

VOM SEEHASSEN

ZUM MENSCHEN

VOM SEEHASEN ZUM MENSCHEN

PERSPEKTIVEN DER NEUROPHYSIOLOGIE

ANDREAS DRAGUHN

Neurobiologinnen und Neurobiologen entschlüsseln zunehmend die neuronalen Mechanismen, die komplexen geistigen Leistungen wie Erinnern und Vergessen zugrunde liegen. Die bahnbrechenden Erkenntnisse der Grundlagenforschung über Wahrnehmen, Lernen, Erinnern und Denken haben bislang jedoch nur wenig Widerhall in realen Lebenssituationen und in der gesellschaftlichen Praxis gefunden. Dabei gibt es viele relevante neurobiologische Beiträge, die uns bereits heute zu einem „hirngerechten“ Leben anleiten können, aber auch zu einem informierten Selbstverständnis als Menschen im Zeitalter der Künstlichen Intelligenz.

„Das Gedächtnis spielt eine zentrale Rolle in fast allen Lebensbezügen.“

A

Auf die Frage, wo unser Gedächtnis sitzt, würden die meisten Menschen wohl antworten „im Gehirn“ oder „im Kopf“. Damit folgen wir einer langen Tradition, die kognitive Fähigkeiten im Gehirn verortet. Diese Lokalisierung scheint durch die modernen Neurowissenschaften inzwischen nahezu selbstverständlich; Störungen von Kognition, Emotionsregulation und Verhalten werden als Störungen des Gehirns verstanden.

Uns alle treibt die Furcht vor der Alzheimererkrankung um, bei der Nervenzellen (Neurone) der Hirnrinde fortschreitend absterben und das Gedächtnis unwiederbringlich verloren geht. Ohne intaktes Gedächtnis finden wir uns in unserer physischen und sozialen Umgebung nicht mehr zurecht, und mit der Erinnerung an unsere eigene Geschichte verschwindet ein Kern unserer Persönlichkeit. „Ich habe mich sozusagen selbst verloren“, sagte Auguste Deter, die Patientin, über deren Erkrankung der deutsche Psychiater Alois Alzheimer erstmals im November 1906 auf der Versammlung Südwestdeutscher Irrenärzte in Tübingen berichtete.

Das Gedächtnis der Meeresschnecke

Die Neurowissenschaften haben in den letzten Jahren zahlreiche Mechanismen aufgedeckt, die zu Gedächtnisfunktionen beitragen. Einige Modellsysteme werden heute als grundsätzlich verstanden betrachtet – auch wenn immer wieder neue Details entdeckt und hinzugefügt werden. Zu diesen Modellen zählt der Seehase, eine im Meer lebende Nacktschnecke mit dem wissenschaftlichen Namen *Aplysia californica*. Werden die Kiemen der Schnecke berührt, zieht sie diese schnell zurück, ähnlich wie Menschen reflexartig die Augen schließen, wenn die Hornhaut gereizt wird. Bei wiederholten Berührungen schwächt sich der Kiemenschutzreflex der Schnecke ab, sie hat gewissermaßen gelernt, dass ihr von dem harmlosen mechanischen Reiz keine Gefahr droht. Diese Gewöhnung wird wissenschaftlich als „Habituation“ bezeichnet und kann als elementarer Lernvorgang beschrieben werden: Ein Organismus ändert aufgrund von Erfahrungen seine Reaktion auf äußere Reize.

Mit *Aplysia californica*, einem relativ einfach gebauten und experimentell gut zugänglichen Lebewesen, konnte der österreichisch-amerikanische Psychiater und Hirnforscher Eric Kandel seit den 1960er-Jahren grundlegende Mechanismen der Plastizität des Nervensystems bis hin zu den molekularen Veränderungen einzelner Synapsen aufklären. Damit ist eine paradigmatische Einsicht in die Fähigkeit des Nervensystems gelungen, Verhalten an Erfahrungen anzupassen – also zu lernen. Eric Kandel wurde für seine Forschungs-

arbeiten im Jahr 2000 mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ausgezeichnet.

Auch wenn sich außerhalb der Neurobiologie vermutlich nur wenige für die Kiemen von Meeresnacktschnecken interessieren, so haben wir von ihnen doch Grundlegendes gelernt. Inzwischen wissen wir, dass die bei *Aplysia* beobachtbaren Mechanismen ebenso bei anderen Tieren und auch beim Menschen vorkommen, wenn auch mit vielen Besonderheiten und ungleich komplexer. Diese Möglichkeit zur Verallgemeinerung rechtfertigt die Konzentration auf einfache Modellsysteme, die für die Biologie typisch ist.

