



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KOGNITIONS- UND NEUROWISSENSCHAFTEN





Über das Institut

Das Ziel des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig ist die Erforschung von kognitiven Fähigkeiten und Gehirnprozessen beim Menschen.

Ein Hauptaugenmerk unserer Forschung gilt den grundlegenden Mechanismen menschlichen Denkens und den neuronalen Grundlagen von höheren Hirnfunktionen wie Sprache, Gedächtnis, Orientierung, Musik und Kommunikation. Dabei interessiert uns vor allem, wie diese wahrgenommen, verarbeitet, geplant und produziert werden, aber auch, wie sich Wahrnehmung und Produktion gegenseitig beeinflussen.

Weiterhin untersuchen wir das plastische Veränderungsvermögen des Gehirns und seinen Einfluss auf verschiedene kognitive Fähigkeiten sowie die neuronalen und hormonellen Grundlagen

von Zivilisationskrankheiten wie Bluthochdruck und Übergewicht. Darüber hinaus ist die Weiterentwicklung von bildgebenden Verfahren wie der Magnetresonanztomographie für die Neurowissenschaften ein zentraler Schwerpunkt unserer Forschung.

Derzeit hat das Institut vier Abteilungen:

- ▶ Neuropsychologie
- ▶ Neurologie
- ▶ Neurophysik
- ▶ Psychologie

Ein Markenzeichen des Instituts – und zugleich die Grundlage für seine forschungsstrategische Perspektive – ist die enge Verzahnung von inhaltlicher Forschung und technologischer Entwicklung. Das Institut entstand 2004 durch die Zusammenführung der Max-Planck-Institute für Neuropsychologische Forschung und für Psychologie. ▶

About the Institute

Research at the Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences revolves around human cognitive abilities and cerebral processes, with a focus on the neural basis of brain functions such as language, memory, navigation, music, and communication.

Our studies focus on the key coding principles of the brain enabling human thinking and the perception, planning, and generation of human cognitive abilities and cerebral processes, and analyse the interaction and common functional basis of their production and perception. We also investigate plastic changes in the human brain, the influence these have on various cognitive abilities, and on the neuronal and hormonal basis of modern diseases like high blood pressure and obesity. An additional focal point of research at the Institute is the further development of imaging methods

such as magnetic resonance imaging for neurosciences. The MPI for Human Cognitive and Brain Sciences provides an exciting framework for these topical and alluring theoretical domains, with the full gamut of cognitive and neuroscientific methodology available under one roof.

The Institute currently consists of four departments:

- ▶ Neuropsychology
- ▶ Neurology
- ▶ Neurophysics
- ▶ Psychology

A hallmark of the Institute and its research strategies is the dovetailing of research, development, and engineering. The centre draws on elaborate modern imaging techniques, which are gaining ground as part of more conventional behavioural approaches. ▶

Mit der Gründung des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften hat die Max-Planck-Gesellschaft am Standort Leipzig einzigartige Voraussetzungen für die interdisziplinäre Forschung auf dem Gebiet der verhaltensbasierten und neurobiologischen Grundlagen menschlicher Kognition geschaffen.

Leipzigs lange Tradition in der psychologischen Forschung verleiht der ultra-modernen technischen Ausstattung unseres neurowissenschaftlichen Instituts und unseren Arbeitsfeldern einen besonderen Rahmen. Moderne bildgebende Verfahren, die auch in traditionell verhaltenswissenschaftlichen Ansätzen einen immer größeren Stellenwert gewinnen, werden am Institut gepflegt und weiterentwickelt. Auch in methodischer Hinsicht steht an unserem Institut das gesamte Spektrum von Verfahrensweisen, die im Bereich der Kognitions- und Neurowissenschaften etabliert sind, an einem Ort zur Verfügung. ■

Our institute at Stephanstrasse in Leipzig was established on 1 January 2004 by a merger between the former Leipzig Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience and the Munich Max Planck Institute for Psychological Research. The new Institute, joining two centres of expertise into one, reflects the development of psychological and neuroscientific research, which are being conducted increasingly closer together. The centre in Leipzig has established exceptional conditions for interdisciplinary behavioural and neurobiological research into human cognition. ■





Ausstattung und Methoden

Für die Forschung stehen am Institut modernste Geräte und Methoden zur Verfügung. Eine der wichtigsten Methoden ist dabei die Magnetresonanztomographie (MRT), die ohne Strahlenbelastung und ohne jeglichen Eingriff, also nicht-invasiv, Bilder aus dem Gehirn liefert. An unserem Institut stehen den Forschenden ein 7-Tesla-Scanner sowie vier 3-Tesla-Scanner zur Verfügung, darunter einer der drei weltweit einzigen sogenannten Connectom-Scanner.

Neben der Gehirnanatomie lassen sich mit diesen Geräten auch die Gewebezusammensetzung und dynamische Prozesse wie plastische Änderungen untersuchen. Bei einer speziellen Variante der strukturellen Messung, der diffusionsgewichteten MRT, werden die zufälligen Bewegungen der Wassermoleküle im Gewebe beobachtet. Da diese ihre Richtung ändern, wenn sie auf Hinder-

nisse treffen, wird ihre Fortbewegung besonders durch die Membranhüllen eingeschränkt, die die Nervenzellfortsätze (Axone) umgeben. Die Wanderung der Wassermoleküle verrät daher, wie die feinen Nervenfaserbündel im Gehirn verlaufen. So können Informationen über die internen Verknüpfungen des Gehirns gewonnen und die Faserverläufe dreidimensional dargestellt werden. Der Connectom-Scanner ermöglicht dabei durch seinen besonders starken Magnetfeldgradienten, der mit 300 Millitesla pro Meter beinahe vierfach höher liegt als bei den derzeit leistungsstärksten Serien-Tomographen, eine außergewöhnlich hohe Auflösung dieser „Verdrahtung“.

Mithilfe der funktionellen MRT (fMRT) wiederum können anhand kleiner Änderungen des Sauerstoffgehalts im Blut Rückschlüsse auf die Aktivität von Hirnarealen gezogen werden. Der 7-Tesla-Tomograph ermöglicht dank seiner außergewöhnlich hohen Feldstärke eine sehr hohe räumliche Bildauflösung und ist daher ►

Equipment and Methods

Research at the Institute is conducted using state-of-the-art equipment and methods. Magnetic resonance imaging (MRI) is a non-invasive method that provides high-resolution 3D representations of the brain without using ionising radiation. The higher a scanner's magnetic field strength, the more detailed the images. Research at the Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences is carried out using a 7-Tesla scanner, which provides exceptionally high resolution, and four 3-Tesla scanners including one of the world's most sophisticated scanners—the Connectom—of which there are only three worldwide.

As well as investigating the anatomy of the brain, information on tissue composition and dynamic processes such as plastic changes can be obtained. A particularly special type of structural measurement, diffusion-weighted magnetic reso-

nance imaging, uses the random movements of water molecules in tissue, as these movements are less restricted along nerve fibre bundles than in other directions, where obstacles such as layers of membranes enveloping axons frequently hinder the path of the water. The migration of water molecules therefore allows conclusions to be drawn about connections within the brain and also obtain 3D imaging of fibre tracts. With the help of its exceptionally strong magnetic gradient at 300 millitesla per metre—almost four times higher than that of the currently most powerful serial MRI scanner—the Connectom scanner enables an impressively high resolution of the wiring of certain brain structures.

Functional MRI (fMRI), in turn, measures subtle changes in blood oxygenation and can be used ►

3-Tesla-Connectom-Magnetresonanztomograph | 3-Tesla Connectom magnetic resonance scanner



besonders geeignet, wenn die Funktion und/oder die Anatomie einer bestimmten Hirnstruktur im Detail untersucht werden soll.

Die Spezialisierung der einzelnen Scanner auf verschiedene, sich ergänzende Aspekte der Hirnbildgebung ermöglicht uns demzufolge, ein biophysikalisches Gesamtmodell des Gehirns zu erstellen.

Neben der MRT spielt auch die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) eine wichtige Rolle. Sie nutzt das Licht im Infrarotbereich, um beispielsweise während einer motorischen Aufgabe durch die Kopfhaut Änderungen der Sauerstoffsättigung des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin in den äußeren Schichten der Hirnrinde zu messen und so die dabei aktiven Hirnbereiche zu lokalisieren.

Während die Stärke dieser Verfahren vor allem darin liegt, anatomische Strukturen und Aktivitätsmuster präzise zu lokalisieren und dreidimensional

abzubilden, zeichnen sich Elektroenzephalographie (EEG) und Magnetoenzephalographie (MEG) durch eine hervorragende zeitliche Auflösung aus: Indem sie die elektrischen und magnetischen Schwankungen erfassen, die bei der Kommunikation zwischen Nervenzellen auftreten, können sie auf die Millisekunde genau verfolgen, wie das Gehirn auf einen Reiz reagiert.

Die transkranielle Magnetstimulation (TMS) und die transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS) bieten wiederum die Möglichkeit, mit Hilfe einer Magnetspule bzw. eines schwachen Stroms die Aktivität ausgewählter Hirnareale kurzzeitig anzuregen oder zu hemmen.

Darüber hinaus verfügen wir über Eye-Tracking-Systeme und ein Motion-Capture-System, um Augen- und andere Bewegungen zu verfolgen, sowie über verschiedene Laborräume für Reaktionszeit-, Psychophysik- und Psychoakustikexperimente, ein Pharmalabor und ein Virtual-Reality-Labor. ■

to determine and map activity in specific brain regions. With its extraordinary high field strength and especially high spatial resolution, the 7-Tesla MRI scanner is particularly suitable for examining the function and anatomy of specific brain structures in accurate detail. The specialisation of the various scanners on different complementing aspects of brain imaging makes it possible to construct a biophysical overall model of the brain.

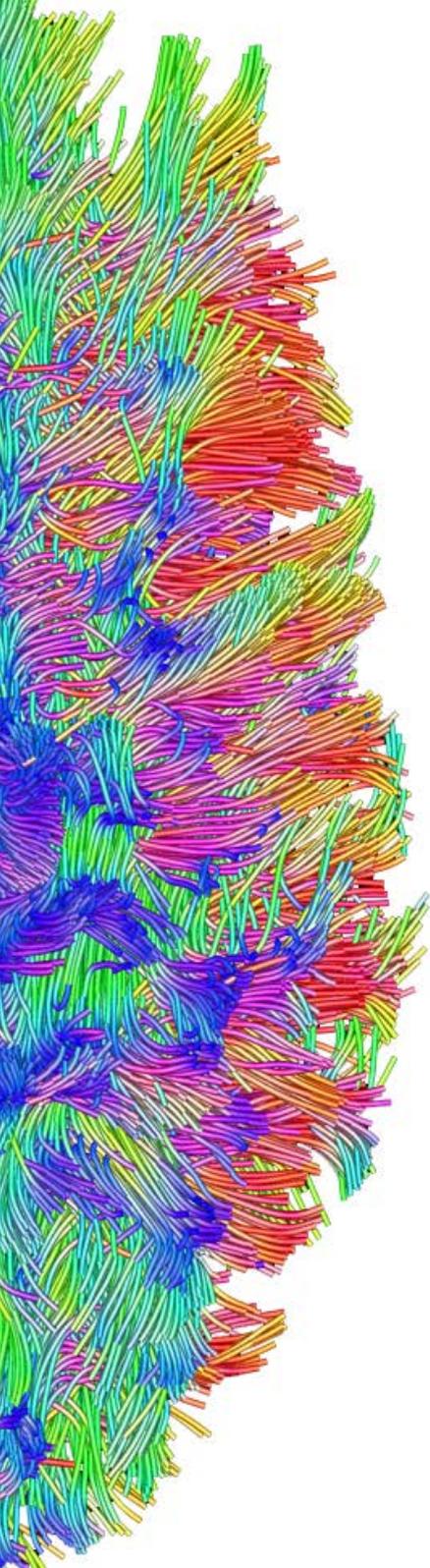
Another technique, near-infrared spectroscopy (NIRS), allows changes in haemoglobin oxygenation levels in the outer layers of the brain to be measured or localised on the scalp using near-infrared light.

In contrast to these techniques, which achieve high spatial resolution, electroencephalography (EEG) and magnetoencephalography (MEG) allow high temporal resolution. By recording fluctuations in electric and magnetic flux, which occur

when nerve cells in the brain communicate with each other, the brain's reaction to a stimulus can be recorded with millisecond precision.

Transcranial magnetic stimulation (TMS) and transcranial direct-current stimulation (tDCS) are used to stimulate or inhibit activity in a particular brain region using a magnetic coil or low-level direct current.

In addition, the Institute has eye-tracking systems, a motion-capture system, a number of laboratories for reaction-time experiments, a psychophysics laboratory, a pharmacological laboratory, a psycho-acoustical laboratory with a sound-isolated chamber, and a virtual-reality laboratory. ■



Teilnahme an unseren wissenschaftlichen Studien

Im Zentrum unserer Arbeit stehen das menschliche Gehirn, seine Fähigkeiten sowie mögliche Erkrankungen. Die Bandbreite ist dabei groß: Mithilfe verschiedenster Methoden untersuchen wir sowohl die höheren kognitiven Funktionen wie Sprache, Musik und Emotionen als auch basale biologische Prozesse im Gehirn und Krankheiten wie Schlaganfall und Alzheimer. Ziel der Grundlagenforschung auf diesen Gebieten ist es, Erkenntnisse und Ansätze für die spätere therapeutische, medizinische und gesellschaftliche Anwendung zu gewinnen.

Für unsere Forschung sind wir auf Studienteilnehmer*innen angewiesen. Deshalb suchen alle Abteilungen und Gruppen am Institut ständig nach geeigneten Personen aller Altersgruppen. So werden beispielsweise für Studien zum früh-

kindlichen Spracherwerb Kleinkinder gesucht, während in anderen Gruppen erfahrene Ausdauersportler*innen, Jazzpianisten*innen, chinesische Muttersprachler*innen oder Personen mit Bluthochdruck gebraucht werden. Über Studienablauf und -inhalte werden alle Teilnehmenden stets ausführlich informiert. Für die Mitwirkung wird eine kleine Aufwandsentschädigung gezahlt.

