventions could pave the way for more effective strategies to counteract age-related memory decline.

Keywords: healthy aging; transcranial electrical stimulation; memory; electric field simulation

Zusammenfassung

Mit zunehmendem Alter nimmt die Gedächtnisleistung ab. Nicht-invasive Hirnstimulation (NIBS) wie die transkranielle elektrische Stimulation (tES) kann Hirnnetzwerke modulieren und kognitive Funktionen verbessern. Studien zeigen, dass die Kombination von tES mit kognitivem Training zu anhaltenden Leistungssteigerungen führen kann – sowohl bei älteren Menschen als auch bei Personen mit leichter kognitiver Beeinträchtigung. Die Effekte sind jedoch individuell unterschiedlich und hängen von anatomischen, funktionellen und methodischen Faktoren ab. Computergestützte Modellierungen elektrischer Felder helfen, diese Variabilität zu verstehen und Stimulationsparameter gezielt anzupassen. Ein individualisierter Ansatz könnte die Wirksamkeit von tES optimieren. Dennoch sind weitere Studien erforderlich, um Dosis-Wirkungs-Beziehungen zu klären und prädiktive Faktoren zu identifizieren. Personalisierte tES-Interventionen könnten eine vielversprechende Strategie zur Prävention altersbedingter Gedächtniseinbußen darstellen.

Schlüsselwörter: gesundes Altern; transkranielle elektrische Stimulation; Gedächtnis; Simulation elektrischer Felder

* Corresponding author: **Daria Antonenko**

1 Klinik und Poliklinik für Neurologie, Universitätsmedizin Greifswald, Ferdinand-Sauerbruch-Straße, 17475, Greifswald, Deutschland, daria.antonenko@med.uni-greifswald.de,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2839-4609>

2 Department of Health Technology, Technical University of Denmark, DK-2800, Kgs. Lyngby, Denmark, axthi@dtu.dk
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4752-5854>

Gedächtnisveränderungen im Alter

Mit dem Alter nimmt die kognitive Leistungsfähigkeit ab, insbesondere im Bereich des Gedächtnisses. Selbst bei älteren Menschen, die nicht unter offensichtlichen neurodegenerativen oder vaskulären Erkrankungen leiden, zeigen sowohl Querschnitts- als auch Längsschnittstudien erhebliche altersbedingte Beeinträchtigungen in zentralen kognitiven Funktionen, wie dem Abspeichern neuer Informationen und der effizienten Informationsverarbeitung (Deary et al., 2009; Yam & Marsiske, 2013). Ältere Menschen haben beispielsweise oft Schwierigkeiten, sich an den Ort oder die Reihenfolge von Objekten zu erinnern – zentrale Aspekte des episodischen Gedächtnisses und des Arbeitsgedächtnisses (Deary et al., 2009; Yam & Marsiske, 2013). Neurodegenerative Erkrankungen wie die Alzheimer-Krankheit verstärken diesen Prozess des kognitiven Abbaus (Buckner, 2004).

Diese Gedächtnisfunktionen sind für das tägliche Leben von entscheidender Bedeutung. Daher verringern beeinträchtigte kognitive Funktionen erheblich die Autonomie älterer Menschen und beeinflussen ihr Wohlbefinden sowie ihre Lebensqualität (Yam et al., 2014; Yam & Marsiske, 2013).

Ursächlich sind ein struktureller und funktioneller Abbau in neuronalen Netzwerken, die diese Funktionen vermitteln. Das bedeutet, dass im Gehirn die Weiterleitung von elektrischen Signalen, die für diese Funktionen wichtig ist, nicht mehr ausreichend gut funktioniert. Dieser Abbau ist mit einer veränderten Konzentration von Neurotransmittern, mit einer Atrophie der grauen und weißen Substanz sowie Veränderungen in der Aktivität zentraler Hirnnetzwerke verbunden (Cabeza et al., 2018; Grady, 2012). Wichtig ist jedoch, dass das Gehirn auch im hohen Alter formbar bleibt. Diese sogenannte Plastizität kann genutzt werden, um effektive Interventionsstrategien gegen den Gedächtnisabbau im Alter zu entwickeln.

Durch nicht-invasive Hirnstimulation unterstütztes kognitives Training

Nicht-invasive Hirnstimulationsverfahren (NIBS) wie die transkranielle elektrische Stimulation (tES) werden in der neurowissenschaftlichen Forschung eingesetzt, um die Beziehungen zwischen Gehirn und Verhalten zu untersuchen und kognitive Funktionen zu modulieren (Bestmann & Walsh, 2017; Hartwigsen & Silvanto, 2022; Polanía et al., 2018). Sie haben ein erhebliches therapeutisches Potenzial im Kontext kognitiver Beeinträchtigungen (Perceval et al., 2016). Bei der tES werden zwei oder mehr Elektroden auf dem Kopf der Versuchsperson angebracht, über die ein konstanter (transkranielle Gleichstromstimulation, tDCS) oder ein wechselnder (transkranielle Wechselstromstimulation, tACS) Strom mit einer Intensität von etwa 1–2 mA angelegt wird. Dadurch wird ein elektrisches Feld an der kortikalen Oberfläche des Gehirns induziert (Polanía et al., 2018; Yavari et al., 2018). Durch die Interaktion dieser schwachen Ströme mit neuronalen Verarbeitungsprozessen hat tES das Potenzial, Hirnnetzwerke zu modulieren und so kognitive Funktionen aufrechtzuerhalten oder sogar zu verbessern (Bestmann & Walsh, 2017). Insbesondere wird angenommen, dass anodale tDCS über aufgabenspezifischen Gehirnregionen die Zellmembranpotenziale beeinflusst, indem sie die Erregbarkeit des Kortex erhöht und Prozesse induziert, die der synaptischen Langzeitpotenzierung (LTP) ähnlich sind und über den Stimulationszeitraum hinaus anhalten (Stagg & Nitsche, 2011). Im Gegensatz zur tDCS interagiert bei der tACS der oszillierende Strom in einem bestimmten Frequenzbereich des Elektroenzephalogramms (EEG) direkt mit der oszillatorischen kortikalen Aktivität (Frohlich et al., 2015; Herrmann et al., 2013) und ver-

ändert so kognitive Funktionen (Grover et al., 2021). Insbesondere in Kombination mit kognitivem Training, kann tES auch langfristig anhaltende Verbesserungen der Gedächtnisleistung bewirken. In einer klinischen Studie mit gesunden älteren Erwachsenen haben wir ein dreiwöchiges Training einer Arbeitsgedächtnisaufgabe (sogenanntes „Letter-Updating-Training“) mit anodaler tDCS über dem linken dorsolateralen präfrontalen Kortex kombiniert. Die Leistungsverbesserung in verschiedenen kognitiven Aufgaben wurde dann mit einer Gruppe älterer Erwachsener verglichen, die das identische Training, jedoch mit einer Placebo-Stimulation, absolviert haben. Während sich die Leistung in der trainierten Aufgabe in beiden Gruppen verbesserte, zeigte die zusätzliche anodale tDCS insbesondere einen positiven Effekt auf eine ähnliche Gedächtnisaufgabe (sogenannter „N-back-Task“). In dieser Transferaufgabe war die Versuchsgruppe, die während des Trainings anodale tDCS erhalten hat, im Anschluss an die Intervention besser. Diese Verbesserung hielt auch noch einen Monat nach der Intervention an (Antonenko, Thams, et al., 2022). Interessanterweise wurde diese Gedächtnisverbesserung begleitet von mikrostrukturellen Veränderungen in den beteiligten Hirnnetzwerken (Antonenko et al., 2023). In weiteren Studien konnten wir diese positiven Effekte einer kombinierten Intervention auf die Transferleistung auch bei Patienten und Patientinnen mit einer leichten kognitiven Beeinträchtigung beobachten (Antonenko et al., 2024). Zudem erwies dieser Ansatz als geeignet für die selbstständige Anwendung durch ältere Erwachsene bei sich zuhause statt im Forschungslabor, was das translationale Potential dieser Intervention betont (Antonenko, Rocke, et al., 2022; Rocke et al., 2024). Auch andere Arbeitsgruppen beobachten vielversprechende Hinweise auf die Wirksamkeit unterschiedlicher tES Ansätze in Kombination mit kognitiver Aktivierung durch Training. Beispielsweise führte die Synchronisation oszillatorischer Aktivität durch tACS während der Durchführung kognitiver Aufgaben zu einer Modulation der Arbeitsgedächtnisleistung sowohl bei jungen (Violante et al., 2017) als auch bei älteren Erwachsenen (Reinhart & Nguyen, 2019). Insbesondere durch die Veränderung der aufgabenspezifischen neuronalen Verarbeitung kann die durch tES induzierte Neuromodulation zu einer Verbesserung der kognitiven Leistungsfähigkeit führen (Polanía et al., 2018). Zusammenfassend gibt es wissenschaftliche Evidenz für das Potential der tES zur Verbesserung kognitiver Funktionen, allerdings sind die Befunde zum Teil heterogen und es existiert bisher noch keine ausreichende Kenntnis über die genauen Wirkmechanismen und Faktoren, die die Wirkung beeinflussen.

Variabilität der Effekte

Die Heterogenität der in den Studien berichteten tES Effekte hat mehrere Ursachen (Galli et al., 2019). Variabilität der tES Effekte kann zum einen durch externe Faktoren entstehen (bezogen auf das Studiendesign, die Stimulations- und/oder Trainingsparameter, und andere), aber auch durch interne Faktoren (bezogen auf das Individuum, dessen Alter, Geschlecht, kognitiver Status, Anatomie des Kopfes, und andere) bedingt sein und erfordert eine systematische Untersuchung der Wirksamkeit und deren Prädiktoren (Polanía et al., 2018; Vergallito et al., 2022).

Insbesondere im Kontext der Hirnalterung kann die Variabilität im Vergleich zu Studien mit jungen Individuen erhöht sein. Einige Studien berichteten nur kleine oder gar keine Stimulationseffekte (Habich et al., 2020), während andere auch größere Effekte im Vergleich zu jungen gesunden Erwachsenen beobachteten (Hsu et al., 2016; Indahlastari, Hardcastle, et al., 2021; Perceval et al., 2016). Dies könnte sogar auf einen größeren Nutzen der Hirnstimulation bei älteren Erwachsenen hindeuten, die Prädiktoren für die Ansprechbarkeit auf plastizitäts-induzierende In-

terventionen sind jedoch noch unzulänglich erforscht (de Lange et al., 2017; Habich et al., 2020).

Simulation elektrischer Felder

Interindividuelle Variabilität aufgrund anatomischer Unterschiede

Jüngste Fortschritte in der computergestützten Modellierung, insbesondere bei der automatischen Segmentierung struktureller MRT-Scans zur Erstellung von Kopfmodellen, ermöglichen es nun, individuelle Simulationen des Stromflusses durchzuführen (Thielscher et al., 2015) (siehe Exkurs 1). Dies erlaubt die Untersuchung, wie Faktoren wie Kopfgröße, Gewebsvolumen und altersbedingte Atrophie das induzierte elektrische Feld beeinflussen (Antonenko, Thielscher, et al., 2019; Indahlastari, Albizu, et al., 2021). Diese Analysen haben erhebliche Unterschiede in der Stärke und Verteilung von elektrischen Feldern zwischen Individuen gezeigt. Ein Großteil dieser Variabilität lässt sich durch anatomische Unterschiede erklären: Größere Köpfe führen zu einer stärkeren Streuung des Stromflusses und geringeren elektrischen Feldstärken im Gehirn (Antonenko et al., 2021). Darüber hinaus wurde gezeigt, dass größere Mengen an Liquor im Gehirn (engl. cerebrospinal fluid, CSF) eintretenden Strom verringert (Indahlastari et al., 2020; Laakso et al., 2015; Mikkonen et al., 2020). Dies erklärt wahrscheinlich die geringeren simulierten Feldstärken, die bei älteren Probanden mit Hirnatrophie im Vergleich zu jungen Kontrollpersonen beobachtet wurden (Antonenko et al., 2021; Indahlastari et al., 2020). Während die aktuelle Forschung bereits mehrere entscheidende Einflussfaktoren auf die durch tES induzierten elektrischen Felder aufgedeckt hat, sind weitere Studien erforderlich, um ein umfassenderes Verständnis darüber zu erlangen, wie anatomische Variationen die Stärke und Verteilung des induzierten elektrischen Feldes im Gehirn beeinflussen, und welche Auswirkungen dies auf die physiologischen Effekte der Stimulation hat (Abbildung 1).

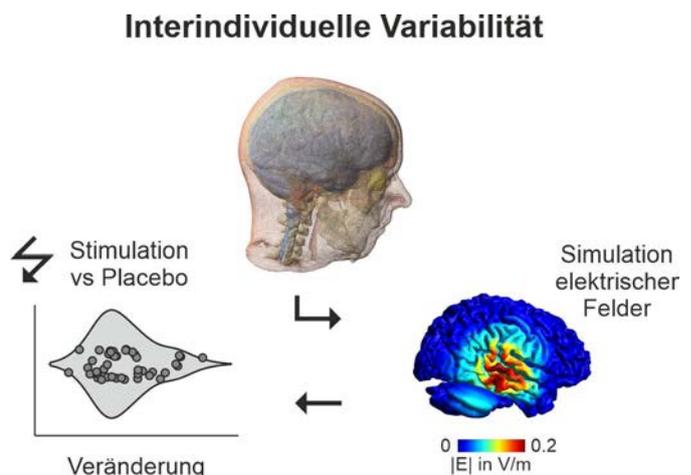


Abbildung 1: Interindividuelle Variabilität in der Hirn- und Kopfanatomie beeinflussen die Stärke und Verteilung des durch tES induzierten Stromes auf der kortikalen Oberfläche.

Mittels computergestützter Simulation können elektrische Felder im individuellen Gehirn abgebildet und quantifiziert werden. Diese Unterschiede zwischen den Individuen beeinflussen wie die Stimulation die Gedächtnisleistung verändert.

Exkurs 1:

Computergestützte Modellierungsanalysen können zum Beispiel mit der frei zugänglichen Software SimNIBS (simnibs.org) durchgeführt werden. Diese Modellierungen basieren auf der Finite-Elemente-Methode und individuellen tetraedrischen Kopfmodellen, die aus strukturellen T1- und T2-gewichteten Aufnahmen jeder Person generiert werden (Guilherme B. Saturnino et al., 2019; Thielscher et al., 2011; Windhoff et al., 2013). Die Kopfrekonstruktion erfolgt mithilfe integrierter Segmentierungstools, die mehrere Gewebeklassen wie Haut, Knochen, CSF, graue und weiße Substanz, berücksichtigen (Puonti et al., 2020). Die Stimulationsparameter werden dabei so festgelegt, dass sie dem tatsächlichen „empirischen“ Setup entsprechen. Die elektrische Feldstärke (in V/m) innerhalb der Zielregionen, sowie spezifisch die Komponente des elektrischen Feldes, die in die graue Substanz eintritt oder sie verlässt, und die Fokalität des Feldes werden als Hauptvariablen zur Quantifizierung individueller Dosierungen betrachtet und aus individuellen zentralen Oberflächendaten der grauen Substanz extrahiert.

Zusammenhang zwischen elektrischen Feldern und der Modulation kognitiver Funktionen sowie neuronaler Netzwerke

Die Stärke der elektrischen Felder in aufgabenspezifischen Hirnregionen könnte eng mit der Verhaltens- und neuronalen Modulation verknüpft sein und somit eine dosisabhängige Reaktion des Kortex darstellen. Bisher haben jedoch nur wenige Studien mögliche Zusammenhänge zwischen der individuellen elektrischen Feldstärke und der Modulation der Verhaltensleistung sowie der funktionellen Hirnkonnektivität untersucht (Antonenko et al., 2017; Indahlastari, Albizu, et al., 2021; Jamil et al., 2020; Kim et al., 2014). So führten höhere elektrische Feldstärken beispielsweise zu einer ausgeprägteren Verbesserung des verbalen Arbeitsgedächtnisses (Albizu et al., 2020; Kim et al., 2014) oder zu Veränderungen der funktionellen Konnektivität im stimulierten neuronalen Netzwerk (Antonenko, Thielscher, et al., 2019; Indahlastari, Albizu, et al., 2021). Zudem konnten wir kürzlich zeigen, dass die kortikale elektrische Feldstärke mit neurochemischen und funktionellen Konnektivitätsveränderungen im sensorimotorischen Netzwerk korrelierte (Antonenko, Thielscher, et al., 2019). Eine aktuelle Studie kam zu dem Schluss, dass regionale anatomische Merkmale (wie der Elektroden-Kortex-Abstand) zusammen mit der elektrischen Feldstärke lokale neurophysiologische tDCS-Effekte (z.B. auf motorisch evozierte Potenziale und zerebralen Blutfluss) vorhersagen können (on motor evoked potentials and cerebral blood flow; Mosayebi-Samani et al., 2021). Diese Erkenntnisse stammen jedoch bislang aus kleineren explorativen Studien und es wurden nur spezifische neuronale Netzwerke untersucht. Zudem gibt es Befunde, dass die Relation zwischen der physikalischen „Stromdosis“ und den physiologischen Effekten nicht durchgehend linear ist (d.h. mehr Strom nicht immer mehr Wirkung erzeugt), sondern dass sich die physiologischen Effekte auch abschwächen oder umkehren können, wenn eine optimale Zeitdauer und Stärke der Stimulation überschritten werden (Batsikadze et al., 2013). Daher muss der prädiktive Wert der individuell induzierten elektrischen Felder im menschlichen Gehirn für Verhaltens- und neurophysiologische Stimulationseffekte sowie deren Variabilität (z.B. in Bezug auf spezifische funktionelle Netzwerke) noch weiter erforscht werden, um robuste und breit anwendbare Ergebnisse zu erzielen.

Mikrostrukturelle und funktionelle Eigenschaften der Stimulations-„Targets“

Es ist wichtig zu betonen, dass das (simulierte) elektrische Feld im „Target“areal (d.h. die zu modulierende Hirnregion) nur einer von mehreren potenziellen Prädiktoren für Verhaltens- und neuronale Stimulationseffekte ist, die derzeit untersucht werden (Ziemann & Siebner, 2015). Insbesondere mikrostrukturelle Unterschiede im Gehirn (z.B. Zellgrößen, molekulare Diffusionsrate und das Ausmaß der axonalen Myelinisierung) zwischen „Targets“ sowie zwischen Individuen können die Reaktionsfähigkeit von Nervenzellen auf die Stimulation beeinflussen (Aberra et al., 2018). Die Erfassung der Mikrostruktur im menschlichen Gehirn ist über die Verarbeitung von MRT-Bildern oder physiologische Korrelate möglich werden (Conde et al., 2012; Dubbioso et al., 2021). Darüber hinaus können funktionelle Eigenschaften, wie die intrinsische Organisation funktioneller Hirnnetzwerke bei einzelnen Personen, die Stimulationseffekte modulieren (Touge et al., 2001). In diesem Zusammenhang könnte die funktionelle Konnektivität im Ruhezustand (engl. resting-state functional magnetic resonance imaging, RS-fMRI) ein geeigneter Biomarker zur Vorhersage individueller Reaktionen über verschiedene Personen und Stimulationsorte hinweg sein (Antonenko, Hayek, et al., 2019; Hordacre et al., 2017; Tambini et al., 2018). Da sowohl mikrostrukturelle als auch funktionelle Eigenschaften in neuronalen Netzwerken über die menschliche Lebensspanne hinweg variieren (Draganski et al., 2011), bleibt eine der zentralen offenen Fragen in diesem Forschungsfeld, wie solche Unterschiede die dosisabhängigen Reaktionen des Kortex beeinflussen.

Ansätze zur individualisierten Intervention

Derzeit besteht kein allgemeiner Konsens über die minimale Stromstärke, die für eine physiologische Modulation erforderlich ist, und es existieren keine eindeutigen Optimierungskriterien für eine effektive Stimulation (Fertonani & Miniussi, 2017; Lee et al., 2021). Es bleibt unklar, welche Eigenschaften des elektrischen Feldes priorisiert werden sollten, um eine bestimmte Hirnregion gezielt zu stimulieren. Die Parameter, die die stärksten und zuverlässigsten Effekte erzielen, sind bisher unbekannt. Die Feldstärke zu maximieren, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit aufgrund der Nicht-Linearität der Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge und derer Multidimensionalität, nicht immer geeignet, um zuverlässige Effekte und den höchsten Nutzen zu produzieren.

Eine Möglichkeit diesen Herausforderungen zu begegnen, ist die Definition einer Zielstärke, die sich in empirischen Studien als effektiv herausgestellt hat. So kann durch Simulation der empirisch effektiven Elektrodenkonfigurationen und Stimulationsparameter in unterschiedlichen kognitiven und motorischen Domänen eine Feldstärke geschätzt werden, die physiologisch wirksam ist. Diese „optimale“ Feldstärke könnte man dann über verschiedene kortikale „Targets“ über eine Gruppe von Versuchspersonen im Mittel konstant halten. Dies kann durch prospektive individualisierte Simulation der elektrischen Felder gewährleistet werden (Dmochowski et al., 2011; Radecke et al., 2020; Saturnino et al., 2020; G. B. Saturnino et al., 2019). Diese Methode wenden wir aktuell in unserer Forschungsgruppe „MeMoSLAP“ an (siehe Exkurs 2). Um die jeweiligen „Targets“ zu stimulieren, werden anatomische Informationen und Ergebnisse aus den individualisierten Simulationsanalysen integriert, um eine optimale Position der Elektroden zu definieren, bevor eine Versuchsperson die experimentellen Stimulationssitzungen startet. Mittels dieses Ansatzes können wir darüber hinaus auch retrospektiv, systematisch und übergreifend Dosis-Wirkungs-Zusammenhänge untersuchen.

Exkurs 2:

Eine wichtige Initiative, die Variabilität in der Ansprechbarkeit auf tES zu untersuchen, stellt unsere aktuelle durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderte Forschungsgruppe „Modulation of brain networks for memory and learning by transcranial electrical brain stimulation: A systematic, lifespan approach“ (MeMoSLAP, FOR 5429; <https://osf.io/t37u2>; Sprecherin Prof. Dr. Agnes Flöel; <https://www.memoslap.de>) dar. Das übergeordnete Ziel der Forschungsgruppe ist es, systematisch, umfassend und koordiniert sowohl die kognitiven und motorischen als auch die neuronalen Grundlagen von tDCS-Effekten und deren Variabilität zu untersuchen. Stimulationseffekte werden in vier Funktionsbereichen (visuell-räumliche, sprachliche, motorische und exekutive Funktionen) und über die Lebensspanne hinweg untersucht. Insgesamt acht nationale Projekte untersuchen in hoch kontrollierten experimentellen Bedingungen den Einfluss von fokaler tES im Magnetresonanztomographen (MRT), sowie Faktoren, die die Ansprechbarkeit eines Individuums auf tES verstärken. Die fokale Stimulation erlaubt ein besseres „Targeting“ gegenüber konventionellen Elektrodenkonfigurationen und wird durch Neuronavigation und prospektive individualisierte Modellierung elektrischer Felder sichergestellt.

Fazit und Ausblick

Die Forschung zur nicht-invasiven Hirnstimulation als Ansatz gegen den Gedächtnisabbau im Alter steckt noch in den Kinderschuhen, zeigt jedoch vielversprechende Ansätze. Insbesondere die Kombination aus kognitivem Training und individualisierter tES könnte einen neuen Standard in der Prävention und Behandlung von altersbedingten Gedächtnisproblemen setzen. Durch technologische Fortschritte in der Simulation elektrischer Felder und eine personalisierte Anpassung der Stimulationsparameter wird es möglich sein, gezielt auf individuelle Eigenschaften einzugehen. Weitere interdisziplinäre Forschung ist notwendig, um die langfristigen Effekte und optimalen Einsatzbedingungen von tES zu verstehen.

Forschungsförderung

Die beschriebenen Forschungsvorhaben werden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) unterstützt (im Rahmen des Heisenberg-Programms, 539593253, der Forschungsgruppe, 467143400, sowie eine Sachbeihilfe, 497919823). AT erhielt Förderung durch die Lundbeck Stiftung (R313-2019-622).