Das räumliche Gedächtnis der Nagetiere

Das derzeit wohl am besten erforschte Modellsystem komplexer Gedächtnisleistungen ist das räumliche Gedächtnis der Nagetiere. Bereits in den 1970er-Jahren entdeckte der in London arbeitende Neurowissenschaftler John O'Keefe, dass bestimmte Nervenzellen im Gehirn von Ratten immer dann aktiv wurden, wenn sich die Tiere an einem bestimmten Ort ihrer Umgebung aufhielten. O'Keefe konnte zeigen, dass unterschiedliche „place cells“ für die verschiedenen Orte zuständig sind. Das Kerngebiet, in dem die Zellen entdeckt wurden, ist eine Formation der Hirnrinde im Schläfenlappen, deren Gestalt an ein Seepferdchen erinnert und die daher wissenschaftlich „Hippocampus“ genannt wird. O'Keefe nahm an, dass der Hippocampus mithilfe der place cells eine Art räumliche Kartierung der Umgebung leistet. Es war naheliegend zu vermuten, dass sich

SCHUTZ VOR TRAUMATISCHEN ERINNERUNGEN

Erinnerungen an angstbehaftete Erlebnisse ermöglichen es uns, angemessen auf neue Situationen zu reagieren. Aufgrund von traumatischen Erfahrungen können jedoch sehr intensive Angsterinnerungen entstehen, die starke Angstgefühle auch in Situationen auslösen, die nichts mit dem ursprünglichen Erlebnis zu tun haben. Welche biologischen Vorgänge die Bildung solcher Erinnerungen begünstigen oder verhindern, hat die Heidelberger Neurowissenschaftlerin Dr. Ana M. M. Oliveira gemeinsam mit Kolleg:innen in internationaler Zusammenarbeit erforscht. In Untersuchungen am Mausmodell fanden sie Hinweise auf einen bislang unbekanntem molekularen Mechanismus, der das Gehirn vor traumatischen Erinnerungen schützen und dazu beitragen könnte, Angststörungen auf biologischer Ebene zu verhindern.

(red) Ana Oliveira forscht am Interdisziplinären Zentrum für Neurowissenschaften (IZN) der Universität Heidelberg und in der Abteilung Molekulare und Zelluläre Kognitionsforschung des Zentralinstituts für Seelische Gesundheit in Mannheim zu molekularen und zellulären Aspekten der Gedächtnisbildung. Nach ihren aktuellen Erkenntnissen ist die Verankerung starker Angsterinnerungen im Langzeitgedächtnis an die Aktivität eines bestimmten Proteins geknüpft, das eine entscheidende Rolle bei der Modulierung synaptischer Verbindungen zwischen Nervenzellen spielt.

In ihren Untersuchungen am Mausmodell, bei denen sowohl pharmakologische als auch genetische Ansätze zum Tragen kamen, fanden die Forscher:innen heraus, dass sich die Aktivität des Proteins mit der Bezeichnung Npas4 entscheidend auf die Erinnerung der Tiere an schlechte

Erfahrungen auswirkte. Npas4 reguliert die Transkription von Genen, die die Kontakte und Kommunikation zwischen Nervenzellen steuern. Als Reaktion auf einen starken negativen Reiz beobachteten die Wissenschaftler:innen zwei Phasen, in denen die Npas4-Werte im Gehirn besonders hoch waren – die zweite Phase erwies sich dabei als entscheidend: „Sie scheint die Stärke der mit schlechten Erfahrungen verknüpften Erinnerungen zu modulieren“, sagt Ana Oliveira. Verhinderten die Forscher:innen die zweiphasige Aktivität von Npas4, waren die Angsterinnerungen so stark, dass die Mäuse auch in anderen Situationen Angstreaktionen zeigten. Wurde aber nach einer traumatischen Erfahrung künstlich ein zweites Npas4-Intervall induziert, waren die Angstreaktionen weniger ausgeprägt.

Im Zusammenhang mit den zwei Npas4-Phasen konnten die Wissenschaftler:innen zudem die erhöhte Aktivität eines Botenstoffs nachweisen, der die neuronale Aktivität dämpft. Sie vermuten, dass Npas4 Einfluss auf die Stärke von Angsterinnerungen im Langzeitgedächtnis nimmt, indem es die Aktivität dieses Neurotransmitters reguliert. „Unsere Forschungsergebnisse deuten auf einen bislang unbekanntem Schutzmechanismus im Gehirn hin, der die Erinnerung an traumatische Erlebnisse und damit auch die Resilienz gegenüber solchen Erfahrungen auf biologischer Ebene steuert“, so Dr. Oliveira. Er könnte einen molekularen Anknüpfungspunkt für die Entwicklung neuartiger Behandlungsansätze bieten.

An der Studie, deren Ergebnisse in der Fachzeitschrift „Molecular Psychiatry“ veröffentlicht wurden, waren neben den Wissenschaftler:innen des IZN weitere Forscher:innen aus Heidelberg sowie aus Frankfurt am Main, den Niederlanden, Portugal und Russland beteiligt. ●

PROTECTION AGAINST TRAUMATIC MEMORIES

Memories of fearful events enable one to respond appropriately to new situations. But traumatic experiences can invoke very strong fear memories that trigger feelings of panic in situations that have nothing to do with the original event. In cooperation with international colleagues, the Heidelberg neuroscientist Dr Ana M. M. Oliveira investigated which biological processes promote or prevent the formation of strong fear memories. In experiments on a mouse model, the researchers discovered evidence of a previously unknown molecular mechanism that could protect the brain from traumatic memories and help prevent anxiety disorders at the biological level. According to their recent findings, the consolidation of strong fear memories in long-term memory is linked to the activity of a specific protein that plays a key role in modulating synaptic connections between nerve cells.