Aktuelle Gesuche finden Sie auf unserer Internetseite unter <https://www.cbs.mpg.de/aktuelles/studienteilnahme>. ■



3D-Bild des Fasernetzwerks des Gehirns |
3D image of the brain's nerve fibre network

Participation in our Research Studies

The human brain and diseases that can affect it are the focal points of our research. Using a wide range of methods, we conduct research into higher cognitive functions such as language, music, and emotion, as well as the fundamental biological processes in the brain and medical conditions such as stroke and Alzheimer's disease. The goal of our research in these fields is to gain knowledge and enhance approaches that can later be applied in therapeutic, medical, and social settings.

This research depends on voluntary participants for studies. Therefore, all the departments and groups at the Institute are constantly looking for suitable people of all ages. For example, infants are sought for studies on early language development and early social interaction by our baby labs. Other groups require experienced ice-skaters, jazz

pianists, Russian native speakers, or individuals with high blood pressure, for instance. All study participants are given detailed descriptions of study procedures and content. They also receive incentives for taking part.

Information about current studies is available on our website at <https://www.cbs.mpg.de/news/probands>. ■



Siebenjähriger Studienteilnehmer | Seven-year-old
volunteer



Standorte der Forschungseinrichtungen
der Max-Planck-Gesellschaft in
Deutschland |

Sites of the Max Planck Society's research
institutions in Germany

Ausländische Institute |
International Institutes

- Nijmegen, Niederlande | the Netherlands
- Rom, Italien | Italy
- Florenz, Italien | Italy
- Jupiter, Florida, USA | USA



Über die Max-Planck-Gesellschaft (MPG)

*„Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.“
(Max Planck)*

Die MPG ist Deutschlands erfolgreichste Forschungsorganisation. Seit ihrer Gründung 1948 finden sich 22 Nobelpreisträger*innen in ihren Reihen. Damit ist sie auf Augenhöhe mit den weltweit angesehensten Forschungsinstitutionen. Auch die jährlich mehr als 15.000 Publikationen in international renommierten Fachzeitschriften, viele davon die meistzitierten ihres Fachgebiets, sind Beleg für die hervorragende Forschungsarbeit an Max-Planck-Instituten.

Die Erfolge der MPG basieren dabei auch auf ihrem Forschungsverständnis: Max-Planck-Institute entstehen nur um weltweit führende Spitzenforschende herum. Diese bestimmen ihre Themen selbst, erhalten beste Arbeitsbedingungen und haben freie Hand bei der Auswahl ihrer Teams.

Die derzeit 85 Max-Planck-Institute betreiben Grundlagenforschung in den Natur-, Bio-, Geistes- und Sozialwissenschaften im Dienste der Allgemeinheit. Sie engagieren sich in Forschungsgebieten, die besonders innovativ sind oder einen speziellen finanziellen bzw. zeitlichen Aufwand erfordern. Ihr Forschungsspektrum entwickelt sich dabei ständig weiter, um Antworten auf zukunftssträchtige Fragen zu finden. Dadurch erhält sich die MPG den Spielraum, auf neue wissenschaftliche Entwicklungen rasch reagieren zu können.

Besonderes Gewicht legt die MPG auf die Nachwuchsförderung. Sowohl die über 66 International Max Planck Research Schools (IMPRSs) mit ihrer strukturierten Doktorand*innenausbildung als auch die Max-Planck-Forschungsgruppen junger, herausragender Wissenschaftler*innen tragen wesentlich zur Stärkung und Internationalisierung des Forschungsstandorts Deutschland bei. ■

About the Max Planck Society

“Insight must precede application.” (Max Planck)

The Max Planck Society is Germany's most successful research organisation. Since it was established in 1948, no fewer than 22 Nobel laureates have emerged from the ranks of its scientists, putting it on a par with the best and most prestigious research institutions worldwide. More than 15,000 research findings are published each year in internationally renowned scientific journals, many of which are among the most cited publications in their relevant fields.

The scientific attractiveness of the Max Planck Society is based on its understanding of research: Max Planck Institutes revolve around the world's leading researchers. They define their research subjects under the best working conditions, as well as having a free reign in selecting their staff.

The current 85 Max Planck Institutes conduct basic research in the service of the general public in the natural sciences, life sciences, social sciences, and the humanities. Max Planck Institutes focus on research fields that are particularly innovative or that are especially demanding in terms of funding or time requirements. Their research spectrum is continually evolving. New institutes are established to find answers to seminal, pioneering scientific questions, while others are closed when, for example, their research field has been widely established at universities. This continuous renewal preserves the scope that the Max Planck Society needs to react quickly to pioneering scientific developments.

The Max Planck Society places great importance on the development of junior researchers. In addition to over 66 International Max Planck Research Schools (IMPRSs), Max Planck Research Groups, which represent a highly efficient method of promoting aspiring scientists, contribute significantly to Germany's reputation as a base for international research. ■



Unser International Office

Wir unterstützen unsere internationalen Forscher*innen und Nachwuchswissenschaftler*innen, um ihnen einen möglichst angenehmen Start an unserem Institut und in Leipzig zu ermöglichen. Dazu bieten wir ihnen bereits vor ihrer Ankunft und während ihrer Arbeit am Institut vielerlei Hilfestellung – sei es mit der Krankenversicherung, Visa-Angelegenheiten, Wohnungssuche oder KiTa-Betreuungsplätzen für ausländische Wissenschaftler*innen, die mit ihren Familien nach Leipzig kommen.

Wissenschaft und Spitzenforschung leben von Internationalität. Deshalb stehen wir unseren internationalen Kolleg*innen in nahezu allen organisatorischen und administrativen Fragen helfend zur Seite. Willkommen in Leipzig! ■

Kontakt: international-office@cbs.mpg.de

Unser Engagement für MINT-Fächer

„Wir dürfen die Frage der Attraktivität von MINT-Fächern nicht dem Zufall überlassen, sondern wir müssen früh anfangen, junge Menschen dafür zu begeistern.“

Alt Bundeskanzlerin Angela Merkel auf dem 4. MINT-Gipfel 2016

Spitzenforschung erfordert interdisziplinäres Denken: Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik sind auch innerhalb der neurowissenschaftlichen Forschung wichtig. Daher engagieren wir uns dafür, bei jungen Menschen die Begeisterung für diese Disziplinen zu fördern. Bei Schüler*innentagen, dem jährlichen Girls' & Boys' Day, der Langen Nacht der Wissenschaften oder ähnlichen Veranstaltungen an unserem Institut lassen unsere Physiker*innen, Informatiker*innen, Mathematiker*innen und Ingenieur*innen junge Menschen hautnah an der Faszination ihrer Fachbereiche und deren aussichtsreichen Perspektiven teilhaben. ■

Kontakt: mint@cbs.mpg.de

Our International Office

We support our international researchers and junior scientists in making a smooth and pleasant start at our institute. We offer a wide range of assistance prior to their arrival and during their employment at our institute—from helping international researchers to obtain health insurance, assisting them with their visa applications or flat search, to finding a nursery place for those who bring their family to Leipzig.

Cutting-edge science depends on international diversity, which is why we endeavour to help our international colleagues in as many matters as possible when we welcome them to Leipzig. ■

Contact: international-office@cbs.mpg.de

Our commitment to MINT disciplines

“We cannot leave the future of MINT subjects and MINT careers to chance, but need to start early in order to inspire young people.”

Former German Chancellor Angela Merkel at the 4th MINT summit 2016

Cutting-edge research needs interdisciplinary thinking and collaboration. Mathematics, computer science, natural sciences, and technology are of crucial importance for neuroscientific research. Therefore, we are strongly committed to increasing young people's fascination in these disciplines. At our pupils' information days, the annual Girls' & Boys' Day, the Long Night of Sciences, or similar events at our Institute, physicists, computer scientists, mathematicians, and engineers share their enthusiasm and their promising perspectives in these fields. ■

Contact: mint@cbs.mpg.de



© Tabea Mariten

Professor Dr. Dr. h.c. Angela D. Friederici

Neuropsychologie

Ziel der Abteilung Neuropsychologie ist es, die Architektur kognitiver Funktionen im erwachsenen und sich entwickelnden Gehirn zu erforschen. Dabei interessieren wir uns sowohl für den Zusammenhang zwischen der Anatomie bestimmter Hirnareale und deren Funktionen für bestimmte kognitive Fähigkeiten als auch für deren zeitliche neuronale Dynamik. Im Zentrum unserer Forschung steht die Frage, wie das menschliche Gehirn die komplexe Aufgabe bewältigt, Sprache zu verarbeiten. Dieser Frage gehen wir interdisziplinär anhand vielfältiger Methoden nach.

Neben den verhaltensbasierten Methoden nutzen wir zum einen die Elektro- und Magnetoenzephalographie (EEG/MEG), mit denen die Gehirnaktivität während der Sprachverarbeitung zeitlich präzise gemessen werden kann. Zum anderen verwenden wir bildgebende Verfahren wie die funktionelle

Magnetresonanztomographie (fMRT), durch die wir die Gehirnaktivität gut lokalisieren können. Die Kombination solcher zeitlich und räumlich hochaufgelösten Verfahren ermöglicht uns, ein zusammenhängendes Bild der Sprachverarbeitung im menschlichen Gehirn zu erstellen. Mithilfe der Diffusions-Tensor-Bildgebung (DTI) können wir das neuroanatomische Netzwerk identifizieren, das dem funktionellen Sprachnetzwerk zugrunde liegt.

Eines unserer wesentlichen Ziele dabei ist es, voneinander trennbare Komponenten der Sprache wie die lautsprachlichen Aspekte (Phonologie), den Satzbau (Syntax) und die Bedeutung (Semantik) in ihren spezifischen Eigenschaften und in ihrer Wechselbeziehung zueinander während ▶

Ausschnitt eines auffächernden Faser-
verlaufs im Gehirn | [Fibre tracts in the
brain](#)

Neuropsychology

The Department of Neuropsychology's research agenda is to identify the functional architecture of cognitive functions and their neural bases in both the mature and developing brain. A core interest of our research is to investigate how the human brain processes language. Our approach is interdisciplinary, using different methods to analyse the functional neuroanatomy of language.

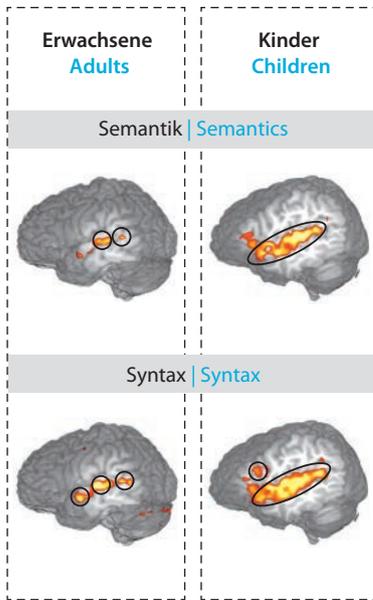
Besides behavioural measures, we mainly use electroencephalography (EEG) and magnetoencephalography (MEG) as measurements to identify the temporal structure of brain activity during language processing. Moreover, we use imaging procedures, such as functional magnetic resonance imaging (fMRI), to localise brain activity. The combination of these high temporal and high spatial resolutions allows us to create a coherent picture of the functional neuroanatomy of lan-

guage processing in the human brain. Diffusion tensor imaging (DTI) allows us to specify the neuroanatomical network underlying the functional language network.

Separable components of language (phonology, i.e. acoustic aspects; syntax, i.e. grammar; and semantics, i.e. meaning) are evaluated regarding their modular character and interaction during language processing. It is essential to specify the brain areas that support these subprocesses, as well as the temporal structure of the interaction between these areas. Our studies show that semantic and syntactic aspects are not processed by single brain areas, but by specific neural networks, namely combinations of several brain areas. ▶

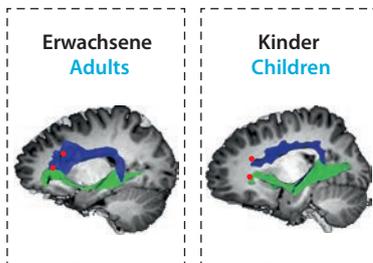


Gehirnaktivierung Brain activation



Hirnaktivität bei Erwachsenen und Vorschulkindern während der Verarbeitung von Grammatik (Syntax) und Wörtern (Semantik) in gesprochener Sprache | Brain activity in adults and 6-year-old children while processing content (semantics) and sentence structure (syntax) of spoken language

Gehirnstruktur Brain structure



Faserverbindungen zwischen sprachrelevanten Hirnarealen | Fibre connections between language areas

der Sprachverarbeitung zu untersuchen. Dabei wollen wir sowohl jene Hirnareale identifizieren, die diese Subprozesse unterstützen, als auch ihr Zusammenspiel in zeitlicher und räumlicher Hinsicht verstehen. Unsere Studien zeigen, dass nicht einzelne Hirnareale allein, sondern spezifische neuronale Netzwerke – also Zusammenschlüsse von mehreren Hirnarealen – jeweils die Syntax und Semantik einer Sprache verarbeiten. Während diese beiden Komponenten vor allem in der linken Gehirnhälfte bewältigt werden, ist das Gehirn bei der Verarbeitung von akustisch dargebotener Sprache, bei der auch die Satzmelodie eine Rolle spielt, auf die Zusammenarbeit von rechter und linker Gehirnhälfte angewiesen.

Im Bereich des Spracherwerbs ermitteln wir die neurophysiologischen Gehirnmuster früher phonologischer, lexikalischer und syntaktischer Prozesse, und darüber hinaus, wie deren Entwicklung mit der Reifung relevanter Hirnstrukturen

einhergeht. Beispielsweise beobachten wir bei Kindern schon in den ersten Lebensmonaten die Fähigkeit, sprachliche Laute und Betonungsmuster der eigenen Muttersprache zu erkennen und sie von fremdsprachlichen zu unterscheiden. Bereits mit Ende des ersten Lebensjahres führt die Bedeutung der ersten Wörter zu Gehirnaktivitätsmustern, die denen von Erwachsenen ähneln. Im Alter von 2 ½ Jahren rufen syntaktische Fehler dann ein erwachsenenähnliches Aktivitätsmuster hervor. Von da an entwickelt sich bis zum Schuleintritt die Fähigkeit heraus, auch komplexere syntaktische Strukturen zu verarbeiten. Wir haben gezeigt, dass diese Fertigkeit davon abhängt, wie weit eine bestimmte Faser Verbindung herangereift ist, die den Informationsaustausch zwischen den zwei wichtigsten sprachrelevanten Hirnarealen sicherstellt. Das belegt zum einen, dass Sprachentwicklung und Hirnreifung Hand in Hand gehen. Zum anderen verdeutlicht es, dass sprachliche Basisprozesse und ihre neuronalen Grundlagen in der Entwicklung schon früh denen des erwachsenen Systems ähneln. ■

Whilst these are mainly located in the left hemisphere, the brain has to rely on cooperation between the left and right hemisphere when processing spoken language, for which prosodic aspects (i.e. sentence melody) are of particular relevance.