Referenzen

- Aberra, A. S., Peterchev, A. V., & Grill, W. M. (2018). Biophysically realistic neuron models for simulation of cortical stimulation. *J Neural Eng*, 15(6), 066023. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aadbb1>
- Albizu, A., Fang, R., Indahlastari, A., O’Shea, A., Stolte, S. E., See, K. B., Boutzoukas, E. M., Kraft, J. N., Nissim, N. R., & Woods, A. J. (2020). Machine learning and individual variability in electric field characteristics predict tDCS treatment response. *Brain Stimul*, 13(6), 1753-1764. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.10.001>
- Antonenko, D., Fromm, A. E., Thams, F., Grittner, U., Meinzer, M., & Flöel, A. (2023). Microstructural and functional plasticity following repeated brain stimulation during cognitive training in older adults. *Nat Commun*, 14(1), 3184. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-38910-x>
- Antonenko, D., Fromm, A. E., Thams, F., Kuzmina, A., Backhaus, M., Knochenhauer, E., Li, S. C., Grittner, U., & Flöel, A. (2024). Cognitive training and brain stimulation in patients with cognitive impairment: a randomized controlled trial. *Alzheimers Res Ther*, 16(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s13195-024-01381-3>
- Antonenko, D., Grittner, U., Saturnino, G., Nierhaus, T., Thielscher, A., & Flöel, A. (2021). Inter-individual and age-dependent variability in simulated electric fields induced by conventional transcranial electrical stimulation. *Neuroimage*, 224, 117413. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117413>
- Antonenko, D., Hayek, D., Netzband, J., Grittner, U., & Flöel, A. (2019). tDCS-induced episodic memory enhancement and its association with functional network coupling in older adults. *Sci Rep*, 9(1), 2273. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38630-7>
- Antonenko, D., Rocke, M., Thams, F., Hummel, F. C., Maceira-Elvira, P., Meinzer, M., & Flöel, A. (2022). Complementary practical considerations to home-based, remotely-controlled and independently self-applied tES combined with cognitive training. *Brain Stimul*, 15(6), 1351-1353. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2022.09.010>
- Antonenko, D., Schubert, F., Bohm, F., Ittermann, B., Aydin, S., Hayek, D., Grittner, U., & Flöel, A. (2017). tDCS-Induced Modulation of GABA Levels and Resting-State Functional Connectivity in Older Adults. *J Neurosci*, 37(15), 4065-4073. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0079-17.2017>
- Antonenko, D., Thams, F., Grittner, U., Uhrich, J., Glöckner, F., Li, S. C., & Flöel, A. (2022). Randomized trial of cognitive training and brain stimulation in non-demented older adults. *Alzheimers Dement (N Y)*, 8(1), e12262. <https://doi.org/10.1002/trc2.12262>
- Antonenko, D., Thielscher, A., Saturnino, G. B., Aydin, S., Ittermann, B., Grittner, U., & Flöel, A. (2019). Towards precise brain stimulation: Is electric field simulation related to neuromodulation? *Brain Stimul*, 12(5), 1159-1168. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.03.072>
- Batsikadze, G., Moliadze, V., Paulus, W., Kuo, M. F., & Nitsche, M. A. (2013). Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. *J Physiol*, 591(7), 1987-2000. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.249730>
- Bestmann, S., & Walsh, V. (2017). Transcranial electrical stimulation. *Curr Biol*, 27(23), R1258-R1262. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.11.001>
- Buckner, R. L. (2004). Memory and executive function in aging and AD: multiple factors that cause decline and reserve factors that compensate. *Neuron*, 44(1), 195-208. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.09.006>
- Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F. I. M., Duarte, A., Grady, C. L., Lindenberger, U., Nyberg, L., Park, D. C., Reuter-Lorenz, P. A., Rugg, M. D., Steffener, J., & Rajah, M. N. (2018). Maintenance, reserve and compensation: the cognitive neuroscience of healthy ageing. *Nat Rev Neurosci*, 19(11), 701-710. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0068-2>
- Conde, V., Vollmann, H., Sehm, B., Taubert, M., Villringer, A., & Ragert, P. (2012). Cortical thickness in primary sensorimotor cortex influences the effectiveness of paired associative stimulation. *Neuroimage*, 60(2), 864-870. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.01.052>
- de Lange, A. G., Bråthen, A. C. S., Rohani, D. A., Grydeland, H., Fjell, A. M., & Walhovd, K. B. (2017). The effects of memory training on behavioral and microstructural plasticity in young and older adults. *Hum Brain Mapp*, 38(11), 5666-5680. <https://doi.org/10.1002/hbm.23756>
- Deary, I. J., Corley, J., Gow, A. J., Harris, S. E., Houlihan, L. M., Marioni, R. E., Penke, L., Rafnsson, S. B., & Starr, J. M.

- (2009). Age-associated cognitive decline. *Br Med Bull*, 92, 135-152. <https://doi.org/10.1093/bmb/ldp033>
- Dmochowski, J. P., Datta, A., Bikson, M., Su, Y., & Parra, L. C. (2011). Optimized multi-electrode stimulation increases focality and intensity at target. *J Neural Eng*, 8(4), 046011. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/8/4/046011>
- Draganski, B., Ashburner, J., Hutton, C., Kherif, F., Frackowiak, R. S., Helms, G., & Weiskopf, N. (2011). Regional specificity of MRI contrast parameter changes in normal ageing revealed by voxel-based quantification (VBQ). *Neuroimage*, 55(4), 1423-1434. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.052>
- Dubbioso, R., Madsen, K. H., Thielscher, A., & Siebner, H. R. (2021). The Myelin Content of the Human Precentral Hand Knob Reflects Interindividual Differences in Manual Motor Control at the Physiological and Behavioral Level. *J Neurosci*, 41(14), 3163-3179. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0390-20.2021>
- Fertonani, A., & Miniussi, C. (2017). Transcranial Electrical Stimulation: What We Know and Do Not Know About Mechanisms. *The Neuroscientist*, 23(2), 109-123. <https://doi.org/10.1177/1073858416631966>
- Frohlich, F., Sellers, K. K., & Cordle, A. L. (2015). Targeting the neurophysiology of cognitive systems with transcranial alternating current stimulation. *Expert Rev Neurother*, 15(2), 145-167. <https://doi.org/10.1586/14737175.2015.992782>
- Galli, G., Vellido, M. A., Sirota, M., Feurra, M., & Medvedeva, A. (2019). A systematic review and meta-analysis of the effects of transcranial direct current stimulation (tDCS) on episodic memory. *Brain Stimul*, 12(2), 231-241. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2018.11.008>
- Grady, C. (2012). The cognitive neuroscience of ageing. *Nat Rev Neurosci*, 13(7), 491-505. <https://doi.org/10.1038/nrn3256>
- Grover, S., Nguyen, J. A., & Reinhart, R. M. G. (2021). Synchronizing Brain Rhythms to Improve Cognition. *Annu Rev Med*, 72, 29-43. <https://doi.org/10.1146/annurev-med-060619-022857>
- Habich, A., Fehér, K. D., Antonenko, D., Boraxbekk, C. J., Flöel, A., Nissen, C., Siebner, H. R., Thielscher, A., & Klöppel, S. (2020). Stimulating aged brains with transcranial direct current stimulation: Opportunities and challenges. *Psychiatry Res Neuroimaging*, 306, 111179. <https://doi.org/10.1016/j.pscychresns.2020.111179>
- Hartwigsen, G., & Silvanto, J. (2022). Noninvasive Brain Stimulation: Multiple Effects on Cognition. *Neuroscientist*, 10738584221113806. <https://doi.org/10.1177/10738584221113806>
- Herrmann, C. S., Rach, S., Neuling, T., & Struber, D. (2013). Transcranial alternating current stimulation: a review of the underlying mechanisms and modulation of cognitive processes. *Front Hum Neurosci*, 7, 279. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00279>
- Hordacre, B., Moezzi, B., Goldsworthy, M. R., Rogasch, N. C., Graetz, L. J., & Ridding, M. C. (2017). Resting state functional connectivity measures correlate with the response to anodal transcranial direct current stimulation. *European Journal of Neuroscience*, 45(6), 837-845. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ejn.13508>
- Hsu, T. Y., Juan, C. H., & Tseng, P. (2016). Individual Differences and State-Dependent Responses in Transcranial Direct Current Stimulation. *Front Hum Neurosci*, 10, 643. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00643>
- Indahlastari, A., Albizu, A., Kraft, J. N., O'Shea, A., Nissim, N. R., Dunn, A. L., Carballo, D., Gordon, M. P., Taank, S., Kahn, A. T., Hernandez, C., Zucker, W. M., & Woods, A. J. (2021). Individualized tDCS modeling predicts functional connectivity changes within the working memory network in older adults. *Brain Stimul*, 14(5), 1205-1215. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2021.08.003>
- Indahlastari, A., Albizu, A., O'Shea, A., Forbes, M. A., Nissim, N. R., Kraft, J. N., Evangelista, N. D., Hausman, H. K., Woods, A. J., & Alzheimer's Disease Neuroimaging, I. (2020). Modeling transcranial electrical stimulation in the aging brain. *Brain Stimul*, 13(3), 664-674. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2020.02.007>
- Indahlastari, A., Hardcastle, C., Albizu, A., Alvarez-Alvarado, S., Boutzoukas, E. M., Evangelista, N. D., Hausman, H. K., Kraft, J., Langer, K., & Woods, A. J. (2021). A Systematic Review and Meta-Analysis of Transcranial Direct Current Stimulation to Remediate Age-Related Cognitive Decline in Healthy Older Adults. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 17, 971-990. <https://doi.org/10.2147/ndt.S259499>
- Jamil, A., Batsikadze, G., Kuo, H. I., Meesen, R. L. J., Dechent, P., Paulus, W., & Nitsche, M. A. (2020). Current intensity- and polarity-specific online and aftereffects of transcranial direct current stimulation: An fMRI study. *Hum Brain Mapp*, 41(6), 1644-1666. <https://doi.org/10.1002/hbm.24901>
- Kim, J. H., Kim, D. W., Chang, W. H., Kim, Y. H., Kim, K., & Im, C. H. (2014). Inconsistent outcomes of transcranial direct current stimulation may originate from anatomical differences among individuals: electric field simulation using individual MRI data. *Neurosci Lett*, 564, 6-10. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2014.01.054>
- Laakso, I., Tanaka, S., Koyama, S., De Santis, V., & Hirata, A. (2015). Inter-subject Variability in Electric Fields of Motor Cortical tDCS. *Brain Stimul*, 8(5), 906-913. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.05.002>
- Lee, J. S. A., Bestmann, S., & Evans, C. (2021). A Future of Current Flow Modelling for Transcranial Electrical Stimulation? *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 8(4), 150-159. <https://doi.org/10.1007/s40473-021-00238-5>
- Mikkonen, M., Laakso, I., Tanaka, S., & Hirata, A. (2020). Cost of focality in TDCS: Interindividual variability in electric fields. *Brain Stimul*, 13(1), 117-124. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2019.09.017>
- Mosayebi-Samani, M., Jamil, A., Salvador, R., Ruffini, G., Hauelsen, J., & Nitsche, M. A. (2021). The impact of individual electrical fields and anatomical factors on the neurophysiological outcomes of tDCS: A TMS-MEP and MRI study. *Brain Stimul*, 14(2), 316-326. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2021.01.016>
- Perceval, G., Flöel, A., & Meinzer, M. (2016). Can transcranial direct current stimulation counteract age-associated functional impairment? *Neurosci Biobehav Rev*, 65, 157-172. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.03.028>
- Polanía, R., Nitsche, M. A., & Ruff, C. C. (2018). Studying and modifying brain function with non-invasive brain stimulation. *Nat Neurosci*, 21(2), 174-187. <https://doi.org/10.1038/s41593-017-0054-4>
- Puonti, O., Van Leemput, K., Saturnino, G. B., Siebner, H. R., Madsen, K. H., & Thielscher, A. (2020). Accurate and robust whole-head segmentation from magnetic resonance images for individualized head modeling. *Neuroimage*, 219, 117044. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117044>
- Radecke, J.-O., Khan, A., Engel, A. K., Wolters, C. H., & Schneider, T. R. (2020). Individual Targeting Increases Control Over Inter-Individual Variability in Simulated Transcranial Electric Fields. *IEEE Access*, 8, 182610-182624. <https://doi.org/10.1109/access.2020.3028618>
- Reinhart, R. M. G., & Nguyen, J. A. (2019). Working memory revived in older adults by synchronizing rhythmic brain circuits. *Nat Neurosci*, 22(5), 820-827. <https://doi.org/10.1038/s41593-019-0371-x>
- Rocke, M., Fromm, A. E., Jansen, N., Thams, F., Trujillo-Llano, C., Grittner, U., Antonenko, D., & Flöel, A. (2024). Feasibility and pilot efficacy of self-applied home-based cognitive training and brain stimulation: A randomized-controlled trial.

- Brain Stimul, 17(6), 1241-1243. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2024.10.009>
- Saturnino, G. B., Madsen, K. H., & Thielscher, A. (2020). Optimizing the electric field strength in multiple targets for multichannel transcranial electric stimulation. *J Neural Eng.* <https://doi.org/10.1088/1741-2552/abca15>
- Saturnino, G. B., Puonti, O., Nielsen, J. D., Antonenko, D., Madsen, K. H., & Thielscher, A. (2019). SimNIBS 2.1: A Comprehensive Pipeline for Individualized Electric Field Modelling for Transcranial Brain Stimulation. In S. Makarov, M. Horner, & G. Noetscher (Eds.), *Brain and Human Body Modeling: Computational Human Modeling at EMBC 2018* (pp. 3-25). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-21293-3_1
- Saturnino, G. B., Siebner, H. R., Thielscher, A., & Madsen, K. H. (2019). Accessibility of cortical regions to focal TES: Dependence on spatial position, safety, and practical constraints. *Neuroimage*, 203, 116183. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.116183>
- Stagg, C. J., & Nitsche, M. A. (2011). Physiological basis of transcranial direct current stimulation. *Neuroscientist*, 17(1), 37-53. <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
- Tambini, A., Nee, D. E., & D'Esposito, M. (2018). Hippocampal-targeted Theta-burst Stimulation Enhances Associative Memory Formation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 30(10), 1452-1472. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01300
- Thielscher, A., Antunes, A., & Saturnino, G. B. (2015). Field modeling for transcranial magnetic stimulation: A useful tool to understand the physiological effects of TMS? *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2015, 222-225. <https://doi.org/10.1109/embc.2015.7318340>
- Thielscher, A., Opitz, A., & Windhoff, M. (2011). Impact of the gyral geometry on the electric field induced by transcranial magnetic stimulation. *Neuroimage*, 54(1), 234-243. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.07.061>
- Touge, T., Gerschlagel, W., Brown, P., & Rothwell, J. C. (2001). Are the after-effects of low-frequency rTMS on motor cortex excitability due to changes in the efficacy of cortical synapses? *Clin Neurophysiol*, 112(11), 2138-2145. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(01\)00651-4](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(01)00651-4)
- Vergallito, A., Feroldi, S., Pisoni, A., & Romero Lauro, L. J. (2022). Inter-Individual Variability in tDCS Effects: A Narrative Review on the Contribution of Stable, Variable, and Contextual Factors. *Brain Sci*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/brain-sci12050522>
- Violante, I. R., Li, L. M., Carmichael, D. W., Lorenz, R., Leech, R., Hampshire, A., Rothwell, J. C., & Sharp, D. J. (2017). Externally induced frontoparietal synchronization modulates network dynamics and enhances working memory performance. *Elife*, 6. <https://doi.org/10.7554/eLife.22001>
- Windhoff, M., Opitz, A., & Thielscher, A. (2013). Electric field calculations in brain stimulation based on finite elements: an optimized processing pipeline for the generation and usage of accurate individual head models. *Hum Brain Mapp*, 34(4), 923-935. <https://doi.org/10.1002/hbm.21479>
- Yam, A., Gross, A. L., Prindle, J. J., & Marsiske, M. (2014). Ten-year longitudinal trajectories of older adults' basic and everyday cognitive abilities. *Neuropsychology*, 28(6), 819-828. <https://doi.org/10.1037/neu0000096>
- Yam, A., & Marsiske, M. (2013). Cognitive longitudinal predictors of older adults' self-reported IADL function. *J Aging Health*, 25(8 Suppl), 163s-185s. <https://doi.org/10.1177/0898264313495560>
- Yavari, F., Jamil, A., Mosayebi Samani, M., Vidor, L. P., & Nitsche, M. A. (2018). Basic and functional effects of transcranial Electrical Stimulation (tES)-An introduction. *Neurosci Biobehav Rev*, 85, 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiorev.2017.06.015>
- Ziemann, U., & Siebner, H. R. (2015). Inter-subject and Inter-session Variability of Plasticity Induction by Non-invasive Brain Stimulation: Boon or Bane? *Brain Stimul*, 8(3), 662-663. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2015.01.409>



Prof. Dr. Daria Antonenko

Klinik und Poliklinik für Neurologie
Universitätsmedizin Greifswald
Ferdinand-Sauerbruch-Straße
17475 Greifswald

daria.antonenko@med.uni-greifswald.de

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2839-4609>

Professorin Dr. Daria Antonenko studierte Psychologie mit dem Schwerpunkt Kognitive Neurowissenschaften an der Universität Konstanz, war danach als wissenschaftliche Mitarbeiterin in Lübeck tätig und promovierte an der Charité Universitätsmedizin Berlin. Anschließend war sie als Postdoc und Arbeitsgruppenleiterin in der Klinik für Neurologie in Berlin und Greifswald tätig und wurde im Februar 2025 zur Heisenberg-Professorin für Neuromodulation kognitiver Funktionen an der Universitätsmedizin Greifswald berufen.



Prof. Dr. Axel Thielscher

Department of Health Technology
Technical University of Denmark
DK-2800 Kgs. Lyngby, Denmark
axthi@dtu.dk

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4752-5854>

Professor Dr. Axel Thielscher studierte Elektrotechnik an der Universität Ulm und promovierte dort anschließend in Elektrotechnik und Humanbiologie. Es folgten Stationen als Postdoc an der Brown University (Providence, Rhode Island, USA) und Projektgruppenleiter am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik (Tübingen). 2012 startete er als Associate Professor an der Technischen Universität Dänemark (DTU) und am Danish Research Centre for Magnetic Resonance (DRCMR). 2021 wurde er zum Full Professor berufen, seit 2023 leitet er die Sektion für Magnet-Resonanz Forschung an der DTU.

Wissenschaftlicher Beitrag

Martin G. Bleichner*

Innere Zustände erkennen – mit Elektroenzephalografie und Alltagsgeräuschen

Abstract

How can inner states of a person and their changes over time be recorded in everyday life? One possibility is to investigate how we react to our environment - and draw conclusions about our inner state from this. Neuroscientific methods such as electroencephalography (EEG) make it possible to record how a certain stimulus - such as a sound - is processed by the brain. This allows us to deduce, for example, whether a person follows a certain voice or ignores it. If we succeed in measuring how people react to spontaneous sounds from their environment, we could gain insights into their current state of mind.

New mobile EEG technologies - in particular ear-centered EEG - now make it possible to record neuronal activity unobtrusively and over longer periods of time in everyday life. Combined with information about the acoustic environment, this makes it possible to record reactions to the environment at different locations and different points in time.

Here I show how reactions to environmental stimuli can be systematically mapped in the EEG - even when people are busy with everyday activities. The approach opens up new possibilities for basic research, but also for clinical applications, such as the objective recording of changes in perception during the course of affective disorders.

Keywords: everyday neuroscience, attention, sound processing, ear EEG, self-regulation

Zusammenfassung

Wie lassen sich innere Zustände einer Person und ihre Veränderungen über die Zeit hinweg im Alltag erfassen? Eine Möglichkeit besteht darin, zu untersuchen, wie wir auf unsere Umwelt reagieren – und daraus Rückschlüsse auf den inneren Zustand zu ziehen. Neurowissenschaftliche Methoden wie die Elektroenzephalografie (EEG) erlauben es, zu erfassen, wie ein bestimmter Reiz – etwa ein Geräusch – vom Gehirn verarbeitet wird. Daraus lässt sich beispielsweise ableiten, ob eine Person einer bestimmten Stimme folgt oder sie ignoriert. Wenn es uns gelingt, zu messen, wie Menschen auf spontane Geräusche aus ihrer Umgebung reagieren, könnten wir damit Einblicke in ihre momentane Verfassung gewinnen.

Neue mobile EEG-Technologien – insbesondere das ohrzentrierte EEG – ermöglichen es inzwischen, neuronale Aktivität unauffällig und über längere Zeiträume hinweg im Alltag aufzuzeichnen. Kombiniert mit Informationen über die akustische Umgebung lassen sich somit die Reaktionen auf die Umwelt zu verschiedenen Zeitpunkten erfassen.

Hier zeige ich, wie sich Reaktionen auf Umweltreize systematisch im EEG abbilden lassen – und das auch dann, wenn die Personen

mit Alltagsaktivitäten beschäftigt sind. Der Ansatz eröffnet neue Möglichkeiten für die Grundlagenforschung, aber auch für klinische Anwendungen, etwa zur objektiven Erfassung von Wahrnehmungsveränderungen im Verlauf affektiver Störungen.

Schlüsselwörter: Alltagsneurowissenschaft, Aufmerksamkeit, Geräuschverarbeitung, Ohr-EEG, Selbstregulation

Selbstregulation Innerer Zustände

Unser Gehirn ist ständig damit beschäftigt, Reize aus der Umgebung zu verarbeiten – sei es, was wir hören, sehen oder fühlen. Es bewertet diese Eindrücke und steuert unsere Reaktionen darauf. Diese Fähigkeit bildet die Grundlage dafür, dass wir uns in unserer Umwelt zurechtfinden, auf Veränderungen reagieren und mit anderen interagieren können. Wie wir Reize wahrnehmen, beeinflusst maßgeblich unsere Sicht auf die Welt- und spielt damit eine zentrale Rolle für unser Wohlbefinden (Engel-Yeger et al., 2016; Serafini et al., 2017).

Doch wir sind diesen Reizen nicht einfach ausgeliefert – wir sind keine passiven Reiz-Reaktions-Maschinen. So müssen wir zum Beispiel nicht zwangsläufig dem größten Schreihals im Raum unsere Aufmerksamkeit schenken. Selbst wenn ein Reiz laut, auffällig oder plötzlich ist, heißt das nicht, dass wir automatisch darauf reagieren. Wir können ihn ignorieren oder bewusst ausblenden. Diese Fähigkeit zur Selbstregulation erlaubt es uns, unsere Reaktionen gezielt zu steuern und flexibel auf verschiedene Situationen zu antworten. Sie hilft uns, nicht jeder Ablenkung nachzugeben, sondern Reize einzuordnen und Prioritäten zu setzen. In stressigen Momenten kann es zum Beispiel helfen, erst einmal tief durchzuatmen und innerlich bis zehn zu zählen, statt impulsiv zu handeln. Wie gut uns diese Selbstregulation gelingt, schwankt je nach Tagesform, Energielevel oder emotionalem Zustand. Müdigkeit, Hunger, unsere Ziele oder Motivation beeinflussen, wie stark wir auf unsere Umwelt reagieren.

Von außen sind diese inneren Zustände oft nicht erkennbar – vielleicht kennen Sie das: Man spricht mit einer Person, doch diese blickt erst nach einiger Zeit auf und fragt: „Entschuldige bitte – hast du etwas gesagt?“. Und auch wir selbst sind uns unserer inneren Zustände nicht immer bewusst.

EEG als Methode zur Erfassung von Hirnaktivität

Neurophysiologische Verfahren ermöglichen es, Einblicke in innere Zustände zu gewinnen, die von außen nicht direkt beobachtbar sind. Bei der Elektroenzephalografie (EEG) wird die elektrische Aktivität des Gehirns über Elektroden auf der Kopfhaut gemessen. Feinste Spannungsschwankungen im Mikrovoltbereich geben dabei Aufschluss über das, was in unserem Gehirn vor sich geht.

In der Regel findet eine EEG-Messung unter stark kontrollierten Laborbedingungen statt (siehe Abbildung 1, obere Zeile). Die Umgebung ist schallgedämmt, abgedunkelt und weitgehend störungsfrei. Die Versuchspersonen erhalten klare Anweisungen: Sie sollen möglichst ruhig sitzen, nicht sprechen und so wenig wie möglich blinzeln oder sich bewegen, denn selbst kleinste Muskelaktivität kann das schwache EEG-Signal überlagern. Zusätzlich bekommen die Versuchspersonen eine konkrete Aufgabe gestellt, etwa eine Abfolge von Tönen zu verfolgen und bei einem bestimmten Ton auf einen Knopf zu drücken.

Ziel all dieser Maßnahmen ist es, die schwachen Hirnsignale wiederholt und unter vergleichbaren Bedingungen aufzeichnen zu können. So lassen sich Reaktionen auf bestimmte Reize sichtbar machen – zum Beispiel, ob eine Person auf einen Ton

* Corresponding author: **Martin G. Bleichner**

Department für Psychologie, Ammerländer Heerstraße 114-118, 26129, Oldenburg, Deutschland

martin.bleichner@uol.de

ORCID: 0000-0001-6933-9238

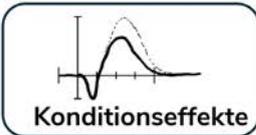
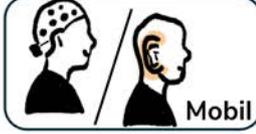
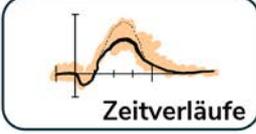
| EEG-METHODE | REIZART | SITUATION | AUFGABE | EKP |
|--|--|---|--|--|
|  Stationär |  Kontrollierte Reize |  Labor | „Reagiere auf den hohen Ton“ Explizit |  Konditionseffekte |
|  Mobil |  Umwelt Reize |  Alltag | „...“ Keine |  Zeitverläufe |

Abbildung 1: EEG zwischen Labor und Alltag

Klassische EEG-Forschung nutzt stationäre EEG-Geräte, kontrollierte Reize in kontrollierten Umgebungen und explizite Aufgaben (obere Zeile). Ziel ist es, die Funktionsweise des Gehirns unter klar abgegrenzten Bedingungen zu verstehen. Die sogenannten ereigniskorrelierten Potentiale (EKPs) lassen dabei zum Beispiel Rückschlüsse darauf zu, wie eine Aufgabe bearbeitet wurde.

Die alltagsnahe Neurophysiologie verfolgt einen erweiterten Ansatz (untere Zeile): Sie untersucht, wie das Gehirn auf Umweltreize in natürlichen Situationen reagiert – zum Beispiel auf Straßengeräusche, Gespräche oder unerwartete Klänge.

Verwendet werden dabei mobile oder ohr-nahe EEG-Systeme, die eine kontinuierliche Messung in Alltagssituationen – im Büro oder zu Hause – ermöglichen. Auch ohne konkrete Aufgabenstellung lassen sich Ereignisse identifizieren, die mit typischen Veränderungen im EEG einhergehen. So lassen sich die EKPs zum Beispiel nutzen, um Veränderungen der Wahrnehmung über die Zeit hinweg zu erfassen.

achtet (Bleichner et al., 2016; Choi et al., 2013) oder gezielt einer Stimme folgt (O’Sullivan et al., 2016). EEG liefert uns damit einen einzigartigen Einblick in innere Vorgänge, die der äußeren Beobachtung verborgen bleiben.

Viele Erkenntnisse über die Funktion des Gehirns beruhen damit auf Momentaufnahmen unter künstlichen Bedingungen – gesammelt von Personen, die stillsitzend und abgeschottet standardisierte Aufgaben bearbeiten. Für Versuchspersonen ist die Laborsituation alles andere als alltäglich. Ihr Handlungsspielraum ist stark eingeschränkt. Ein zentraler Aspekt bleibt in solchen Situationen dabei oft unberücksichtigt: die Selbstregulation der Teilnehmenden. Im Alltag würden wir eine langweilige oder überfordernde Situation möglicherweise unterbrechen in dem wir aufs Handy schauen, kurz den Raum verlassen oder tief durchatmen. Solche natürlichen Reaktionen sind im klassischen EEG-Experiment jedoch meist ausgeschlossen.

EEG außerhalb des Labors

Neue technologische Entwicklungen ermöglichen es nun, solche Prozesse auch außerhalb des Labors zu erfassen – und damit einen realitätsnäheren Blick auf das Gehirn im Alltag zu gewinnen (Gramann, 2011; Wascher et al., 2021). Möglich wurde dies durch kompaktere, robustere Geräte zur Messung der Hirnaktivität sowie durch Fortschritte in der Signalverarbeitung. Diese Entwicklungen erlauben heute stabile und auswertbare EEG-Aufzeichnungen selbst unter Bedingungen, die lange als ungeeignet galten (siehe Abbildung 1, untere Zeile).