In studies with mice, both pharmacological and genetic approaches were used. The researchers discovered that the activity of the protein Npas4 had a significant impact on the animals' memory of bad experiences. Npas4 regulates the transcription of genes that control the contacts and communication between nerve cells. The researchers observed two phases in which the Npas4 levels in the brain were especially high when responding to a strong negative stimulus. The second phase proved decisive. "It appears to modulate the strength of the memories linked to bad experiences," states Ana Oliveira. When the researchers blocked the two-phase activity of Npas4, the fear memories were so strong that the mice exhibited fear reactions in other situations as well. When a second Npas4 interval was artificially induced after a traumatic experience, the fear responses were lower.

According to Dr Oliveira, these results point to a previously unknown protective mechanism in the brain that controls the memory of traumatic events at the biological level and hence resilience against such experiences. It could provide a molecular target for developing new treatment approaches. ●

beim Kennenlernen einer neuen räumlichen Umgebung neue Zuordnungen von Nervenzellen zu Orten ausbilden. Auf diese Weise entsteht eine neuronale Repräsentation des neuen Raums. Wenn sich diese Zuordnung dauerhaft festigt, so O'Keefes Überlegung, wäre dies das biologische Korrelat eines komplexen Lernvorgangs – des Kennenlernens einer neuen Umgebung.

Dass es genau so ist, legt ein spektakuläres Experiment nahe, das die amerikanischen Neurophysiologen Matthew A. Wilson und Bruce L. McNaughton im Jahr 1994 publizierten: Wenn Ratten eine bestimmte Route durch den Raum nehmen, werden die entsprechenden place cells in genau derjenigen Reihenfolge aktiv, mit der das Tier die jeweiligen Orte durchquert. Die beiden Wissenschaftler konnten zeigen, dass in anschließenden Ruhe- oder Schlafphasen dieselben Zellen wieder aktiviert werden. Und zwar in eben dieser Reihenfolge, die sie zuvor „gelernt“ haben – es ist, als würde die Reihenfolge der durchlaufenen Orte erneut abgespielt.

Wie sich Gedächtnisinhalte festigen

Ob die Ratte dies als Traum erlebt, muss offenbleiben. Wir wissen aber, dass das Wiederholen des neu gebildeten Aktivierungsmusters zur Gedächtniskonsolidierung führt: Das Gelernte verfestigt sich dauerhaft. Dies gilt nicht nur für das räumliche Lernen, sondern auch für das Wissensgedächtnis, das ähnlichen Regeln folgt und auf dieselben Hirnregionen angewiesen ist. Weitere Studien mit Nagetieren und Menschen haben dies überzeugend gezeigt.

Wir brauchen also einen guten Schlaf, insbesondere ausgedehnte Tiefschlafphasen, um Gedächtnisinhalte zu festigen. Das hat der Tübinger Neuropsychologe Jan Born mit seinen Untersuchungen bestätigt. Wahrscheinlich wird beim „replay“ der zuvor durchgemachten Aktivitätsmuster die Information aus dem Hippocampus an Nervenzellen in der Hirnrinde weitergegeben und verändert sie dauerhaft. Solche bleibenden Gedächtnisspuren werden nach dem deutschen Biologen Richard Semon als „Engramme“ bezeichnet. Wie sie aber genau aussehen, ist bis heute unbekannt. John O'Keefe erhielt für seine Entdeckungen im Jahr 2014 den Nobelpreis, gemeinsam mit Edvard und May-Britt Moser aus Trondheim, die zeigen konnten, dass die Nervenzellen des Hippocampus und seiner Nachbarregionen noch viel komplexere räumliche Konstellationen abbilden können. So gibt es Zellen, die an mehreren Orten aktiviert werden, die in einem hexagonalen Muster angeordnet sind. Sie erzeugen damit gleichsam ein Koordinatennetz der Umgebung. Edvard und May-Britt Moser konnten auch nachweisen, dass die verschiedenen Nervenzell-Netzwerke des Hippocampus unterschiedlich stark auf Veränderungen der Umgebung reagieren. Verändert sich die räumliche Umgebung nur leicht, bleiben die Aktivitätsmuster in manchen Regionen des Hippocampus gleich, in anderen Regionen hingegen passen sie sich sofort an. Aus der unterschiedlichen Struktur der beteiligten Netzwerke lernen wir, wie solche unterschiedlichen Informationsverarbeitungen („computations“) möglich werden. Auf kog-

nitiver Ebene mögen die Befunde erklären, warum uns die Veränderungen in einem neu möblierten Zimmer zwar auffallen, wir den vertrauten Ort aber immer noch problemlos wiedererkennen.