Respective research in the field of language acquisition enables us to specify the neurophysiological brain patterns that reflect phonological, lexical, and syntactic processes, and, moreover, to understand their development and the related brain maturation. In the first months of life, infants are already able to identify the sounds and stress patterns of their mother tongue and distinguish them from foreign languages. At the end of the first year of life, the meaning of an infant's first words results in brain activity patterns similar to those of adults. Syntactic errors, however, only evoke an adult-like activity pattern from the age of 2 years, 6 months. Processing complex syntactic

structures develops slowly over the next few years of life. The ability to understand complex syntactic phrases only appears to be present shortly before starting school. We can demonstrate that this ability is dependent on the maturation of a fibre connection that ensures the exchange of information between the two main language-relevant brain areas. These findings indicate that language development and brain maturation go hand in hand. Our studies show that basic language processes and their neuronal bases are similar to the mature system relatively early in development. ■



© Steffen Roth, Berlin

Professor Dr. Arno Villringer

Neurologie

Im Zentrum der Abteilung Neurologie steht die Plastizität des Gehirns und deren Rolle bei der Entstehung von gesundheitlichen Risikofaktoren wie Adipositas oder Bluthochdruck sowie bei der Erholung nach Hirnläsionen, insbesondere nach einem Schlaganfall. Um die zugrundeliegenden Prozesse zu verstehen, nutzen wir einen integrativen Forschungsansatz, bei dem mentale Vorgänge, das Verhalten aber auch Veränderungen im Körper gemeinsam mit neuronalen Prozessen untersucht werden.

Die Grundlagen dieses Zusammenspiels untersuchen wir an zwei Modell-Systemen: der Sensorik und den Emotionen. Konkret im Bereich der Sensorik beschäftigen wir uns mit den neuronalen Strukturen und Aktivitäten, durch die wir Sinneseindrücke bewusst und unbewusst wahrnehmen. Wir wollen außerdem herausfinden, wie Vorgänge im Körper, beispielsweise im Herz, unsere Wahrnehmung verändern und durch diese wiederum selbst beeinflusst werden. Zudem wollen wir verstehen, welche neurophysiologischen Prozesse dem motorischen Lernen zugrunde liegen, wie sich diese beeinflussen und insbesondere bei älteren Menschen verbessern lassen. Auf dem Gebiet der Emotionen erforschen wir deren Bezug zu Vorgängen im Körper, insbesondere bei negativen Emotionen wie Traurigkeit und Ärger – und wie sich diese etwa auf das Essverhalten und den Blutdruck auswirken.

In enger Kooperation mit dem Universitätsklinikum und der Universität Leipzig untersuchen wir in repräsentativen Studien, wie Adipositas und Bluthochdruck entstehen – und schließlich zu Schlaganfall und Demenz führen können. Die Plastizität des Gehirns spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Wir entwickeln daher Strategien, um plastische Prozesse des Gehirns ►

Neurology

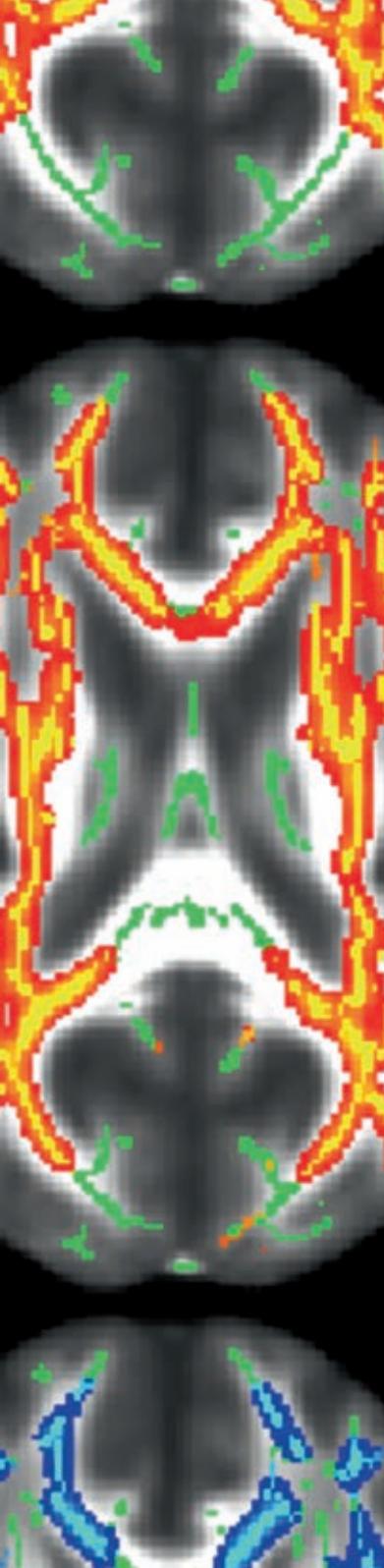
The central topic of our department is brain plasticity, its role in the pathogenesis of risk factors such as obesity and hypertension, and in recovery after brain lesions. In order to understand the underlying mechanisms, we pursue an integrative research approach combining the assessment of behaviour, mental, bodily and neural processes.

We investigate the fundamental processes of this interplay in two model systems: the sensorimotor system and emotions. For the sensorimotor domain, we aim to understand neural structures and activities underlying unconscious and conscious somatosensory processing, how they are modulated by actions of body organs, such as the heart, and how they affect our behaviour. In addition, we research the neurophysiological basis of sensorimotor learning and how this can be modulated and improved, especially in elderly people.

In the field of emotion research, we study the relation between emotions and processes in the body, such as blood pressure and heart rate (variability), particularly for negative emotions like anger and sadness. Furthermore, we investigate differences between the young and old with respect to stress and emotion processing and how these differences influence eating behaviour and blood pressure.

In close cooperation with groups at the University Hospital and the University of Leipzig, we conduct large-scale cohort studies to investigate how risk factors such as hypertension or obesity develop, how they affect (and are affected by) cognition and emotion, and how they ultimately lead to stroke and dementia. Here, the plasticity of the brain plays a crucial role. We therefore develop strategies to influence neuroplasticity and we apply these new strategies to avoid and/or treat risk factors.

For patients with focal brain lesions, particularly after a stroke, together with the Clinic ►



zu steuern und damit wiederum Risikofaktoren vermeiden bzw. behandeln zu können.

Für Patient*innen mit Hirnschädigungen, insbesondere nach einem Schlaganfall, entwickeln wir gemeinsam mit der Klinik für Kognitive Neurologie neue Rehabilitationsverfahren. Dazu gehören robotergestützte motorische Lernverfahren, Brain-Computer-Interfaces, virtuelle Realitäten zur Verbesserung der räumlichen Orientierung sowie transkranielle Stimulationsverfahren. Dabei untersuchen wir auch, wie sich diese Therapien durch Medikamentengabe unterstützen lassen.

Um die komplexen Prozesse der Neuroplastizität und ihre Interaktionen mit körperlichen und mentalen Vorgängen detailliert zu erfassen, kombinieren wir psychophysische, verhaltensbasierte, testpsychologische und peripher-physiologische, d.h. an bestimmten Organen messende, Verfahren mit bildgebenden Methoden wie MRT, EEG, MEG,

PET und NIRS sowie TMS und tDCS (transkranielle Magnet- bzw. Gleichstromstimulation). Zudem nutzen wir in Kooperation mit der Universität Leipzig ein Gerät, mit dem sich simultane PET/MRT-Untersuchungen durchführen und damit molekulare Vorgänge und Veränderungen der Durchblutung im Gehirn gleichzeitig erfassen lassen. Außerdem entwickeln wir zusammen mit dem Leipziger Innovationszentrum für Computer-assistierte Chirurgie und dem Fraunhofer-Institut in St. Ingbert neue nicht-invasive ultraschallbasierte Hirnstimulationsverfahren.

Unsere Abteilung ist in verschiedene regionale und nationale interdisziplinäre Projekte eingebunden, darunter den Sonderforschungsbereich „Mechanismen der Adipositas“, die LIFE-Studie zur Erforschung von Zivilisationskrankheiten, das Integrierte Forschungs- und Behandlungszentrum „Adipositas-erkrankungen“, das MindBrainBody-Labor an der Berlin School of Mind and Brain sowie das bundesweite Kompetenznetz „Schlaganfall“. ■

of Cognitive Neurology at the University Hospital, we develop new therapeutic strategies, such as robot-assisted motor learning methods, brain-computer interfaces, techniques for improving spatial orientation using virtual reality, or transcranial stimulation methods in order to support motor and speech recovery and improve patient outcomes. In this context, we also look for ways in which these therapeutic methods can be supported by medication to enhance the efficiency of neurorehabilitation.

To achieve these goals and improve our understanding of the underlying neurophysiological processes of brain plasticity, we employ psychophysical and behavioural methods as well as psychological test batteries, which we combine with various measures of brain structure and function: functional and structural MRI, PET, EEG, MEG, TMS, NIRS, and tDCS. A simultaneous PET/MRI system that is based at the medical faculty

of the University of Leipzig concurrently records molecular processes and changes in blood flow in the brain. Additionally, in collaboration with the Leipzig Innovation Center for Computer Assisted Surgery and the Fraunhofer Institute in St Ingbert, we are developing innovative non-invasive brain stimulation methods based on ultrasound.

Our department is involved in many integrative projects on a regional and national scale. In particular, we are involved with the collaborative research centre “Mechanisms of Adiposity”, the LIFE project, which examines modern diseases; the Integrated Research and Treatment Center of Adiposity Diseases, the MindBrainBody Lab at the Berlin School of Mind and Brain, and the German Competence Network Stroke. ■

Diffusionsgewichtete MRT-Daten zeigen ausgedehnte Veränderungen der weißen Substanz bei Patient*innen mit früher vaskulärer Demenz. | Diffusion-weighted MRI data show widespread alterations in white matter structure in patients with early vascular dementia.



© Steffen Roth, Berlin

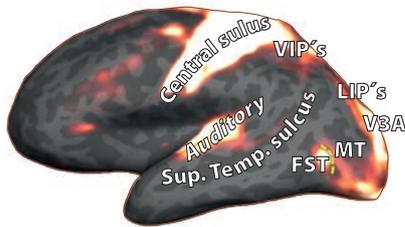
Professor Dr. Nikolaus Weiskopf

Neurophysik

Wie gut wir das gesunde und erkrankte menschliche Gehirn verstehen, hängt entscheidend davon ab, wie zuverlässig wir seine anatomische und funktionelle Mikroorganisation kennen. Winzige Änderungen können bereits schwere Erkrankungen verursachen. Bis heute kann die Mikrostruktur des Hirns jedoch nur mittels Methoden wie der postmortalen Histologie untersucht werden, was die neurowissenschaftliche und klinische Forschung und Diagnose bedeutend einschränkt.

Um die genaue Mikrostruktur im gesunden und kranken Gehirn zu entschlüsseln, bedarf es neuer, nicht-invasiver Bildgebungsmethoden in bisher unerreichter räumlicher Auflösung, mit möglichst geringen Bildartefakten und einer hohen Spezifität. Um diese Herausforderungen zu bewältigen, entwickeln wir neue Methoden für die anatomische und funktionelle Magnetresonanztomographie (MRT/fMRT), die anschließende Bildverarbeitung und die dazugehörigen biophysikalischen Modelle. Diese vergleichen wir dann mit der postmortalen Histologie und wenden sie auf gut charakterisierte neuronale Systeme wie die Sehrinde an. Im Zentrum steht dabei die Frage, wie sich die anatomische Mikrostruktur des Gehirns und seine Funktionen gegenseitig bedingen und wie hoch sein Veränderungsvermögen auf mikrostruktureller Ebene ist.

Dafür stehen uns an unserem Institut ein 7-Tesla-MRT und seit Ende 2016 auch ein 3-Tesla-Connectom-MRT-Scanner zur Verfügung, dem einzigen seiner Art auf dem europäischen Festland und einer der drei leistungsstärksten Scanner seiner Art weltweit. Dieser Scanner erzeugt mit 300 Millitesla pro Meter zehnmals stärkere magnetische Feldgradienten als herkömmliche MRT-Scanner und beinahe vierfach stärkere Gradienten als die derzeit leistungsstärksten Serien-Tomographen. Das beschleunigt nicht nur die



Myelinisierung des Cortex, gemessen mit Hilfe der nicht-invasiven Magnetresonanztomographie (MRT) | Cortical myelination as measured by non-invasive magnetic resonance imaging (MRI)

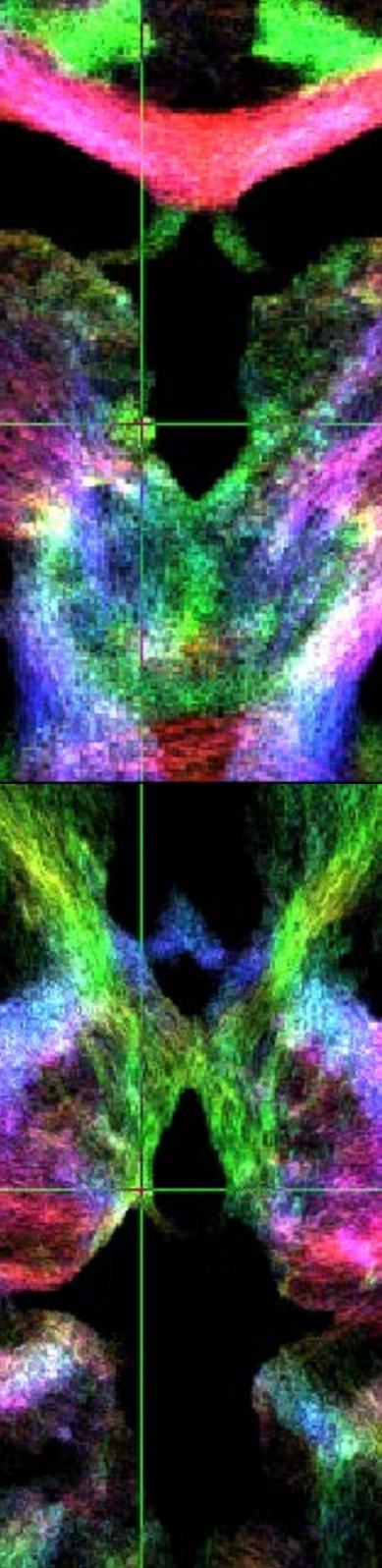
Neurophysics

Understanding the normal and diseased human brain crucially depends on reliable knowledge of its anatomical microstructure and functional micro-organisation. Even subtle changes at a microscopic level can cause debilitating diseases. To date, microstructure can only be determined using invasive methods such as post-mortem histology. This limits neuroscience, clinical research, and diagnosis.