EEG wird damit nicht mehr nur im schallgedämmten Testraum gemessen, sondern zunehmend auch in Bewegung und in komplexen Umgebungen – etwa beim Gehen (Debener et al., 2012; Ladouce et al., 2019; Scanlon et al., 2022; Scanlon et al., 2023), beim Fahrradfahren (Scanlon et al., 2019; Zink et al., 2016), in Flugsimulatoren (Dehais et al., 2014) und Flugzeugen (Dehais et al., 2019), bei simulierten medizinischen Operationen (Rosenkranz et al., 2024) – oder sogar unter Extrembedingungen wie Bungeejumping (Nann et al., 2019) oder beim Schwimmen (Klapprott & Debener, 2024). Dadurch rücken Alltag und Forschung näher zusammen: Das Gehirn kann nun dort untersucht werden, wo es seine volle Leistungsfähigkeit entfaltet – in dynamischen Situationen, in Bewegung, unter realen Bedingungen. Also genau dort, wo Selbstregulation, Aufmerksamkeit und Reizverarbeitung wirklich zum Tragen kommen.

Das Potenzial von Ohr-EEG

Um EEG-Messungen noch alltagstauglicher zu gestalten – ohne auffällige oder störende Messkappen –, hat sich in den letzten Jahren das Konzept des Ohr-EEG etabliert (Bleichner et al., 2016; Debener et al., 2015; Kidmose et al., 2013; Looney & Kidmose, 2012; Mikkelsen et al., 2015). Dabei werden Elektroden dezent im Ohrkanal oder um das Ohr herum platziert. Wir konnten zeigen, dass diese Methode eine unauffällige und komfortable EEG-Aufzeichnungen über längere Zeiträume erlaubt – mitten im Alltag (Hölle & Bleichner, 2023; Hölle et al., 2021, 2022).

Unsere Studien zeigen, dass sich mit einer vergleichsweise geringen Anzahl von Elektroden rund um das Ohr viele der EEG-Signale erfassen lassen, die bereits von klassischen EEG-Aufnahmen bekannt sind (Debener et al., 2015; Meiser & Bleichner, 2022; Meiser et al., 2020, 2024). Zwar gibt es gegenüber klassischen Kappen-EEG-Systemen Einbußen in der Signalquantität, doch dieser Nachteil wird durch die hohe Alltagstauglichkeit

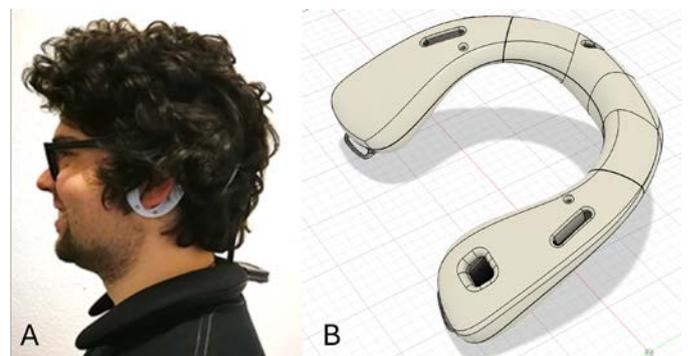


Abbildung 2: Ohrnahes EEG-System für Messungen im Alltag

A. Die weißen Elektroden hinter dem Ohr bilden das von uns entwickelte cEEG-Grid (Debener et al., 2015), das EEG-Signale unauffällig und komfortabel rund um das Ohr erfasst.

B. Die Signalverstärkung, -verarbeitung und -speicherung erfolgt über das ebenfalls eigens entwickelte Nackensystem, das sogenannte nEEG-lace (Bleichner & Emkes, 2020). Dieses enthält zudem ein Mikrofon zur kontinuierlichen Erfassung und Verarbeitung der akustischen Umgebung. Das Gesamtsystem ermöglicht die Untersuchung neuronaler Reaktionen auf reale Geräuschkulissen im Alltag. (Bildquelle: Martin G. Bleichner).

mehr als ausgeglichen. Der große Vorteil: Die Elektroden sind so dezent angebracht, dass sie von außen kaum wahrnehmbar sind (siehe Abbildung 2). Sie stören weder beim Sprechen noch beim Bewegen– und beeinflussen nicht, wie wir auf andere wirken. Genau das macht Ohr-EEG so besonders: Es erlaubt, Hirnaktivität in sozialen Situationen und über längere Zeiträume hinweg unauffällig zu erfassen.

Reaktionen auf Umweltreize

Wenn wir verstehen wollen, wie das Gehirn auf Reize aus der Umgebung reagiert– und wie sich diese Reaktionen im Laufe der Zeit verändern–, benötigen wir wiederholbare, strukturierte Beobachtungsmethoden. Ein bewährter Ansatz besteht darin, einer Versuchsperson regelmäßig einen akustischen Reiz (z.B. einen kurzen Piepton) zu präsentieren und die neuronale Antwort darauf zu messen. Dieses Prinzip ähnelt der Logik eines aktiven Radars: Ein Signal wird ausgesendet, und anhand der Rückmeldung lässt sich der Zustand des Systems erschließen. Dass dieser Ansatz funktioniert, konnten wir in unseren eigenen Studien zeigen: Selbst unter alltagsnahen Bedingungen lassen sich systematische EEG-Antworten auf akustische Standardreize zuverlässig nachweisen (Hölle & Bleichner, 2023; Hölle et al., 2021).

Noch eleganter ist ein Ansatz, der auf das Aussenden künstlicher Reize verzichtet. Stattdessen nutzt er die natürliche Geräuschkulisse der Umgebung. Das Prinzip erinnert an ein passives Radar: Es sendet keine eigenen Signale aus, sondern nutzt vorhandene elektromagnetische Wellen– etwa von Radiostationen– zur Ortung. Übertragen auf unsere Forschung bedeutet das: Alltagsgeräusche wie Gesprächsfetzen, Tastaturanschläge oder Umweltgeräusche wirken als spontane Testimpulse. Das Gehirn reagiert kontinuierlich auf diese Reize, meist unbewusst. Gelingt es, diese Reaktionen im EEG systematisch zu erfassen, entsteht ein ökologisch valider Zugang zur auditiven Verarbeitung– ganz ohne experimentelles Eingreifen.

Dass sich nicht nur auf kontrollierte Einzeltöne, sondern auch auf komplexe, natürliche Geräuschkulissen zuverlässige neuronale Reaktionen messen lassen, konnten wir in unserer eigenen Arbeit zeigen. In mehreren Studien haben wir reale Klanglandschaften– etwa aus dem Operationssaal (Rosenkranz et al., 2023, 2024, 2025) oder städtischen Umgebungen (Korte et al., 2025a, 2025b) – unter kontrollierten Bedingungen vorgespielt und systematisch analysiert, wie das Gehirn darauf reagiert. So zeigten sich in einer simulierten Operationsumgebung deutliche Unterschiede in der Reizverarbeitung– abhängig davon, wie stark die Teilnehmenden beansprucht waren und ob ein Geräusch als relevant oder irrelevant für die Aufgabe galt (Rosenkranz et al., 2023, 2024, 2025). Auch für urbane Geräuschkulissen konnten wir zeigen, dass Alltagsgeräusche, die für uns eigentlich keine Relevanz haben, systematische Veränderungen der neuronalen Aktivität hervorrufen– unabhängig davon, ob sie bewusst beachtet wurden oder nicht (Korte et al., 2025). Diese Ergebnisse bestätigen, dass sich die Verarbeitung komplexer natürlicher Reize mit dem EEG erfassen lässt.

Damit eröffnet sich ein neuer methodischer Zugang zur Zustandserfassung: Der Alltag selbst liefert die Reize– wir müssen lediglich „zuhören“, wie das Gehirn auf sie antwortet.

Technische und methodische Herausforderungen

Unsere bisherigen Arbeiten zeigen, dass sich neuronale Reaktionen auf akustische Reize auch unter alltagsnahen Bedingungen zuverlässig messen lassen sowohl bei kontrollierten Stimuli als auch bei Alltagsgeräuschen. Um jedoch auf Basis der Verarbeitung von Alltagsgeräuschen Rückschlüsse über den inneren

Zustand einer Person und dessen Veränderungen über die Zeit hinweg ziehen zu können, stehen wir vor zwei zentralen Herausforderungen, an denen wir derzeit aktiv forschen.

Erstens benötigen wir eine zuverlässige und alltagstaugliche Erfassung der neuronalen und der akustischen Daten. Dafür arbeiten wir kontinuierlich an der Weiterentwicklung eines unauffälligen Geräts, das über viele Stunden hinweg gleichzeitig EEG-Daten aus dem Ohrbereich und Audioaufnahmen der Umgebung aufzeichnen kann (Bleichner & Emkes, 2020) (siehe Abbildung 2). Dabei ist es entscheidend, dass das System nicht nur eine hohe Signalqualität liefert, sondern auch bequem und unauffällig über längere Zeiträume getragen werden kann– denn nur so lassen sich realistische Daten in Alltagssituationen erfassen.

Zweitens müssen wir die akustische Umgebung besser beschreiben. Unsere Studien zeigen: Um zu verstehen, wie das Gehirn auf ein Geräusch reagiert, reicht es nicht aus, lediglich den Zeitpunkt seines Auftretens zu kennen (Haupt et al., 2025). Wichtig sind auch Informationen über die Lautstärke, Häufigkeit, Richtung, Entfernung und Quelle des Geräuschs. Auch helfen uns Informationen über den Kontext in dem das Geräusch auftritt. Es macht einen Unterschied, ob eine Person bewusst das Radio einschaltet um sich unterhalten zu lassen oder ob Verkehrslärm unbeabsichtigt durch ein offenes Fenster dringt.

Erst durch die Kombination einer hochwertigen, alltagstauglichen Datenerfassung und einer differenzierten Beschreibung der akustischen Umgebung wird es möglich, die Verarbeitung von Geräuschen im Alltag nachzuvollziehen– und daraus Rückschlüsse auf den inneren Zustand einer Person zu ziehen.

Ein neuer Blick auf innere Zustände im Alltag

Die neuen technischen Möglichkeiten sowie aktuelle Forschungsergebnisse eröffnen einen grundlegenden Perspektivwechsel– und verändern unseren Blick darauf, wie wir das Gehirn im Alltag untersuchen und verstehen können. Neuronale Prozesse lassen sich nun nicht mehr nur punktuell und unter stark kontrollierten Laborbedingungen messen, sondern kontinuierlich– über Stunden, Tage oder sogar längere Zeiträume hinweg (siehe Abbildung 1).

Dabei sind wir nicht mehr darauf angewiesen, Versuchspersonen exakt anzuweisen, wie sie sich innerhalb eines Experiments verhalten sollen. Stattdessen können wir ihre neuronalen Reaktionen auf spontane Reize in der natürlichen Umgebung erfassen– unaufdringlich und ohne experimentelles Eingreifen. Dies erlaubt es nicht nur, die Gehirnaktivität im Alltag realitätsnah abzubilden, sondern eröffnet auch die Möglichkeit, ihre Veränderung über die Zeit hinweg systematisch zu untersuchen.

Veränderungen innerer Zustände können sowohl durch äußere Faktoren– etwa Lärm, Aufgabenanforderungen oder soziale Interaktionen– als auch durch innere Prozesse wie Müdigkeit, Stress, Motivation oder fokussierte Aufmerksamkeit beeinflusst werden. Die systematische Analyse dieser Einflussgrößen ermöglicht differenzierte Einblicke in die Dynamik affektiver und kognitiver Zustände sowie in die Mechanismen ihrer Selbstregulation.

Diese kontinuierliche Erfassung neuronaler Zustände im Alltag eröffnet neue Perspektiven für die neurowissenschaftliche und klinische Forschung. Besonders spannend ist dabei, wann wir unsere Umgebung besonders deutlich wahrnehmen– und wann sie eher in den Hintergrund tritt.

Gerade für die klinische Forschung ergeben sich hieraus neue Möglichkeiten– etwa im Bereich affektiver Störungen wie Depressionen. Menschen mit solchen Erkrankungen erleben ihre Umwelt oft verändert: Geräusche, Gespräche oder Situationen wirken bedeutungslos, belastend oder überfordernd. Diese sub-

jektiven Veränderungen sind von außen nicht unbedingt sichtbar– und für Betroffene oft schwer in Worte zu fassen.

Wenn es gelingt, neuronale Zustände im Alltag über längere Zeiträume hinweg objektiv zu erfassen, könnten solche Wahrnehmungsveränderungen sichtbar und nachvollziehbar werden. So ließe sich beobachten, wie sich das Erleben der Umwelt im Verlauf einer Erkrankung verändert– etwa im Zuge einer Therapie oder durch äußere Einflüsse wie soziale Kontakte oder Tageszeiten.

Dieser neue Zugang bietet nicht nur Erkenntnisse für die Grundlagenforschung, sondern auch einen konkreten Nutzen für die klinische Praxis. Patient:innen und Behandelnde könnten besser nachvollziehen, wie sich Symptome entwickeln– und wann sich erste Veränderungen abzeichnen. Das kann helfen, Therapien gezielter auszuwählen und frühzeitig auf Veränderungen zu reagieren. Langfristig ließe sich dieser Ansatz auch in die alltägliche Versorgung integrieren– etwa zur Verlaufskontrolle in der ambulanten Betreuung oder als digitale Ergänzung zu bestehenden Verfahren.

Referenzen

- Bleichner, M. G., & Emkes, R. (2020). Building an Ear-EEG System by Hacking a Commercial Neck Speaker and a Commercial EEG Amplifier to Record Brain Activity Beyond the Lab. *Journal of Open Hardware*. <https://doi.org/10.5334/joh.25>
- Bleichner, M. G., Mirkovic, B., & Debener, S. (2016). Identifying auditory attention with ear-EEG: cEEGrid versus high-density cap-EEG comparison [Publisher: IOP Publishing]. *Journal of Neural Engineering*, 13(6), 066004. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/6/066004>
- Choi, I., Rajaram, S., Varghese, L., & Shinn-Cunningham, B. (2013). Quantifying attentional modulation of auditory-evoked cortical responses from single-trial electroencephalography. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7. Zugriff 23. August 2023 unter <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2013.00115>
- Debener, S., Emkes, R., De Vos, M., & Bleichner, M. G. (2015). Unobtrusive ambulatory EEG using a smartphone and flexible printed electrodes around the ear [Publisher: Nature Publishing Group ISBN: 0167-8760]. *Scientific Reports*, 5, 16743. <https://doi.org/10.1038/srep16743>
- Debener, S., Minow, F., Emkes, R., Gandras, K., & De Vos, M. (2012). How about taking a low-cost, small, and wireless EEG for a walk? [ISBN: 0048-5772]. *Psychophysiology*, 49(11), 1617–1621. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01471.x>
- Dehais, F., Causse, M., Vachon, F., Régis, N., Menant, E., & Tremblay, S. (2014). Failure to detect critical auditory alerts in the cockpit: Evidence for inattentive deafness. *Human Factors*. <https://doi.org/10.1177/0018720813510735>
- Dehais, F., Duprès, A., Blum, S., Drougard, N., Scannella, S., Roy, R. N., & Lotte, F. (2019). Monitoring Pilot's Mental Workload Using ERPs and Spectral Power with a Six-Dry-Electrode EEG System in Real Flight Conditions. *Sensors* (Basel, Switzerland), 19(6), 1324. <https://doi.org/10.3390/s19061324>
- Engel-Yeger, B., Muzio, C., Rinosi, G., Solano, P., Geoffroy, P. A., Pompili, M., Amore, M., & Serafini, G. (2016). Extreme sensory processing patterns and their relation with clinical conditions among individuals with major affective disorders. *Psychiatry Research*, 236, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2015.12.022>
- Gramann, K. (2011). Cognition in action: Imaging brain/body dynamics in mobile humans. *Reviews in the Neurosciences*, 22. <https://doi.org/10.1515/RNS.2011.047>
- Haupt, T., Rosenkranz, M., & Bleichner, M. G. (2025). Exploring Relevant Features for EEG-Based Investigation of Sound Perception in Naturalistic Soundscapes. *eNeuro*, 12(1), ENEURO.0287–24.2024. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0287-24.2024>
- Hölle, D., & Bleichner, M. G. (2023). Smartphone-based ear-electroencephalography to study sound processing in everyday life [eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/ejn.16124>]. *European Journal of Neuroscience*, 58(7), 3671–3685. <https://doi.org/10.1111/ejn.16124>
- Hölle, D., Blum, S., Kissner, S., Debener, S., & Bleichner, M. G. (2022). Real-Time Audio Processing of Real-Life Soundscapes for EEG Analysis: ERPs Based on Natural Sound Onsets. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.793061>
- Hölle, D., Meekes, J., & Bleichner, M. G. (2021). Mobile ear-EEG to study auditory attention in everyday life. *Behavior Research Methods*, 53(5), 2025–2036. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01538-0>
- Kidmose, P., Looney, D., Ungstrup, M., Rank, M. L., & Mandic, D. P. (2013). A Study of Evoked Potentials From Ear-EEG. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(10), 2824–2830. <https://doi.org/10.1109/TBME.2013.2264956>
- Klapprott, M., & Debener, S. (2024). Mobile EEG for the study of cognitive-motor interference during swimming? *Frontiers in Human Neuroscience*, 18, 1466853. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1466853>
- Korte, S., Jaeger, M., Rosenkranz, M., & Bleichner, M. G. (2025a). From Beeps to Streets: Unveiling Sensory Input and Relevance Across Auditory Contexts. *Frontiers in Neuroergonomics*. <https://doi.org/10.3389/fnrgo.2025.1571356>
- Korte, S., Haupt, T., & Bleichner, M. G. (2025b). „EEG Signatures of Auditory Distraction“. Preprint. <https://www.biorxiv.org/>, <https://doi.org/10.1101/2025.04.14.648656>
- Ladouce, S., Donaldson, D. I., Dudchenko, P. A., & Ietswaart, M. (2019). Mobile EEG identifies the reallocation of attention during real-world activity [Publisher: Springer US ISBN: 4159801951]. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-51996-y>
- Looney, D., & Kidmose, P. (2012). Auditory evoked responses from ear-EEG recordings. *Engineering in Medicine*. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6345999
- Meiser, A., & Bleichner, M. G. (2022). Ear-EEG compares well to cap-EEG in recording auditory ERPs: a quantification of signal loss [Publisher: IOP Publishing]. *Journal of Neural Engineering*, 19(2), 026042. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac5fcb>
- Meiser, A., Lena Knoll, A., & Bleichner, M. G. (2024). High-density ear-EEG for understanding ear-centered EEG. *Journal of Neural Engineering*, 21(1), 016001. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ad1783>
- Meiser, A., Tadel, F., Debener, S., & Bleichner, M. G. (2020). The Sensitivity of Ear-EEG: Evaluating the Source-Sensor Relationship Using Forward Modeling [Publisher: Springer]. *Brain Topography*, 1, 115. <https://doi.org/10.1007/s10548-020-00793-2>
- Mikkelsen, K. B., Kappel, S. L., Mandic, D. P., & Kidmose, P. (2015). EEG recorded from the ear: Characterizing the Ear-EEG Method [Publisher: Frontiers]. *Frontiers in Neuroscience*, 9(NOV), 438. <https://doi.org/10.3389/fnins.2015.00438>
- Nann, M., Cohen, L. G., Deecke, L., & Soekadar, S. R. (2019). To jump or not to jump- The Bereitschaftspotential required to jump into 192-meter abyss. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598018-38447-w>
- O'Sullivan, J., Chen, Z., Mehta, A., Mesgarani, N., O'Sullivan, J., Mehta, A., & Mesgarani, N. (2016). Neural decoding of attentional selection in multi-speaker environments without access to separated sources [Publisher: IOP Publishing]. *Society for Neuroscience Meeting*. <https://doi.org/10.1088/1741>

2552/aa7ab4

- Rosenkranz, M., Cetin, T., Uslar, V. N., & Bleichner, M. G. (2023). Investigating the attentional focus to workplace-related soundscapes in a complex audio-visual-motor task using EEG. *Frontiers in Neuroergonomics*, 3. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fnrgo.2022.1062227>
- Rosenkranz, M., Haupt, T., Jaeger, M., Uslar, V. N., & Bleichner, M. G. (2024). Using mobile EEG to study auditory work strain during simulated surgical procedures [Publisher: Nature Publishing Group]. *Scientific Reports*, 14(1), 24026. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74946-9>
- Rosenkranz, M., Uslar, V. N., Weyhe, D., & Bleichner, M. G. (2025, Februar). The effect of task demand on EEG responses to irrelevant sound and speech in simulated surgical environments [Pages: 2025.02.13.638036 Section: New Results]. <https://doi.org/10.1101/2025.02.13.638036>
- Scanlon, J. E. M., Jacobsen, N. S. J., Maack, M. C., & Debener, S. (2022). Stepping in time: Alpha mu and beta oscillations during a walking synchronization task. *NeuroImage*, 253, 119099. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119099>
- Scanlon, J. E. M., Jacobsen, N. S. J., Maack, M. C., & Debener, S. (2023). Outdoor walking: Mobile EEG dataset from walking during oddball task and walking synchronization task. *Data in Brief*, 46, 108847. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108847>
- Scanlon, J. E. M., Townsend, K. A., Cormier, D. L., Kuziek, J. W. P., & Mathewson, K. E. (2019). Taking off the training wheels: Measuring auditory P3 during outdoor cycling using an active wet EEG system. *Brain Research*, 1716, 50–61. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2017.12.010>
- Serafini, G., Gonda, X., Canepa, G., Pompili, M., Rihmer, Z., Amore, M., & Engel-Yeger, B. (2017). Extreme sensory processing patterns show a complex association with depression, and impulsivity, alexithymia, and hopelessness. *Journal of Affective Disorders*, 210, 249–257. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2016.12.019>
- Wascher, E., Reiser, J., Rinkenauer, G., Larrá, M., Dreger, F. A., Schneider, D., Karthaus, M., Getzmann, S., Gutberlet, M., & Arnau, S. (2021). Neuroergonomics on the Go: An Evaluation of the Potential of Mobile EEG for Workplace Assessment and Design [Publisher: SAGE Publications Inc.]. *Human Factors*, 00(0), 1–21. <https://doi.org/10.1177/00187208211007707>
- Zink, R., Hunyadi, B., Huffel, S. V., & Vos, M. D. (2016). Mobile EEG on the bike: disentangling attentional and physical contributions to auditory attention tasks. *Journal of Neural Engineering*, 13(4), 046017. <https://doi.org/10.1088/1741-2560/13/4/046017>



Foto Universität Oldenburg / Daniel Schmidt

Dr. Martin G. Bleichner

Department für Psychologie
 Ammerländer Heerstraße 114-118
 26129 Oldenburg
martin.bleichner@uol.de
 ORCID: 0000-0001-6933-9238

Martin G. Bleichner leitet die durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierte Emmy Noether Forschungsgruppe „Neurophysiologie des Alltags“ am Department für Psychologie der Fakultät VI – Medizin und Gesundheitswissenschaften der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Er studierte Cognitive Science in Osnabrück und Kognitive Neurowissenschaften in Utrecht. Am Universitätsklinikum Utrecht promovierte er zum Thema Gehirn-Computer-Schnittstellen. Seine aktuelle Forschung widmet sich der Untersuchung der Geräuschwahrnehmung unter alltagsnahen Bedingungen. Er entwickelt die methodischen und technischen Verfahren, die notwendig sind, um EEG-basierte Studien auch außerhalb des Labors – etwa im öffentlichen Raum oder im häuslichen Umfeld – durchzuführen. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf dem ohrzentrierten EEG, das es erlaubt, Hirnaktivität unauffällig und über längere Zeiträume hinweg im Alltag zu erfassen. Auch in Zukunft wird er – im Rahmen des DFG-Heisenberg-Programms – an der Weiterentwicklung von Methoden arbeiten, mit denen neuronale Zustände unter natürlichen Bedingungen objektiv messbar gemacht werden können.

Wissenschaftlicher Beitrag

Peter Bang^{1,2}, Yulia Oganian^{1,3*}

Neurophysiologie der Sprachverarbeitung: Ein Blick ins Gehirn

Abstract

How does a stream of air vibrations turn into the meaningful signal that we perceive as speech? How does our brain recognize the information contained in this sound stream? Direct intracranial electrophysiology (iEEG) allows us to track the cortical processing of speech signals with high temporal and spatial resolution. iEEG studies show how the speech signal is processed neurally as well as allow for the further development of linguistic theories. Here we discuss this approach on the example of the neural processing of the amplitude envelope of speech. The amplitude envelope is an acoustic index for the syllable structure of speech. Intracranial recordings show that neuronal populations in human speech cortex in the temporal lobe selectively respond to times of maximum amplitude increase, rather than to maxima or minima of amplitude. Based on these results, a follow-up magnetoencephalography study distinguished between two central theories of speech envelope tracking. Finally, using dyslexia and autism as examples, we discuss how results from intracranial studies can be applied to non-invasive studies of developmental language disorders, particularly in pediatric populations.

Keywords: speech, electrophysiology, intracranial electrophysiology, audition, autism, dyslexia

Zusammenfassung

Wie entsteht aus einem Strom von Luftschwingungen das bedeutungsvolle Signal, das wir als Sprache wahrnehmen? Wie erkennt unser Gehirn die Informationen, die in diesem Lautkontinuum enthalten sind? Mithilfe direkter intrakranieller Elektrophysiologie ist es möglich, die kortikale Verarbeitung sprachlicher Signale mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zu verfolgen. Diese Ergebnisse zeigen nicht nur, wie das Sprachsignal neuronal verarbeitet wird, sondern erlauben auch eine Weiterentwicklung linguistischer Theorien. Hier besprechen wir diesen Ansatz am Beispiel der neuronalen Verarbeitung der Amplitudenfüllkurve des Sprachsignals. Die Amplitudenfüllkurve ist ein akustischer Index für die Silbenstruktur der Sprache. Intrakranielle Aufnahmen zeigen, dass neuronale Populationen im menschlichen Sprachkortex im Temporallappen selektiv auf Zeitpunkte des maximalen Amplitudenanstiegs reagieren, und nicht etwa auf Maxima oder Minima der Amplitude. Basierend auf diesen Ergebnissen unterscheidet eine Folgestudie mit Magnetenzecephalographie zwischen zwei zentralen Theorien zur Verarbeitung der Amplitudenfüllkurve. Schließlich besprechen wir am Beispiel von Legasthenie und Autismus, wie Ergebnisse aus intrakraniellen Studien für nicht-invasive Studien zu Entwicklungsstörungen der Sprache, insbesondere auch in pädiatrischen Populationen, eingesetzt werden können.