An den Arbeiten zu neuronalen Grundlagen spezieller Gedächtnisleistungen sind auch Heidelberger Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen prominent beteiligt, zum Beispiel die neu berufene Neurowissenschaftlerin Anna Oliveira und die vielfach ausgezeichnete Neurowissenschaftlerin Hannah Monyer. Sie und andere Arbeitsgruppen des Interdisziplinären Zentrums für Neurowissenschaften (IZN) haben in den vergangenen Jahren die Entwicklung der Plastizitätsforschung von der Molekül- und Zellebene zu neuronalen Netzwerken und komplexen kognitiven Prozessen vollzogen und – auch international – mitgeprägt. Eine treibende Kraft dieser Entwicklung ist der rasante Fortschritt der molekularbiologischen und biophysikalischen Techniken, die es heute erlauben, Vorgänge im Gehirn frei beweglicher Mäuse mit zuvor unerreichbarer Genauigkeit zu messen und zu beeinflussen.

Umsetzung in die Praxis

Wir wissen also sehr viel über die elementaren Vorgänge der neuronalen Plastizität; wir wissen sogar von derart komplexen Fähigkeiten wie dem Raumgedächtnis. Dennoch stehen die Neurowissenschaften vor großen Herausforderungen. Die wichtigste ist wohl die Umsetzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse in die medizinische Praxis.

„Ohne intaktes Gedächtnis
finden wir uns in unserer
physischen und sozialen
Umgebung nicht mehr zurecht.“

„Die Neurowissenschaften haben in den letzten Jahren zahlreiche Mechanismen aufgedeckt, die zu Gedächtnisfunktionen beitragen.“

Interdisziplinäres Zentrum für Neurowissenschaften

Das Interdisziplinäre Zentrum für Neurowissenschaften (IZN) an der Universität Heidelberg wurde im Jahr 2000 als Forschungsnetzwerk gegründet, das die im Raum Heidelberg und Mannheim konzentrierte neurowissenschaftliche Grundlagenforschung sowie die angewandte und klinische Forschung bündelt. Das Zentrum, dem derzeit 63 Forschungsgruppen angehören, soll die Hirnforschung fördern, den Technologietransfer koordinieren und ein Forum für den wissenschaftlichen Austausch auf allen Ebenen bieten. Mit seinem „Neuroscience Major“-Studiengang und dem IZN International Graduate Program garantiert es darüber hinaus eine hochwertige Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Das IZN erleichtert die gemeinsame Nutzung von Spezialgeräten und den Zugang zu Ressourcen und unterstützt gemeinsame Förderprojekte wie Sonderforschungsbereiche, Forschungsgruppen und Graduiertenkollegs. Zu dem Zentrum gehören Arbeitsgruppen der Universität und der Medizinischen Fakultäten Heidelberg und Mannheim, des Deutschen Krebsforschungszentrums (DKFZ), des European Molecular Biology Laboratory (EMBL) und des Zentralinstituts für Seelische Gesundheit (ZI) in Mannheim.

www.izn.uni-heidelberg.de

Bis heute steht die Medizin weitgehend hilflos vor dem Gedächtnisverlust von Demenzpatienten, vor allem von Alzheimerpatienten und -patientinnen. Dabei beginnt die Degeneration der Nervenzellen bei der Alzheimerkrankheit genau in der Region des Schläfenlappens, über die bereits so bahnbrechende Erkenntnisse gewonnen wurden. Trotz allem fehlen noch immer naturwissenschaftlich-medizinische Antworten auf die katastrophale Krankheit, von der allein in Deutschland nahezu zwei Millionen Menschen betroffen sind. Wir verfügen weder über wirksame Medikamente noch über sonstige Maßnahmen, mit denen sich der Zerfall der Nervenzellen ursächlich bekämpfen und aufhalten ließe oder mit denen sich zerstörtes Gewebe wiederherstellen lassen könnte. Das ist jedoch kein Grund zur Resignation, zumal man die bisher erzielten schrittweisen Fortschritte der Therapie nicht missachten darf, die in der Summe vielleicht eines Tages einen entscheidenden Gewinn für die Patienten und Patientinnen bringen werden. Es ist allenfalls ein Antrieb zu mehr und besserer Forschung. Auch hier sind wir in Heidelberg sehr erfolgreich – so hat die Arbeitsgruppe um Hilmar Bading (Institut für Neurobiologie) kürzlich einen neuen Mechanismus der Schädigung von Neuronen durch den erregenden Transmitter Glutamat entdeckt und arbeitet mit Hochdruck an der Entwicklung entsprechender therapeutischer Strategien.