To delve into the subtle microstructure and its changes in health and disease, unprecedented spatial resolution, minimal artifact levels, and highly specified tissue, imaging is essential. To address these extraordinary methodological challenges, we develop novel MRI and functional MRI (fMRI) acquisition methods, image processing methods, and integrated biophysical models. The new methods are compared to *ex vivo* histology, validated,

and applied to well-characterised neuronal systems such as the visual cortex. We focus on the question of how the anatomical microstructure of the brain determines the brain's function and how functional requirements in turn shape the brain's structure.

The research benefits from a 7-Tesla scanner and also a 3-Tesla Connectom MRI scanner—the only one of its kind in Continental Europe and one of the three most powerful scanners of its kind worldwide. At 300 millitesla per metre, the Connectom MRI can generate magnetic field gradients that are approximately four times stronger than those generated by standard MRI scanners. The high gradient strength significantly speeds up and improves the quality of water diffusion imaging by reducing artefacts. Since tissue microstructure affects the extent and direction of diffusion, we can characterise neurites and fibres in the brain that are only a few micrometres thick and gain unique insights into the wiring of certain brain structures. ▶



MRT-Aufnahme und verringert die Gefahr von Bildstörungen, sondern ermöglicht auch deutlich genauere Messungen der Diffusionsbewegung von Wassermolekülen im Gehirn. Da das Ausmaß und die Richtung dieser Bewegungen durch die Mikrostruktur des Hirngewebes beeinflusst werden, können wir so selbst wenige Mikrometer große Neuriten und Fasern charakterisieren und einzigartige Einsichten in die „Verdrahtung“ bestimmter Hirnregionen erhalten. Die extrem hohe magnetische Feldstärke des 7-Tesla-MRT bietet wiederum das notwendige Verhältnis zwischen eigentlichem Mess- und Störsignal, um die Funktion und/oder Struktur einzelner Hirnregionen in hohem Detailreichtum abzubilden. So haben wir bereits herausgefunden, dass zum einen die neuesten MRT-Techniken die Unterschiede in der Myeloarchitektur zwischen verschiedenen Hirnregionen gut darstellen können. Zum anderen stimmen diese anatomischen

Grenzen gut mit denen der funktionellen Organisation des Gehirns überein. Zudem gelang es uns, anhand der Myelinisierung des auditorischen Cortex vorherzusagen, wie stark dieses Hirnareal auf einen akustischen Reiz antwortet.

Neben der Mikrostruktur des Cortex erforschen wir auch die der weißen Substanz, insbesondere direkt unterhalb des Cortex, da diese entscheidend für dessen Verdrahtung ist. Indem wir die Daten des 7-Tesla- und 3-Tesla-Connectom-Scanners über vereinheitlichte biophysikalische Modelle miteinander verknüpfen, können wir die Mikrostruktur des Hirns letztlich in bisher nie dagewesener Genauigkeit erfassen. Die Weiterentwicklung neuer MRT-Techniken wird nicht nur entscheidende Erkenntnisse über das Gehirn, sondern auch für die klinische Diagnostik liefern. Das könnten beispielsweise Biomarker sein, die bereits kleinste Veränderungen im Nervensystem als Folge von Krankheiten wie Alzheimer erkennen, und uns die zugrunde liegenden Mechanismen besser verstehen lassen. ■

The 7-Tesla MRI scanner's particularly high magnetic field offers the necessary signal-to-noise ratio to achieve ultra high-resolution images to show the structure and function of single brain areas in high detail. The combination of data from both MRI scanners using unified biophysical models provides unprecedented sensitivity, specificity, and detail of the brain's microstructure.

As a first step, we study the relation between brain areas defined by function and myeloarchitecture, both measured using innovative MRI methods, yielding a high congruency. Based on the myelination of the auditory cortex showing the concentration of sheaths of nerve fibres, we were, for instance, able to predict the amplitude of individual functional responses in the auditory cortex. In addition to detailed cortical microstructure, we also investigate the white-matter structure of the brain and its nerve fibres. We are particularly interested

in the superficial white matter and its crucial role in wiring of the cortex.

By combining data from both the 7-Tesla and 3-Tesla-Connectom scanners, using unified biophysical models, we can assess the brain's microstructure with sensitivity and accuracy never seen before. Investigations of the structure–function relationship and plasticity at a microstructural level make investigations of the structure–function relationship and plasticity in the human brain achievable. These novel techniques are expected to have a significant impact on brain research and clinical applications, as they provide, for instance, sensitive biomarkers of nervous system changes due to trauma or neurodegeneration, such as in Alzheimer's disease, and facilitate new insights into underlying mechanisms. ■

Hochaufgelöstes Bild einer Struktur des Zwischenhirns, aufgenommen an unserem 7T-Scanner | High-resolution image of a structure located in the midbrain using 7T MRI.



© Steffen Roth, Berlin

Professor Dr. Christian F. Doeller

Psychologie

Das Ziel unserer Forschung ist es, den kognitiven Code zu knacken. Denn bisher ist es noch nicht gelungen, eine der wesentlichsten Fragen der Neurowissenschaften überhaupt zu beantworten: Was sind die grundlegendsten Mechanismen im Gehirn, die das menschliche Denken ermöglichen? Um sich diesem Phänomen zu nähern, nutzen wir zwei Modellsysteme: Das menschliche Gedächtnis und den sogenannten neuronalen Code für Raum, d.h. die gemeinsame Aktivität einer Gruppe von Nervenzellen im Gehirn, die die eigene Position im Raum verarbeiten. Diese Herangehensweise basiert auf der faszinierenden, später mit dem Nobelpreis ausgezeichneten Entdeckung im Gehirn von Nagetieren, dass es zwei Arten an Nervenzellen gibt, die auf räumliche Informationen spezialisiert sind: Die Ortszellen im Hippocampus und die Rasterzellen im nahegelegenen, sogenannten entorhinalen Cortex.

Diese beiden Zelltypen signalisieren uns in Zusammenarbeit mit anderen raumverarbeitenden Zellen, welche Position, Richtung, Entfernung und Geschwindigkeit wir im Raum haben. Sie bilden eine Art inneres Navigationssystem und damit eines der verblüffendsten Systeme des Gehirns zur Umwandlung von äußeren Eindrücken in Informationen.

Ausgangspunkt unserer Forschung ist dabei die Idee, dass dieses innere Navigationssystem womöglich – als Ergebnis der Evolution – die Grundlage für menschliches Denken bildet. Das Gehirn könnte demnach jede Art von Eindrücken in sogenannten kognitiven Räumen abbilden. Nehmen wir etwa ein Auto, das wir beschreiben wollen. Das kann entlang zweier Dimensionen geschehen, der Motorleistung und des Gewichts. Ein Rennwagen würde hier einen Raum einnehmen, der durch große Leistung und geringes Gewicht charakterisiert ist, ein Wohnmobil hingegen einen von geringerer Leistung und hohem Gewicht. Wir wollen ►

Psychology

Our overarching goal is to crack the cognitive code. The fundamental question in cognitive neuroscience—what are the key coding principles of the brain enabling human thinking—still remains largely unanswered. In our long-term aim to tackle this question, we use two model systems: human memory and the neural population code for space, representing the summed activity of neurons while processing an individual's position in its environment. This is based on one of the most fascinating discoveries in neuroscience, the Nobel Prize-awarded identification of spatially responsive cells in the rodent brain, in a region called the hippocampal formation. So-called hippocampal place cells, and grid cells in the nearby located entorhinal cortex, signal—in concert with other spatially tuned cells—position, direction, distance and speed. Thereby they provide an internal spatial map, the brain's SatNav, the most intriguing

coding scheme in the brain outside the sensory system.

Our framework is concerned with the key idea that this navigation system in the brain—potentially as a result of evolution—provides a fundamental neural metric for human cognition. Specifically, we propose that the brain represents experience in so-called 'cognitive spaces'. For illustration, consider the simple example of describing cars, which you might do along two dimensions, their engine power and their weight. Depending on the two features, racing cars, for instance, would occupy a region characterised by high power and low weight, and campers by low power and high weight. We test the overarching model that—akin to representing places and paths in a spatial map—similar coding principles are involved in the formation of such cognitive spaces. Importantly, in our experimental framework we investigate whether these domain-general principles support a broad range of our ►



hier herausfinden, ob bei uns ähnliche Mechanismen ablaufen, wenn wir solche kognitiven Räume bilden wie während wir Orte und Wege auf einer Landkarte verarbeiten. Und nicht nur das: Wir wollen herausfinden, ob diese Mechanismen gar für andere Hirnareale und für eine große Bandbreite an geistigen Fähigkeiten wie Orientierung, Erinnern, Lernen, Wissenserwerb, Vorstellungskraft oder Zeitempfinden gelten.

Von diesen Kerngedanken ausgehend, arbeiten wir an zwei Anwendungsbereichen: Zum einen wollen wir neurowissenschaftliche Grundlagenforschung in die Informationstechnologie bringen, um damit Instrumente wie Gehirn-Computer-Schnittstellen zu entwickeln, die Prozesse wie Lernen und Wahrnehmung selbst in alltäglichen Bereichen wie der Schulbildung verbessern könnten. Zum anderen wollen wir diese Grundlagenforschung in die medizinische Anwendung bringen und sie beispielsweise für die Früherkennung von Alzheimer-

Demenz nutzen, einer Krankheit, die als erstes ebenjenes, für die räumliche Verarbeitung besonders entscheidenden entorhinalen Cortex angreift. Hier könnten neue Erkenntnisse zu seiner Rolle bei der Verarbeitung kognitiver Räume ein ganz neues Bild dieser Erkrankung bringen.

Solche Entdeckungen sind letztlich nur mithilfe innovativer Technologien möglich. Zentral ist dabei für uns die räumlich hochauflösende funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), darunter auch die von besonders hoher Feldstärke wie sie das 7T-Gerät und der Connectom am MPI CBS bilden. Dadurch können wir verstehen, wie sich die Struktur und Funktion einzelner Hirnbereiche gegenseitig bedingen. Mithilfe der Magnetoencephalographie (MEG) können wir zudem die Hirnwellen analysieren, die unserem Denken zugrunde liegen. Diese bildgebenden Verfahren kombinieren wir wiederum mit Methoden des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz sowie innovativen Experimenten in virtueller Realität. ■

fundamental cognitive functions, ranging from spatial navigation, memory formation, learning, imagination, and perception to time processing, decision-making, and knowledge acquisition.

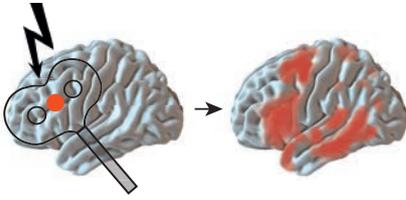
Two translational research goals follow directly from this overarching mission: Firstly, we aim to translate basic neuroscience to information technology to develop tools such as brain-computer interfaces to accelerate learning and to enhance cognition—with wider implications for real-world settings, such as school education. Secondly, we seek to transfer this to a medical setting to identify novel biomarkers for the early detection of Alzheimer's disease, which first affects the entorhinal cortex. Our approach to neural coding in cognitive spaces can open an exciting new window into understanding this disease.

Discoveries are only made possible through innovative technologies. Our central, bread-and-but-

ter research tools are space-resolved, functional magnetic resonance imaging (fMRI), including high-field scanning, to understand how structure and function are associated with each other on a microarchitecture level, as well as time-resolved magnetoencephalography (MEG) to examine brain oscillations supporting cognition. We further combine neuroimaging with machine learning analysis techniques, informed by artificial intelligence, and innovative cognitive tasks, including virtual reality. ■

Während wir jede Art von Eindrücken verarbeiten, laufen bei uns möglicherweise ähnliche Mechanismen ab, wie während der Auseinandersetzung mit Orten und Wegen auf einer Landkarte. | Akin to representing places and paths in a spatial map—similar coding principles might be involved in the formation of cognitive spaces, in which the brain represents all types of experience.

Forschungsgruppe Kognition und Plastizität

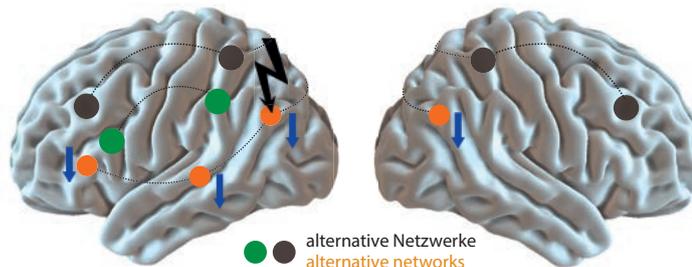


Kombination von fokaler Neurostimulation und funktioneller Bildgebung zur Messung der adaptiven Plastizität in Hirnnetzwerken für kognitive Prozesse. | **Combination of focal neurostimulation and functional neuroimaging to map adaptive plasticity in healthy brain networks supporting cognitive functions.**

Kognitive Prozesse sind in unserem Gehirn in großen Netzwerken organisiert. Die flexible Interaktion innerhalb und zwischen Netzwerken für verschiedene kognitive Funktionen wird durch ein hohes Maß an neuronaler Plastizität in unserem Gehirn ermöglicht. Sie bildet die Grundlage für lebenslanges Lernen und die erfolgreiche Anpassung an verschiedene Anforderungen.

Ziel unserer Forschung ist es, zentrale Mechanismen dieser adaptiven Plastizität in neuronalen Netzwerken für kognitive Funktionen über die erwachsene Lebensspanne zu identifizieren. Dabei interessiert uns Neuroplastizität als Mechanismus zum Erlernen neuer Fähigkeiten, als Anpassung an kognitive Herausforderungen und als Kompensationsstrategie gegen den altersbedingten Abbau kognitiver Fähigkeiten sowie nach Hirnläsionen – zum Beispiel nach einem Schlaganfall.

