

Das Gewebe des Lebens

Warum ist das Gehirn so unempfindlich gegenüber Störungen? Sind Bakterien tatsächlich Einzeller oder sollten wir ihre Kolonien nicht als vielzelliger Organismus verstehen? Welche Mechanismen stellen sicher, dass sich genetisch identische Zellen in einem exakt orchestrierten Programm zu den verschiedenen Bestandteilen einer Blüte zusammenfügen? Die DFG hat 2025 in den Lebenswissenschaften eine Reihe von Projekten gefördert, in denen die Vernetzung von Molekülen, Zellen oder Organismen eine zentrale Rolle spielt.

Das Gehirn ist ein Paradebeispiel für ein biologisches Netzwerk. Kein anderes Organ ist komplexer – nicht nur aufgrund seiner großen Zahl von Nervenzellen, sondern vor allem wegen der fast unüberschaubaren Menge von Verbindungen, die diese untereinander eingehen. Welche Nervenzellen dabei miteinander in Kontakt treten, ist entscheidend für die Funktion des Netzwerks.

Nervenzellen entwickeln sich auf der Basis ihres Genoms. Das stellt die reproduzierbare Herstellung funktionierender Gehirne sicher. Wie dieser Prozess die Spezifität der Gehirnverdrahtung und damit angeborenes Verhalten generiert, ist jedoch eines der Mysterien der Naturwissenschaften. Dabei spielt auch der Zufall eine überraschend bedeutende Rolle. Dass das

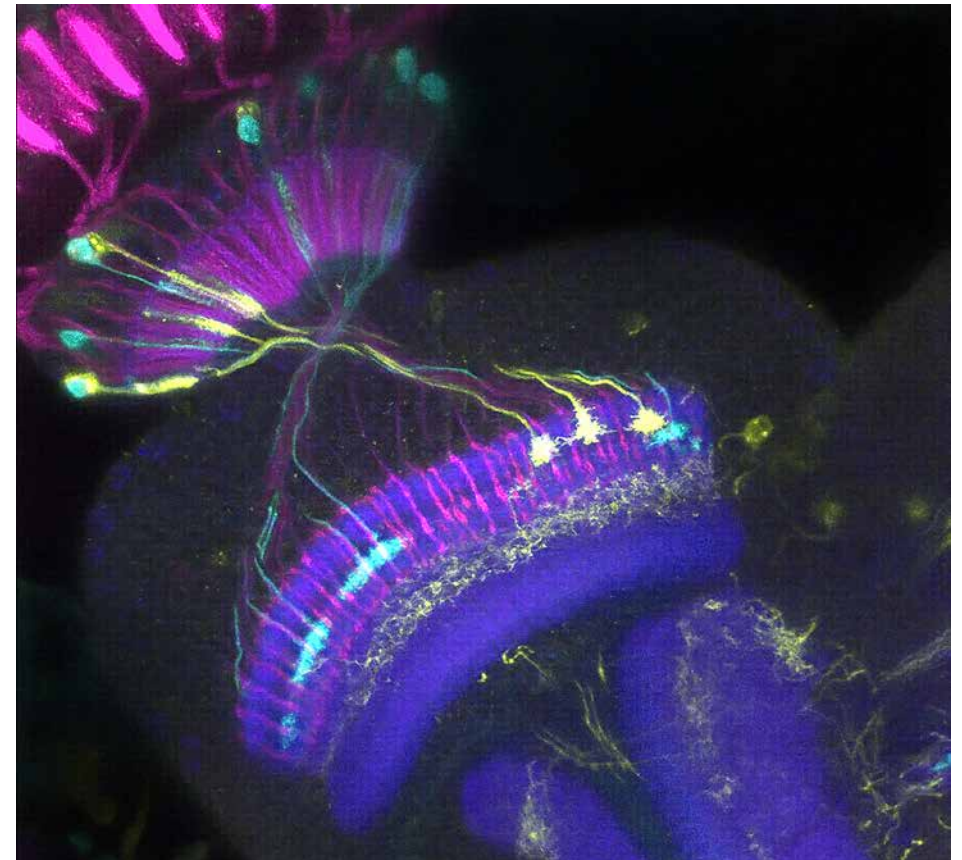
keineswegs ein Nachteil sein muss, hat die Forschungsgruppe „RobustCircuit“ in den vergangenen vier Jahren belegt. Die Beteiligten untersuchen die These, dass Ungenauigkeiten bei der Entwicklung neuronaler Netzwerke dafür sorgen, dass diese stabiler funktionieren. Die DFG hat die Förderung 2025 für weitere vier Jahre verlängert.