Auch die naturwissenschaftlich fundierte Analyse und Therapie vieler anderer neurologischer und psychiatrischer Erkrankungen

bleibt eine große Herausforderung. Inzwischen ist die Schwierigkeit, Erkenntnisse der Grundlagenforschung in gelingende medizinische Anwendungen zu überführen, als „translational gap“ oder „valley of death“ selbst zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen geworden. Zahlreiche Anregungen und Leitlinien für die klinisch-translationale Forschung sind daraus entstanden; sie reichen von einer transparenteren Publikationspraxis über den offenen Austausch von Labordaten bis hin zum verbesserten Design von Experimenten.

Zur erfolgreichen Translation von Erkenntnis gehört aber auch, neurophysiologisches Wissen für die persönliche und gesellschaftliche Praxis nutzbar zu machen. Das Gedächtnis etwa spielt eine zentrale Rolle in fast allen Lebensbezügen – beim rapiden Wissenszuwachs von Kindern, beim Erlernen einer Fremdsprache, beim Erwerb praktischer Fertigkeiten wie dem Autofahren bis hin zum sogenannten Arbeitsgedächtnis, das sich Informationen oder Aufgaben für Sekunden oder Minuten merken kann, beispielsweise, was wir gerade aus dem Keller holen wollen. All diese verschiedenen Arten von Gedächtnisleistungen werden intensiv erforscht. Sie sind jeweils an unterschiedliche Hirngebiete und neuronale Mechanismen gebunden und können bei Krankheiten separat ausfallen.

Man sollte meinen, dass die Hirnforschung mit ihrem Wissen wesentlich dazu beitragen könnte, Lernen und Erinnern optimal zu gestalten. Mit ihrem Wissen müssten

FROM SEA-HARES TO HUMANS

PERSPECTIVES OF NEUROPHYSIOLOGY

ANDREAS DRAGUHN

Our memory is believed to be located in the brain; by the same token, deficits of this cognitive function are increasingly being regarded as brain disorders. Indeed, brain research has been very successful, over the past decades, in uncovering the biological mechanisms underlying different memory functions. This was usually achieved by studying model systems that are greatly simplified compared to humans' highly complex physical and social interactions with their environment. Nevertheless, the work with these systems revealed fundamental principles that exist and apply far beyond the specific experimental models.

This article presents paradigmatic findings relating to neuroplasticity and discusses two challenges faced by neuroscientists: the difficulty of applying new findings to the diagnosis and therapy of neurological and psychiatric disorders, and the unclear role of scientific brain research in interdisciplinary interactions with other fields of practice, which has often led to controversial debate. We argue that neurosciences can reveal important insights into the human condition. Acknowledging biological boundary conditions as relevant and important supports informed approaches and decisions in multiple areas, without cutting back on the contributions by other disciplines. ●

PROF. DR ANDREAS DRAGUHN has headed Heidelberg University's Institute of Physiology and Pathophysiology since 2002. He studied medicine, physics and philosophy in Bonn and has worked as a neurophysiologist ever since. His research focus is the functioning of neural networks, particularly coordinated neural activity patterns relating to memory processes. He is also interested in the wider aspects of brain research and has taken part in various interdisciplinary initiatives.

Contact: andreas.draguhn@
physiologie.uni-heidelberg.de

**“Our memory
plays a central
role in nearly
every aspect of
our lives.”**



PROF. DR. ANDREAS DRAGUHN ist seit dem Jahr 2002 Direktor am Institut für Physiologie und Pathophysiologie der Universität Heidelberg. Er hat in Bonn Medizin sowie begleitend Physik und Philosophie studiert; seither ist er als Neurophysiologe tätig. Sein Forschungsschwerpunkt ist die Funktion neuronaler Netzwerke, insbesondere koordinierte Aktivitätsmuster von Nervenzellen im Zusammenhang mit Gedächtnisvorgängen. Zugleich interessiert er sich für übergeordnete Aspekte der Hirnforschung und war an verschiedenen interdisziplinären Initiativen beteiligt.

Kontakt: andreas.draguhn@physiologie.uni-heidelberg.de

Neurophysiologinnen und Neurophysiologen zur wichtigsten Informationsquelle für Lehrerinnen und Lehrer werden, für Erzieherinnen und Erzieher, für Eltern und für alle Menschen, die ihr Potenzial voll ausschöpfen möchten. Tatsächlich aber ist die Wirksamkeit der Hirnforschung in der gesellschaftlichen oder individuellen Praxis bislang eher gering.

Ein missglückter Transfersversuch

Ein Beispiel für den missglückten Dialog zwischen Wissenschaft und Praxis ist die vor einigen Jahren populär gewordene „Neurodidaktik“. Die Verlautbarungen führender Hirnforscherinnen und Hirnforscher, nach denen die Erkenntnisse zur neuronalen Plastizität einen oder gar den wesentlichen Beitrag zur Pädagogik leisten sollten, haben heftigen Widerspruch erfahren. Kritisiert wurde vor allem das tatsächliche oder vermeintliche Dominanzgebaren der Neurowissenschaften, die sich als naturwissenschaftlich fundiert und daher mit besonderer Autorität versehen begriffen. Ebenso kritisch wurden die vereinfachten Modellsysteme der Hirnforschung gesehen, die zur komplexen Wirklichkeit realer Situationen wie der eines Klassenraums nichts Relevantes beitragen könnten. Damit wurde eine große Chance verpasst.