* Corresponding author: **Yulia Oganian**

1 Human Verbal Communication Lab, Center for Integrative Neuroscience, Universität Tübingen, Otfried-Müller-Straße 25, 72076 Tübingen

2 peter.bang@uni-tuebingen.de, ORCID: 0000-0003-3830-8708

3 yulia.oganian@uni-tuebingen.de, ORCID: 0000-0002-3451-8938

Schlüsselwörter: Sprache, Elektrophysiologie, intrakranielle Elektrophysiologie, Hören, Autismus, Legasthenie

Einleitung

Wie entsteht aus einem Strom von Luftschwingungen das bedeutungsvolle Signal, das wir als Sprache wahrnehmen? Wie erkennt unser Gehirn die Informationen, die in diesem Lautkontinuum enthalten sind? Erste Antworten auf solche grundlegenden Fragen zur neuronalen Verarbeitung von Sprache in der modernen Neurowissenschaft stammen von Paul Broca und Carl Wernicke. Broca beschrieb bereits 1861, wie eine Läsion im linken Präfrontallappen zu einer starken Einschränkung der Sprachproduktion führte (Rutten, 2022). Wernicke beschrieb nur 15 Jahre später, wie eine Läsion im superioren linken Temporallappen (STG – Superior Temporal Gyrus) Störungen in der Sprachwahrnehmung verursacht (Binder, 2015). Damit waren die wichtigsten kortikalen Sprachareale identifiziert (Abb. 1A). Doch die Frage nach der Art der Repräsentationen und Verarbeitungsschritte in diesen Hirnregionen beschäftigt uns bis heute.

Nach David Marr muss jeder kognitive Prozess auf mehreren Ebenen untersucht und begriffen werden (Marr & Poggio, 1976): (1) durch eine Beschreibung der zugrundeliegenden Phänomene und Repräsentationen, (2) durch eine Analyse der Algorithmen, mit deren Hilfe diese Repräsentationen erstellt werden, sowie (3) durch eine Beschreibung der neuronalen Implementation der ersten zwei Ebenen. Angewandt auf das Problem der Sprachverarbeitung bedeutet dies, dass jeder Studie der Sprachverarbeitung eine akustisch-linguistische Analyse des Sprachsignals zugrunde liegt. Basierend darauf können wir fragen, welche akustischen Strukturen für die neuronale Verarbeitung und Erkennung von Sprache relevant sind. Im Umkehrschluss ist es aber auch möglich, durch neurowissenschaftliche Studien linguistische Theorien zu testen: etwa, wenn mehrere Modelle aus akustisch-linguistischer Sicht gleichwertig sind, aber nur eines durch neuronale Daten gestützt wird. Die drei Ebenen von Marr sind also keine Einbahnstraße.

Rein akustisch ist das Sprachsignal ein kontinuierliches Geräusch mit einer komplexen spektralen Struktur, die von schnellen dynamischen Übergängen geprägt ist. In unserer Wahrnehmung erscheint dieses kontinuierliche Signal jedoch klar segmentiert – beispielsweise in einzelne Wörter, Silben und Sprachlaute (Abb. 1B). So besteht das Wort 'Neurowissenschaft' aus fünf Silben (Neu-ro-wis-sen-schaft) und 13 Sprachlauten. Die Unterteilung des Sprachsignals in solche diskreten Informationseinheiten ist jedoch keine triviale Aufgabe: Weder Wörter noch Silben oder einzelne Laute sind im akustischen Signal eindeutig voneinander abgrenzbar – anders als etwa Leerstellen in geschriebener Sprache. Unterschiede in Sprechgeschwindigkeit und Stimmhöhe, aber auch Akzente und Dialekte, bringen Varianz in das Sprachsignal und erschweren zusätzlich die Identifikation einzelner Sprachlaute. Damit verbale Kommunikation trotz dieser Varianz funktioniert, muss das neuronale System robuste akustische Marker nutzen, mit deren Hilfe einzelne bedeutungsrelevante Einheiten identifiziert werden können. Eines der Ziele neurowissenschaftlicher Forschung zur Sprachverarbeitung besteht in der Bestimmung dieser akustischen Marker (Marrs Ebene 1).

Zwei Entwicklungen der letzten Jahrzehnte sind für die Erforschung dieser Mechanismen besonders wichtig: (1) Neue elektrophysiologische Methoden liefern zeitliche und räumlich hochaufgelöste Aufnahmen neuronaler Aktivität vom menschlichen Gehirn, wie sie sonst nur im Tiermodell möglich sind; (2) moderne analytische Verfahren ermöglichen Studien mit natürlicher kontinuierlicher Sprache.

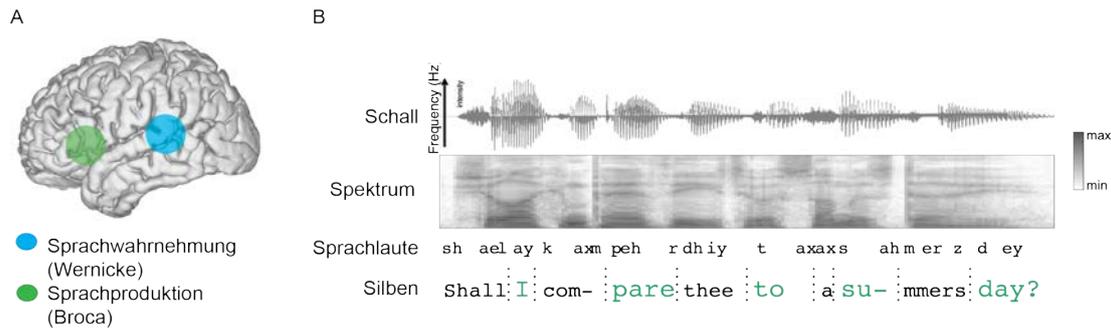


Abbildung 1. A. Lokalisierung des Wernicke-Areals im posterioren Temporallappen und des Broca-Areals im inferioren Frontallappen. Neuere Studien der Sprachwahrnehmung zeigen, dass auch weitere temporale und frontale Areale für die Sprachwahrnehmung kritisch sind. Zudem hat moderne Bildgebung die starke Dissoziation zwischen Wernicke- und Broca-Areal und ihre Assoziation mit Wahrnehmung bzw. Produktion abgeschwächt. Doch die zentrale Rolle dieser beiden Regionen in der Sprachverarbeitung bleibt unumstritten. **B.** Das kontinuierliche akustische Sprachsignal wird als Abfolge diskreter bedeutungsrelevanter Einheiten wahrgenommen. Die Abfolge betonter (grün) und unbetonter (schwarz) Silben bildet die Grundlage für poetische Regelmäßigkeiten in der Sprache, hier in der ersten Zeile des 18. Sonetts von W. Shakespeare.

Intrakranielle Elektroenzephalographie

Direkte intrakranielle Elektroenzephalographie (iEEG) erlaubt es, die kortikale Verarbeitung von Sprache in Echtzeit zu verfolgen, und lokale neuronale Spezialisierung auf verschiedene Aspekte des Sprachsignals zu beschreiben. IEEG ist bis dato die einzige Methode, die es erlaubt, neuronale Aktivität beim Menschen mit hoher zeitlicher ('Neurowissenschaft' zu sagen dauert weniger als zwei Sekunden) und räumlicher (der Sprachkortex im STG ist nur ein paar Zentimeter groß) Auflösung aufzunehmen (Parvizi & Kastner, 2018; Yi et al., 2019). IEEG kann nur in klinischen Kooperationen erhoben werden, üblicherweise bei Patienten mit schweren Formen der Epilepsie, die medikamentös nicht behandelt werden kann. In diesen Fällen werden Epilepsieherde operativ lokalisiert und anschließend entfernt. Zur Lokalisierung werden Patienten für einige Tage bis Wochen subdurale Elektrodenarrays (Elektrokortikographie, ECoG) oder Tiefenelektroden (stereo-EEG) eingesetzt. In dieser Zeit kann neuronale Aktivität an Elektrodenkontakten, die in gesundem Gewebe platziert wurden, abgeleitet werden. Da dabei auch oft der Sprachkortex abgedeckt ist, erlaubt diese Methode einen unvergleichlichen Einblick in kortikale Sprachverarbeitung. So lassen sich neuronale Populationen identifizieren, die zwar nur wenige Millimeter voneinander entfernt liegen, aber selektiv auf verschiedene Sprachlaute reagieren (z.B. Konsonanten vs Vokale, (Mesgarani et al., 2014)).

Neuronale Verarbeitung kontinuierlicher sensorischer Signale

Klassische Experimente in den kognitiven Neurowissenschaften verwenden sorgfältig konzipierte Stimuli, bei denen nur wenige zentrale Faktoren gezielt manipuliert werden. So werden beispielsweise Zielwörter möglichst konstant gehalten, während ausschließlich der semantische Kontext im Satz variiert wird – etwa, um Kontexteffekte zu untersuchen. Daten aus solchen Studien sind statistisch einfach zu analysieren, aber nur sehr begrenzt mit alltäglicher Sprache vergleichbar (Hamilton & Huth, 2020). Es ist daher sehr wichtig, dass wir dank moderner analytischer Methoden und großer Rechenleistung zunehmend auch mit natürlichem Sprachmaterial arbeiten können. Solche Sprachmaterialien zeichnen sich durch komplexe Narrative, unterschiedliche Sprecherstimmen sowie natürliche Konversationsdynamiken aus. Entscheidend dabei ist, dass solche komplexen Stimuli mithilfe von automatischen Sprachverarbeitungssystemen präzise annotiert werden können: Wir können markieren, wann einzelne Worte starten und welche Sprachlaute in ihnen enthalten sind. Zudem können mithilfe großer Sprach-

modelle (wie GPT, um nur ein prominentes Beispiel zu nennen) die Rollen einzelner Wörter im Satz analysiert und quantifiziert werden (Brodbeck et al., 2018). Moderne statistische Modelle erlauben es uns, in einem Datensatz gleichzeitig die Effekte akustischer, phonetischer und semantischer Informationen auf evolierte kortikale Potenziale zu modellieren (Crosse et al., 2024; Holdgraf et al., 2017).

Kortikale Verarbeitung der Silbenstruktur

Ein Beispiel für die Anwendung dieser Methoden sind unsere Arbeiten zur kortikalen Verarbeitung der Hüllkurve des Sprachsignals (Oganian et al., 2023; Oganian & Chang, 2019; Qi et al., 2025). Betrachtet man das akustische Sprachsignal, fallen sofort regelmäßige Fluktuationen zwischen Bereichen mit niedriger und hoher Intensität auf. Diese Fluktuationen entsprechen in etwa der Silbenstruktur im Sprachsignal: Bei Vokalen ist die Intensität am höchsten, dazwischen fällt sie ab. Es wurde beobachtet, dass Fluktuationen in der elektrischen Aktivität des Gehirns den Fluktuationen der Sprachhüllkurven ähneln. Daraufhin wurde die Hypothese aufgestellt, dass unser Gehirn das Amplitudenprofil der Sprache nutzt, um das kontinuierliche Sprachsignal in einzelne Silben zu segmentieren (Ghitza, 2012). Hier wird also basierend auf einer Beschreibung des Sprachsignals (Marrs Ebene 1) und der neuronalen Implementierung (Marrs Ebene 3) eine Hypothese über neuronale Algorithmen (Marrs Ebene 2) aufgestellt. Eine klare Voraussage dieser Hypothese ist, dass insbesondere diejenigen Aspekte der Hüllkurven, die mit der Silbenstruktur korrelieren, kortikal repräsentiert werden sollten: lokale Minima oder Maxima.

Oganian & Chang (2019) nutzten iEEG, um die neuronale Verarbeitung der Hüllkurven im Sprachkortex zu untersuchen. Sie fanden keine Evidenz für eine kortikale Repräsentation der Minima oder Maxima der Hüllkurven. Stattdessen entdeckten sie, dass eine kompakte Zone im mittleren STG selektiv auf akustische Kanten reagiert – also auf Momente des maximalen Amplitudenanstiegs (peakRate, Abb. 2). Wichtig ist, dass diese Reaktion auch bei stark verlangsamter Sprache erhalten blieb. Das zeigt, dass es sich um die Erkennung von Kanten handelt, nicht um eine kontinuierliche Abbildung der Amplitude. Damit wurde nicht nur eine neue Spezialisierung kortikaler Populationen entdeckt – auch die gängige Theorie zur Verarbeitung der Silbenstruktur gerät dadurch auf den Prüfstand.

Was kann diese Repräsentation der Hüllkurven zur Sprachverarbeitung beitragen? Phonetisch zeigt ein genauerer Blick auf die akustischen Kanten, dass hier meistens ein Übergang von Konsonanten zu Vokalen stattfindet. Algorithmisch könnte diese Repräsentation zur Segmentierung von Silben beitragen, oder

aber eine andere Funktion erfüllen. In der Tat fanden Oganian und Chang (2019) auch, dass die Schärfe akustischer Kanten mit der Betonungsstruktur zusammenhängt. Dadurch könnten akustische Kanten die Grundlage für einen biologischen Code

für Silbentiming und metrische Betonung sein. Unsere laufenden Studien untersuchen, ob akustische Kanten tatsächlich dazu dienen, betonte (d.h. besonders informative) Silben zu identifizieren.

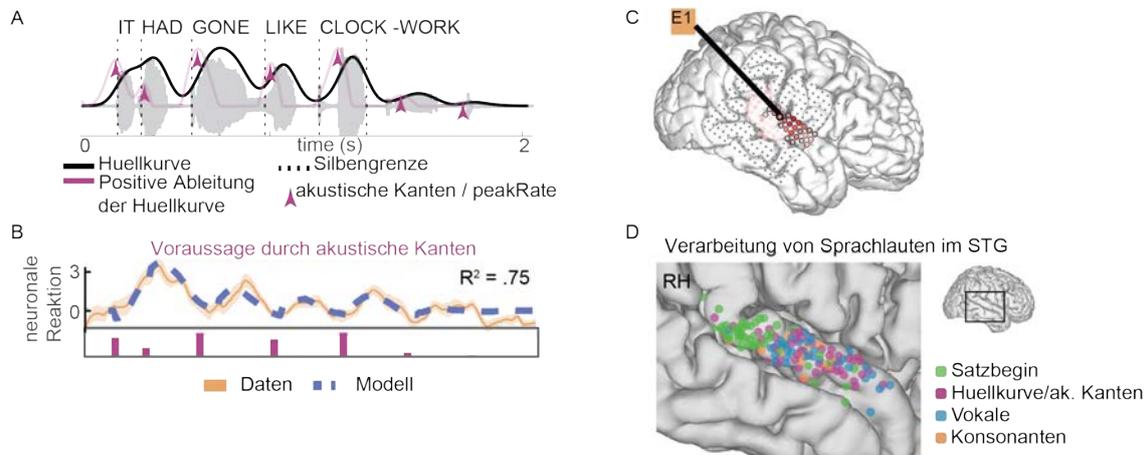


Abbildung 2 (nach Oganian & Chang, 2019). **A.** Beispielsatz aus dem Stimulusmaterial der Studie sowie **B.** Neuronale Reaktion dazu und ihre Rekonstruktion aus einem Modell, das allein eine kortikale Reaktion auf akustische Kanten annimmt. **C.** Lokalisierung der Beispielelektrode aus B. im mittleren STG. **D.** Verteilung neuronaler Populationen mit Selektivität für unterschiedliche Aspekte des Sprachsignals auf dem STG. Hier wird die Unterteilung in posterioren STG, mit Selektivität für Satzanfänge, und den mittleren STG mit Verarbeitung des Sprachsignals deutlich (Hamilton et al., 2018).

Sprachrhythmen – oszillatorische Synchronisation oder evozierte Potenziale?

Eine einflussreiche Theorie der Sprachverarbeitung besagt, dass endogene kortikale Oszillationen durch die Hüllkurve mit dem Sprachsignal synchronisiert werden. Diese Synchronisierung ermögliche den Zeitpunkt der nächsten Silbe voraussagen, sodass diese effizienter verarbeitet werden kann (Giraud & Poeppel, 2012; Obleser & Kayser, 2019; Peelle et al., 2013). Als Beleg für diese Synchronisierung wird eine erhöhte Phasenanpassung (PLV: phase locking value) der Hirnoszillationen an das Sprachsignal genommen. Diese zeigt sich nach einer Fouriertransformation von Elektroenzephalographie (EEG) -oder Magnetoenzephalographie (MEG) -Daten mittels Fourier-Analyse im sogenannten Delta-Theta Frequenzbereich (1-9 Hz). Allerdings kann eine erhöhte PLV auch durch evozierte Potenziale zu sensorischen Stimuli hervorgerufen werden. Basierend auf der Entdeckung der neuronalen Repräsentation der akustischen Kanten testeten Oganian et al. (2023) in einer Folgestudie, ob die Phasenanpassung an die Sprachhüllkurven durch oszillatorische Synchronisation oder evozierte Potenziale zu akustischen Kanten hervorgerufen wird. Hervorzuheben ist, dass diese Studie aus beiden Theorien explizite mathematische Modelle ableitet, so dass ihre Voraussagen direkt mit der Datenlage verglichen werden konnten. Sie fanden, dass evozierte Potenziale die neuronalen Daten besser erklären als oszillatorische Synchronisation, entgegen gängiger Interpretation. Mithilfe dieser Modelle können zukünftige Studien Bedingungen testen, unter denen andere akustische Marker zur Synchronisation kortikaler Oszillationen führen könnten.

Klinische Relevanz: Legasthenie und Autismus-spektrum-Störungen

Diese Ergebnisse sind auch maßgebend für unser Verständnis verschiedener Störungsbilder der Sprachverarbeitung. Eine Einschränkung besteht jedoch darin, dass iEEG zwar sehr gut geeignet ist, um den neuronalen Code genau zu bestimmen,

wegen seiner invasiven Natur aber nicht gezielt in unterschiedlichen klinischen Kohorten eingesetzt werden kann. Der Nutzen der wissenschaftlichen Erkenntnisse aus intrakraniellen Studien für klinische Populationen hängt daher von der Ableitung verhaltensbezogener und nicht-invasiver Proxys für dieselben Prozesse ab. Zwei Beispiele - eins zur Legasthenie (Developmental Dyslexia, DD) und eins zu Autismusspektrumstörungen - zeigen, wie der Brückenschlag zwischen iEEG und nicht-invasiver Bildgebung in klinischen Kohorten gelingen kann. Beide Beispiele zeigen einen allgemeinen Ansatz für die Skalierung von intrakraniellen Befunden auf spezielle Kohorten: (1) Identifizierung relevanter neuronaler Prozesse mit hoher räumlicher und zeitlicher Spezifität im iEEG (z.B. die Kantenerkennung) (2) Entwicklung einer Verhaltensaufgabe, die diese Prozesse isoliert (z.B. Verarbeitung der akustischen Kantenschärfe). (3) Validierung durch nicht-invasive neuronale Indizes (M/EEG-Phasenanpassung; kortikale Faltung im MRT). (4) Verknüpfung dieser Indizes mit funktionellen Ergebnissen in großen, heterogenen Kohorten.

Eine häufige Alltagsbeschwerde von Kindern mit DD ist, dass Sprachlaute „verschwommen“ erscheinen, insbesondere wenn Hintergrundgeräusche vorhanden sind (Van Hirtum et al., 2021). Auch zeigen Verhaltensdaten, dass die Verarbeitung akustischer Kanten in dieser Gruppe beeinträchtigt ist. Basierend auf den intrakraniellen Befunden zur Verarbeitung der Hüllkurve testeten Qi et al. (2025) 110 Kinder im Schulalter mit einer nicht-sprachlichen Aufgabe zu akustischen Kanten und einer Aufgabe zur Verarbeitung von Sprache vor einem verrauschten Hintergrund (Speech-in-Noise, SiN). Anatomische Bildgebung mithilfe von Magnetresonanztomographie in denselben Kindern zeigten, dass die Verarbeitung akustischer Kanten mit der lokalen Faltung des posterioren STG kovariiert, während die SiN-Leistung mit der Faltung des mittleren STG zusammenhängt, einem Index neuroanatomischer Entwicklung (Caverzasi et al., 2018). Dieser Befund bestätigt genau die aus dem iEEG abgeleitete kortikale Karte des posterioren STG (Hamilton et al., 2018; Oganian & Chang, 2019). Eine Mediationsmodellierung unterstützt einen kausalen Zusammenhang zwischen der kortikalen Faltung des posterioren STG, der Verarbeitung akustischer

Kanten und der Lesefähigkeit. Interessant war auch, dass diese Zusammenhänge unabhängig von der DD-Diagnose Bestand hatten. Die Verarbeitung akustischer Kanten wird somit als skalierbarer Marker erkannt: beide Verhaltensaufgaben zeigen subklinische Varianz in der Kantenkodierung über das gesamte Lesekontinuum hinweg an. Van Hirtum et al. (2021) haben bereits Hüllkurvenverstärkungsalgorithmen angewandt, die die Amplitudenanstiege verstärken; bei 90 Lesern und Leserinnen

mit Legasthenie im Schulalter normalisierte diese passive Manipulation sofort die SiN-Werte im Vergleich zu Gleichaltrigen. Diese Befunde legen nahe, dass auch funktionelle Marker der Verarbeitung akustischer Kanten in M/EEG in dieser Population mit Lesefähigkeiten korreliert sein werden. Ein experimenteller Test dieser Hypothese, um Struktur, Funktion und Verhalten vollständig zu verbinden, steht noch aus.

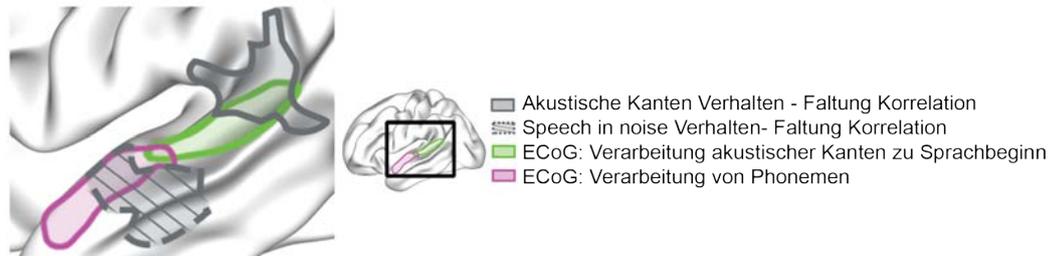


Abbildung 3 (nach Qi et al. 2025). Anatomische Ko-lokalisierung der intrakraniellen Befunde zur Verarbeitung von akustischen Kanten und der Korrelationen zwischen Verhalten und kortikaler Faltung.

Autistische Personen haben Schwierigkeiten mit der Interpretation von Betonungsmustern in der Sprache, die sowohl affektive Informationen als auch die Abfolge von Gesprächspartnern markieren (Sturrock et al., 2022). Intuitiv wird hierfür ein Mangel in der „sozialen“ Kognition verantwortlich gemacht (Chevallier et al., 2012). In den letzten Jahren haben jedoch alternative Ansätze die atypische sensorische Verarbeitung von Sprachsignalen betont. Dies wird durch neuroanatomische und funktionelle Unterschiede in subkortikalen und kortikalen Sprachverarbeitungsregionen bei Autismus gestützt (Schelinski et al., 2022; Schelinski & Von Kriegstein, 2023). Es gibt also mehrere Erklärungsansätze für Schwierigkeiten bei der prosodischen Verarbeitung, doch ein Konsens über die zugrunde liegenden Mechanismen ist nach wie vor schwer zu finden. Das Modell der Kantenkodierung bietet ein funktionelles Modell für die abweichende akustische Verarbeitung prosodischer Muster: Wenn das akustische Signal ungenau auf den Kontext normiert wird, kann auch die soziopragmatische Kommunikation in Mitleid gezogen werden. In der Tat war ein weiterer Befund von Oganian et al. (2023), dass die evozierten Potenziale zu akustischen Kanten bezüglich der Sprechrate normiert werden – eine Kontextanpassung, die bei Autismus reduziert sei könnte (Binur et al., 2022). Aufbauend auf diesen Ergebnissen rekrutiert ein laufendes Projekt unserer Gruppe autistische und typisch entwickelte Erwachsene für eine MEG-Studie zur Verarbeitung von spontansprachlichen Dialogen und prosodischen Strukturen. Wir erwarten, dass autistische Hörer und Hörerinnen eine geringere Präzision und eine andere Dynamik in der Kontextanpassung der Repräsentation akustischer Kanten haben, als typisch entwickelte Erwachsene. Zudem vermuten wir, dass diese neuronalen Messgrößen die Fähigkeit zur soziopragmatischen Kommunikation besser vorhersagen werden als herkömmliche soziokognitive Messungen.

Zusammengenommen zeigen die bisherigen iEEG-Ergebnisse ein zeitliches und räumliches Raster für die Verarbeitung von Silben und Betonungsmustern im bilateralen Temporallappen, inklusive der als Wernicke-Areal bekannten Region. Die vorgestellte Kombination aus linguistischen Analysen, Verhaltensstudien und Elektrophysiologie bringt neue Entwicklungen sowohl für neurobiologische als auch linguistische Theorien der Sprachverarbeitung. In Verbindung mit relevanten Verhaltenskorrelaten bietet dieser Ansatz auch Impulse für die Erforschung neuer mechanistischer Erklärungen verschiedener Entwicklungsstörungen mit sprachlicher Komponente.