Wir kombinieren dazu nicht-invasive Hirnstimulation mit bildgebenden Verfahren und EEG. Eine Kernhypothese ist, dass neuronale Netzwerke für kognitive Funktionen den Beitrag verschiedener Regionen flexibel anpassen können, was eine Kompensation für Störungen ermöglicht. So können nach einer fokalen Störung im Sprachnetzwerk andere Regionen innerhalb desselben Netzwerks oder benachbarte Netzwerke rekrutiert werden, um die Sprache aufrecht zu erhalten. Ein besseres Verständnis dieser Prozesse soll in Zukunft helfen, Neuroplastizität zu fördern und die Erholung von kognitiven Funktionen nach Hirnläsionen zu unterstützen. ■



Research Group Cognition and Plasticity

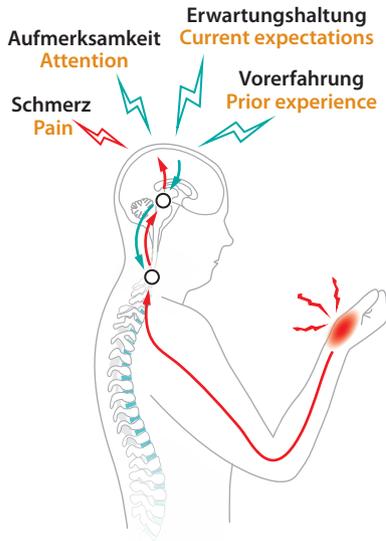
In the human brain, cognitive functions are organised in large-scale neural networks that strongly interact. Flexible interaction within and between different neural networks is enabled by neural plasticity, which is the key process that shapes brain function throughout life and allows for lifelong learning and adaptation.

The central aim of our research is to identify generic principles of adaptive plasticity in the neural networks underlying higher cognitive functions across the adult lifespan. We aim at elucidating the role of neural plasticity during the acquisition of novel cognitive skills, and also as an adaptive mechanism for cognitive challenges, counteracting cognitive decline, or compensating for functional loss after brain lesions. To this end, we use a multi-method approach, combining non-invasive brain stimulation (TMS, tDCS, tACS) with

neuroimaging and EEG. Our key hypothesis is that neural networks underlying cognition can rapidly change the functional weight of the relative contribution of different nodes, enabling flexible compensation after disruption. For instance, after focal perturbation of a key neural region for language, recruitment of other areas within the same network, or regions from a different network, may help to maintain language processing. A better understanding of these processes will pave the way for future enhancement of plasticity and recovery after brain injury, such as stroke. ■

Flexible Anpassung in Hirnnetzwerken für kognitive Prozesse: Nach Störung einer Schlüsselregion ist die Aktivierung im Netzwerk verringert. Eine Kompensation kann durch Rekrutierung alternativer Netzwerke erreicht werden. | **Flexible redistribution in brain networks for cognitive processes: After disruption of a key neural region, the contribution of the specific network is decreased. The brain may compensate by recruiting alternative networks.**

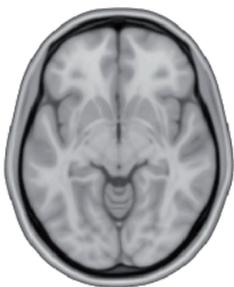
Max-Planck-Forschungsgruppe Schmerzwahrnehmung



Obwohl Schmerzen etwas sehr Unangenehmes sind, sind sie für uns doch überlebenswichtig, da sie uns auf drohende oder tatsächliche Verletzungen aufmerksam machen. Die Wahrnehmung von Schmerz wird jedoch interessanterweise nicht nur von der eigentlichen Gewebeschädigung bestimmt, sondern auch stark von Verarbeitungsprozessen im Gehirn und Rückenmark. Daher können psychologische Faktoren wie Erwartungen und Aufmerksamkeit einen wesentlichen Einfluss darauf haben, wie wir Schmerzen empfinden. So werden sie beispielsweise als weniger intensiv wahrgenommen, wenn wir abgelenkt sind. Das Ziel unserer Forschungsgruppe ist es, mithilfe moderner bildgebender Verfahren die neuronalen und kognitiven Mechanismen zu verstehen, die unserem Schmerzempfinden zugrunde liegen.

Unsere Schmerzwahrnehmung wird nicht nur durch die eigentliche Gewebeschädigung, sondern auch von Verarbeitungsprozessen im Gehirn und Rückenmark wie Vorerfahrung, Erwartungshaltung und Aufmerksamkeit bestimmt. | *Our perception of pain is not just driven by an injury, but is strongly influenced by the context in which it occurs (e.g. our prior experience, current expectations and attention).*

Unsere Forschung hat dabei das gesamte Nervensystem im Blickfeld, ihr Schwerpunkt liegt jedoch auf dem Rückenmark - aus zweierlei Gründen. Einerseits ist das Rückenmark die erste Station der Schmerzverarbeitung im zentralen Nervensystem, so dass dort stattfindende Prozesse tiefgreifende Konsequenzen für darauffolgende Verarbeitung und Wahrnehmung von Schmerzen haben. Andererseits ist das Rückenmark maßgeblich an Schmerzerkrankungen beteiligt und somit ein potentes Ziel für zukünftige Therapien. Trotz dieser Relevanz ist das menschliche Rückenmark unzureichend erforscht, da es sehr schwierig ist, zuverlässige Signale von den Nervenzellen dieser winzigen Struktur zu erhalten. Ein weiteres Ziel unserer Forschung ist es daher auch, Methoden zu entwickeln, die uns genau solche Einblicke ermöglichen. ■



Schnitte durch das Gehirn und Rückenmark zeigen, wie klein das Rückenmark ist. | *Sections through the brain and spinal cord demonstrate how small the spinal cord is.*

Max Planck Research Group Pain Perception

Pain is an unpleasant but necessary sensation that alerts us to an actual or impending injury. Importantly, the perception of pain is not solely driven by the actual tissue damage, but is strongly shaped by central nervous system processes in the brain and spinal cord. This is why psychological factors such as expectation and attention can influence how we perceive pain (e.g. pain is experienced as being less intense when we are distracted). We use modern neuroimaging techniques—such as high-resolution functional magnetic resonance imaging—in combination with behavioural recordings to understand how the perception of pain is actively constructed by our central nervous system.

While we explore the entire nervous system, our main focus of research is on the spinal cord, for two reasons. Firstly, the spinal cord is the first stage of central nervous system pain processing, and anything that happens at this early stage will thus have profound consequences on the later processing and perception of pain. Secondly, the spinal cord is also critically involved in pathological forms of pain and could be a valuable target for therapeutic interventions. Despite its importance, the human spinal cord is largely under-explored with regards to pain, as it is immensely difficult to obtain reliable signals from the nerve cells in this tiny structure. Another aspect of our research is therefore to develop methods that make this possible. ■

Max-Planck-Forschungsgruppe Sprachzyklen

Das Verständnis von Sprache bereitet uns meist keine Mühe. Schwierig wird es aber, wenn Sprechende zu schnell oder zu langsam sprechen, ohne Punkt und Komma reden – oder zu viel Information in zu kurzer Zeit servieren. Zwar sind wir flexibel, doch ist unsere Verständnissfähigkeit begrenzt.

Die Gruppe „Sprachzyklen“ sucht nach denjenigen Eigenschaften des menschlichen Gehirns, die unsere sprachliche Verarbeitungsfähigkeit begrenzen: Hängt unsere bevorzugte Sprechgeschwindigkeit mit der Taktung unseres Gehirns zusammen? Wie viel Information können wir in einem bestimmten Zeitfenster verarbeiten – wie lang sind die Zeitfenster, die das Gehirn zur Sprachverarbeitung nutzt? Sind vielleicht die Sprachzeitfenster des Gehirns der Grund dafür,

dass alle Sprachen der Welt Information in Einheiten passender Größe (z.B. Wörter, Phrasen und Sätze) verpacken?

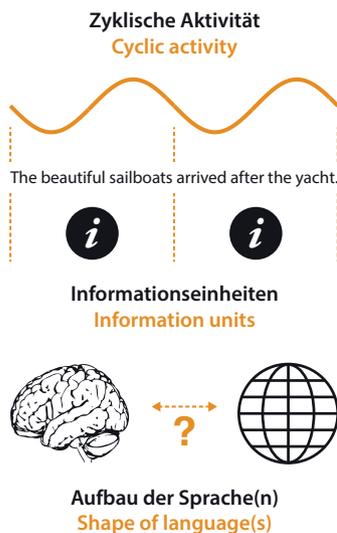
Unsere Forschung kombiniert Methoden der kognitiven Neurowissenschaft (z.B. Elektro- und Magnetoenzephalographie) und Linguistik. Die Verwendung neurowissenschaftlicher Methoden ermöglicht es uns, diejenigen elektrophysiologischen Zeitfenster zu charakterisieren, die den Takt unserer sprachlichen Informationsverarbeitung bedingen. Die Verwendung linguistischer Methoden ermöglicht es uns, die Größe sprachlicher Informationseinheiten in den Sprachen der Welt zu bestimmen. In Kombination hat unsere Forschung das Potenzial, den Aufbau menschlicher Sprache durch Verarbeitungszyklen des menschlichen Gehirns zu erklären – die Sprachzyklen. ■

Max Planck Research Group Language Cycles

Language comprehension is mostly effortless. However, difficulty may arise when speakers speak too fast or too slowly, talk a blue streak – or give too much information in a short space of time. Although we may be flexible, our comprehension abilities are still limited.

The group “Language Cycles” searches for the properties of the human brain that limit our verbal processing abilities: Does our preferred speed of talking depend on the brain’s pace of processing? How much information can we process within a given time window? And how long are the time windows that our brain uses for language processing? Are the language-processing time windows of the brain maybe the reason that all the world’s languages pack information into units of manageable sizes (e.g. words, phrases, and sentences)?

Our research combines methods from cognitive neuroscience (e.g. electro- and magnetoencephalography) and linguistics. Neuroscientific methodology enables us to characterise the electrophysiological time windows that determine the pace of linguistic information processing. The use of linguistic methodology enables us to quantify the size of information units for all the world’s languages. In combination, our research has the potential to explain the shape of human language by the processing cycles of the human brain—the language cycles. ■



Zyklen elektrophysiologischer Aktivität erlauben und beschränken die Zerlegung des sprachlichen Reizes in Informationseinheiten; möglicherweise hat dies dazu geführt, dass die Informationseinheiten aller Sprachen der Welt in Länge und Aufbau zu den Verarbeitungszyklen passen. | Cycles of electrophysiological activity allow for and constrain the formation of information units from the speech stream; potentially, this has driven the length and structure of information units across the world’s languages to fit processing cycles.

Forschungsgruppe Visuelle Wahrnehmung und computer- gestützte Kognitionsforschung

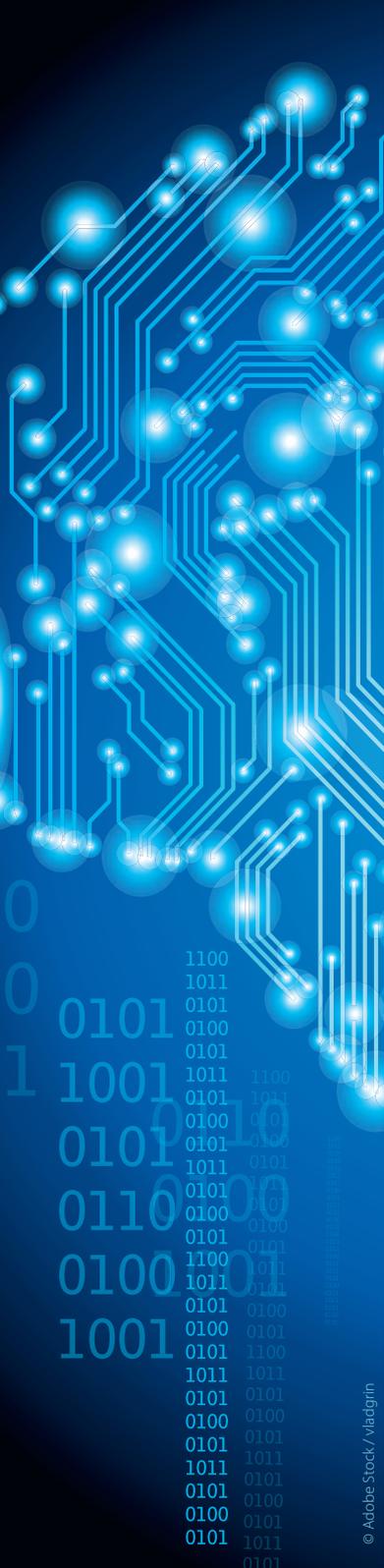
Wie nehmen wir die Welt um uns herum wahr und interagieren mit ihr in einer sinnvollen Art und Weise? Eine Antwort auf diese Frage erscheint auf den ersten Blick sehr einfach. Tatsächlich handelt es sich jedoch um eine komplexe Abfolge an Wahrnehmungs- und Entscheidungsprozessen, die uns befähigt, Objekte zu erkennen, sie zu kategorisieren und angemessene Entscheidungen zu treffen. Ein Verständnis dieser Prozesse im Menschen würde uns helfen, bessere Verfahren zur künstlichen Intelligenz zu entwickeln (z.B. für selbstfahrende Autos) und könnte die Behandlung von Patient*innen mit Hirnschädigungen in visuell-kognitiven Hirnregionen verbessern.

Ziel unserer Forschungsgruppe ist es, grundlegende Mechanismen der visuellen Wahrnehmung aufzudecken und die Prozesse nachzuvollziehen, die von den ersten Verarbeitungsschritten in visuellen Hirnregionen zu Entscheidungen bezüglich unserer Umgebung führen. Um dieses Ziel zu erreichen, erheben wir große Datenmengen im Verhalten und mit bildgebenden Verfahren im menschlichen Gehirn. Diese Menge an Daten ermöglicht es uns, reproduzierbare Muster zu erkennen, die sich anschließend gezielt in klassischen Laborexperimenten testen lassen. Diesen Ansatz unterstützen wir mit computergestützten Modellen wie tiefen neuronalen Netzwerken, welche ein vielseitiges Tool zur Entdeckung unbekannter Hirneigenschaften darstellen. Zudem entwickeln wir diese Modelle weiter, um sie menschenähnlicher zu machen. ■

Research Group Vision and Computational Cognition

How do we perceive the world around us and interact with it in a meaningful manner? An answer to that question may at first seem obvious. However, our ability to recognize and categorize objects and carry out decisions on them is in fact based on a complex cascade of perceptual and decision processes. Understanding these processes would not only aid the development of improved artificial intelligence (such as autonomous cars); it could also support the development of better treatment of patients with damage in visual and cognitive brain regions.