Eine im besten Sinne selbstbewusste Neurowissenschaft, die ihre Stärken, aber auch ihre Grenzen kennt, kann durchaus relevante Beiträge leisten, ohne sich als Oberlehrerin der Pädagoginnen und Pädagogen zu verstehen. Gegenstand und Sprache der Pädagogik sind eben nicht identisch mit der reduzierten, naturwissenschaftlichen Beschreibungssprache der Neurowissenschaften: Eine Mathematiklehrerin kann ihr Handeln nicht sinnvoll als „Induktion synaptischer Plastizität in relevanten Hirngebieten der Schülerinnen und Schüler“ begreifen; im Englischunterricht hilft das Wissen um die hippocampalen Netzwerke von Ratten nicht wirklich weiter, ganz zu schweigen vom Kiemen-schutzreflex der Meeresschnecke *Aplysia californica*. Belanglos sind die jeweiligen neurophysiologischen Erkenntnisse aber deshalb nicht: Sie beschreiben biologische Randbedingungen unseres Denkens und

Handelns, die auch auf „höheren“ Ebenen wirksam und wichtig sind.

Die Neurophysiologen David Hubel und Thorsten Wiesel haben beispielsweise systematisch untersucht, welche Sinneserfahrungen junge Katzen machen müssen, um in ihrem späteren Leben mit ähnlichen Situationen zurechtzukommen. Sie konnten zeigen, dass viele sensorische Reize während einer bestimmten Zeit in der Kindheit angeboten werden müssen: Nur in dieser „kritischen Periode“ können sich die entsprechenden Nervenzellverbindungen ausbilden. Sicher, auch die Untersuchungen von Hubel und Wiesel zu den Folgen von Reizentzug (sensorische Deprivation) waren sehr vereinfacht und radikaler, als sie in unserer tatsächlichen Lebenswelt vorkommen. Dennoch wissen wir alle aus eigener Erfahrung, dass wir als Erwachsene Vieles nur schwer und unvollkommen nachholen können, was wir als Kinder spielend leicht gelernt hätten.

Das grundsätzliche neurobiologische Wissen um die Mechanismen der altersabhängigen Plastizität erlaubt nun, gezielt nach neuen Wegen zum erfolgreichen Lernen in jedem Alter zu suchen. Es macht es auch möglich, bei Fehlentwicklungen fundierte Strategien zur Prävention, zur Therapie und zur Rehabilitation zu entwickeln. Ebenso kann die Hirnforschung auf der Basis ihrer experimentellen Erkenntnisse mit wichtigen Informationen zum Umgang mit Medien bei Kindern beitragen, ohne Pädagogik, Lern- und Entwicklungspsychologie dominieren oder gar ersetzen zu wollen. Schließlich haben die neurobiologischen Erkenntnisse von Hubel und Wiesel und die ihrer Nachfolgerinnen und Nachfolger die Aufmerksamkeit für kindliche Seh- oder Hörstörungen und die Risiken einer jeden Form von Reizverarmung erhöht. Neurobiologische Erkenntnisse sind also eine, aber keineswegs die einzige Grundlage des kompetenten und verantwortungsvollen Umgangs mit Kindern. Das ist ein wichtiger Beitrag, für den Hubel und Wiesel 1981 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet wurden.

„Wir brauchen einen guten Schlaf, insbesondere ausgedehnte Tiefschlafphasen, um Gedächtnisinhalte zu festigen.“

Wissensgeleitetes Vermeiden von Risikofaktoren

Es gibt viele weitere Beispiele für relevante neurobiologisch bestimmte Rahmenbedingungen von Lernen und Gedächtnis. Dazu gehört der Einfluss der Ernährung auf die geistige Leistungsfähigkeit von Kindern und das Ausreifen des kindlichen Gehirns – auch das ist ein neurobiologisches Wissen, das in die Betreuungskonzepte von Kindergärten und Schulen eingehen müsste.

Das Umsetzen von Erkenntnissen der Grundlagenforschung auf reale Lebenssituationen ist kompliziert, aber es ist nicht unmöglich. Besonders wichtig ist es hinsichtlich des Vermeidens von Fehlentwicklungen: Das Wissen um die Effekte von Reizverarmung aufgrund sozialer Vernachlässigung, der Störung von Sinnesorganen, von schlechter Ernährung, chronischem Schlafmangel oder anhaltendem Stress kann und sollte einem potenziell schädigenden Umgang mit Kindern – und übrigens auch mit Erwachsenen – klare Grenzen setzen. Das wissensgeleitete Vermeiden von Risikofaktoren für das Gehirn darf nicht weniger ernst genommen werden als im Fall von Herz und Kreislauf. Vor diesem Hintergrund ist die Liberalisierung der Cannabis-Gesetzgebung sehr kritisch zu sehen – die neuen Regeln könnten zu einem ungewollten Großversuch zu den Folgen

einer hirnschädigenden Lebensweise junger Menschen werden.