Ungenauigkeit macht stabil

In seiner Arbeitsweise wird das Gehirn manchmal mit einem Mikroprozessor verglichen. Doch die Art und Weise, wie die Transistoren auf dem Chip miteinander verknüpft sind, ist das Ergebnis detaillierter Planung. Wenn bei der Produktion nur eine Kleinigkeit schiefgeht, funktioniert der Prozessor nicht. „Beim Gehirn ist das anders“, betont Robin Hiesinger, Neurobiologe an der FU Berlin und Sprecher der Forschungsgruppe. „Sowohl seine Entwicklung als auch seine Funktion sind robust gegen den Ausfall einzelner Komponenten.“

Das liegt an der Flexibilität der Nervenzellen: Sie bilden kabelartige Fortsätze, die Dendriten und Axone, die sich wie ein Baum verzweigen können. Wenn eine benachbarte Nervenzelle ausfällt, dann kann eine andere in den freigewordenen Raum wachsen. Das Wachstum dieser zellulären „Kabelbäume“ ist dabei getrieben durch das Prinzip „Versuch und Irrtum“: Nur wenn ein Seitenspross nach einer Weile auf einen

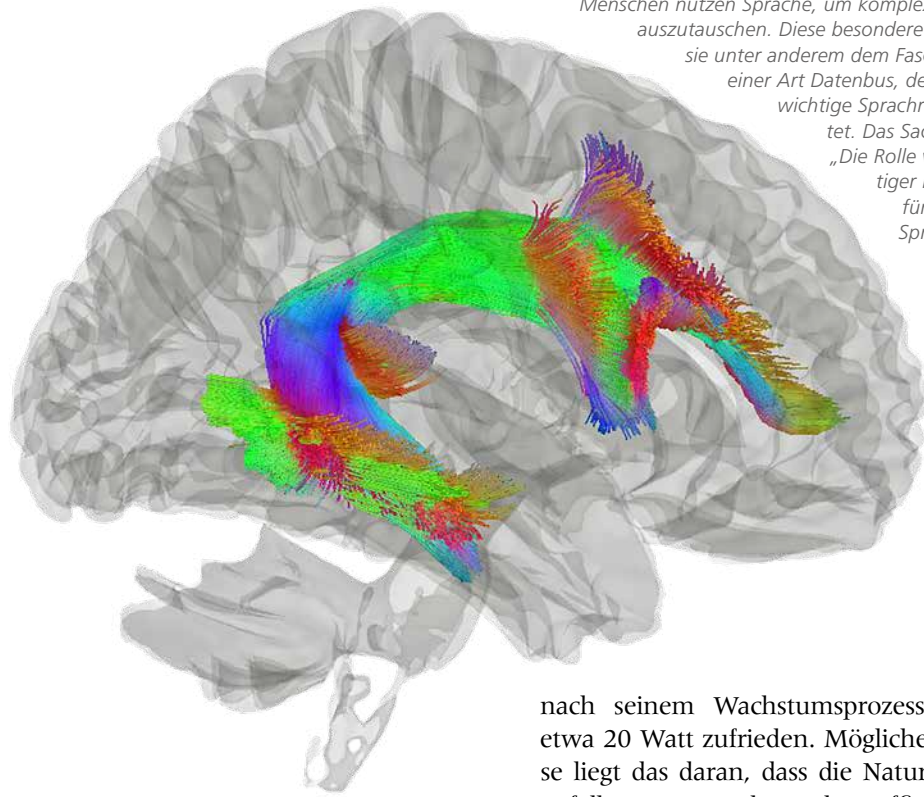
Wie die Nervenzellen im Gehirn miteinander verdrahtet werden, unterliegt ein Stück weit dem Zufall. Diese Ungenauigkeiten sorgen offenbar dafür, dass die neuronalen Netzwerke stabiler funktionieren, wie die DFG-Forschungsgruppe „RobustCircuit“ nachweisen konnte. Das Lasermikroskopie-Bild zeigt eine „Umschaltstation“ im Gehirn der Fruchtfliege.



Partner trifft, mit dem eine Verbindung möglich ist, wird er stabilisiert und treibt von dort in eine neue Zufallsrichtung aus; ansonsten verkümmert er. Dieser Algorithmus nutzt Zufall und Selektion, um mit relativ wenig Aufwand komplexe Netzwerke zu bauen, ohne dass dafür ein Masterplan nötig wäre. Und er ist sehr robust: Er funktioniert beispielsweise auch noch, wenn sich durch eine Mutation die Morphologie

des Gehirns ändert. Ein Masterplan ist dagegen zum Scheitern verurteilt, wenn sich das „Verdrahtungsschema“ aufgrund veränderter räumlicher Bedingungen nicht umsetzen lässt.

Menschliche Ingenieure versuchen, Ungenauigkeiten bei Fertigungsprozessen möglichst gering zu halten. In der Biologie sind solche Ungenauigkeiten und Zufälle aber auf vielen Ebenen



Menschen nutzen Sprache, um komplexe Informationen auszutauschen. Diese besondere Gabe verdanken sie unter anderem dem Fasciculus arcuatus – einer Art Datenbus, der im Gehirn zwei wichtige Sprachregionen verschaltet. Das Sachbeihilfe-Projekt „Die Rolle von langreichweitiger Hirnkonnektivität für die menschliche Sprachverarbeitung“ will die Funktion derartiger Verbindungen genauer untersuchen.

notwendig – von Molekülen über Zellen bis hin zu Organismen. So kann eine unterschiedliche Verdrahtung aufgrund zufälliger Abweichungen bei der Gehirnentwicklung zu Verhaltensunterschieden bei anderweitig identischen Drosophila-Fliegen führen. „Das erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass manche von ihnen bei plötzlichen Umweltveränderungen bessere Überlebenschancen haben“, erklärt Hiesinger. Mehr Robustheit also auch auf der Ebene einer Population von Individuen.