Referenzen

- Binder, J. R. (2015). The Wernicke area: Modern evidence and a reinterpretation. *Neurology*, 85(24), 2170–2175. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002219>
- Binur, N., Hel-Or, H., & Hadad, B.-S. (2022). Individuals with autism show non-adaptive relative weighting of perceptual prior and sensory reliability. *Autism*, 26(8), 2052–2065. <https://doi.org/10.1177/13623613221074416>
- Brodbeck, C., Hong, L. E., & Simon, J. Z. (2018). Rapid Transformation from Auditory to Linguistic Representations of Continuous Speech. *Current Biology*, 28(24), 3976–3983.e5. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.042>
- Caverzasi, E., Mandelli, M. L., Hoefft, F., Watson, C., Meyer, M., Allen, I. E., Papinutto, N., Wang, C., Gandini Wheeler-Kingshott, C. A. M., Marco, E. J., Mukherjee, P., Miller, Z. A., Miller, B. L., Hendren, R., Shapiro, K. A., & Gorno-Tempini, M. L. (2018). Abnormal age-related cortical folding and neurite morphology in children with developmental dyslexia. *NeuroImage: Clinical*, 18, 814–821. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.03.012>
- Chevallier, C., Kohls, G., Troiani, V., Brodtkin, E. S., & Schultz, R. T. (2012). The social motivation theory of autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(4), 231–239. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.02.007>
- Crosse, M. J., Zuk, N. J., Liberto, G. M. D., Nidiffer, A., Molholm, S., & Lalor, E. (2024). Linear Modeling of Neurophysiological Responses to Naturalistic Stimuli: Methodological Considerations for Applied Research. <https://doi.org/10.31234/osf.io/jbz2w>
- Ghitza, O. (2012). On the Role of Theta-Driven Syllabic Parsing in Decoding Speech: Intelligibility of Speech with a Manipulated Modulation Spectrum. *Frontiers in Psychology*, 3(JUL), 238. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00238>
- Giraud, A.-L., & Poeppel, D. (2012). Cortical oscillations and speech processing: Emerging computational principles and operations. *Nature Neuroscience*, 15(4), 511–517. <https://doi.org/10.1038/nn.3063>
- Hamilton, L. S., Edwards, E., & Chang, E. F. (2018). A Spatial Map of Onset and Sustained Responses to Speech in the Human Superior Temporal Gyrus. *Current Biology*, 28(12), 1860–1871.e4. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.04.033>
- Hamilton, L. S., & Huth, A. G. (2020). The revolution will not be controlled: Natural stimuli in speech neuroscience. *Language, Cognition and Neuroscience*, 35(5), 573–582. <https://doi.org/10.1080/01691760.2020.1811111>

- org/10.1080/23273798.2018.1499946
- Holdgraf, C. R., Rieger, J. W., Micheli, C., Martin, S., Knight, R. T., & Theunissen, F. E. (2017). Encoding and Decoding Models in Cognitive Electrophysiology. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2017.00061>
- Marr, D., & Poggio, T. (1976). From understanding computation to understanding neural circuitry. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/5782>
- Mesgarani, N., Cheung, C., Johnson, K., & Chang, E. F. (2014). Phonetic Feature Encoding in Human Superior Temporal Gyrus. *Science*, 343(6174), 1006–1010. <https://doi.org/10.1126/science.1245994>
- Obleser, J., & Kayser, C. (2019). Neural Entrainment and Attentional Selection in the Listening Brain. *Trends Cogn Sci*, 23(11), 913–926. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.08.004>
- Oganian, Y., & Chang, E. F. (2019). A speech envelope landmark for syllable encoding in human superior temporal gyrus. *Science Advances*. <https://doi.org/10.1101/388280>
- Oganian, Y., Kojima, K., Breska, A., Cai, C., Findlay, A., Chang, E. F., & Nagarajan, S. S. (2023). Phase Alignment of Low-Frequency Neural Activity to the Amplitude Envelope of Speech Reflects Evoked Responses to Acoustic Edges, Not Oscillatory Entrainment. *Journal of Neuroscience*, 43(21), 3909–3921. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1663-22.2023>
- Parvizi, J., & Kastner, S. (2018). Promises and limitations of human intracranial electroencephalography. *Nature Neuroscience*, 21(4), Article 4. <https://doi.org/10.1038/s41593-018-0108-2>
- Peelle, J. E., Gross, J., & Davis, M. H. (2013). Phase-locked responses to speech in human auditory cortex are enhanced during comprehension. *Cerebral Cortex*, 23(6), 1378–1387. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs118>
- Qi, T., Mandelli, M. L., Watson Pereira, C. L., Wellman, E., Bogley, R., Licata, A. E., Miller, Z. A., Tee, B. L., De Leon, J., Chang, E. F., Oganian, Y., & Gorno-Tempini, M. L. (2025). Anatomical and behavioural correlates of auditory perception in developmental dyslexia. *Brain*, 148(3), 833–844. <https://doi.org/10.1093/brain/awae298>
- Rutten, G.-J. (2022). Chapter 2 - Broca-Wernicke theories: A historical perspective. In A. E. Hillis & J. Fridriksson (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (Vol. 185, pp. 25–34). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823384-9.00001-3>
- Schelinski, S., Tabas, A., & Von Kriegstein, K. (2022). Altered processing of communication signals in the subcortical auditory sensory pathway in autism. *Human Brain Mapping*, 43(6), 1955–1972. <https://doi.org/10.1002/hbm.25766>
- Schelinski, S., & Von Kriegstein, K. (2023). Responses in left inferior frontal gyrus are altered for speech-in-noise processing, but not for clear speech in autism. *Brain and Behavior*, 13(2), e2848. <https://doi.org/10.1002/brb3.2848>
- Sturrock, A., Guest, H., Hanks, G., Bendo, G., Plack, C. J., & Gowen, E. (2022). Chasing the conversation: Autistic experiences of speech perception. *Autism & Developmental Language Impairments*, 7, 23969415221077532. <https://doi.org/10.1177/23969415221077532>
- Van Hirtum, T., Ghesquière, P., & Wouters, J. (2021). A Bridge over Troubled Listening: Improving Speech-in-Noise Perception by Children with Dyslexia. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 22(4), 465–480. <https://doi.org/10.1007/s10162-021-00793-4>
- Yi, H. G., Leonard, M. K., & Chang, E. F. (2019). The Encoding of Speech Sounds in the Superior Temporal Gyrus. *Neuron*, 102(6), 1096–1110. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.04.023>



Dr. Peter Bang

Center for Integrative Neuroscience
Medical Faculty, University Tuebingen
Ottofried-Müller-Str. 25
72076 Tübingen
peter.bang@uni-tuebingen.de
ORCID: 0000-0003-3830-8708

Dr. Bang studierte Psychologie an der Aalborg Universität in Dänemark und promovierte in Neurowissenschaften an der Linköping Universität in Schweden. Seit 2024 ist er Postdoktorand im „Human Verbal Communication Lab“ von Dr. Yulia Oganian am Werner Reichardt Centrum für Integrative Neurowissenschaften der Universität Tübingen. Seine Forschung konzentriert sich auf die neuronale Verarbeitung prosodischer Merkmale in natürlicher Sprache. Mithilfe von Magnetenzephalographie (MEG) untersucht er, wie akustische Hinweise im Sprachsignal – wie etwa Betonung und Rhythmus – zur Sprachverarbeitung beitragen, insbesondere im Kontext neurodiverser Kommunikationsprofile. Ziel seiner Arbeit ist es, neurophysiologisch fundierte Marker für individuelle Unterschiede in der Sprachverarbeitung zu identifizieren und zur Entwicklung dimensionaler Endophänotypen beizutragen.



Dr. Yulia Oganian

Center for Integrative Neuroscience
Medical Faculty, University Tuebingen
Ottofried-Müller-Str. 25
72076 Tübingen
yulia.oganian@uni-tuebingen.de
ORCID: 0000-0002-3451-8938

Dr. Oganian studierte Mathematik, Psychologie und Kognitionswissenschaften in Freiburg und Jerusalem und promovierte in Psychologie an der Freien Universität und dem Bernstein Center for Computational Neuroscience in Berlin. Nach einem Postdocaufenthalt an der University of California, San Francisco, leitet Dr. Oganian seit 2021 die AG 'Human Verbal Communication' am Werner Reichardt Centrum für Integrative Neurowissenschaften der Universität Tübingen. Ihre Arbeitsgruppe arbeitet interdisziplinär zwischen Neurowissenschaften, Psychologie und Psycholinguistik, um die neuronale Verarbeitung akustischer und linguistischer Strukturen im Sprachsignal zu verstehen. Ein besonderer Fokus der AG ist in der Verarbeitung natürlicher kontinuierlicher Sprache in spontanen Interaktionen.

Wissenschaftlicher Beitrag

Claudia Roswadowitz*

Neurokognitive Perspektive auf stimmbasierte soziale Interaktionen im digitalen Zeitalter

Abstract

Until recently, the human voice was a uniquely human characteristic. However, the development of voice synthesis technologies has changed this. Advances in this field now make it possible to generate artificial voices of increasing quality. The use of such synthetic voices, for example in artificial assistants, has great potential in fields such as medicine and education.

To tap the full potential, artificial voices must be perceived just as social and convincing as natural voices. However, a neurocognitive study shows that the brain clearly distinguishes between natural and artificial voices, even when they are subjectively perceived as similar. The brain makes this distinction based on two factors: the acoustic quality and the social relevance of the artificial voices.

Future research should therefore aim to identify the vocal characteristics necessary to create artificial voices that are not only technically sophisticated but also socially relevant. This is an essential requirement for their successful use in socially sensitive areas such as healthcare and education.

Keywords: artificial voice, social interaction, neural reward system, mental voice representation, voice synthesis

Zusammenfassung

Bis vor kurzem war die Stimme ein ausschließlich menschliches Merkmal. Mit dem Aufkommen moderner Stimmstechnologien hat sich dies grundlegend geändert. Die Fortschritte in diesem Bereich ermöglichen heute die Erzeugung künstlicher Stimmen, deren Qualität zunehmend mit der natürlichen Stimme vergleichbar ist. Der Einsatz solcher synthetischen Stimmen, etwa in virtuellen Assistenten, birgt großes Potenzial in Anwendungsfeldern wie Medizin und Bildung.

Damit dieses Potenzial voll ausgeschöpft werden kann, müssen künstliche Stimmen als ebenso glaubwürdig und überzeugend wahrgenommen werden wie natürliche Stimmen. Eine neurokognitive Studie zeigt jedoch, dass das Gehirn klar zwischen natürlichen und künstlichen Stimmen unterscheidet. Und zwar auch dann, wenn sie subjektiv als ähnlich empfunden werden. Das Gehirn unterscheidet im Wesentlichen anhand von zwei Faktoren: der akustischen Qualität und der sozialen Relevanz der Stimme.

Zukünftige Forschung sollte daher klären, welche stimmlichen Merkmale notwendig sind, um künstliche Stimmen zu erzeugen, die nicht nur technisch ausgereift, sondern auch sozial glaubwürdig sind. Dies ist eine Voraussetzung für ihren erfolgreichen Einsatz in sozialen Bereichen wie der Gesundheitsversorgung und Bildung.

* Corresponding author: **Claudia Roswadowitz**

Professur Kognitive und Klinische Neurowissenschaft, Fakultät Psychologie, Technische Universität Dresden, Chemnitz Str. 48b, 01187 Dresden, Germany

claudia.roswadowitz@mailbox.tu-dresden.de

ORCID: 0000-0003-1688-6494

Schlüsselwörter: künstliche Stimmen, soziale Interaktion, neuronales Belohnungssystem, mentale Stimmrepräsentation, Stimmsynthese

Soziale Interaktionen zwischen Menschen und die Rolle der natürlichen Stimme

Die Stimme transportiert so viel mehr als den sprachlichen Inhalt. Sie ist ein zentrales Instrument der paralinguistischen sozialen Interaktion. Also dem Austausch zwischen Menschen, der über den sprachlichen Kontext hinaus geht. Die Stimme gibt Einblicke in eine Vielzahl sozialer und emotionaler Informationen, die unser Bild von Gesprächspartner:innen prägen. Anhand stimmlicher Merkmale lassen sich physische Eigenschaften der Sprecher:innen wie Geschlecht, Alter oder Gesundheitszustand einschätzen (Sorokowski et al., 2024). Ebenso ist die Stimme wichtig, um die Identität einer Person zu erkennen (Roswadowitz et al., 2014). Darüber hinaus vermittelt die Stimme soziale Attribute wie Vertrauenswürdigkeit, Kompetenz oder Dominanz (Belin et al., 2017a; Schirmer et al., 2020; Sorokowski et al., 2024). Solche ersten stimmlichen Eindrücke beeinflussen maßgeblich den weiteren Verlauf sozialer Interaktionen. Wird eine Stimme beispielsweise als vertrauenswürdig wahrgenommen, ist es wahrscheinlicher, dass wir einen Rat dieser Person einholen und befolgen (Torre et al., 2020).

Da sich stimmliche Ersteindrücke innerhalb von Millisekunden formen (Lavan, 2023; Lavan et al., 2024) und über verschiedene Zuhörer:innen hinweg konsistent sind (McAleer et al., 2014; Belin et al., 2017b; Sorokowski et al., 2024), liegt die Annahme nahe, dass die Stimme eine evolutionäre Relevanz für soziale Interaktionen hat (Kreiman, 2024).

Untersuchungen deuten darauf hin, dass die menschliche Stimme in einem mehrdimensionalen Stimmraum repräsentiert wird (Baumann and Belin, 2010; Lee et al., 2019, Roswadowitz et al., unveröffentlichte Daten), wobei einzelne Dimensionen spezifische akustische Parameter wie Tonhöhe, Harmonizität oder Rhythmus abbilden. Erste Studien deuten darauf hin, dass durch das Zusammenspiel akustischer Dimensionen Rückschlüsse auf Sprecher:innen gezogen werden können, etwa hinsichtlich Identität (Lavner et al., 2000, Baumann and Belin, 2010, Roswadowitz et al., unveröffentlichte Daten) oder sozialer Eigenschaften (Bruckert et al., 2010). Welches Set von akustischen Stimmmerkmale kausal die soziale Einschätzung des Sprechers beeinflusst, ist Gegenstand aktueller Forschung und noch nicht abschließend verstanden.

Künstliche Stimmen und ihre Anwendung in sozialen Interaktionen

Lange galt die menschliche Stimme als ein einzigartiges Merkmal des Menschen. Doch mit den Fortschritten in der Stimmstechnologie hat sich dieses Bild grundlegend gewandelt. Stimmstechnologie bezeichnet die computergestützte Erzeugung künstlicher Stimmen. Bereits im 18. und 19. Jahrhundert ahmten erste mechanische Sprachmaschinen menschliche Artikulation nach. Spätere computergestützte Systeme setzten auf konkatentative Synthese, bei der vorab aufgenommene Sprachsegmente regelbasiert zusammengesetzt wurden. Im Vordergrund stand dabei vor allem die sprachliche Verständlichkeit. Erst durch den Einsatz neuronaler Netze wurde ein qualitativer Sprung erreicht: Mit KI-gestützten Verfahren der parametrischen Synthese entstehen heute künstliche Stimmen, die nicht nur gut verständlich, sondern auch in ihrer Klangqualität immer besser werden (Sisman et al., 2021). Dass künstliche Stimmen zunehmend als

„natürlich“ wahrgenommen werden, liegt vor allem an der verbesserten Nachbildung paralinguistischer Merkmale wie etwa der Prosodie (Kane et al., 2024). Moderne neuronale Verfahren ermöglichen darüber hinaus das Klonen individueller Stimmen, sogenannter Deepfake-Stimmen (Dagar and Vishwakarma, 2022; Khanjani et al., 2023).

Diese technologischen Entwicklungen verändern grundlegend, wie wir stimmliche Informationen nutzen und wahrnehmen. Da die Stimme eine zentrale Rolle in der sozialen Kommunikation spielt (Sidtis & Kreiman 2012), werden künstliche Stimmen zunehmend in intelligente Systeme integriert. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig und haben sowohl positive als auch potenziell problematische Auswirkungen. In der öffentlichen Debatte stehen aktuell vor allem die Risiken im Vordergrund, etwa durch Deepfake-Stimmen im Kontext von Betrug oder politischer Manipulation (Diakopoulos & Johnson, 2021, Flitter & Cowley, 2023).

Gleichzeitig eröffnen sich zahlreiche vielversprechende Anwendungsmöglichkeiten künstlicher Stimmen in Forschung, Medizin und Bildung. Beispielsweise könnten Fragestellungen der sozialen Neurowissenschaften adressiert werden. Synthetische Stimmen, die entlang einer sozialen Dimension manipuliert sind, können kausale Erkenntnisse über die neuronale Verarbeitung dieses sozialen Merkmals liefern. Im therapeutischen Kontext könnten stimmbasierte virtuelle Interventionen eine sinnvolle Ergänzung zu klassischen Therapieformen sein, etwa für Menschen im Autismus-Spektrum (Karami et al., 2021). Auch personalisierte Assistenzsysteme, die mit vertrauten Stimmen sprechen, könnten dazu beitragen, Desorientierung bei Menschen mit Demenz oder Alzheimer zu verringern (Dada et al., 2024). Ein weiteres medizinisches Einsatzfeld sind individualisierte Kommunikationssysteme für Patienten, die ihre Stimme verloren haben (Veaux et al., 2013; Gonzalez-Lopez et al., 2020). In Bildungskontexten wiederum können künstliche Stimmen als virtuelle Lernbegleiter den Zugang zu individualisiertem Lernen fördern (Sin and Barkhaya, 2025). Diese Beispiele verdeutlichen

Stimmen den Alltag verbessern sollen, gilt es insbesondere zu erforschen, wie das menschliche neurokognitive System auf künstlich erzeugte soziale Signale reagiert und welche Merkmale darüber entscheiden, ob eine Stimme als „echt“ und sozial authentisch wahrgenommen wird.

Neurokognitive Einblicke in die Akzeptanz künstlicher Stimmen in sozialen Interaktionen

Die technische Entwicklung der Stimm synthese schreitet kontinuierlich voran und ermöglicht die Erzeugung künstlicher Stimmen mit zunehmender Qualität. Erste Wahrnehmungsstudien zeigen, dass künstliche Stimmen seltener korrekt identifiziert werden, sie werden zunehmend als natürlich eingestuft (Ahmed and Chua, 2023; Mai et al., 2023). Dennoch zeigt sich, dass die Akzeptanz künstlicher Stimmen vom Kontext abhängig ist (Cambre and Kulkarni, 2019). Während sie in nicht-sozialen Anwendungsbereichen wie Navigation oder Wirtschaft relativ bereitwillig angenommen werden, ist die Akzeptanz in sozialen Kontexten, etwa in der Pflege oder zwischenmenschlichen Interaktion, deutlich geringer (Schreibelmayer and Mara, 2022). Allerdings steigt auch hier die Akzeptanz mit zunehmender Qualität der künstlichen Stimmen (Schreibelmayer and Mara, 2022).

In einer aktuellen Studie kombinierten meine Kollegen:innen und ich Wahrnehmungsexperimente mit bildgebenden Verfahren der funktionalen Magnetresonanztomographie (fMRT) und konnten zeigen, dass Deepfake-Stimmen zwar häufig als akzeptable Varianten natürlicher Stimmen bewertet werden, das Gehirn jedoch klar zwischen Deepfake- und natürlichen Stimmen unterscheidet (Roswandowitz et al., 2024).

Dazu nahmen wir die Stimmen von vier männlichen Sprechern auf und generierten mithilfe moderner Syntheselgorithmen Deepfake-Versionen dieser Stimmen. Die Deepfake-Stimmen waren von hoher Qualität, wenn auch nicht alle identitätsrelevanten akustischen Parametern perfekt nachgebildet wurden (Fig.1).

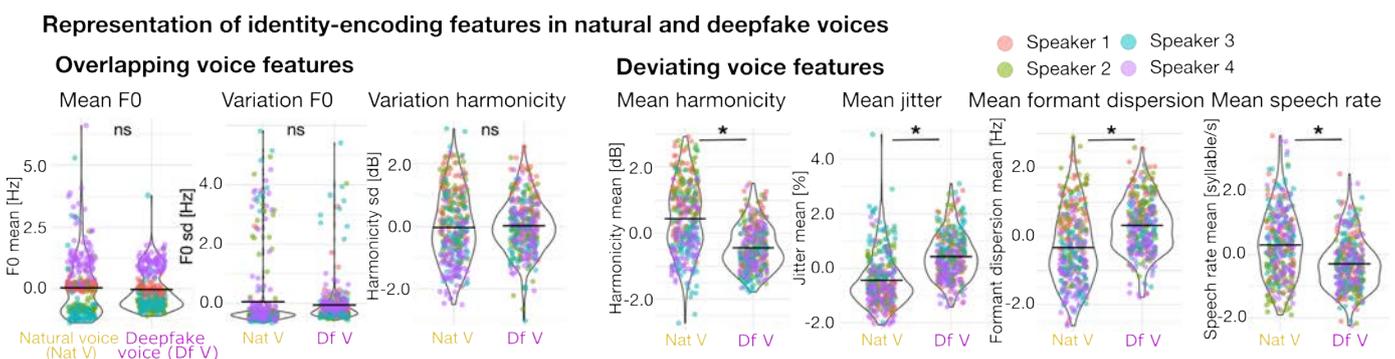


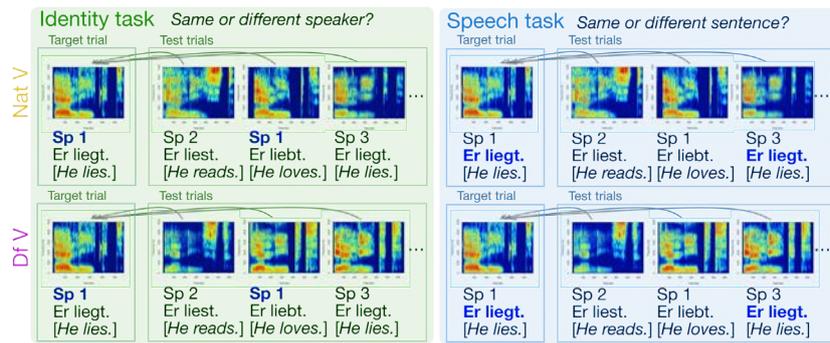
Abbildung 1: Zur besseren Visualisierung und Vergleichbarkeit der Modelle wurden die akustischen Werte skaliert. Lineare gemischte Modelle (LMMs) überprüften akustische Unterschiede zwischen natürlichen und Deepfake-Stimmen. Sternchen kennzeichnen * $p < 0.05$, Bonferroni-korrigiert für $n=7$ Modelle, Kreise zeigen satzspezifische akustische Werte mit sprecherspezifischer Farbcodierung. Horizontale Linien zeigen Mittelwerte. F0: Grundfrequenz, Hz: Hertz, ns: nicht signifikant, sd: Standardabweichung, dB: Dezibel, %: Prozent, syllable/s: Silben pro Sekunde.

das große Potenzial synthetischer Stimmen in wissenschaftlichen, klinischen und pädagogischen Anwendungsfeldern.