Ob aus der Hirnforschung auch Anwendungen kommen werden, die das Gedächtnis oder andere kognitive Fähigkeiten gesunder Menschen verbessern, ist noch unklar. Die bisherigen „cognition enhancers“ haben keine so starken und konsistenten Effekte, dass sie transhumanistischen Phantasien von einem Überschreiten biologischer Grenzen auch nur nahe kämen. Mehr Gedanken muss man sich über die möglichen Nebenwirkungen regelmäßiger und langanhaltender pharmakologischer Interventionen machen, besonders im reifenden Gehirn junger Menschen. Dennoch ist schon heute absehbar, dass mit wachsendem Wissen auch mehr mögliche Anwendungen entstehen. Es ist deshalb dringend geboten, in den Neurowissenschaften wie in anderen Bereichen der Biotechnologie und Medizin eine intensive Technikfolgenabschätzung vorzunehmen und öffentlich zu diskutieren.

Voraussetzungen für einen fruchtbaren Dialog

Die Hirnforschung kann und soll gesellschaftliche Debatten nicht dominieren. Zur *Conditio humana* gehört aber auch unsere Biologie – und mit ihr die Neuro-

Verbundprojekt „FrameIntell“

Neurowissenschaften und Künstliche Intelligenz (KI) beziehen sich beide auf das zentrale Thema „Intelligenz“. Das interdisziplinäre Heidelberger Verbundprojekt „FrameIntell“ geht davon aus, dass dieses gemeinsame Interesse – bei wachsender Bedeutung von KI – grundlegende Auswirkungen auf unser Selbstverständnis als Menschen und damit auf zentrale Voraussetzungen ethischer Positionen hat. Die beteiligten Wissenschaftler:innen wollen diese Hypothese aus linguistischer, hermeneutischer und neurowissenschaftlicher Perspektive überprüfen, wofür sie große repräsentative Textkorpora aus den Neurowissenschaften, der KI-Forschung und ethisch-rechtlichen Diskussionen analysieren.

Auf dieser Basis erarbeiten sie explizite und implizite Konzepte von „Intelligenz“, „Kognition“ und „Person“ und identifizieren Gemeinsamkeiten sowie Unterschiede der Konzepte in den jeweiligen fachlichen oder ethisch-rechtlichen Domänen. Die Klärung der konzeptuellen Voraussetzungen soll insbesondere auch ethische Diskurse über biowissenschaftliche und informationstechnische Entwicklungen informieren. Dazu stellen die Forscher:innen eine Methodenplattform für die Analyse ethischer Fragestellungen anhand großer Textkorpora zur Verfügung.

Beteiligte Wissenschaftler:innen sind Prof. Dr. Andreas Draguhn (Institut für Physiologie und Pathophysiologie sowie Interdisziplinäres Zentrum für Neurowissenschaften), Dr. Nadia Primc (Institut für Geschichte und Ethik der Medizin), Prof. Dr. Ekkehard Felder (Germanistisches Seminar) und Prof. Dr. Michael Gertz (Institut für Informatik). Das Bundesministerium für Bildung und Forschung fördert das Projekt von 2022 bis 2025 mit rund 660.000 Euro.

<https://frameintell.de>

biologie. Die Frage, wo die Domäne des Biologischen endet und wie sie mit den Konzepten, Fragestellungen und Beschreibungssprachen von Pädagogik, Rechts- und Geschichtswissenschaften, Soziologie oder Philosophie in einen fruchtbaren Dialog kommen kann, ist nicht einfach zu beantworten. Wir nähern uns dieser Frage derzeit in einem interdisziplinären Projekt über die Sprache der verschiedenen Wissenschaftskulturen.

Auf Seiten der Neurowissenschaften fällt auf, dass wir viele grundlegende Begriffe aus anderen Fächern entlehnen und dann aus unserer Perspektive bearbeiten, ohne uns mit dieser Übertragung intensiv befassen zu haben. Oft greifen wir zu Metaphern aus Elektronik, Computerwissenschaft und Informationstheorie wie „circuit“, „store“, „input“, „output“, „relay“, „command“ oder „information processing“, obwohl die Kongruenz zwischen den jeweiligen Domänen komplex und unvollständig verstanden ist. In einem Projekt des Heidelberger Marsiliuskollegs hatten der Linguist Ekkehard Felder, der Philosoph Magnus Schlette und ich die Möglichkeit, dieses Phänomen am Beispiel des neurobiologischen Konzepts „Gedächtnis“ genauer zu untersuchen.

Dazu analysierten wir gemeinsam mit Studierenden und dem Doktoranden Marcel Kückelhaus über 20.000 biomedizinische Fachartikel, die in den letzten Jahren zum Thema Gedächtnis erschienen sind. Aus diesem großen Korpus lassen sich mit sprachwissenschaftlichen Methoden Hinweise auf die zugrundeliegenden, meist implizit enthaltenen Konzepte von Gedächtnis extrahieren, ebenso wie Hinweise auf thematische Schwerpunkte oder blinde Flecken.

