

## Hirnforschung: „Impulsgeber“ wachsen und schrumpfen, wenn Erinnerungen entstehen

### Forschende erfassen mikroskopische Veränderungen im Gehirn

*Bonn.* Erinnerungen und Lernprozesse beruhen darauf, dass sich Nervenverbindungen im Gehirn verändern und infolgedessen auch die Signalübermittlung zwischen Nervenzellen. Forschende des DZNE haben einen dafür relevanten Vorgang nun erstmals am lebenden Gehirn – konkret bei Mäusen – beobachtet. Dieser Mechanismus betrifft den zellulären Taktgeber für Nervenimpulse („axonales Initialsegment“) und war bisher nur in Zellkulturen und bei Gehirnproben dokumentiert worden. Ein Team um den Bonner Neurowissenschaftler [Jan Gründemann](#) berichtet darüber im Fachjournal [Nature Neuroscience](#) gemeinsam mit Fachleuten aus der Schweiz, Italien und Österreich. Ihre Studienergebnisse beleuchten die Fähigkeit des Gehirns, sich anzupassen. Die Forschenden möchten nun untersuchen, inwiefern diese Befunde für die [Alzheimer-Erkrankung](#) bedeutsam sind.

Im Gehirn verzweigen sich die Nervenzellen zu einem Geflecht, über das ein reger Austausch elektrischer Signale stattfindet. Diese Netzwerkstruktur ist wesentlicher Bestandteil der „Hardware“ des Gehirns und daher grundlegend für dessen Funktion – insbesondere für Lernprozesse und Gedächtnisbildung. Dabei sind diese komplexe Architektur und die Signalweiterleitung innerhalb des Netzwerks keineswegs unveränderbar, sondern sie können sich infolge von Erfahrungen und Erlebnissen wandeln. Diese Flexibilität – auch Neuroplastizität genannt – ist die Basis für das Anpassungsvermögen des Gehirns.

### Neuronale Schrittmacher

Die Neuroplastizität beruht maßgeblich auf der Fähigkeit, die Stärke der Verbindungen und Signalweiterleitung zwischen Nervenzellen anzupassen. Betrachtet man diese Zellen als Relaisstationen, dann entscheidet ihre Kopplungsstärke darüber, wie effizient Signale von einer Zelle zur nächsten gelangen – und wie gut sie sich innerhalb des neuronalen Netzwerks verbreiten. Das Team um Jan Gründemann, Forschungsgruppenleiter am DZNE und Professor an der Universität Bonn, konnte nun beobachten, wie sich innerhalb langer Nervenverbindungen jeweils jenes Teilstück verändert, das das elektrische Signal generiert. Die allermeisten Nervenzellen haben jeweils ein solches „axonales Initialsegment“. Es zeichnet sich durch eine besonders hohe Dichte spezieller Ionenkanäle aus. „Das Initialsegment bestimmt, ob ein Nervenimpuls ausgelöst wird“, so der Bonner Neurowissenschaftler. „Chloé Benoit und Dan Ganea aus unserem Team haben spezielle Mikroskopieverfahren verwendet. So konnten wir erstmals im lebenden Gehirn beobachten, dass sich die Länge solcher Segmente während des Lernens verändert. Bisher war dieses Phänomen vor allem aus Zellkulturen oder Gewebeproben bekannt. Jetzt haben wir es über Tage hinweg im Zuge von Lernprozessen im Gehirn nachweisen können.“

### Mal länger, mal kürzer

Die Befunde beruhen auf Untersuchungen an Mäusen: In einem Verhaltensexperiment lernten die Tiere mit verschiedenen Situationen umzugehen – sie lernten somit aufgrund ihrer Erfahrungen und Erinnerungen und passten ihr Verhalten dementsprechend an. Zugleich beobachteten die

Forschenden vor und nach den Trainingseinheiten bei lebenden Tieren einzelne Nervenzellen. Immer wieder gelang es ihnen, bestimmte Zellen wiederzufinden und so Veränderungen im Laufe der Zeit zu erfassen. Unter die Lupe nahmen sie dabei einen Ausschnitt der Hirnrinde, der erwiesenermaßen an Lernprozessen beteiligt ist. „Wir haben festgestellt, dass die Initialsegmente der untersuchten Nervenzellen ihre Länge veränderten, sie wuchsen oder schrumpften“, erläutert Gründemann. „Mit der Größe des Segments verändert sich auch die Erregbarkeit der betreffenden Nervenzelle. Zellen mit langem Initialsegment senden stärkere Signale als solche mit kurzem Segment. Über diesen Mechanismus lässt sich also die Hirnaktivität regulieren. Warum manche Segmente länger wurden und andere kürzer, wissen wir noch nicht. Das ist vermutlich ein zentraler Steuerhebel, um die neuronale Aktivität optimal einzustellen.“

## **Ein Hauptschalter**

Das axonale Initialsegment ist Teil des Axons – ein faserartiger Ausläufer von Nervenzellen, der elektrische Impulse an andere Zellen weiterleitet. Am Ende verzweigt sich das Axon vielfach, sodass eine einzige Nervenzelle mit Tausenden anderer Zellen in Kontakt stehen kann. Diese Kontaktstellen – Synapsen genannt – können sich bekanntermaßen im Zuge der Gedächtnisbildung ebenfalls verändern und so die Übermittlung von Nervensignalen beeinflussen. „An den Synapsen werden Signale in Nervenzellen eingespeist. Doch ob ein Signal überhaupt ausgelöst wird und wie stark es ist, entscheidet sich am axonalen Initialsegment. Das Initialsegment ist also gewissermaßen ein Hauptschalter. Synapsen und Initialsegment beeinflussen beide somit die Signalübertragung zwischen Nervenzellen und tragen zur Neuroplastizität bei. Und unsere Studie zeigt, dass für die Gedächtnisbildung beide von Bedeutung sein können“, sagt Gründemann. „Zwar haben wir nur einen bestimmten Hirnbereich untersucht, wir gehen aber davon aus, dass die Dynamik des Initialsegments ein allgemeines Prinzip beim Lernen ist – wie es auch für die Synapsen gilt. Dies möchten wir nun in anderen Hirnregionen auch im Hinblick auf neurodegenerative Erkrankungen überprüfen.“

## **Studien zu Alzheimer**

„Bei der Alzheimer-Erkrankung ist die Signalübertragung und Plastizität zwischen Nervenzellen beeinträchtigt. Deshalb interessiert uns zum Beispiel, wie sich die für Alzheimer typischen Protein-Ablagerungen auf die Funktion der Initialsegmente auswirken. Das lässt sich an Mäusen mit Alzheimer-ähnlichen Krankheitsmerkmalen untersuchen. Das könnte helfen, den Krankheitsprozess besser zu verstehen und möglicherweise auch, Ansatzpunkte für zukünftige Therapien zu finden“, so Gründemann.

## **Originalveröffentlichung**

Axon initial segment dynamics during associative fear learning.  
Chloé Maëlle Benoit, Dan Alin Ganea, et al.  
Nature Neuroscience (2025).  
DOI: [10.1038/s41593-025-02152-5](https://doi.org/10.1038/s41593-025-02152-5)