In den kommenden vier Jahren wird „RobustCircuit“ weiter untersucht, wie universell dieses Prinzip ist. Von den Ergebnissen erhofft sich das Team auch Inspirationen für andere Wissenschaftsfelder – zum Beispiel für die KI-Forschung. So haben viele KI-Modelle aktuell einen erheblichen Stromverbrauch. Unser Gehirn gibt sich dagegen

nach seinem Wachstumsprozess mit etwa 20 Watt zufrieden. Möglicherweise liegt das daran, dass die Natur den Zufall nutzt, um besonders effiziente und robuste Lösungen zu erfinden.

Sprachzentren als Netzwerker

Ein Bereich, in dem sich gerade das menschliche Gehirn besonders hervorhebt, ist die Sprachverarbeitung. Es gibt zwar viele andere Tierarten, die ebenfalls über Lautäußerungen miteinander kommunizieren, allerdings auf einem deutlich einfacheren Niveau. „Wir möchten herausfinden, welchen Faktoren wir unsere Sonderstellung verdanken“, sagt Thomas Knösche vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig. „Wir interessieren uns in diesem Zusammenhang insbesondere dafür, welche Rolle die weiße Gehirnschicht spielt.“

Knösche ist Teil eines Trios, das diesen Fragen nachgehen möchte. Zusammen mit seinen Kollegen Fred Hamker

von der TU Chemnitz und Tilo Schwalger von der TU Berlin will er dazu die menschliche Großhirnrinde im Computer nachbauen. Das Projekt „Die Rolle von langreichweitiger Hirnkonnektivität für die menschliche Sprachverarbeitung“ wird seit 2025 im Sachbeihilfe-Programm der DFG gefördert.

Das besondere Augenmerk der Forscher gilt den „Datenbussen“ zwischen den Hirnregionen, die im Homo sapiens an der Sprachverarbeitung beteiligt sind. Sie bestehen aus Nervenfasern (den Axonen), die elektrische Signale über weite Strecken transportieren können: manchmal zehn Zentimeter oder mehr. Die Datenautobahnen sind durch eine „Myelin“ genannte, fettreiche Schicht gegenüber ihrer Umgebung isoliert. Diese Ummantelung verhindert Kurzschlüsse und beschleunigt die Weiterleitung der Informationen. Sie verursacht auch die weiße Färbung der Axon-Bündel – daher der Name „weiße Substanz“.

Im menschlichen Gehirn gibt es überdies Verbindungen, die bei anderen Tieren in dieser Form nicht zu finden sind – und die für unser Sprachvermögen eine wesentliche Rolle spielen. Dazu gehört etwa der Fasciculus arcuatus, über den sich zwei wichtige Sprachregionen miteinander austauschen – das Broca- und das Wernicke-Areal. Das Broca-Areal ist zentral für syntaktische Verknüpfungen zwischen Wörtern, das

Wernicke-Areal dagegen für die Verarbeitung ihrer Bedeutungen.

„Wir vermuten, dass es im Gehirn sogenannte Word-Webs gibt“, erklärt Fred Hamker. „Dabei handelt es sich um Netzwerke, die auf verschiedene Regionen wie eben das Broca- und das Wernicke-Areal verteilt sind.“ Wenn wir ein bestimmtes Wort hören, dann wird das dazu gehörende Word-Web mit seinen sämtlichen Teilnetzwerken aktiviert und so in das Arbeitsgedächtnis geladen. Die syntaktischen Informationen entscheiden dann darüber, wie das Wort mit dem bereits Gehörten sowie nachfolgenden Wörtern zu einem Satz zusammengebaut wird.

Die drei Forscher wollen bei Versuchspersonen mithilfe tomografischer Verfahren messen, wie gut bei ihnen Faserbündel wie der Fasciculus arcuatus ausgeprägt sind. Zudem versuchen sie zu verstehen, wie diese Ausprägung mit der Fähigkeit der Proband*innen zusammenhängt, Sätze unterschiedlicher Komplexität zu verstehen – also etwa solche mit vielen ineinander verschachtelten Nebensätzen. Die Ergebnisse werden in ein Computermodell einfließen, das die Prozesse bei der Sprachverarbeitung möglichst realitätsnah nachbildet. Dadurch lässt sich dann beispielsweise untersuchen, welche Effekte zu erwarten sind, wenn man den Informationsfluss zwischen bestimmten neuronalen Netzwerken behindert.