Aus dem Heidelberger Marsilius-Projekt ist mittlerweile das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Verbundprojekt „FrameIntell“ entstanden. Darin untersuchen wir, wie sich Künstliche Intelligenz auf unser Selbstverständnis als intelligente Wesen auswirkt; auch hier im interdisziplinären Dialog mit Sprachwissenschaft (Ekkehard Felder, Marcel Kückelhaus), Informatik (Michael Gertz, Ashish Chouhan) und Philosophie

(Nadia Primc, Raphael Brähler). Unsere gemeinsame Überzeugung ist, dass die Neurowissenschaften ihre Bedeutung für die Praxis und weite gesellschaftliche Bereiche nur dann entfalten können, wenn sie sich ihrer eigenen Vorannahmen, ihrer begrifflichen Grundlagen, ihrer Potenziale und Begrenzungen bewusst werden. ●

Interdisziplinärer Sammelband zum Thema „Gedächtnis“

Was ist das Gedächtnis? Mit dieser Frage beschäftigt sich aus unterschiedlichen wissenschaftlichen und künstlerischen Perspektiven ein im Herbst 2024 erscheinender interdisziplinärer Sammelband, der von Mitgliedern der Universität Heidelberg initiiert wurde. Die Publikation mit dem Titel „Gedächtnis – Streifzüge, Reflektionen, Bilder“ ist Ergebnis einer Arbeitstagung zum Thema „Verkörpernte Zeit. Konzepte des Gedächtnisses aus interdisziplinärer Sicht“, die im September 2021 im Rahmen des Marsilius-Kollegs stattfand. Organisatoren waren Prof. Dr. Andreas Draguhn (Neurophysiologie), Prof. Dr. Ekkehard Felder (Sprachwissenschaft) und Prof. Dr. Magnus Schlette (Philosophie), deren gemeinsames Arbeitsvorhaben als Marsilius-Fellows 2020/2021 sich mit dem Dialog zwischen Hirnforschung und Gesellschaft beschäftigte. Der nun von Prof. Dr. Andreas Draguhn, Prof. Dr. Henry Keazor (Kunstgeschichte) und Prof. Dr. Friederike Reents (Literaturwissenschaft) herausgegebene bebilderte Sammelband umfasst Beiträge von Heidelberger und mit Heidelberg verbundenen Wissenschaftler:innen und Künstler:innen. Sie beschäftigen sich beispielsweise mit Zeit und Gedächtnis aus physikalischer Sicht, dem Zuhause als Erinnerungsort der Stadt, literarischen Gedächtnisräumen aus der DDR und der alten BRD oder der Frage, was unser Gedächtnis beim Musikhören leistet.

Marsilius-Kolleg

Als „Center for Advanced Study“ wurde das Marsilius-Kolleg 2007 als Teil des Zukunftskonzepts gegründet, mit dem die Universität Heidelberg in der Exzellenzinitiative und der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder erfolgreich war. Benannt nach Marsilius von Inghen, dem ersten Rektor der Universität Heidelberg 1386, trägt es dazu bei, wissenschaftliche Brücken zwischen verschiedenen Fächerkulturen zu schlagen, um auf diese Weise die Idee der Volluniversität zu fördern. Daraus abgeleitet widmet sich das Marsilius-Kolleg auch der Aufgabe, die Bedeutung hochwertiger Wissenschaftskommunikation stärker im Bewusstsein der akademischen und breiteren Öffentlichkeit zu verankern. Es versteht sich als Ort der Begegnung und der Innovation, an dem disziplinenübergreifende Forschungsprojekte realisiert werden und der Dialog zwischen Wissenschaft und Gesellschaft gelebt wird. Direktoren sind die Theologin Prof. Dr. Friederike Nüssel und der Genomforscher Prof. Dr. Michael Boutros.

Zwölf bis fünfzehn Fellows der Universität Heidelberg werden jedes Jahr an das Kolleg berufen, um sich relevanten Forschungsfragen aus interdisziplinärer Perspektive zu widmen. Am Marsilius-Kolleg wurden auch mehrere größere Forschungsprojekte erfolgreich abgeschlossen, unter anderem zu den Themen „The Global Governance of Climate Engineering“, „Ethische und rechtliche Aspekte der Totalsequenzierung des menschlichen Genoms“, „Verkörperung als Paradigma einer evolutionären Kulturanthropologie“ sowie „Frühe Kindheit im Wandel“. Mit den Marsilius-Vorlesungen, der Diskussionsreihe „Marsilius kontrovers“, der Nature Marsilius Gastprofessur für Wissenschaftskommunikation und dem Podcast „Marsilius im Gespräch“ bietet das Kolleg Plattformen zum Austausch mit der Öffentlichkeit.

www.marsilius-kolleg.uni-heidelberg.de