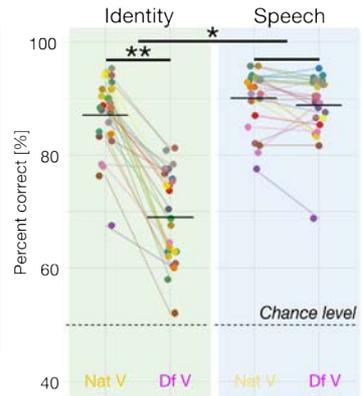
Um dieses Potenzial optimal ausschöpfen zu können, sollten zwei Aspekte im Mittelpunkt stehen: (i) die Entwicklung künstlicher Stimmen, die soziale Interaktionen ermöglichen, die ebenso glaubwürdig und überzeugend wirken wie solche mit natürlichen Stimmen, und (ii) die Einbindung des Menschen in die Qualitätssicherung synthetischer Stimmen. Da künstliche

In einer Identitätsaufgabe sollten die Teilnehmenden entscheiden, ob zwei Stimmen von derselben Person stammten (Fig.2A). In etwa zwei Drittel der Fälle wurde die Deepfake-Stimme korrekt dem jeweiligen Sprecher zugeordnet (Fig.2B). Dies verdeutlicht, dass aktuelle Deepfake-Stimmen das Potenzial haben, die Wahrnehmung von Menschen zu täuschen, auch wenn die Imitation der Identität auf akustischer Ebene noch nicht perfekt ist. Mittels fMRT konnten wir jedoch feststellen, dass das Gehirn

A fMRI matching task on speaker identity and speech content



B Accuracy of fMRI matching task



C Social ratings on natural and deepfake voices

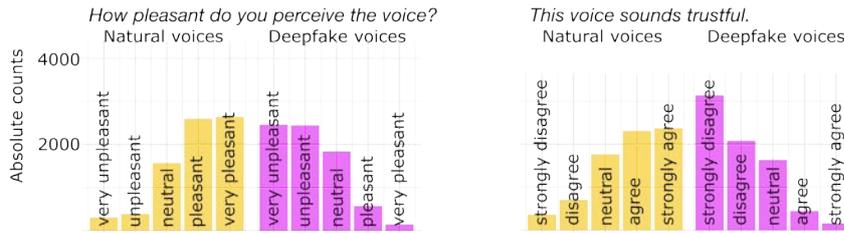


Abbildung 2: A Experimentelles Design der fMRT-Aufgabe, mit der Identitäts- und der Kontroll-Sprachaufgabe. **B** Ergebnisse der fMRT-Aufgabe. Statistik basierend auf einem LMM (nBeobachtungen=100, nTeilnehmende=25) mit Aufgabe und Klangbedingung als feste Effekte und Teilnehmenden als Zufallsfaktor. Sternchen kennzeichnen $**p < 0.0001$, $*p < 0.001$. Kreise zeigen individuelle Daten, horizontale Linien Mittelwerte. **C** Dargestellt sind die absoluten Häufigkeiten der Bewertungen der Teilnehmenden (n=25) zu Sympathie und Vertrauenswürdigkeit der natürlichen und Deepfake-Stimmen.

zwischen Deepfake- und natürlicher Stimme unterscheidet. Während der Identitätsaufgabe zeigten sich Aktivitätsunterschiede in zwei Hirnarealen: dem Nucleus Accumbens (NAcc) und dem auditorischen Cortex (Fig.3A). Der NAcc, ein zentraler Bestandteil des Belohnungssystems (Bhanji and Delgado, 2014),

war weniger aktiv, wenn eine Deepfake-Stimme mit einer natürlichen Stimme abgeglichen wurde, als beim Vergleich zweier natürlicher Stimmen (Fig.3B). Eine Sprach-Kontrollaufgabe bestätigte, dass diese reduzierte Aktivität nicht allein auf Unterschiede im akustischen Signal oder die Schwierigkeit der Aufgabe

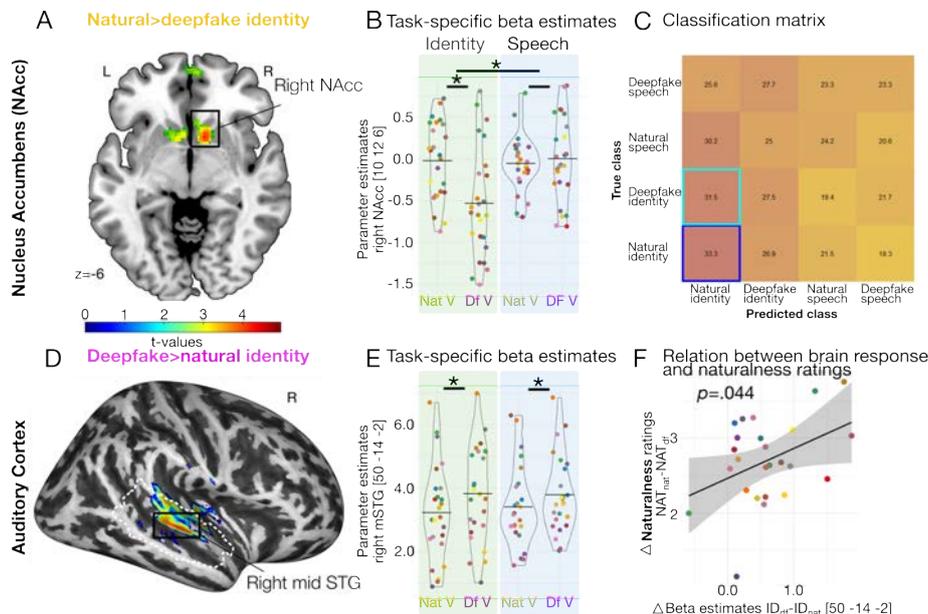


Abbildung 3: A Neuronale Aktivitätsmuster während der Identitätsaufgabe mit natürlichen Stimmen im Vergleich zu den Deepfake Stimmen. [vK11] Second-level group t-maps, $p < 0.005$, korrigiert auf Clusterebene, $k > 47$. **B** Beta-estimates im rechten NAcc für die Bedingung des Interaktionskontrasts Aufgabentyp (Identität vs Sprache) x Klangbedingung (natürlich vs Deepfake). Die Diagramme zeigen individuelle Parameterschätzungen (n=25), extrahiert aus dem in A gezeigten Kontrast. Sternchen kennzeichnen signifikante Effekte der linearen Mischmodelle (LMMs), $*p < 0.001$. Kreise zeigen individuelle Daten und horizontale Linien Mittelwerte. **C** Multivariate pattern analysis. Dekodierungsgenauigkeit im NAcc, die die Häufigkeit der vorhergesagten Klangbedingung mit der tatsächlichen Klangklasse verglichen. Farbige Rahmen kennzeichnen Dekodierungsgenauigkeiten, die signifikant über dem Zufallsniveau liegen (n = 24, Zufallsniveau 25 %, one-sampled-t-Test, $p < 0.001$). **D** Neuronale Aktivitätsmuster während der Identitätsaufgabe mit Deepfake Stimmen im Vergleich zu den natürlichen Stimmen. Second-level group t-maps, $p < 0.005$, korrigiert auf Clusterebene, $k > 47$. **E** Beta-estimates im rechten STG für die Bedingung des Interaktionskontrasts Aufgabentyp (Identität vs Sprache) x Klangklasse (natürlich vs Deepfake). Deskriptive und statistische Darstellung wie in B. **F** Streudiagramm zeigt Zusammenhang (n = 25, Regressionsmodelle, $p < 0.05$) zwischen Bewertungen der Stimmnatürlichkeit und Aktivität im rechten STG.

zurückzuführen war (Fig.3B). Vielmehr scheint der NAcc spezifisch die Identitätsinformation natürlicher Stimmen zu repräsentieren (Fig.3C).

Wir vermuten, dass die geringere NAcc Reaktion durch zwei Faktoren erklärt werden kann. Erstens wurden die Deepfake-Stimmen mit einer geringeren sozialen Relevanz assoziiert. Sie wurden als weniger angenehm und vertrauenswürdig wahrgenommen (Fig.2C). Zweitens waren sie für die Identitätsaufgabe weniger belohnend, da sie zwar qualitativ hochwertig, aber nicht vollkommen identitätsgetreu waren. Das Belohnungssystem reagierte also abgeschwächt, wenn eine Deepfake-Stimme verarbeitet wurde.

Das zweite Hirnareal, bei dem wir Aktivierungsunterschiede gefunden haben, scheint dagegen genau auf den akustischen Unterschied zwischen natürlicher und Deepfake-Stimme zu reagieren. Der auditorische Cortex, zuständig für die akustische Analyse von Stimmen (von Kriegstein et al., 2006, 2010; Staib and Frühholz, 2022), war aktiver, als die Identität zwischen Deepfake und natürlicher Stimme abgeglichen wurde (Fig.3D/E). Wir vermuten, dass dieses Areal auf die noch nicht perfekte akustische Imitation der Deepfake-Stimmen reagiert und versucht, die fehlende akustische Information zu kompensieren. Je unnatürlicher die Deepfake-Stimme im Vergleich zur Originalstimme wahrgenommen wurde, desto grösser waren die Aktivitätsunterschiede im auditorischen Cortex (Fig.3F).

Diese Studie zeigt, dass bildgebende Verfahren entscheidende Einblicke in die neuronalen Grundlagen der Akzeptanz künstlicher Stimmen liefern. Unsere fMRT-Ergebnisse machen deutlich, dass sowohl die akustische Qualität als auch die soziale Bewertung künstlicher Stimmen zentrale Faktoren für deren Wahrnehmung sind. Künftige Studien werden zeigen, inwieweit der technische Fortschritt in der Stimmsynthese unsere Wahrnehmung und Bewertung künstlicher sozialer Signale verändern wird.

Ausblick

Künstliche Stimmen werden zunehmend zu einem festen Bestandteil unserer sozialen Interaktionen. Die zentrale Frage bleibt jedoch, ob sie, trotz fortschreitender Synthesetechnologien, jemals so angenehm und überzeugend klingen können wie natürliche Stimmen. Nur wenn künstliche Stimmen sozial glaubwürdig und ansprechend sind, lässt sich ihr volles Potenzial in sozialen Bereichen wie Medizin oder Bildung ausschöpfen. Zukünftig sollte daher gezielt untersucht werden, welche akustischen Merkmale entscheidend für sozial authentische und glaubwürdige Interaktionen sind. Das Zusammenspiel dieser Merkmale könnte maßgeblich dazu beitragen, künstliche Stimmen mit hoher sozialer Relevanz zu gestalten. Bildgebende Untersuchungen könnten dann untersuchen, wie das menschliche Gehirn solche qualitativ hochwertigen künstlichen Stimmen verarbeitet. Wird es ab einem bestimmten Grad an Stimmqualität aufhören, zwischen künstlichen und natürlichen Stimmen zu unterscheiden?

Referenzen

Ahmed S, Chua HW (2023) Perception and deception: Exploring individual responses to deepfakes across different modalities. *Heliyon* 9:e20383
Baumann O, Belin P (2010) Perceptual scaling of voice identity: common dimensions for different vowels and speakers. *Psychol Res Psychol Forsch* 74:110–120
Belin P, Boehme B, McAleer P (2017a) The sound of trustworthiness: Acoustic-based modulation of perceived voice

personality Sakakibara M, ed. *PLoS One* 12:e0185651
Belin P, Boehme B, McAleer P (2017b) The sound of trustworthiness: Acoustic-based modulation of perceived voice personality. *PLoS One* 12:1–9.
Bhanji JP, Delgado MR (2014) The social brain and reward: social information processing in the human striatum. *WIREs Cogn Sci* 5:61–73
Bruckert L, Bestelmeyer P, Latinus M, Rouger J, Charest I, Rousselet GA, Kawahara H, Belin P (2010) Vocal Attractiveness Increases by Averaging. *Curr Biol* 20:116–120
Cambre J, Kulkarni C (2019) One Voice Fits All? Social Implications and Research Challenges of Designing Voices for Smart Devices. *Proc ACM Hum-Comput Interact* 3
Dada S, Van der Walt C, May AA, Murray J (2024) Intelligent assistive technology devices for persons with dementia: a scoping review. *Assist Technol* 36:338–351.
Dagar D, Vishwakarma DK (2022) A literature review and perspectives in deepfakes: generation, detection, and applications. *Int J Multimed Inf Retr* 11:219–289
Diakopoulos, N., & Johnson, D. (2021) Anticipating and addressing the ethical implications of deepfakes in the context of elections. *New media & society*, 23(7), 2072–2098.
Flitter, E., & Cowley, S. (2023) Voice Deepfakes Are Coming for Your Bank Balance. *International New York Times*.
Gonzalez-Lopez JA, Gomez-Alanis A, Martin Donas JM, Perez-Cordoba JL, Gomez AM (2020) Silent Speech Interfaces for Speech Restoration: A Review. *IEEE Access* 8:177995–178021
Kane J, Johnstone MN, Szewczyk P (2024) Voice Synthesis Improvement by Machine Learning of Natural Prosody. *Sensors* 24.
Karami B, Koushki R, Arabgol F, Rahmani M, Vahabie A-H (2021) Effectiveness of Virtual/Augmented Reality-Based Therapeutic Interventions on Individuals With Autism Spectrum Disorder: A Comprehensive Meta-Analysis. *Front Psychiatry Volume* 12–2021
Khanjani Z, Watson G, Janeja VP (2023) Audio deepfakes: A survey. *Front Big Data* 5
Kreiman J (2024) Information conveyed by voice quality. *J Acoust Soc Am* 155:1264–1271.
Lavan N (2023) The Time Course of Person Perception From Voices: A Behavioral Study. *Psychol Sci*:09567976231161565
Lavan N, Rinke P, Scharinger M (2024) The time course of person perception from voices in the brain. *Proc Natl Acad Sci* 121:e2318361121
Lavner, Y., Gath, I., & Rosenhouse, J. (2000) The effects of acoustic modifications on the identification of familiar voices speaking isolated vowels. *Speech Communication*, 30(1), 9–26.
Lee Y, Keating P, Kreiman J (2019) Acoustic voice variation within and between speakers. *J Acoust Soc Am* 146:1568–1579.
Mai KT, Bray S, Davies T, Griffin LD (2023) Warning: Humans cannot reliably detect speech deepfakes. *PLoS One* 18:e0285333
McAleer P, Todorov A, Belin P (2014) How do you say 'Hello'? Personality impressions from brief novel voices. *PLoS One* 9:e90779.
Roswandowitz C, Mahner F, Hebart M, Dellwo V (unpublished). A Data-Driven Exploration of the Mental Representational Voice Identity Space
Roswandowitz C, Kathiresan T, Pellegrino E, Dellwo V, Frühholz S (2024) Cortical-striatal brain network distinguishes deepfake from real speaker identity. *Commun Biol* 7:711.
Roswandowitz C, Mathias SR, Hintz F, Kreitewolf J, Schelinski S, von Kriegstein K (2014) Two Cases of Selective Developmental Voice-Recognition Impairments. *Curr Biol* 24:2348–2353
Schirmer A, Chiu MH, Lo C, Feng YJ, Penney TB (2020) Angry,

- old, male – and trustworthy? How expressive and person voice characteristics shape listener trust. *PLoS One* 15.
- Schreibelmayr S, Mara M (2022) Robot Voices in Daily Life: Vocal Human-Likeness and Application Context as Determinants of User Acceptance. *Front Psychol* 13
- Sidtis, D., & Kreiman, J. (2012) In the beginning was the familiar voice: Personally familiar voices in the evolutionary and contemporary biology of communication. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 46, 146-159.
- Sin ACK, Barkhaya NMM (2025) Innovations of AI in Primary School's Learning: A Systematic Review. *Foster Incl Educ With AI Emerg Technol*:145-164.
- Sisman B, Yamagishi J, King S, Li H (2021) An overview of voice conversion and its challenges: From statistical modeling to deep learning. *IEEE/ACM Trans Audio Speech Lang Process* 29:132-157.
- Sorokowski P, Pisanski K, Frąckowiak T, Kobylarek A, Groycka-Bernard A (2024) Voice-based judgments of sex, height, weight, attractiveness, health, and psychological traits based on free speech versus scripted speech. *Psychon Bull Rev* 31:1680-1689
- Staib M, Frühholz S (2022) Distinct functional levels of human voice processing in the auditory cortex. *Cereb Cortex* 33:1170-1185.
- Torre I, Goslin J, White L (2020) If your device could smile: People trust happy-sounding artificial agents more. *Comput Human Behav* 105:106215.
- Veaux C, Yamagishi J, King S (2013) Towards personalised synthesised voices for individuals with vocal disabilities: Voice banking and reconstruction. In: *Proceedings of the fourth workshop on speech and language processing for assistive technologies*, pp 107-111.
- von Kriegstein K, Smith DRR, Patterson RD, Kiebel SJ, Griffiths TD (2010) How the Human Brain Recognizes Speech in the Context of Changing Speakers. *J Neurosci* 30:629-638
- von Kriegstein K, Warren JD, Ives DT, Patterson RD, Griffiths TD (2006) Processing the acoustic effect of size in speech sounds. *Neuroimage* 32:368-375.



Dr. Claudia Roswandowitz

Professur Kognitive und Klinische Neurowissenschaft,
 Fakultät Psychologie
 Technische Universität Dresden
 Chemnitzer Str. 48b
 01187 Dresden
claudia.roswandowitz@mailbox.tu-dresden.de
 ORCID: 0000-0003-1688-6494

Claudia Roswandowitz erforscht die stimmliche Dimension zwischenmenschlicher Kommunikation aus neuronaler und perzeptueller Perspektive. Im Mittelpunkt ihrer Forschung stehen das klinische Phänomen der Phonagnosie - die Unfähigkeit, Personen anhand ihrer Stimme zu erkennen -, die mentale Repräsentation stimmlicher Merkmale sowie die Verarbeitung künstlicher Stimmen. Derzeit leitet sie ein von der DFG gefördertes Projekt an der Fakultät für Psychologie der TU Dresden zur sozialen Wahrnehmung natürlicher und künstlicher Stimmen. Zuvor war sie als Postdoktorandin an der Universität Zürich tätig, sowohl am Psychologischen Institut als auch am Institut für Computerlinguistik. Ihre Promotion schloss sie 2017 am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig sowie an der Humboldt-Universität zu Berlin ab.

Wissenschaftliche Einrichtung

Emrah Düzel*, Michael R. Kreutz*

SFB 1436: Neurale Ressourcen der Kognition – Das kognitive Potenzial des Gehirns mobilisieren

Die kognitive Leistungsfähigkeit des Gehirns lässt sich innerhalb bestimmter Grenzen steigern. Im SFB 1436 erforschen wir die Neurobiologie dieser Grenzen unter gesunden und pathologischen Bedingungen.

NeurowissenschaftlerInnen haben bedeutende Fortschritte bei der Erforschung neuronaler Schaltkreise gemacht, die kognitive Prozesse steuern, und grundlegende Mechanismen kognitiver Fähigkeiten entschlüsselt. Diese Erkenntnisse – in Kombination mit modernsten bildgebenden Verfahren – ermöglichen es nun, eine der grundlegendsten Fragen der Kognitionsforschung systematisch zu untersuchen: **Welche neurobiologischen Prinzipien definieren und begrenzen die kognitiven Ressourcen des Gehirns? Und in welchem Maß können diese Ressourcen erhalten, optimiert, genutzt oder sogar erweitert werden?**

Insbesondere im Kontext des Alterns gewinnen diese Fragestellungen an Relevanz, da sich neuronale Schaltkreise an pathologische Veränderungen, wie z.B. der Akkumulation von Amyloid oder vaskulären Erkrankungen anpassen so, dass diese Veränderungen lange subklinisch und unbemerkt bleiben. Zugleich zeigen Superager, dass neuronale Ressourcen bis ins hohe Alter sehr plastisch und leistungsfähig bleiben können. Zwar versuchen Konzepte wie „kognitive Reserve“ zu erklären, weshalb manche Personen ihre kognitiven Funktionen besser aufrechterhalten als andere, doch die zugrunde liegenden neurobiologischen Mechanismen sind bislang nur unzureichend verstanden, um die translationale Forschung gezielt dabei unterstützen, das Reservepotenzial dieser neuronalen Schaltkreise zu erschließen.

Der SFB 1436: Eine interdisziplinäre Forschungsinitiative

Um diese Herausforderungen anzugehen, wurde der **Sonderforschungsbereich (SFB) 1436**, seit Januar 2021 gefördert von der **Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG, Projekt-ID 425899996)**, ins Leben gerufen und hat seit Januar 2025 seine zweite Förderperiode begonnen. Der SFB 1436 vereint mehr als 45 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 20 Projekten führender Institutionen, darunter die Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, das Deutsche Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen (DZNE) Magdeburg, das Leibniz-Institut für Neurobiologie (LIN), die Charité – Universitätsmedizin Berlin, die Georg-August-Universität Göttingen, das Universitätsklinikum Heidelberg, das DKFZ Heidelberg, die Freie Universität Berlin und die Universität Leipzig. Der SFB 1436 hat zum Ziel, Theorien zu entwickeln, die die individuelle Variabilität der Kognition über verschiedene Spezies hinweg erklären, und das Potenzial zu untersuchen, kognitive Leistungen über die gesamte

Lebensspanne hinweg zu erhalten oder zu steigern.

Während der ersten Förderperiode untersuchte der SFB 1436 grundlegende Mechanismen der Gehirnplastizität und der kognitiven Reserve bei Superagern und unter dem Einfluss pathologischer Prozesse, wie Amyloid- und Tauakkumulation und small vessel diseases. Diese Bemühungen führten zu erheblichen Fortschritten in der Biomarkerforschung, bildgebenden Verfahren und der Analyse neuronaler Schaltkreise auf der Ebene kognitiver Funktionen. In der zweiten Förderperiode strebt der SFB 1436 an, diese Erkenntnisse in angewandte und translationale Forschung zu überführen, um personalisierte Interventionen zu entwickeln, die die kognitive Leistung über die gesamte Lebensspanne hinweg erhalten und steigern. Hierzu werden die Wissenschaftler molekulare und biochemische Signalwege untersuchen – einschließlich der Tau- und Amyloidpathologie, der Auswirkungen von Schlafentzug sowie der Einflüsse umweltbedingter Faktoren –, um die Mechanismen der Gehirnplastizität besser zu verstehen. Diese Erkenntnisse sollen helfen, ein tieferes Verständnis für Super-Aging, altersbedingtem kognitive Veränderungen sowie neurodegenerativen Erkrankungen zu bekommen.

Ein mehrstufiger Ansatz zum Verständnis neuronaler Ressourcen

Der SFB wird die Erforschung kognitiver Schaltkreise mit Blutbiomarkern für subklinische Pathologie, PET-Bildgebung für Tauablagerungen und Ultra-Hochfeld-Magnetresonanztomographie (7-Tesla-MRT) mit neuesten molekularen und physiologischen Untersuchungsmethoden in Tiermodellen verknüpfen. Durch die Integration dieser konzeptionellen und technologischen Innovationen möchte der SFB 1436 die neuronalen Ressourcen über Skalen hinweg charakterisieren und so die Lücke zwischen molekularen Signalwegen und kognitiven Schaltkreisen schließen. Der SFB ist hierfür in drei miteinander verbundene Bereiche unterteilt:

- **Mikroskala (Forschungsbereich A):** Untersucht Signalmechanismen, Neuron-Glia-Interaktionen und synaptische Konnektivität in Tiermodellen und verbindet die Ergebnisse mit molekularer Bildgebung beim Menschen, z.B. um mit neuartigen PET-Tracern die synaptische Dichte in vivo zu messen.
- **Mesoskala (Forschungsbereich B):** Verwendet Ultra-Hochfeld-MRT, um schichtspezifische Strukturen und Schaltkreisfunktionen sowohl bei Menschen als auch bei nicht-menschlichen Primaten zu untersuchen.
- **Makroskala (Forschungsbereich C):** Analysiert interregionale Netzwerke des Gehirns und modelliert Reserve, Plastizität und Mobilisierbarkeit mit Hirnstimulation (focussed ultrasound)

Diese Forschungsbereiche sind durch Untersuchungen zu neurokognitiven Schaltkreisen miteinander verbunden, wobei der Fokus auf Plastizität, amyloid, tau- und vaskulärer Pathologie und Interventionen liegt. Zudem bieten drei zentrale Projekte die technologische und methodische Grundlage mit dem funktionellen Konnektom, der molekularen PET-Bildgebung sowie der Mikro- und Mesoskalen-Bildgebung.

Personalisierte kognitive Medizin

Mit diesem Forschungsrahmen verfolgt der SFB 1436 folgende Ziele:

- Möglichkeiten zur Verbesserung kognitiver Funktionen wie Gedächtnis, Navigation und kognitive Flexibilität identifizieren

* Corresponding authors:

Emrah Düzel Collaborative Research Centre 1436, IKND, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Leipziger Straße 44, 39120 Magdeburg

Michael R. Kreutz Collaborative Research Centre 1436, RG Neuroplasticity, Leibniz-Institut für Neurobiologie, Brenneckestraße 6, 39118 Magdeburg

- Erforschung des Einflusses präklinischer Pathologien auf spezifische Schaltkreise im Gehirn sowie die Untersuchung von Interventionen, die die neuronalen Ressourcen mobilisieren (z. B. Mechanismen der Aufrechterhaltung, Widerstandsfähigkeit und Resilienz)
- Mechanismen der kognitiven Reserve analysieren und den Einfluss genetischer sowie physiologischer Modifikatoren untersuchen

Durch die Integration dieser Erkenntnisse wird der SFB 1436 dazu beitragen, übergreifende Prinzipien von neuronalen Ressourcen und ihrer Beziehung zu Reserve in neurokognitiven Schaltkreisen zu definieren. Die langfristige Vision besteht da-

Scientific institution

Emrah Düzel, Michael R. Kreutz

CRC 1436: Neural Resources of Cognition – Unlocking the Full Cognitive Potential of the Brain

What is the true capability of the human brain? To what extent can its cognitive potential be further developed, and what are the limits of its memory capacity? Moreover, what molecular and cellular mechanisms underlie these processes?

Neuroscientists have made significant progress in mapping the neural circuits that drive cognition and understanding the fundamental mechanisms underlying cognitive faculties. These advancements, coupled with cutting-edge imaging technologies, now allow us to systematically address one of the most fundamental questions in cognition research: *Which neurobiological principles define and limit the brain's cognitive resources? Moreover, to what extent can these resources be preserved, optimized, exploited or even expanded?*

These questions become particularly important when considering how brain circuits adapt to pathological changes that silently accumulate with age in seemingly healthy individuals. While concepts such as *cognitive reserve* and *neural maintenance* attempt to explain why some individuals preserve cognitive function better than others, the underlying *neurobiological mechanisms remain poorly understood*. There is no established mechanistic framework to guide translational research to unlock these neural circuits' reserve potential.

The CRC 1436: A Multidisciplinary Research Initiative

To address these challenges, the *Collaborative Research Centre (CRC) 1436*, funded by the *Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG, German Research Foundation – SFB-1436 Project-ID 425899996)* since January 2021, has now entered its second funding period (January 2025 – December 2028). Bringing together over 45 scientists across 20 projects from leading institutions – including Otto von Guericke University (OVGU) Magdeburg, the German Center for Neurodegenerative Diseases (DZNE) Magdeburg, the Leibniz Institute for Neurobiology (LIN), Charité Universitätsmedizin Berlin, Georg-August University Göttingen, the University Hospital Heidelberg, the DKFZ Heidelberg, the Freie Universität Berlin, and the University of Leipzig – the CRC 1436 aims to develop theories explaining individual variability in cognition across species and explore the potential to preserve or

rin, ein umfassendes Konzept einer individualisierten kognitiven Medizin zu entwickeln, um so die Lebensqualität, insbesondere in der alternden Bevölkerung, zu verbessern.

Durch die Nutzung jüngster Fortschritte in der Bildgebung, der Biomarker-Technologie und gezielter Hirnstimulation kann der SFB 1436 die grundlegenden physiologischen Prinzipien, die die neuronalen Ressourcen steuern, entschlüsseln. Dies stellt die Grundlage für innovative, maßgeschneiderte Ansätze zur kognitiven Verbesserung und Neuroprotektion dar, um sicherzustellen, dass zukünftige Generationen ihr kognitives Potenzial über die gesamte Lebensspanne hinweg maximieren können.

enhance cognitive performance throughout lifespan.

During the first funding period, the CRC 1436 investigated fundamental mechanisms underlying brain plasticity, cognitive resilience, and the influence of pathological processes on cognition. These efforts led to significant advancements in biomarker research, imaging technologies, and circuit-level analysis of cognitive function. The CRC 1436 aims to extend these findings into applied and translational research to develop personalized interventions that preserve and enhance cognition throughout lifespan within its second funding phase. To achieve this, researchers will examine molecular and biochemical pathways—including tau and amyloid pathology, the effects of sleep deprivation, and environmental influences—to understand the mechanisms of brain plasticity. These insights will contribute to a deeper understanding of super-aging, age-related cognitive decline, and neurodegenerative diseases.

A Multiscale Approach to Understanding Neural Resources

A major obstacle in studying how cognitive resources evolve over the lifespan has been the hidden presence of preclinical neurodegenerative and vascular pathology in seemingly healthy individuals. However, recent breakthroughs in biomarker assessment, PET imaging, and ultra-high field MRI (7-Tesla MRI) now allow scientists to define physiological aging in molecular terms and visualize previously undetected vascular changes.

By integrating these conceptual and technological advances, the CRC 1436 is uniquely positioned to characterize neural resources across multiple scales, bridging the gap between molecular pathways and whole-brain network dynamics. The research is structured into three interconnected areas:

- **Micro-scale (Research Area A):** Investigates signaling mechanisms, neuron-glia interactions, and synaptic connectivity in animal models, integrating findings with human data.
- **Meso-scale (Research Area B):** Uses ultra-high field MRI to study layer-specific structures and circuit functions in both humans and non-human primates.
- **Macro-scale (Research Area C):** Examines widespread, inter-regional brain networks, computationally modeling their interactions and utilizing novel PET tracers to measure synaptic density in vivo.