In our research group, we aim to unravel basic mechanisms of visual perception and understand the cascade from early processing in visual brain regions to decision-making processes about our environment. To achieve this goal, we acquire large amounts of data both in behavior and with human brain imaging. With these large datasets we can identify reproducible patterns which we can later target with classical laboratory experiments. We complement this approach with computational models such as deep neural networks that offer a versatile tool for the discovery of previously unknown properties of the human brain. In addition to using these models as a tool, we aim at developing them further to make them more similar to human brains. ■



Forschungsgruppe Meilensteine früher kognitiver Entwicklung

In den ersten Lebensjahren entwickeln Kinder bemerkenswerte kognitive Fähigkeiten, die im sozialen Bereich besonders deutlich werden. Bis zum Schuleintritt haben Kinder ein komplexes Sprachsystem gelernt und sind darüber hinaus in der Lage, sich die Gedanken anderer zu erschließen (in der Forschung als Theory of Mind bezeichnet) und abstrakt über sich selbst nachzudenken. Diese sozialen Fähigkeiten erlauben es uns Menschen vorherzusagen, wie andere Menschen handeln werden, gezielt mit anderen zu kommunizieren, und Konzepte wie Ironie oder Moral zu entwickeln und zu verstehen. Als solche stellen diese Fähigkeiten ein Markenzeichen menschlichen Denkens und Verhaltens dar. Unsere Forschungsgruppe untersucht die kognitiven und neuronalen Mechanismen, die das Erreichen dieser Meilensteine der

menschlichen Kognition in der frühen Kindheit möglich machen. Wann und wie beginnen Kinder, die soziale und physische Welt in Form von abstrakten Konzepten und komplexen Strukturen zu verstehen? Welche Rolle spielt die Gehirnreifung für die Entstehung dieser Konzepte? Ein zentraler Fokus liegt dabei auf der Entwicklung der Theory of Mind und des Selbstkonzepts. Entwickeln sich diese Konzepte bereits in Kleinkindern, bevor diese ihre Gedanken sprachlich ausdrücken können? Und wird diese Entwicklung durch andere kognitive Bereiche (wie Sprache, Arbeitsgedächtnis oder exekutive Funktionen) unterstützt?

Wir behandeln diese Fragen mit Verhaltens- und neurokognitiven Methoden wie spielerischen Aufgaben, Eye-Tracking, funktioneller Nahinfrarotspektroskopie (fNIRS), Elektroenzephalographie (EEG) und Magnetresonanztomographie (MRT). Mit der Kombination dieser Techniken wollen wir herausfinden, wann und wie sich unser typisch menschliches Denken und Sozialverhalten entwickelt. ■

Research Group Milestones of Early Cognitive Development

In the first years of life, children develop remarkable cognitive abilities that are particularly prominent in the social domain. By the age of 4 years, children have not only developed a complex language system, but moreover, are capable of reasoning about other people's thoughts (referred to as Theory of Mind) and themselves in an abstract way. These social abilities allow us to make predictions about how other people will act, have sophisticated communication with others, understand irony, and develop concepts such as morality. As such, these abilities constitute a hallmark of human social cognition and behavior.

Our research group investigates the cognitive and neural mechanisms that drive the achievement of these milestones of human cognition in early childhood. When and how do children start un-

derstanding the social and physical world in terms of abstract concepts and complex structures? What is the role of brain maturation for the emergence of these concepts? A central focus of our group lies on the development of Theory of Mind and a concept of the self. Are these concepts already present in preverbal infants before they can express them verbally? And is their emergence supported by other cognitive domains (such as, language, working memory, or executive functions)?

We address these questions with behavioral and neurocognitive methods in early childhood, including playful tasks, eye-tracking, functional near-infrared spectroscopy (fNIRS), electroencephalography (EEG), and magnetic resonance imaging (MRI). With the combination of these techniques we aim to identify the developmental onset, cognitive structure, and supporting brain structures of typically human cognition and social behavior. ■



Die vierjährige Studienteilnehmerin nimmt an einer Magnetresonanztomographie(MRT)-Studie teil. | The four-year-old volunteer is participating in a magnetic resonance imaging (MRI) study.

Minerva-Fast-Track-Forschungsgruppe Neuronale Codes der Intelligenz

Menschliche Intelligenz umfasst Eigenschaften, die im Vergleich zu anderen Spezies oder künstlicher Intelligenz außergewöhnlich sind. Ein Markenzeichen menschlicher Intelligenz ist die Fähigkeit, schnell von unvollständiger oder doppeldeutiger Information in der Umwelt zu lernen und Schlussfolgerungen zu treffen, die über direkt Erlebtes hinausgehen. Im Vergleich zu künstlicher Intelligenz können Menschen relativ gut abstrakte Zusammenhänge vergleichen und somit Wissen aus einem Bereich in einem anderen Gebiet anwenden – ein Schlüssel zu kreativen Lösungen und wissenschaftlichem Fortschritt. Was sind die Verarbeitungsprinzipien des menschlichen Gehirns, die dieser Schlussfolgerungsfähigkeit zugrunde liegen?

Ziel unserer Forschungsgruppe ist es, Einblicke in die neuronalen Kodierprinzipien zu gewinnen, die zentralen Aspekten menschlicher Intelligenz unterliegen. Dabei interessiert uns insbesondere, wie das Gehirn konzeptionelles Wissen über verschiedene Erfahrungen hinweg extrahiert und repräsentiert, und wie diese Repräsentationen zum Lernen, Schlussfolgern und Lösen neuer Probleme genutzt werden. Um diese Fragen zu untersuchen, kombinieren wir kognitive Maße, Verhaltensparadigmen und nicht-invasive, bildgebende Verfahren wie die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRI). Ein besseres Verständnis davon, wie Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn intelligentes Verhalten unterstützt und unsere kognitiven Fähigkeiten prägt, könnte möglicherweise relevante Erkenntnisse für den Bildungsbereich oder die Weiterentwicklung künstlicher Intelligenz bieten.

Minerva Fast Track Research Group Neural Codes of Intelligence

Human intelligence exhibits features that are unparalleled by other species or its artificial counterpart. One hallmark of human intelligence is the ability to learn quickly in face of sparse and ambiguous information in the environment and to make solid inferences that go beyond our direct experience. Compared to artificial agents, humans easily draw conclusions based on abstract relations and can thus apply knowledge from one domain in a different one – a key to creative insight and scientific advance. How does the human brain process information to enable this inferential capacity?

Our research group aims to gain insight in the neural coding properties underlying key aspects of human intelligence. Particularly, we are interested in how the brain forms and represents conceptual knowledge and how these representations are used for learning, reasoning, and novel problem solving. To address these questions, we use a combination of cognitive measures, behavioral paradigms and non-invasive brain-imaging methods, such as functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI). A better understanding of the information processing properties of the human brain that support intelligent behavior and shape our cognitive abilities might potentially offer relevant insights for education or the development of improved AI.

Lise-Meitner-Forschungsgruppe Kognitive Neurogenetik

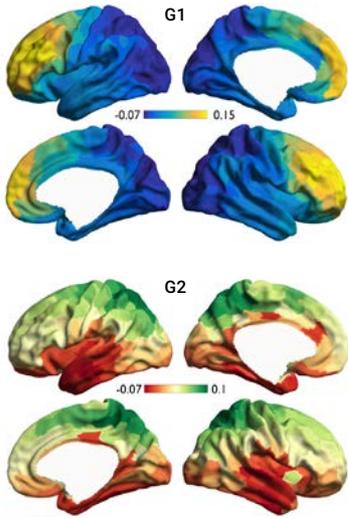
Der Mensch hat die Fähigkeit, Gedanken und Gefühle zu erzeugen und zu erleben, die unabhängig von momentanen Einflüssen aus der Umwelt sein können. Diese integrativen mentalen Prozesse, wie z.B. soziale Kognition und Emotion, unterstützen die Anpassung an sich verändernde Umweltanforderungen, das Wohlbefinden und letztlich das Überleben. Integrative mentale Prozesse werden wahrscheinlich durch die einzigartige strukturelle und funktionelle Netzwerkorganisation des menschlichen Gehirns ermöglicht, die durch die Evolution geformt wurde. Tatsächlich legen aktuelle Erkenntnisse nahe, dass die neuronale Verarbeitung bei Säugetieren entlang mehrerer organisatorischer Gradienten angeordnet ist, die bestimmen, wie Informationen von nahen und entfernten neuronalen Populationen integriert und getrennt werden. Diese Gradienten

drücken sich in grundlegenden anatomischen, topologischen und genetischen Mustern aus, die in Abhängigkeit von der Komplexität der Verarbeitung variieren. Das Ziel der Otto-Hahn-Gruppe ist es zu untersuchen, wie evolutionäre, genetische und Umweltfaktoren die Struktur und Funktion des Gehirns formen. Unser besonderes Interesse gilt der Untersuchung der neurogenetischen Grundlagen integrativer kognitiver und affektiver Prozesse, wie z.B. der sozialen Kognition, da diese Funktionen beim Menschen einzigartig entwickelt sind und eine große Bedeutung für das Wohlbefinden und die psychische Gesundheit haben. ■

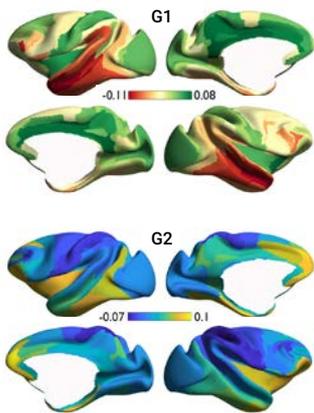
Lise Meitner Research Group Cognitive Neurogenetics

Humans have the ability to generate and experience thoughts and feelings that can be independent of instantaneous input from the environment. These integrative mental processes, such as social cognition and emotion, support adaptation to changing environmental demands, well-being, and, ultimately, survival. Integrative mental processes are likely enabled by the unique structural and functional network organization of the human brain, shaped by evolution. Indeed, contemporary accounts suggest that mammalian neural processing is organized along multiple organizational gradients that define how information from nearby and distant neural populations is integrated and segregated. These gradients are expressed in fundamental anatomical, topological, and genetic patterns, which vary as a function of processing complexity. The goal of the Otto Hahn group

is to investigate how evolutionary, genetic, and environmental factors shape brain structure and function. We are particularly interested in studying the neurogenetic basis of integrative cognitive and affective processes, such as social cognition, as these functions are uniquely developed in humans and have great relevance for well-being and mental health. ■



Großräumige Organisation der genetischen Korrelation der kortikalen Dicke beim Menschen | [Large-scale organization of genetic correlation of cortical thickness in humans](#)



Der Vergleich zwischen Menschen und nicht-menschlichen Primaten kann ein Licht auf die evolutionäre Erhaltung und Anpassung bei Primaten werfen | [Comparing humans and non-human primates can shine a light into evolutionary conservation and adaptation across primates](#)



Forschungsgruppe Frühkindliche Lernentwicklung

Mit Hilfe von künstlicher Intelligenz sind Computersysteme inzwischen in der Lage, uns Menschen in bestimmten kognitiven Aufgaben zu übertreffen. So gibt es z.B. Algorithmen, die besser als wir darin sind, handgeschriebene Buchstaben oder Ziffern zu erkennen. In vielen Bereichen, die natürliche Intelligenz ausmachen, sind jedoch selbst die smartesten Geräte dem menschlichen Gehirn hoffnungslos unterlegen. Das zeigt sich schon während Sie diesen Text hier lesen. Sie verstehen fast mühelos seine Bedeutung und verwenden Ihr umfangreiches Wissen, um kreativ über dessen Inhalte nachzudenken. Apps wie Alexa oder Siri dagegen haben selbst keine Ahnung von Bedeutungen, sondern wissen nur, auf welchen Servern sie nach verknüpften Informationen suchen müssen. Und sie grübeln wohl kaum über das Gelesene nach.

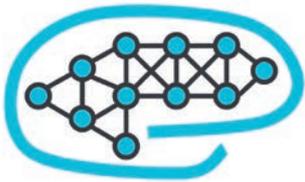
Unsere Arbeitsgruppe erforscht mit bildgebenden Verfahren, wie das menschliche Gehirn im Laufe seiner Entwicklung intelligentes Verhalten hervorbringt. Dabei interessiert uns besonders, wie das Gehirn uns ermöglicht, symbolische Informationen (z.B. Sprache, Zahlen) zu verstehen, Wissenssysteme (z.B. ein mentales Lexikon) aufzubauen und diese Systeme für intelligentes Verhalten (z.B. Problemlösen) zu nutzen. Um die neuronale Implementierung und die zugrundeliegenden Algorithmen dieser Lernprozesse zu entschlüsseln, kombiniert unser Team Perspektiven und Methoden der Entwicklungspsychologie, Neurobiologie und Bioinformatik. Neben den universellen Prinzipien beschäftigen uns auch individuelle Unterschiede des Lernens. Deshalb schließen unsere Studien auch Kinder aus anderen Kulturen (aktuell z.B. aus Indien) und Kinder mit Lernbeeinträchtigungen (z.B. Dyslexie und Dyskalkulie) ein. ■

Research Group Learning in Early Childhood

Powered by recent advances in artificial intelligence, computer systems are now able to outperform humans in certain cognitive tasks. For example, there are algorithms that are better than us at recognizing handwritten letters or digits. In several hallmark domains of natural intelligence, however, even the smartest devices are hopelessly inferior to the human brain. This becomes obvious while you are reading this text. You almost effortlessly understand the meaning of what is written here and you make use of your comprehensive knowledge to creatively think about the contents. In contrast, apps like Alexa or Siri have no clue about meaning, although they know on which servers they have to search for associated information. And they hardly ponder over what they have just read.

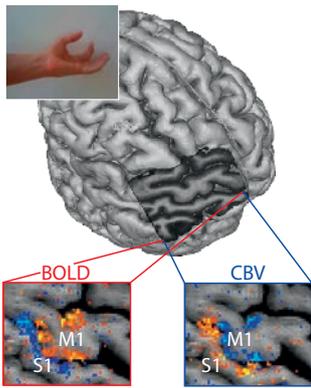
Our lab uses neuroimaging techniques to investigate how the developing human brain generates intelligent behavior. We are particularly interested in how the brain enables us to understand symbolic information (e.g., language, numbers), to build knowledge systems (e.g., a mental lexicon) and to use these systems for intelligent behavior (e.g., problem solving). To shed light on the neural implementation of these learning processes and their underlying algorithms, our team combines perspectives and methods of developmental psychology, neurobiology and bioinformatics. In addition to the universal principles of learning, we also focus on individual differences in learning. Accordingly, we also include children from different cultures (e.g., currently from India) and children with learning difficulties (e.g., dyslexia and dyscalculia) in our studies. ■

LOADING ...