These research areas are interconnected through investigations into neurocognitive circuits, focusing on plasticity, hidden pathology, and targeted interventions. Additionally, three central projects provide the technological and methodological backbone for functional connectomes, molecular PET imaging, and micro- and meso-scale imaging.

Towards a Personalized Cognitive Medicine Framework

With this robust research framework, the CRC 1436 aims to:

- Identify opportunities to improve cognitive functions such as memory, navigation, and cognitive flexibility.
- Determine the impact of preclinical pathology on specific brain circuits and assess responses to interventions that mobilize neural resources (e.g., mechanisms of maintenance, resistance, and resilience).
- Analyze cognitive reserve mechanisms and the influence of genetic and physiological modifiers.

By integrating these insights, the CRC 1436 seeks to develop a comprehensive and multi-scale cognitive medicine framework

that allows personalized interventions to protect or enhance cognitive functions. The ultimate vision is to predict and shape individual cognitive trajectories, thereby improving quality of life, particularly in an aging population.

By harnessing recent advances in imaging, biomarker technology, and targeted brain stimulation, the CRC 1436 will unravel the fundamental physiological principles governing neural resources. This knowledge will lay the foundation for innovative, tailored approaches to cognitive enhancement and neuroprotection, ensuring that future generations can maximize their cognitive potential throughout the lifespan.



Prof. Emrah Düzel

Sonderforschungsbereich 1436 /
Collaborative Research Centre 1436
Institut für Kognitive Neurologie und Demenzforschung (IKND)
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Leipziger Straße 44
39120 Magdeburg



Dr. Michael R. Kreutz

Sonderforschungsbereich 1436 /
Collaborative Research Centre 1436
RG Neuroplasticity
Leibniz-Institut für Neurobiologie
Brenneckestraße 6
39118 Magdeburg

34th NEUROBIOLOGY DOCTORAL STUDENTS WORKSHOP

ORGANIZED BY AND FOR PHD STUDENTS



3rd - 7th June 2025

Present your research to fellow PhDs!

Registration only 100€
 (without accomodation 70€)

KEYNOTE SPEAKERS



Prof. Dr. Magdalena Götz
 Chair LMU Biomedical Center



Prof. Dr. Benedikt Grothe
 Chair LMU Neurobiology



Prof. Dr. Wiktor Mlynarski
 LMU Computational Neuroscience



Prof. Dr. Anna Schröder
 LMU Neurobiology

WORKSHOPS



Data Pipeline Design
 and Management



Voice and
 Language Use



Entrepreneurship
 and Science



DFG Grant Writing

**DEADLINE
 EXTENDED**

✉ Neurodow2025@gmail.com
 🌐 neurodowo.nwg-info.de
 📷 @NeuroDoWo



➔ REGISTER NOW

INFORMATION

Nachrichten aus der Gesellschaft

Von Prof. Dr. Frank Kirchhoff

Tierversuche in der Grundlagenforschung: Transparenz, Verantwortung, Dialog

Als Neurowissenschaftler stehen wir vor einer paradoxen Situation: Einerseits sind Tierversuche unverzichtbar, um die Komplexität des Gehirns zu entschlüsseln – etwa bei Erkrankungen wie Alzheimer, Epilepsie oder Multipler Sklerose. Andererseits sehen wir uns mit wachsender gesellschaftlicher Skepsis und politischen Restriktionen konfrontiert. Die Aktion *„Wir machen Tierversuche!“*, die ich 2025 mit 110 Kolleg:innen initiierte, war ein Versuch, diese Lücke zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit zu schließen. Die Initiative entstand als Reaktion auf eine von der Bundesregierung vorgelegte Reduktionsstrategie, die aus Sicht vieler Forschender die Realität der Grundlagenforschung und die Notwendigkeit individueller methodischer Freiheit verkennt.

Dieser Artikel resümiert die Hintergründe, Ziele und Perspektiven – und appelliert an die NWG-Mitglieder, sich aktiv in die Debatte einzubringen.

Transportern basieren. Beispielsweise ermöglichte die Forschung an nicht-humanen Primaten die tiefe Hirnstimulation bei Parkinson – eine Therapie, die heute Zehntausenden Patienten hilft. Ohne Tierversuche wäre dies undenkbar.

Ethische Verantwortung und die 3R-Prinzipien

Jeder Tierversuch unterliegt in Deutschland strengsten gesetzlichen und ethischen Auflagen. Die NWG setzt sich seit Jahren für die konsequente Umsetzung der 3R-Prinzipien (*Replace, Reduce, Refine*) ein. So nutzen wir zunehmend Organoide oder optogenetische Methoden, um Eingriffe an Tieren zu minimieren. Dennoch gilt: *„Wo immer möglich – aber nicht um jeden Preis.“* Ein Verzicht auf Tierversuche würde bedeuten, die Erforschung von Krankheitsmechanismen auszubremsen, die Millionen Menschen betreffen.

Herausforderungen: Bürokratie und öffentliche Wahrnehmung

Trotz aller Fortschritte behindern zwei Faktoren unsere Arbeit: (1) Überregulierung: Genehmigungsverfahren dauern oft Monate – selbst für Projekte, die bereits von Ethikkommissionen geprüft wurden. Die Zuständigkeit des Landwirtschaftsminis-



Wir machen Tierversuche!

Für medizinischen Fortschritt: Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verteidigen ihre Forschung im Einklang mit dem Grundgesetz

Warum Tierversuche? Die neurobiologische Notwendigkeit

Das Gehirn ist das komplexeste Organ, das die Evolution hervorgebracht hat. Mit rund 180 Milliarden Zellen und Trillionen Synapsen ist es *in vitro* oder *per KI* nicht annähernd nachbildbar. Tiermodelle bleiben daher unersetzlich, um insbesondere Netzwerkdynamiken zwischen verschiedenen Hirnregionen (z. B. bei epileptischen Anfällen) zu erforschen, die molekularen Signalwege zwischen Zellen, wie zwischen Glia- und Nervenzellen zu analysieren, die im gesunden wie im kranken Organismus Schlüsselrollen einnehmen, aber auch um Therapien für psychiatrische Erkrankungen zu entwickeln, die auf komplexe Interaktionen zwischen Neurotransmittern, Rezeptoren und

teriums (BMEL) für Tierversuche ist fachlich absurd. Die Regulierung von Tierversuchen gehört ins Forschungsressort. (2) Emotionale Debatten: Aktivist:innen diffamieren Tierversuche pauschal als „grausam“, ohne die wissenschaftlichen und ethischen Abwägungen anzuerkennen. Hier braucht es Aufklärung: Jeder Versuch wird so gestaltet, dass Leiden minimiert wird – und nur dort durchgeführt, wo es keine Alternativen gibt.

Die Rolle der NWG

Die NWG muss eine Vorreiterrolle in der fachlichen und öffentlichen Diskussion übernehmen – nicht nur in der Forschung, sondern auch in der Kommunikation. Wir müssen mehr Dialogformate wie Labortouren oder Schulvorträge etablieren, um die

Notwendigkeit tierexperimenteller Forschung zu erklären. Wir müssen aber auch **politisch unsere Interessen vertreten**. Wir alle müssen bei jedem einzelnen Parlamentarier eine Reform des Tierschutzgesetzes anmahnen, das die Bedürfnisse der Grundlagenforschung berücksichtigt. Zusätzlich müssen wir für mehr Transparenz sorgen, indem wir Fallstudien, die den Weg vom Tiermodell zur klinischen Anwendung (wie etwa die Entwicklung von Antikörpertherapien gegen Gliome) nachzeichnen, nicht nur in Fachmagazinen publizieren, sondern dies auch der allgemeinen Öffentlichkeit erklären.

Folgende Forderungen stehen auf unserer aktuellen Agenda:

- Ein modernes, forschungsfreundliches Gesetz mit klaren Regelungen und Rechtssicherheit für die tierexperimentelle Forschung.
- Die Verlagerung der Zuständigkeit für Tierversuche vom Landwirtschafts- ins Forschungsministerium.
- Der Abbau überbordender Bürokratie und die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren.
- Eine faktenbasierte, wertschätzende öffentliche Debatte, die die Leistungen und die ethische Verantwortung der Forschenden anerkennt.

Für ihre Umsetzung müssen wir eine klare Strategie für die Interaktion mit der Politik, mit Politikerinnen und Politikern haben. Wir selbst sind aber auch gefragt, den Diskurs mit der Gesellschaft zu suchen und nachhaltig zu betreiben.

Fazit: Wissenschaft braucht Mut zur Offensive

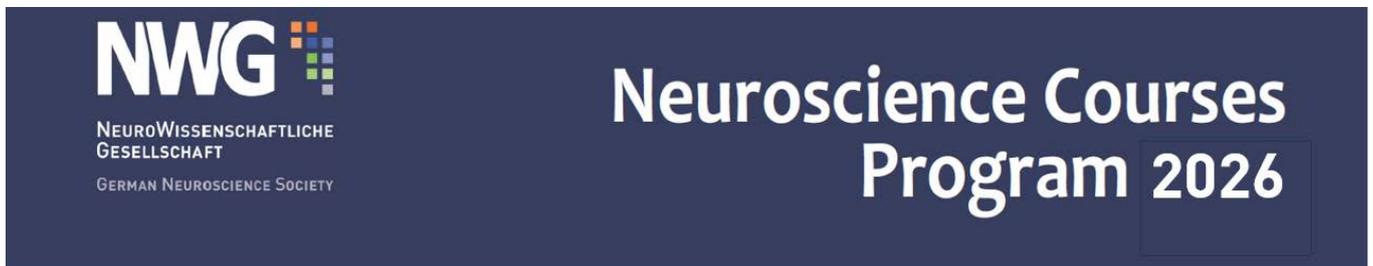
Die Aktion „*Wir machen Tierversuche!*“ war ein erster Schritt, um das Schweigen zu brechen.

Die Entscheidung, sich öffentlich zu Tierversuchen zu bekennen, war mutig. Viele Kolleginnen und Kollegen befürchteten erhebliche persönliche Risiken. Diese Sorgen sind Ausdruck eines gesellschaftlichen Klimas, in dem wissenschaftliche Argumente oft nicht mehr sachlich diskutiert werden. Dennoch war die Bereitschaft groß, für die Bedeutung und Notwendigkeit tierexperimenteller Forschung einzustehen – auch, weil wir überzeugt sind, dass nur Transparenz und Dialog das Vertrauen der Gesellschaft stärken können. Meine aufrichtige Anerkennung und meinen persönlichen Dank spreche ich allen aus, die sich an unserer Aktion so solidarisch beteiligt haben. Jetzt, einige Wochen nach der Aktion, können wir aber auch feststellen, dass es praktisch keine Angriffe gegen Forschende gab. In den seriösen Medien wurde sachlich und abwägend berichtet.

Als NWG-Mitglieder tragen wir die Verantwortung, sachlich zu informieren, aber auch politische Entscheidungen aufgrund unserer Expertise zu beeinflussen. Dabei müssen wir gleichzeitig selbstkritisch nach den besten Forschungsmethoden und -ansätzen streben. Nur so können wir das Vertrauen der Gesellschaft gewinnen und die nötige Unterstützung für unsere Forschungen erhalten.

Frank Kirchhoff

Professor für Molekulare Physiologie, Universität des Saarlandes
 Ehrenpräsident der NWG



Nachrichten aus der Gesellschaft

Lehrerfortbildungen und Methodenkurse

Wir bitten um Vorschläge für die **Methodenkurse** und die **Lehrerfortbildungen** der NWG. Beide Programme sind seit Langem eine feste Einrichtung im Engagement der NWG für Studenten und Nachwuchswissenschaftler sowie für Lehrer in der gymnasialen Oberstufe und auch die Gymnasiasten selbst. Beide Veranstaltungen erfreuen sich großer Beliebtheit und Nachfrage. Wir möchten Sie deshalb aufrufen, uns Ihre Themenvorschläge für beide Fortbildungsprogramme zu schicken. Die NWG stellt für die Veranstaltungen eine finanzielle Unterstützung bereit.

Das Methodenkursprogramm erstreckt sich über das Kalenderjahr 2025. Für diese Kurse stellt die NWG 125 € pro teilnehmendes NWG-Mitglied und jeweils 62,50 € für Nicht-Mitglieder zur Verfügung, und zwar bis zu einer maximalen Höhe von insgesamt 2.500 € pro Veranstaltung.

Das Lehrerfortbildungsprogramm erstreckt sich über ein Schuljahr, also von August/September 2025 bis Juni/Juli 2026. Die Fortbildungen werden mit einem Betrag in Höhe von maximal 250 € pro Veranstaltung unterstützt.

Beide Programme werden über Ausschreibungen auf der NWG-



Website, per Rund-Mails und über die sozialen Kanäle der NWG beworben. Auf die Lehrerfortbildungen wird ab dem Spätsommer 2025 zusätzlich mit einem Plakat bzw. mit Flyern hingewiesen.

Angebote und Infos für **Methodenkurse** können **jederzeit** an die Geschäftsstelle (susanne.hannig@mdc-berlin.de) weitergeleitet werden.

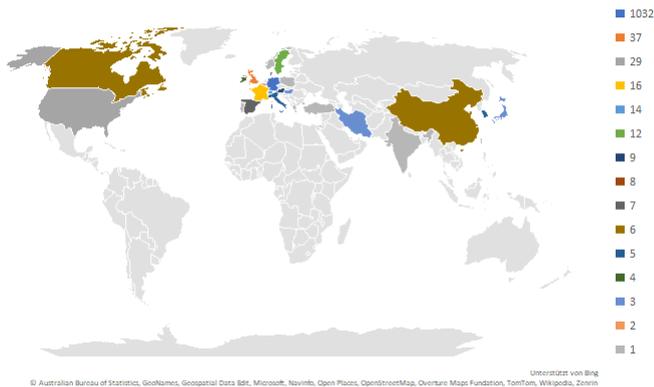
Der **Einsendeschluss** für Angebote von **Lehrerfortbildungen** ist **30. Juni 2025**.

Nachrichten aus der Gesellschaft

Göttinger Jahrestagung 2025

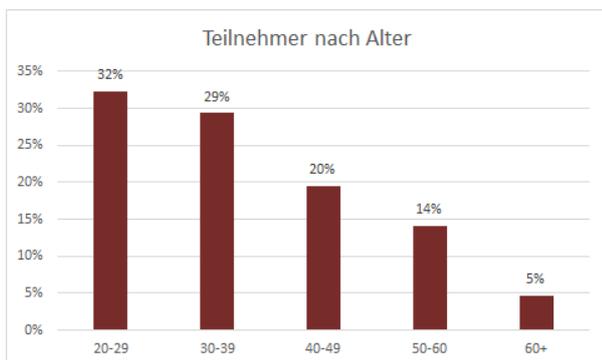
„Es ist wie ein gutes Klassentreffen...“, hört man von so manchem, der dem *Call for Symposia* oder *Abstract* schon vor Monaten folgte oder kurzentschlossen feststellt, er verpasst wohl doch etwas, wenn die Neurowissenschaftliche Gesellschaft nun zum 16. Mal zur Jahrestagung einlädt. Gut 1.200 Teilnehmer reisten für zwei, drei oder gar vier Tage an, um in 36 Sympo-

Herkunfts- / Anreiseländer der Teilnehmer



sien mit insgesamt 142 Vorträgen die Bandbreite der Neurowissenschaften zu erleben und die Fachgebiete gespiegelt zu bekommen, die die NWG unter ihrem Dach bündelt. 84% der Teilnehmer kamen dabei aus den Instituten, Laboren und Universitäten ganz Deutschlands. So mancher nahm aber durchaus auch einen längeren Weg auf sich und so waren wieder 32 weitere Länder aus der ganzen Welt vertreten – zum Austausch, Wiedersehen mit Kolleg:innen und inspirierenden Diskussionen. Damit lieferte auch die diesjährige Tagung komprimiert einen breiten und zugleich tiefen Einblick in neurowissenschaftliche Forschung, aktuelle Tendenzen oder überraschende Entwicklungen. Ergänzt wurde sie durch 68 sehr engagierte und treue Industriepartner, die mit unterschiedlichstem Equipment und Ausstattung der Stände ihre Forschungstechniken und -technologien präsentierten.

Nicht allein Zahlen stehen für den Erfolg der Göttinger Tagung – es sind, wie anfangs erwähnt, die herzliche erwartungsfrohe Stimmung, die jede/r immer wieder nach Göttingen bringt, die Gruppenleiter:innen, die ihr gesamtes Team mobilisieren, um den jungen Studenten:innen ein Sprungbrett zu geben und dem älteren Nachwuchs die Bandbreite der Neurowissenschaften auszubreiten – und es sind die großen Namen der Wissenschaftler:innen, die für die Plenary Lectures gewonnen werden konnten und ihre Zuhörer:innen morgens und abends begeistern, um den Rahmen der Kongresstage zu bilden. Den Auftakt machte Frank Bradke aus Bonn, der nun auch im Vorstand der Neurowissenschaftlichen Gesellschaft in der Wahlpe-



Die Referenten der Plenary Lecture



Richard A. Andersen, Pasadena (USA)



Amy Arnsten, New Haven (USA)



Frank Bradke, Bonn



Catherine Tallon-Baudry, Paris (France)



Rui Costa, Seattle (USA)



Iain D. Couzin, Konstanz



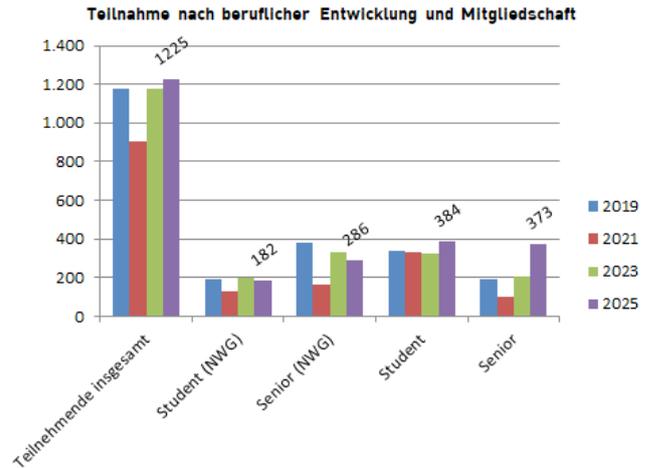
Michael Kreutz, Magdeburg

riode 2025-2027 mitwirkt. Mit Richard A. Andersen aus Pasadena, Amy Arnsten aus New Haven, Rui Costa aus Seattle, Iain D. Couzin aus Konstanz, Michael Kreutz aus Magdeburg und Catherine Tallon-Baudry aus Paris, machten sich international gestandene Wissenschaftler:innen nach Göttingen auf die Reise, um Impulse zu setzen und ihre Forschung zu präsentieren. Sie sind eine großartige Bereicherung für die Tagung und nicht allein Inspiration für die vielen jungen, angehenden Wissenschaftler:innen, die auch bei dieser Tagung das Bild wesentlich bestimmten: Von den 1.225 Teilnehmer:innen waren 61% unter 40, etwas mehr als die Hälfte von ihnen unter 30 Jahren. Damit folgt die Tagung nach mehr als 40 Jahren ihrem Gründungsanliegen, junge Neurowissenschaftler:innen auf ihrem Weg in die Wissenschaft zu unterstützen, ihnen die notwendige Austausch- und Präsentationsplattform zu bieten, und damit die Möglichkeit, mit erfahrenen Kolleg:innen unkompliziert in direkten Kontakt zu treten. Dabei fällt auf, dass diese Chance nicht nur die Mitglieder der NWG, sondern in großem Maße auch Nicht-Mitglieder nutzen.

Wer als Student:in die Göttinger Tagung besucht, kann nicht nur seine Arbeit mit einem Poster präsentieren, sondern mit etwas Glück auch einen Vortrag in einem der Symposien oder einer der Breaking News Sessions halten. Letztere sind zudem gekoppelt mit dem Best Paper Award, welcher dieses Jahr schon zum vierten Mal die drei besten Studentenvorträge prämierte: 20 Student:innen bekamen die Gelegenheit, die Jury, die aus den Chairs der Sessions sowie drei Vertreter:innen der Jungen NWG besteht, zu überzeugen.

Die Tagung ist seit vielen Jahren zudem der Ort, an dem die Gewinner:innen des hochdotierten Schilling-Forschungspreises gefeiert werden. In einer eigens der Preisverleihung gewidmeten Lecture gibt es nicht nur die offizielle Gratulation durch den Stifterverband und die NWG, Blumensträuße und eine Urkunde, sondern auch die Gelegenheit, die Preisträger:innen bei der Präsentation ihrer Forschung zu erleben. In diesem Jahr betraf es gleich zwei. Diane Rekow und Lukas Kunz hatten die Jury gleichermaßen beeindruckt

Gefeiert wird in Göttingen aber nicht nur die die Wissenschaft und speziell die Neurowissenschaften, sondern auch das Leben.

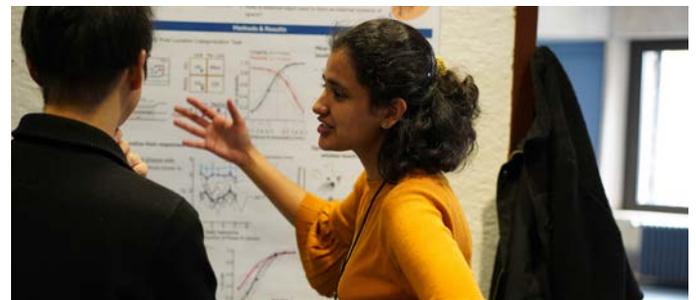


Was wäre die Göttinger Tagung ohne den Abend im Restaurant mit Kollegen und Freunden oder die berühmte „Neuro-Party“, die jedem Einlass gewährt, der auch hier sein Namensschild noch einmal hochhält und die Freitagmorgen bei Vielen zu hohem Kaffeekonsum führt.

Dass auch die Tagung 2025 gewohnt leichtgänglich, aufmerksam und freundlich wahrgenommen wurde, verdanken wir nicht zuletzt auch dem Unterstützerteam in Göttingen, eine eingespielte, zuverlässige Mannschaft unter der Leitung von Martin Göpfert und Ralf Heinrich, die in bewährter Zusammenarbeit mit der NWG-Geschäftsstelle wieder für einen reibungslosen Verlauf der Tagung gesorgt hat.

Die Maßstäbe für 2027 sind gesetzt, an Teilnehmer wie Organisatoren – think outside of the box and see you in Göttingen!

Impressionen von der Tagung





Auch in 2027 nicht die Tasse vergessen!



Postersession



Dankesagung an das Göttinger Team



Amtsübergabe des Präsidenten

Nachrichten aus der Gesellschaft

Schilling-Forschungspreis 2025

Auf der Göttinger Tagung wurde der Preis der Hermann und Lilly Schilling-Stiftung für Medizinische Forschung an die diesjährigen Preisträger Diane Rekow (Hamburg) und Lukas Kunz (Bonn) übergeben. Mit dem Preis werden herausragende Forschungsleistungen auf dem Gebiet der Kognition gewürdigt.

Anders als in den Vorjahren entschied sich die Jury, den Preis zu teilen, da beide Preisträger gleichmaßen überzeugten. In der [Neuroforum-Ausgabe 1-2025 \(S. 49\)](#) berichteten wir darüber und haben die Preisträger vorgestellt.

Eine Special Lecture gab beiden auf der diesjährigen Göttinger Tagung die Gelegenheit, ihre Forschung vorzustellen, für die sie mit jeweils 10.000 Euro geehrt wurden. Diane Rekow sprach zu *Odors shape visual categorization in the human brain* und Lukas Kunz zu *Cellular mechanisms of spatial navigation in the human medial temporal lobe*.



Frank Kirchhoff, Präsident der NWG (2023-2025); Tatjana Tchumatchenko, Sektionssprecherin „Computational Neuroscience“ im Vorstand der NWG; Laura Hausmann, Deutsches Stiftungszentrum und die beiden Preisträger Diane Rekow und Lukas Kunz nach der Preisübergabe (v.li.)

Breaking News' Best Paper Award 2025

Seit 2019 prämiert die NWG die drei besten studentischen Vorträge mit dem Breaking News' Best Paper Award: Eigens zwei Symposien wurden eingerichtet mit insgesamt 20 Vorträgen, vorausgewählt durch die beiden Betreuer der Breaking News-Symposien Marc Spehr und Ivan Manzini. Gemeinsam mit Vertretern der jungen NWG wählen sie aus den Wettbewerbern die drei besten Vorträge und Vortragenden aus. Kriterien sind dabei Neuheitswert und Potential der Forschung sowie ihre Präsentation. Die Preise sind mit einem Preisgeld von 500 €, 300 € und 200 € gestaffelt. Überzeugt hatten mit ihren Leistungen in diesem Jahr die folgenden drei Nachwuchswissenschaftler:

Erster Preis: Nadja Treiber (Institut für Physiologie and Pathophysiologie, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg, AG Alzheimer/ Zheng): *Effects of Adolescent Stress on Synaptic Transmission and Plasticity in the Adult Mouse Dentate Gyrus*

Zweiter Preis: Rina Patel (DZNE Berlin, AG Viana da Silva -Zelluläre Schaltkreise des Gedächtnisses): *Optogenetic Control of Mitochondria in PV+ Interneurons Alters CA1 Function*

Dritter Preis: Maxim Quirijn Capelle (Neurobiologie, Universität Konstanz, AG Armin Bahl): *Behavioral Algorithms of Ontogenetic Switching in Larval and Juvenile Zebrafish Phototaxis*



Rina Patel, Nadja Treiber und Maxim Quirijn (v.li.)

Nachrichten aus der Gesellschaft

Protokoll der Mitgliederversammlung

Donnerstag, 27. März 2025

Göttingen | Universität Göttingen, ZHG, Platz der Göttinger
Sieben 5 | Hörsaal 11
im Rahmen der Göttinger Tagung 2025

Versammlungsleiter ist der Präsident der Neurowissenschaftlichen Gesellschaft, Prof. Dr. Frank Kirchhoff.

Protokollführer ist der Sektionssprecher Jonas Fisch in Vertretung des entschuldigten Generalsekretärs der Neurowissenschaftlichen Gesellschaft, Prof. Dr. Gary Lewin.

Die Anzahl der teilnehmenden Mitglieder beträgt 63.