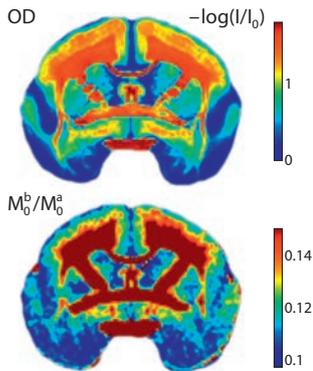


... PLEASE WAIT

skeidelab.com



Änderung der Sauerstoffsättigung („BOLD“) und des Blutvolumens („CBV“) beim Fingertippen. Dabei steigt die Aktivität im motorischen Areal (M1), während sie im sensiblen Areal fällt (S1). | Cerebral changes of blood oxygenation (“BOLD“) and blood volume (“CBV“) during finger-tapping. The activity in the motor area (M1) increases, while it decreases in the sensitive area (S1).



Mikroskopaufnahme eines Hirnschnitts nach Myelinscheidenfärbung (oben) im Vergleich zur MRT-Abbildung des Gehalts an Makromolekülen (unten). Rote Farbwerte entsprechen einem höheren Gehalt an Myelin bzw. Makromolekülen. | Microscopy after histological staining for myelin (top) and macromolecule content obtained by MRI (bottom). Red tones represent higher content of myelin or macromolecules.

Methoden- und Entwicklungsgruppe Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie (MRT) ermöglicht es, detaillierte Informationen über die Anatomie des Gehirns, seinen Stoffwechsel oder die Hirnaktivität zu erhalten. Ein Ziel unserer Gruppe ist es, die Aufnahmetechniken für derartige Untersuchungen und die entsprechenden mathematischen Verfahren zur Datenanalyse weiterzuentwickeln. Zudem arbeiten wir aktiv daran, die MRT auch apparativ voranzubringen, indem wir beispielsweise durch den Bau von Hochfrequenzspulen die Empfindlichkeit der Bildgebung in ausgewählten Experimenten steigern wollen. Neben solchen methodischen Fragen interessieren wir uns auch für die biophysikalischen Mechanismen, die den Bildkontrasten zugrunde liegen, um quantitative Aussagen über die Gewebezusammensetzung oder physiologische Vorgänge zu gewinnen.

Besonders interessant ist für uns dabei, die Parameter der Hirndurchblutung, wie den regionalen Blutfluss oder das regionale Blutvolumen, genau abzubilden. Dadurch lassen sich Aktivitätsmuster darstellen, die wiederum Informationen über Verarbeitungsprozesse innerhalb verschiedener Schichten der Hirnrinde liefern.

Andere Projekte erforschen den strukturellen Aufbau und die Zusammensetzung der Hirnsubstanz: Die signalübertragenden Fortsätze (Axone) von Nervenzellen sind von einer mehrlagigen Membranschicht, dem Myelin, umhüllt, die ähnlich der Isolierung eines elektrischen Kabels entscheidend für die Signalübertragung ist. Informationen über die Myelinstruktur lassen sich indirekt gewinnen, indem das Verhalten von Wassermolekülen im Gewebe (z. B. sogenannte Relaxationsprozesse) untersucht oder physikalische Gewebeeigenschaften wie die Magnetisierbarkeit gemessen werden. ■

Methods and Development Group Nuclear Magnetic Resonance

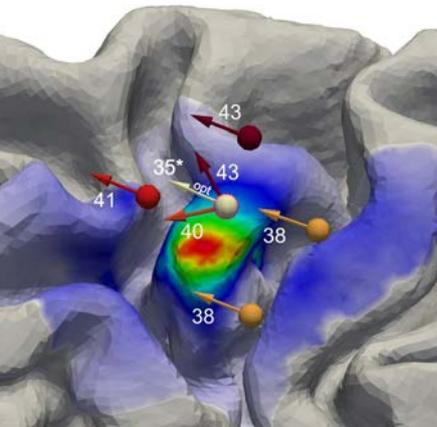
Through MRI, detailed information is obtained about the brain's anatomy, its metabolism, and activity. Our group is engaged in the development of imaging methods to study these properties as well as mathematical procedures for image analysis. This also includes hardware, such as the development of RF coils for improving sensitivity in selected MR experiments. Moreover, we conduct research into the biophysics underlying image contrast to gain quantitative data about tissue composition and physiological processes.

Precise imaging of parameters characterising perfusion, including regional blood flow and blood volume, is of ongoing interest to us. This allows us to map activity patterns to investigate laminar-specific information processing in the cortex. Another research area focuses on the microstruc-

ture of brain tissue. Axons, which are responsible for signal transmission in the brain, are surrounded by a myelin sheath, which consists of layers of membranes and acts as an electrical insulator. It is of fundamental importance because it drastically increases the speed of transmission. Information on myelin can be obtained indirectly by studying the relaxation of water molecules in close contact with the membranes or by investigating physical tissue properties, such as the magnetic susceptibility. ■

Methoden- und Entwicklungsgruppe Brain Networks

Unser Gehirn enthält sehr viele Nervenzellen, die in komplexen Netzwerken miteinander kommunizieren. Alle Hirnfunktionen, vom einfachen Reflex bis zur komplexen kognitiven Leistung, beruhen auf diesen Netzwerken. Ziel unserer Arbeitsgruppe ist es, diese Netzwerke zu charakterisieren und zu beschreiben, wie sie Information verarbeiten und Verhalten bestimmen. Wir nähern uns diesem Problem auf mehreren Ebenen: Um Einblick in die strukturelle Basis der Netzwerke zu gewinnen, entwickeln und testen wir auf der Grundlage von diffusionsgewichteter MRT verschiedene Methoden, um Nervenfaserbündel und Zellpopulationen im Gehirn rekonstruieren und charakterisieren zu können. Auf Basis der gewonnenen Strukturinformation entwickeln wir biologisch inspirierte mathematische Modelle für Netzwerke neuronaler Populationen.



Auschnitt der menschlichen Kortexoberfläche. Die Farbkodierung zeigt berechnete Orte hoher Empfindlichkeit bei transkranieller Magnetstimulation. Kugeln und Pfeile zeigen Positionen und Orientierungen der Stimulationsspule, wobei die Zahlen die experimentell ermittelte Empfindlichkeit widerspiegeln. | Section of the human cortex surface. Color coding shows calculated locations of high sensitivity to transcranial magnetic stimulation. Spheres and arrows show positions and orientations of the stimulation coil, with numbers reflecting experimentally determined sensitivity.

Dazu untersuchen wir die Beziehung zwischen MEG und EEG-Daten auf der Kopfoberfläche und der elektrischen Aktivität der Nervenzellen im Gehirn und entwickeln Methoden zur genauen Lokalisation der Quellen dieser Signale sowie zur Charakterisierung ihrer Dynamiken. Schließlich verwenden wir nichtinvasive magnetische und elektrische Hirnstimulationsmethoden um kausale Zusammenhänge in diesen Netzwerken zu untersuchen. Durch die Kombination dieser Herangehensweisen erwarten wir neue Einsichten in die komplexen Prozesse des menschlichen Gehirns. Dazu kooperieren wir mit Wissenschaftler*innen aus den Abteilungen Neuropsychologie und Neurophysik und der Gruppe Magnetresonanztomographie. ■

Methods and Development Group Brain Networks

Our brains contain a large number of nerve cells that communicate with each other in complex networks. All brain functions, from simple reflexes to complex cognitive performance, rely on these networks. The goal of our research group is to characterize these networks and describe how they process information and determine behavior. We approach this problem at several levels. To gain insight into the structural basis of the networks, we develop and test different methods based on diffusion-weighted MRI to reconstruct and characterize nerve fiber bundles and cell populations in the brain. Based on the structural information obtained, we develop biologically inspired mathematical models for networks of neuronal populations. To this end, we investigate the relationship between MEG and EEG data on the head surface and the electrical activity of neurons in the

brain. Methods are developed to precisely localize the sources of these signals and characterize their dynamics. Finally, we are using noninvasive magnetic and electrical brain stimulation methods to investigate causal relationships in these networks. By combining these approaches, we expect to gain new insights into the complex processes of the human brain. To this end, we cooperate with scientists from the departments of neuropsychology and neurophysics as well as the magnetic resonance imaging group. ■

Neuronale Datenwissenschaft und statistisches Rechnen

Hochauflösende Magnetresonanztomographie, Spektroskopie, Mikroskopie oder Einzelzellsequenzierung bieten uns beispiellose Einblicke in Strukturen und Prozesse des Gehirns. Sie liefern jedoch hochdimensionale Daten, die meist nicht leicht zu interpretieren sind. Wir wollen diese verschiedenen Perspektiven zusammenbringen, um zu verstehen, wie neuronale Systeme funktionieren oder wann sie versagen. Dazu möchten wir mit neuronaler Datenwissenschaft beitragen, die Aspekte von Statistik, wissenschaftlichem Rechnen, Informatik und Kognitionswissenschaft vereint. Unsere Aufgabe ist es, datenbasierte neurowissenschaftliche Forschung zu unterstützen, von der Planung von Experimenten über die Analyse und Visualisierung der Daten bis hin zur Modellierung.

Mit unserer methodenorientierten Forschung verfolgen wir einen neurowissenschaftlich geprägten Ansatz zur Datenwissenschaft, d.h. wir verbinden Ideen aus dem maschinellen Lernen, der künstlichen Intelligenz und der Kognitionswissenschaft, um besser Muster in Daten zu erkennen. Wir wollen computergestützte Methoden beisteuern, mit denen wir neuronale Daten besser abbilden, erforschen und verstehen können. Dies soll uns helfen, die Grundlagenforschung in Neurowissenschaften und künstlicher Intelligenz sowie die klinische Praxis voranzubringen auf folgenden Ebenen:

- Analyse: Kartierung von Struktur und Funktion des Gehirns und kognitiver Prozesse auf verschiedenen Ebenen,
- Exploration: Visualisierung der Geometrie und Struktur neuronaler Systeme und ihrer Informationsrepräsentationen,
- Synthese: Computergestützte Modellierung neuronaler Strukturen und ihrer Entwicklung, der entstehenden neuronalen Repräsentationen und der kognitiven Verarbeitung. ■

Neural Data Science and Statistical Computing

Experimental techniques such as high-resolution structural and functional magnetic resonance imaging, spectroscopy, microscopy, or single-cell sequencing provide unprecedented insights into structures and processes of the brain and neural systems in general. However, these methods yield complementary, high-dimensional data with intricate structure and dependencies that can be challenging to interpret. We will need to integrate those perspectives to understand how neural systems work or when they fail.

We want to help uncover the underlying patterns through neural data science as a complementary approach to empirical, theoretical, and computational paradigms. Uniting aspects of statistics, scientific computing, information science, and cognitive science, our mission is to support data-driven research across scales and modalities, covering the

process from designing experiments to analyzing and visualizing the data and building computational and statistical models.

In our methods-oriented research, we pursue a neuro-inspired approach to data science. We focus on ideas from machine learning, artificial intelligence, and cognitive science to make sense of patterns in data. Overall, we want to contribute conceptual and computational tools to map, explore, and understand the manifolds of neural data that help us improve neural science, artificial intelligence and clinical practice in complementary areas:

- Analysis: Mapping brain structure and function and cognitive processes across scales in health and disease,
- Exploration: Visualizing the geometry and structure of neural systems and their internal representations of information,
- Synthesis: Computational modelling of neural structures and their development, the emerging neural representations and the cognitive processing that operate on this substrate. ■



Methoden- und Entwicklungsgruppe Datenbanken und EDV

Die Gruppe Datenbanken & EDV (EDV) unterstützt unser Institut bei den täglichen und forschungsbezogenen Aktivitäten. Eine der zentralen Aufgaben der EDV ist die Bereitstellung und Pflege einer modernen IT-Infrastruktur zur Unterstützung der Erstellung, Verarbeitung, Analyse und Speicherung der Forschungsdaten. Dazu gehört nicht nur die Sicherstellung des reibungslosen Betriebs einer breiten Palette von Softwarepaketen, die in der neurowissenschaftlichen Forschung eingesetzt werden, sondern auch die Entwicklung von maßgeschneiderten Anwendungen, Arbeitsabläufen und Pipelines, um den vielfältigen Anforderungen der Projekte und Studien am Institut gerecht zu werden.

Die IT-Infrastruktur besteht aus einem leistungsfähigen Netzwerk von Servern und Workstations,

die mit einer breiten Palette von wissenschaftlichen Messgeräten verbunden sind.

Das Kern-IT-Team kümmert sich um alle Aktivitäten im Zusammenhang mit Design, Wartung und Aktualisierung der EDV-Infrastruktur des Netzwerks, des E-Mail-Servers und der Speicherung von Forschungsdaten. Dazu gehören die Server, Desktop-/Laptop-Computer und Spezialcomputer, die an die Analysegeräte angeschlossen sind. Diese Mitarbeiter beraten außerdem die Forscherinnen und Forscher und analysieren Probleme und implementieren ggf. spezifische Lösungen.