Die Versammlung wurde satzungsgemäß einberufen, die Tagesordnung ist den Mitgliedern bei der Einberufung mitgeteilt worden.

Beginn: 12:40 Uhr

Ende: 13:30 Uhr

Tagesordnung:

- (1) Begrüßung durch den Präsidenten
- (2) Bestätigung des Protokolls der letzten Mitgliederversammlung
- (3) Bericht des Präsidenten
 - (3.1) Ergebnis der Wahl zum neuen Vorstand, Vorstellung der neuen Vorstandsmitglieder
 - (3.2) Entwicklung der Mitgliederzahlen
 - (3.3) Junge NWG
 - (3.4) Bericht Partnerorganisationen (FENS/ALBA, GBC, IBRO)
 - (3.5) Aktuelle Situation zur Tierschutzgesetzgebung
- (4) Bericht der Schatzmeisterin | Bericht der Kassenprüfer
- (5) Bericht zur Göttinger Tagung 2025
 - (5.1) Sachbericht
 - (5.2) Finanzbericht
- (6) Aktivitäten der Gesellschaft
 - (6.1) Neuroforum online
 - (6.2) dasGehirn.info | Förderverein
 - (6.3) Lehrerfortbildung | Methodenkurse
 - (6.4) Preise und Nominierungen (Schilling, Breaking News Preise)
 - (6.5) Weitere Aktivitäten
- (7) Verschiedenes

(1) Begrüßung durch den Präsidenten

Frank Kirchhoff (FK) begrüßt die Anwesenden und eröffnet die Sitzung. Ergänzungen zur Tagesordnung werden nicht gewünscht.

(2) Bestätigung des Protokolls der letzten Mitgliederversammlung

Das Protokoll der letzten Mitgliederversammlung vom 27. Juni 2024 ist in der Ausgabe 02/2024 von Neuroforum erschienen. Ergänzungen werden nicht gewünscht. Es wird mit 63 Ja-Stimmen, 0 Enthaltung und 0 Nein-Stimmen angenommen.

(3) Bericht des Präsidenten

(3.1) Ergebnis der Wahl zum neuen Vorstand | Vorstellung der neuen Vorstandsmitglieder

FK berichtet, dass sich die Sektionssprecher:innen der vorhergehenden Amtszeit etabliert haben und in der im Januar stattgefundenen Wahl, sofern das Amt nicht zur Neuwahl gestellt wurde, bestätigt wurden. Zum Stichtag 31. Januar 2025 wurden 552 Wahlzettel eingesandt. Das entspricht einer Wahlbeteiligung von 26,21%. Davon waren 489 Wahlzettel gültig, 63 mussten als ungültig gewertet werden. FK dankt Michael Synowitz, der die ordnungsgemäße Durchführung der Wahl feststellte. Als neue Vorstandsmitglieder begrüßt FK Frank Bradke für die Sektion Entwicklungsneurobiologie/Neurogenetik, Katharina von Kriegstein für die Sektion Kognitive Neurowissenschaften und Ilka Diester für die Sektion Systemneurobiologie. Andreas Nieder wurde zum Vize-Präsidenten gewählt und rückt aus den Reihen der Sektionssprecher in den geschäftsführenden Vorstand nach. Christine R. Rose als Ehrenpräsidentin hatte angeboten den Vorstand weiter zu unterstützen und wurde ins Amt der Schatzmeisterin gewählt. Ansgar Büschges als Vize-Präsident der letzten zwei Jahre übernimmt nun automatisch die Präsidentschaft der Amtsperiode 2025-2027.

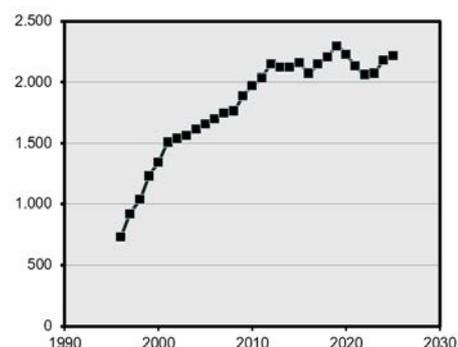
FK betont, dass sich der Vorstand und die Gesellschaft aus verschiedensten Bereichen zusammensetzt, universitär wie außer-universitär, aus Mitgliedern des Klinikbereichs oder z. B. der Max-Planck-Gesellschaft, genauso wie auch aus Mitgliedern anderer Fachgesellschaften (DPG, GBM etc.). Somit wird für eine gute Vernetzung und fortwährenden Austausch gesorgt, was zunehmend wichtiger wird und am Beispiel „Tierschutzgesetzgebung“ kurz erläutert wird.

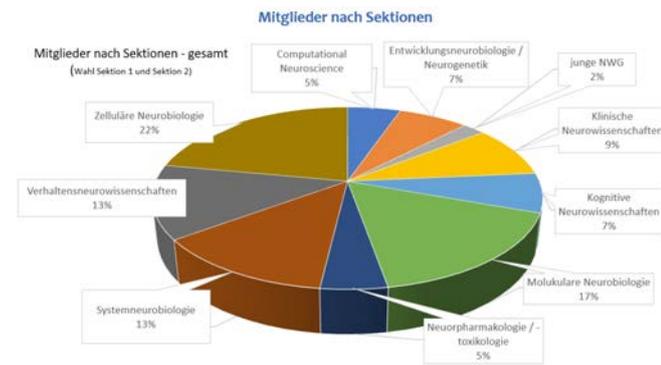
(3.2) Entwicklung der Mitgliederzahlen

FK zeigt anhand einer Grafik, dass die Mitgliederzahlen nach einmaligem Einbruch während der Pandemie nun weiterhin wieder durchschnittlich bei 2.200 Mitgliedern liegen. Sie sind dort stabil und sichern damit eine gute Finanzlage. Er weist darauf hin, dass die Schatzmeisterin Veronica Egger später darauf noch weiter eingehen wird.

FK geht des Weiteren auf die Verteilung der Mitglieder auf die 10 Sektionen ein. Für die NWG ist es eine gleichbleibende und gute Verteilung, die die etablierte Wissenschaft in der Gesellschaft vertritt. Ergänzend weist FK darauf hin, dass bis 2024 die Mitglieder der jNWG neben der Sektion jNWG bisher nur eine Fachsektion wählen konnten. Seit 2024 können die Mitglieder zwei Sektionen und optional zusätzlich die Sektion ‚jNWG‘ wählen. Eine entsprechende Grafik zeigt die Aktivitäten der jNWG bezüglich der anderen 9 Sektionen.

Entwicklung der Mitgliederzahlen





(3.3) Junge NWG

FK zeigt eine Übersicht der derzeit aktiven Mitglieder (11) der jNWG und bedankt sich für ihr Engagement. Dieses besteht neben dem regulären Kontakt zu den Nachwuchswissenschaftler:innen vor allem auch darin, die bisher gut nachgefragte „Vortragsreihe Braintalks by jNWG“ weiter zu etablieren und sich wiederholt auf der Jahrestagung einzubringen und zu präsentieren. In diesem Jahr brachte sich die jNWG wieder mit ihrem eigenen Symposium: „Wired for motion: perspectives on motor control“ ein, bewarb an einem eigenen Stand die Sektion und lud dort zu einem Get-together mit den Vortragenden des Symposiums ein. Zudem erhielt die Tagung wieder tatkräftige Unterstützung in der Jury für den Breaking News' Best Paper Award. (Internetseite der jNWG [↗ https://jnwg.org/](https://jnwg.org/))

(3.4) Kontakt zu Partnerorganisationen

(3.4.1) FENS

Die NWG agiert mit verschiedenen anderen Partnerorganisationen. In erster Linie ist dies FENS als Dachorganisation nationaler neurowissenschaftlicher Gesellschaften Europas. FK berichtet, dass vor diesem Hintergrund für das FENS-Forum 2024 in Wien wieder 10 Reisestipendien vergeben wurden (Auswahlkomitee: Veronica Egger und Ansgar Büschges).

Vom 26.-28. November 2024 fand das FENS Governing Council Meeting statt auf welchem die NWG von FK vertreten wurde. Er berichtet unter anderem von Mathias V. Schmidt, der von der NWG unterstützt wurde und als Secretary General-Elect ins Executive Komitee 2024-2026 gewählt wurde. FK gibt einen Überblick darüber, dass sich FENS aus „Standing Committees“ und „Special Committees“ zusammensetzt. Zu den letzteren gehört auch das Committee on Animals in Resarch (CARE), die laut FK eine sehr gute und wichtige Arbeit leisten. Einer der Vertreter dort ist Roman Stilling, ebenfalls Mitglied der NWG.

Abschließend zeigt FK eine Übersicht des neuen FENS-Programmkomitees und wirbt für das FENS Forum 2026 (Barcelona, Spanien), da am 5. Mai 2025 die Deadline für die Einreichung von Symposien und Technical Workshops ist.

(3.4.2) GBC

FK regt an, mit dem German Brain Council (GBC) noch stärker zusammenzuarbeiten. Erstmals hat sich die NWG während der Präsidentschaft von Christine Rose in die Arbeit eingebracht und in persona der Präsidentin als Beisitzerin fungiert. FK hat dies fortgesetzt und die Grundlagenwissenschaften in 2023/2024 vertreten, damit die NWG neben Medizinern und Patientenorganisationen weiterhin eine Stimme hat und gehört wird. FK berichtet von der „Initiative des GBC ‚Forschung für Gehirngesundheit‘ als Investition in Deutschlands Zukunft“, die unter anderem die Verankerung folgender Aussage fordert:

„In Anbetracht dieser Situation fordern wir eine Verstärkung der Forschungsförderung um 100 Millionen EUR per anno für die nächsten 10 Jahre. Die Forschungsgelder sollen gleichermaßen den Feldern der neurobiologischen Grundlagen, der klinischen Neurologie, aber auch der seelischen Gesundheit sowie der Forschung in Prävention und Rehabilitation zugutekommen.“

Abschließend wirbt FK für den „German Brain Plan. Agenda 2023. – Supporting Brain Health. Avoiding Brain Disease.“ (www.braincouncil.de) des GBC.

(3.4.3) IBRO

Die International Brain Research Organization (IBRO) ist eine weltweite Dachorganisation für Neurowissenschaften, die sich der Förderung der Gehirnforschung sowie der internationalen Zusammenarbeit und Ausbildung widmet. FK beschreibt, dass sich IBRO nach Kontinenten organisiert und jeweils ein regionales Komitee hierfür bildet. Vor diesem Hintergrund hat FK für das Pan European Regional Committee kandidiert und wurde bei der Wahl 2024 bestätigt.

Am 27. / 28. November 2024 fand das IBRO Governing Council Meeting statt, bei dem die NWG von FK vertreten wurde. FK gibt in diesem Zusammenhang einen Überblick zu den Aktivitäten von IBRO und regt an, die verfügbaren Ressourcen zu nutzen, um Wissen zu erweitern und den angebotenen Support zu nutzen. Er weist außerdem darauf hin, dass die Vorbereitungen für den nächsten IBRO World Congress 2027 anlaufen, welcher erstmalig auf dem Kontinent Afrika ausgerichtet werden soll und für Kapstadt geplant ist.

(3.5) Aktuelle Situation zur Tierschutzgesetzgebung

FK informiert, dass durch das vorgezogene Ende der aktuellen Regierung die Tierschutzversuchstierordnung bisher nicht bestätigt wurde. Er führt aus, dass im Rahmen von „Deutschlands Reduktionsstrategie für Tierversuche“ zwar die Mitwirkung verschiedenster Organisationen und Vereinigungen für und gegen Tierversuche aufgelistet wird, ein realitätsnaher Konsens aber nach wie vor für viele Bereiche der Grundlagenwissenschaft nicht gefunden wurde, sodass viele der Organisationen gar nicht hinter der Reduktionsstrategie stehen. FK führt dies anhand der Stellungnahme der Allianz der Wissenschaftsorganisationen aus und fasst abschließend zusammen, dass das Ziel sein sollte, das Thema Tierversuche dem Wissenschaftsministerium zu unterstellen und für die Zukunft eine deutliche Unterscheidung zwischen Versuchstieren und Nutz- oder Haustieren zu schaffen.

(4) Bericht der Schatzmeisterin | Bericht der Kassenprüfer

Veronica Egger gibt anhand der Jahresabrechnung 2024, die detailliert Budgetposten aufführt, einen vergleichenden Überblick zu den Vorjahren und geht auf einzelne Positionen ein. Analog den letzten vorangegangenen Ausführungen an die Mitgliederversammlung kann Veronica Egger berichten, dass es die richtige Strategie war, das Neuroforum in die Online-Version zu überführen sowie den Beitrag in drei Kategorien mit einer leichten Erhöhung aufzuteilen. Veronica Egger visualisiert dies in aktuellen Grafiken und zeigt, dass die in den Vorjahren eher nach unten zeigende Vermögenskurve sich nun langsam stabilisiert und auch wie gewohnt wieder leicht beginnt, zwischen den Jahren mit Tagung und denen ohne Tagung zu oszillieren. Zwischen Mitgliederaus- und -eintritten hat sich ebenfalls ein Gleichgewicht gefunden, sodass die Finanzlage wieder als besser belastbar betrachtet werden kann.

FK ergänzt, dass die Einnahmen und Ausgaben der NWG im Jahr 2024 am 05. März 2025 von dem Kassenprüfer Christian Rosenmund und der Kassenprüferin Susanne Wolf geprüft wurden. Sie bestätigen eine korrekte Kontenführung und empfehlen der Mitgliederversammlung, die Schatzmeisterin zu entlasten.

Die Mitgliederversammlung entlastet die Schatzmeisterin auf der Grundlage des Berichts der Kassenprüfer mit 63 Ja-Stimmen, 0 Enthaltungen und 0 Nein-Stimmen.

Sowohl Susanne Wolf als auch Christian Rosenmund sind bereit, die Kassenprüfung 2025 wieder zu übernehmen. Die Mitgliederversammlung bestätigt die Kassenprüferin Susanne Wolf und den Kassenprüfer Christian Rosenmund für die Kassenprüfung 2025 mit 63 Ja-Stimmen, 0 Enthaltungen und 0 Nein-Stimmen.

Ein Mitglied dankt dem Vorstand für seine Arbeit und stellt den Antrag, dass die Mitgliederversammlung den Vorstand entlastet. Die Mitgliederversammlung entlastet den Vorstand mit 61 Ja-Stimmen, 2 Enthaltungen (Präsident/Vizepräsident) und 0 Nein-Stimmen.

(5) Bericht zur Göttinger Tagung

(5.1) Sachbericht

FK berichtet, dass die Göttinger Tagung dieses Jahr wieder im üblichen Format von 4 Tagen stattfinden konnte. Die Anzahl der Teilnehmeranmeldungen war nach wie vor sehr gut, aber die Tendenz von stetig leicht rückgängigen Teilnehmerzahlen hält an und bisher hat sich noch keine Balance eingestellt.

FK führt aus, dass die Tagungsstruktur wieder in der Anzahl der Hauptredner, den Postersessions und Symposien wie im Format 2019 und den Jahren zuvor angelegt ist (2023 musste die Tagung aufgrund einer geplanten Bombenentschärfung auf 3 Tage gekürzt werden), der Schillingpreis erstmalig geteilt und an zwei Gewinner ausgezahlt wurde und der Programmpunkt „Meet the Company“ in 2023 auf guten Zuspruch getroffen ist, sodass er wieder angeboten wird. Anhand mehrerer Übersichten gibt FK einen umfangreichen Überblick (2019-2024) zum wissenschaftlichen und nicht-wissenschaftlichen Programm, zur Gruppierung der Teilnehmer, deren Zahl über die Jahre nur leicht schwankt, sowie zu den teilnehmenden Ländern, deren Größenordnung meist zwischen 30-35 verschiedenen Ländern variiert.

(5.2) Finanzbericht

Nach einer ersten Hochrechnung wird ein Plus bei der Tagung von ca. 53.000 € erwartet, welches für die Aufrechterhaltung der Geschäftsstelle (Miete, Personalkosten etc.), Stipendienvergabe und Nachwuchsförderung verwendet wird.

(6) Aktivitäten der Gesellschaft

(6.1) Neuroforum

FK berichtet, dass die digitale Variante des Neuroforum verspricht, eine interessante neue Alternative zur gewohnten Printversion zu werden. Die erste Ausgabe (2023) war als Sonderheft der jNWG erschienen, gefolgt von einer Ausgabe mit Forschungsarbeiten über geschlechtsspezifische Unterschiede bei Multipler Sklerose, Epilepsie und Alzheimer unter der Redaktion von FK. Er führt aus, dass die Sektionen abwechselnd nacheinander für die Inhalte des Neuroforums zuständig sind, wobei angestrebt wird, weiterhin 3-4 Ausgaben im Jahr für die Mitglieder herauszubringen. Somit sind bereits die Ausgabe der Sektion „Computational Neuroscience“ und „Klinische Neurowissenschaften“ mit interessanten und aktuellen Beiträgen für Kollegen sowie die interessierte Öffentlichkeit verfügbar und über das Mitgliederportal NWG sowie die Website dasGehirn.info aufrufbar.

(6.2) dasGehirn.info

FK informiert, dass die Zusammenarbeit mit dem Portal dasGehirn.info in Kürze endet und die NWG die Projektträgerverantwortung abgibt. Die Plattform steht weiter wie gewohnt als Informationsportal zur Verfügung und erfährt, wenn benötigt, Unterstützung durch die Expertise der NWG-Mitglieder.

(6.3) Lehrerfortbildung | Methodenkurse

Frank Kirchhoff erinnert analog der vorangegangenen Mitgliederversammlung daran, dass es Aufgabe der NWG ist, Fort- und Weiterbildungskurse für Student:innen, Doktorand:innen und wissenschaftlich Arbeitende durchzuführen. Er appelliert daran, die Ausbildung selbst in die Hand zu nehmen und näher am Bedarf zu arbeiten. Sowohl die Methodenkurse als auch die Lehrerfortbildung benötigen immer neue Impulse und viel eigenes Engagement der Mitglieder.

(6.4) NWG-Preise

(6.4.1) Schilling-Forschungspreis 2025

FK berichtet, dass der Schilling-Forschungspreis dieses Mal in jeweils 10.000 € gesplittet wurde, da zwei Gewinner:innen aus den Bewerbungen hervorgegangen sind. Er geht kurz auf die unterschiedlichen, aber komplementären Forschungsfelder der beiden ein, die die Jury mit ihren herausragenden Leistungen gleichermaßen beeindruckt haben. FK beglückwünscht an dieser Stelle noch mal Diane Rekow und Lukas Kunz, die am Morgen ihre Arbeiten im Rahmen der Preisverleihung in der ersten Plenary-Lecture vorgestellt hatten.

(6.4.2) Breaking News' Best Paper Award 2025

FK macht darauf aufmerksam, dass noch drei weitere Preise auf der Göttinger Tagung vergeben werden: zum vierten Mal wird der Breaking News' Best Paper Award verliehen. FK führt aus, dass dieser an drei Student:innen geht, die durch den Neuheitswert bzw. möglichen zukünftigen Wert der Arbeit sowie ihre Präsentation aus den 20 anderen Vorträgen herausstechen. Die Jury hierfür sind die Chairs der beiden Breaking News Symposien (Marc Spehr und Ivan Manzini) sowie drei Vertreterinnen der „Jungen NWG“ (Laura Console-Meyer, Laura Petersilie und Kathrin Wicke.) Die Preisverleihung erfolgt vor der letzten Lecture am Samstag.

(6.5) Weitere Aktivitäten

(6.5.1) Neurobiologischen Doktorandenworkshop

FK informiert, dass die NWG den Neurobiologischen Doktorandenworkshop (NeuroDoWo) auch in diesem Jahr wieder mit 750 € unterstützt, die Finanzen verwaltet und die Internetplattform/URL bereitstellt. Der NeuroDoWo findet in München vom 3. – 7. Juni 2025 statt und ist durch das je nach Ort ansässige Team aus Doktorand:innen komplett selbstorganisiert.

(6.5.2) Deutsche Neuro-Olympiade e.V.

FK berichtet, dass die NWG am Samstag, dem 29.3.2025 wieder die Deutsche Neurowissenschaften Olympiade (DNO) unterstützt wird. Für den regionalen Ausscheid unterstützt die NWG den DNO bei der Bereitstellung einer Location und steht als Host für das MDC zur Verfügung. Der regionale Ausscheid findet einmal pro Jahr zeitgleich in zwei weiteren Städten in Deutschland statt. Nach dem regionalen und nationalen Ausscheid messen sich die jeweiligen Gewinner:innen schließlich auf der Veranstaltung „International Brain Bee“.

[7] Verschiedenes

Es werden keine weiteren Diskussionspunkte gewünscht.

Ende der Sitzung: 13:30 Uhr

Die nächste Mitgliederversammlung findet in Barcelona im Rahmen FENS Forums 2026 (04. – 08.07.2026) statt.

Prof. Dr. Frank Kirchhoff
(Präsident)

Jonas Fisch
Protokollführer
(Sektionssprecher jNWG)



Neu auf dasGehirn.info

Seit März 2025 kann man auf [dasGehirn.info](#) nun auch etwas über das Thema [Humor](#) finden: Die Artikel [Ein ganz persönlicher Humorsinn](#), [Zum Lachen geboren](#) und [Humor im Labor](#) nähern sich verschiedenen Aspekten des Themas. In einem [Videointerview](#) spricht Chefredakteur Arvid Leyh mit Torsten Sträter über Humor, Depression und ADHS.

Dasgehirn.info war auch auf der Göttinger Tagung zugegen und befragte Wissenschaftler zu ihren Forschungsthemen, so etwa [Constanze Seidenbecher](#) und [Andreas Draguhn](#) über Fragezeichen zwischen Geist und Gehirn, [Monique Klausch](#) über freiwilligen Sport und Neurogenese, [Martin Göpfert](#) über Ionenkanäle, Gating Springs und Binder sowie [Moein Esghaei](#)

[about Details in Phase Coupling](#).

In die Rubrik [Neues aus den Instituten](#) wurden weitere Pressemitteilungen aufgenommen, um die Nutzer des Portals über neurowissenschaftliche Forschung auf dem dem Laufenden zu halten. Zu den letzten Meldungen sorgten etwa das Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie mit dem [ersten Nachweis von Mutter-Kind-Bindungstypen bei freilebenden Schimpansen](#), die Heinrich-Heine Universität Düsseldorf zu der Frage, [wie unser Gehirn Großzügigkeit steuert](#), das Max-Planck-Institut für Neurobiologie des Verhaltens – caesar zu den Fragen, [warum eine Fliege müde wird – und woher das Gehirn weiß, wann es Zeit zum Ausruhen ist](#) und das Leibniz-Institut für Lebensmittel-Systembiologie über [die Identifizierung eines neuen hochwirksamen Bitterstoffs](#).

FENS Forum 2026

4 - 8 July 2026 | Barcelona, Spain

Save the Date!



fensforum.org | [#FENS2026](https://twitter.com/FENS2026)

FENS | Federation of
European
Neuroscience
Societies

**se
nc** SOCIEDAD
ESPAÑOLA DE
NEUROCIENCIA



Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V. (NWG)

- Beitrittserklärung -

Hiermit erkläre ich meinen Beitritt zur Neurowissenschaftlichen Gesellschaft e.V. (NWG).

Eintrag in das Mitgliederverzeichnis:

Name

Vorname

Titel

Dienstadresse

Universität/Institut/Firma

Straße

PLZ/Ort

Land

Telefon/Email

Privatadresse

Straße

PLZ/Ort

Telefon

Rechte und Pflichten der Mitgliedschaft siehe Satzung (nwg-info.de/de/ueber_uns/satzung).
Mit meiner Unterschrift bestätige ich, dass ich die Satzung sowie die Datenschutzrichtlinie (nwg-info.de/de/datenschutz) zur Kenntnis genommen habe und diese anerkenne.

Datum/Unterschrift

Ich unterstütze den Antrag auf Beitritt zur NWG e.V.

Datum/Unterschrift des Mitglieds

Datum/Unterschrift des Mitglieds

Bitte senden Sie Ihren Antrag an die Geschäftsstelle der NWG:

Stefanie Korthals
Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V.
MDC
Robert-Rössle-Str. 10
13092 Berlin

Email: korthals@mdc-berlin.de
Tel.: +49 30 9406 3336

Ich optiere für folgende 2 Sektionen:

- Computational Neuroscience
- Entwicklungsneurobiologie/Neurogenetik
- Klinische Neurowissenschaften
- Kognitive Neurowissenschaften
- Molekulare Neurobiologie
- Neuropharmakologie und -toxikologie
- Systemneurobiologie
- Verhaltensneurowissenschaften
- Zelluläre Neurobiologie

Ich optiere für die junge NWG (jNWG):

- ja nein

Ich bin Student ja nein

Ich bin weiblich männlich divers

Geburtsjahr _____

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Daten zum Zwecke wissenschaftlicher Informationsvermittlung (z.B. FENS-Mitgliedschaft) weitergegeben werden.
Diese Entscheidung kann jederzeit über die Geschäftsstelle oder das Mitgliederportal auf der Website widerrufen werden.

Jahresbeitrag (bitte ankreuzen):

- 100,- €/Jahr Seniors (Prof., PD, Pl, etc.)
- 80,- €/Jahr Postdocs (PhD, Dr., etc.)
- 40,- €/Jahr Studenten, Doktoranden, Mitglieder in Elternzeit oder im Ruhestand, Arbeitslose

Überweisung:

Bankverbindung: Berliner Bank AG
IBAN: DE55 1007 0848 0463 8664 05
BIC: DEUTDEDB110

SEPA-Lastschriftmandat:

(Gläubiger-IdentNr: DE64NWG00001110437)

Ich ermächtige die Neurowissenschaftliche Gesellschaft e.V. von meinem Konto

bei der Bank: _____

IBAN: _____

BIC: _____

einmal jährlich den Mitgliedsbeitrag in Höhe von € _____ einzuziehen und weise mein Kreditinstitut an, die von der NWG auf mein Konto gezogenen Lastschriften einzulösen.

Ort, Datum: _____

Unterschrift: _____

Kontoinhaber: _____

Anschrift: _____

oder Einzug über Kreditkarte (VISA/Mastercard):

Kartennr.: _____

gültig bis: _____ Betrag: _____

Dreistellige Sicherheitsnr.: _____

Karteninhaber: _____

Unterschrift: _____