Das Team Datenbanken widmet sich der Implementierung, Wartung und Verwaltung verschiedener Datenbanken, die eine zentrale Rolle in der Forschung des Instituts spielen, darunter die Datenbank der Studienteilnehmenden und klinische Datenbanken. Diese Ressourcen werden unter strikter Einhaltung der einschlägigen Datenschutz- und Teilnehmendenvertraulichkeitsrichtlinien entwickelt. ■

Methods and Development Group Computing and Databases Services

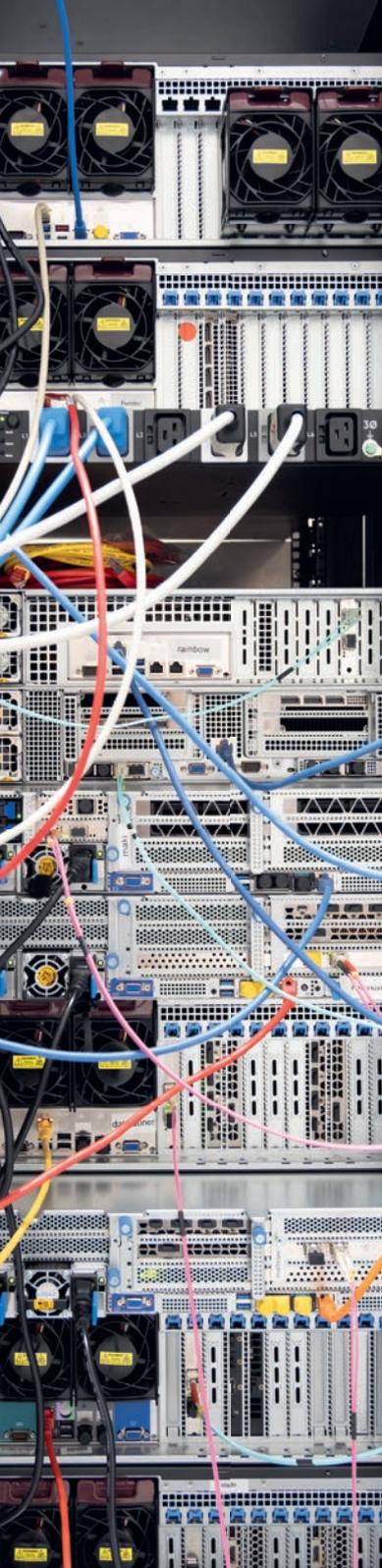
The Computing and Databases Services (IT) group provides our Institute with support for daily and research-related activities. One of the central tasks of IT is to provide and maintain state-of-the-art IT infrastructure to support the creation, processing, analysis, and storage of research data. This not only entails ensuring the smooth running of a broad range of software packages used in neuroscientific research, but also the development of bespoke applications, workflows, and pipelines to meet the diverse needs of projects and studies at the Institute.

The IT infrastructure consists of a powerful network of servers and workstations connected to a broad range of measuring devices.

The remit of IT comprises two interacting parts.

The core IT team takes care of all activities related to the design, maintenance, and updating of the IT infrastructure of the network, the e-mail server, and the storage of research data. This includes the servers, desktop/laptop computers, and specialized computers connected to the analytical equipment. These employees also advise the researchers, analyze problems, and implement specific solutions where necessary.

The Database team is dedicated to the implementation, maintenance, and management of various databases that play a central role in the Institute's research, including the study participant database and clinical databases. These resources are developed in strict compliance with the relevant data protection and participant confidentiality guidelines. ■





Sprecher | Spokesperson

**Professor Dr. Dr. h.c.
Angela D. Friederici**

Max-Planck-Institut für Kognitions-
und Neurowissenschaften, Leipzig |
Max Planck Institute for Human
Cognitive and Brain Sciences, Leipzig

Koordinatorin | Coordinator

Dr. Veronika Krieghoff

Max-Planck-Institut für Kognitions-
und Neurowissenschaften, Leipzig |
Max Planck Institute for Human
Cognitive and Brain Sciences,
Leipzig

IMPRS on Cognitive NeuroImaging

Die International Max Planck Research School (IMPRS) on Cognitive NeuroImaging ist ein neues Promotionsprogramm für internationale Doktorand*innen, dessen Ziel es ist, die hochgradig interdisziplinären und schnelllebigen Bereiche der kognitiven Neurowissenschaften, der klinischen und translationalen Neurowissenschaften sowie der Neurobildung miteinander zu verbinden. Mit dem Schwerpunkt „Neuroimaging und Computermodellierung“ geht das Programm weit über die Grundlagen der kognitiven Neurowissenschaften hinaus und ermöglicht Promotionen in diesem neuen Spitzenbereich der kognitiven Neurowissenschaften.

Das Graduiertenprogramm umfasst drei Module für Ausbildung und Forschung:

- Kognitive Neurowissenschaften
- Klinische und translationale Neurowissenschaften
- Entwicklung von Neuroimaging- und Modellierungsmethoden

Innovative Lehransätze wie hybrider Unterricht und Flipped-Classroom-Aktivitäten sollen das Lernen für die Promovierenden erleichtern und sie schneller zum Erfolg bringen. Die Doktorand*innen folgen dabei einem individuell angepassten Ausbildungsplan. Der starke methodische Fokus der IMPRS kann auf die wichtigsten Neuroimaging-Techniken sowie auf hochmoderne Ausrüstung des Instituts zugreifen. ■

IMPRS on Cognitive NeuroImaging

The International Max Planck Research School (IMPRS) on Cognitive NeuroImaging is a brand-new, graduate program for international doctoral researchers that covers the highly interdisciplinary and fast-paced fields of cognitive neuroscience, clinical and translational neuroscience, and neuroimaging. Introductory courses and project-specific advanced training provide doctoral researchers with a solid foundation for their theses. An emphasis on neuroimaging and computational modeling strengthens the foundation further and enables new types of doctoral projects at the leading edge of the field.

The graduate school comprises three modules for training and research:

- Cognitive Neuroscience
- Clinical and Translational Neuroscience
- Development of Neuroimaging Methods and Modeling Methods

Innovative teaching approaches including hybrid teaching, flipped classroom activities, as well as remote learning elements aim at accelerating students' learning curves. Curricular activities are adapted to individual backgrounds via individual development plans. The strong methodological focus of the school draws on the presence of all major neuroimaging techniques at the institute as well as the institute's cutting-edge equipment. ■



Max Planck School of Cognition

„Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“ - das ist die Idee der Max Planck Schools, die auf Initiative des Max-Planck-Präsidenten Martin Stratmann völlig neue Wege in der Graduierten-ausbildung in Deutschland gehen und deshalb hoch attraktiv für international herausragende zukünftige Doktorand*innen sind. Die besten Forschenden zu einem Thema sind in Deutschland häufig weit verstreut. Sie arbeiten bundesweit an Universitäten oder außeruniversitären Einrichtungen. Die Max Planck Schools verstehen sich deshalb als Knotenpunkte dieser verteilten Exzellenz. Hier haben sich aus der Scientific Community heraus die besten Köpfe eines Fachgebiets in „Faculties“ zusammengeschlossen.

Eine der drei Pilotschulen ist die Max Planck School of Cognition (MPS-Cog), die von unserem Institut aus koordiniert wird. Sie bietet besonders begab-

ten Studierenden die Möglichkeit, sich im rasant entwickelnden Feld der Kognitionswissenschaft ein außergewöhnlich breites Verständnis für die verschiedenen Methoden und Forschungsansätze anzueignen. Die School schließt eine Reihe exzellenter und weltbekannter Wissenschaftler*innen ein, die in der Forschung tätig sind und deren wissenschaftliche Interessen sich trotz ihres unterschiedlichen fachlichen Hintergrunds überschneiden und ergänzen. Das Programm umfasst ein Orientierungsjahr (Grundlagenkurse, Laborrotationen), gefolgt von einem dreijährigen Forschungszeitraum zur Erlangung des Doktorgrads, und wird vollständig finanziert. ■

Max Planck School of Cognition

The doctoral program at the Max Planck School of Cognition (MPS-Cog) offers exceedingly bright doctoral candidates the tools to gain a superior grasp on the different methods and approaches used in the rapidly evolving field of Cognition. We are driven by the passion to better understand human cognition and “mental phenomena” potentially occurring in non-biological systems and agents. Via a four-year and fully funded doctoral program, MPS-Cog provides an excellent environment for research and an optimal setting for multi- and interdisciplinary graduate education with the contribution of an outstanding faculty. Our world-renowned faculty researchers come from 27 partner organizations including Max Planck Institutes, Universities, Helmholtz Association and the Fraunhofer-Gesellschaft. The doctoral program begins with a lab rotation year to equip the doctoral candidates with the necessary interdisciplinary

knowledge and laboratory experiences. This first year will also aid candidates to make an informed decision on the lab they would like to develop their doctoral research work for the next three years.

We offer:

- World-class interdisciplinary training
- Excellent research opportunities in a broad scientific network
- Lab rotation in the first year
- Studying in small classes and close mentoring
- Generous financial support

MPS-Cog is funded by the Max Planck Society and Federal Ministry of Education and Research (BMBF) ■

Sprecher*innen | Speakers

Professor Dr. Arno Villringer

Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig | Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Leipzig

Professor Dr. Katrin Amunts

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf & Forschungszentrum Jülich | Heinrich Heine University Düsseldorf & Forschungszentrum Jülich

Koordinatorin | Coordinator

Dr. Natacha Mendes

Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig | Max Planck Institute for Human Cognitive and Brain Sciences, Leipzig



Chancengleichheit

Die Max-Planck-Gesellschaft und jedes ihrer Institute fördern Mitarbeitende unabhängig von Geschlecht, Nationalität, Religion, Behinderung, Alter, kultureller Herkunft und sexueller Identität. In der Vielfalt unserer Mitarbeitenden liegt die Basis für die Spitzenforschung, die an den Max-Planck-Instituten geleistet wird.

Chancengleichheit hat verschiedene Aspekte, die wir unabhängig voneinander umsetzen wollen:

- Gleichberechtigte Rekrutierung und Förderung
- Stärkung der Gender Awareness (Bewusstsein für Genderaspekte)
- Vereinbarkeit von Beruf und Familie

Die Vereinbarkeit von Forschung und Familie ist uns sehr wichtig und erfordert die Unterstützung

der Mitarbeitenden in verschiedenen Bereichen. Unser Institut berät und unterstützt Mitarbeitende sowohl in der Phase der Familienplanung als auch zu Betreuungs- und Unterbringungsmöglichkeiten von Kindern. Neben unserer eigenen Tagespflegeeinrichtung für 0-3-jährige Kinder können wir aktive Unterstützung bei der Suche nach Kindergarten- und Schulplätzen anbieten. Das Institut hat darüber hinaus einen Vertrag mit dem Familienservice-Unternehmen zur Vermittlung von Betreuung (auch zur Altenpflege).

Unser Institut hat sich – ebenso wie die Max-Planck-Gesellschaft – der Förderung von exzellenten Frauen in der Wissenschaft verschrieben. Wir fördern aktiv hervorragende Wissenschaftler*innen durch verschiedene Programme und bieten Unterstützung bei der Verlängerung befristeter Arbeitsverträge bei Schwangerschaft und Geburt für Wissenschaftler*innen an. Mehrere unserer Wissenschaftler*innen nehmen am MPG-Seminarprogramm zur Karriereförderung, „Sign up! Careerbuilding“, teil. ■

Equal opportunities

The Max Planck Society and each of its institutes promote employees regardless of gender, nationality, religion, disability, age, cultural origin and sexual identity. The diversity of our employees is the basis for the top research carried out at the Max Planck Institutes.

The concept of equal opportunities encompasses different aspects, which we seek to implement independently of each other:

- Equitable recruitment and promotion
- Increasing gender awareness
- Combining work and family

The balance between research and family is very important to us and requires the support of employees in different areas. Our institute advises and supports employees who are planning a

family and offers advice on childcare and support facilities. In addition to our own daycare facility for 0-3-year-old children, we can offer active support in the search for kindergarten and school places. The Institute also has a contract with the family service company to provide care (including care for the elderly).

Our institute—like the Max Planck Society—is committed to promote the excellence of women in science. We actively support outstanding female scientists through various programmes, and offer extensions to temporary employment contracts for women during pregnancy and after childbirth. Several of our scientists participate in the MPS Programme for Promotional Career, “Sign up! Careerbuilding”. ■

Gleichstellungsbeauftragte |
Equal opportunities officers

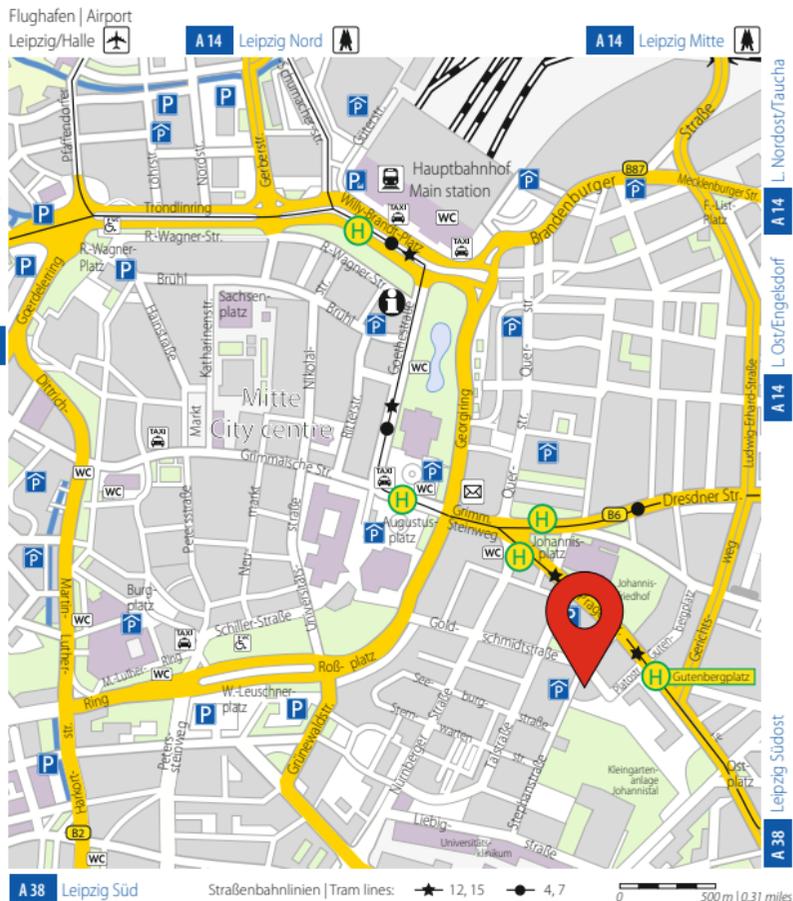


Karina Näthe

Impressionen | Impressions

Außen- und Innenansichten des
Max-Planck-Instituts für Kognitions-
und Neurowissenschaften | External
and internal views of the Max Planck
Institute for Human Cognitive and
Brain Sciences





Kontakt

Max-Planck-Institut für Kognitions-
und Neurowissenschaften (MPI CBS)

Stephanstraße 1A
04103 Leipzig

Telefon: 0341 99 40-00
Fax: 0341 99 40-104

www.cbs.mpg.de • info@cbs.mpg.de

Contact

Max Planck Institute for Human Cognitive
and Brain Sciences (MPI CBS)

Stephanstrasse 1A
04103 Leipzig, Germany

Telephone: +49 (0) 341 99 40-00
Fax: +49 (0) 341 99 40-104

www.cbs.mpg.de • info@cbs.mpg.de

