

Spektrum
der Wissenschaft

KOMPAKT

DAS KONNEKTOM

Der Schaltplan unseres
Nervensystems

Neuroanatomie

Ein neuer Atlas
des Gehirns

Konnektivität

Das (anti-)soziale
Netzwerk

Big Data

Im Dschungel der
Neurone



Antje Findekle
E-Mail: findekle@spektrum.de

Liebe Leserin, lieber Leser,
es ist eines der größten und aufwändigsten Forschungsprojekte derzeit: die Erfassung und Entschlüsselung des Konnektoms – der Gesamtheit neuronaler Verknüpfungen des Menschen. Wissenschaftler nutzen modernste Untersuchungs- und Bildgebungsverfahren, um die verwirrende Vielfalt der Neuronenverbindungen aufzudecken, und sie suchen nach effektiven Methoden, die Datenflut sinnvoll zu bändigen. Inzwischen können sie sogar erste Schaltpläne des Gehirns präsentieren.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 06.03.2017

Folgen Sie uns:

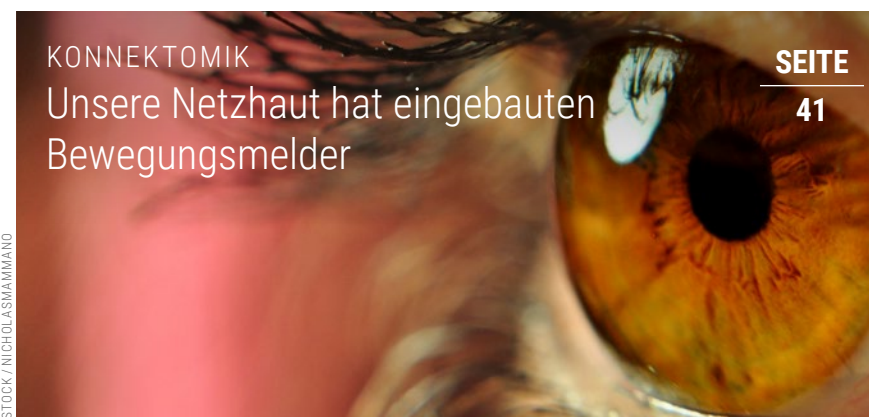
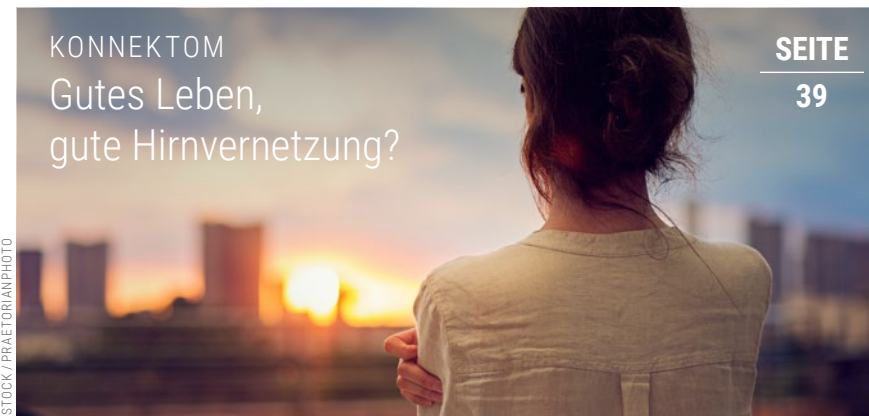


CHEFREDAKTEURE: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert
REDAKTIONSLEITER: Christiane Gelitz, Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl
ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove
LAYOUT: Oliver Gabriel
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
PRODUKTMANAGERIN DIGITAL: Antje Findekle
VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE147514638
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle, Thomas Bleck
MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.)
LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an anzeigen@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2017 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.



- 20 **NEUROTRANSMITTER**
Können hemmende Neurone auch erregend wirken?
- 23 **NEUROANATOMIE**
Ein neuer Atlas des Gehirns
- 29 **INFOGRAFIK**
Die Entschlüsselung des Geistes
- 31 **BIG DATA**
Im Dschungel der Neurone
- 45 **HIRNFORSCHUNG**
Zweisprachigkeit stärkt Faserverbindungen im Gehirn
- 47 **FUNKTIONELLE KONNEKTIVITÄT**
Der Fingerabdruck des Gehirns
- 54 **KONNEKTIVITÄT**
Das (anti-)soziale Netzwerk



DENDRITEN

Die Antennen der Nervenzellen

von Klaus M. Stiefel

Um Signale empfangen und verarbeiten zu können, verfügt jede Nervenzelle über Dendriten. Diese »Antennen« sind äußerst filigrane Strukturen – und arbeiten verblüffend vielseitig.

Satellitenschüsseln, Radioantennen an Autos und die Antenne im Laptop für das drahtlose Internetsignal – wir sind von unzähligen Antennen umgeben. Die Gehäuse unserer Handys wirken ebenfalls als Antennen; Ingenieure haben erstaunlich viele Varianten erfunden, elektromagnetische Signale zu empfangen.

Ähnlich wie Handys, Autos und Wolkenkratzer besitzen die Nervenzellen in unseren Gehirnen spezielle Strukturen, um Signale einzufangen: die Dendriten. Auch diese Empfangsbauteile kommen in überraschend vielen Größen und Formen vor. Allerdings, und hier endet die Analogie, empfangen Dendriten keine elektromagnetischen Wellen, sondern chemische Signale, die ihnen andere Nervenzellen mittels spezieller Verbindungen schicken, der Synapsen. Und nach hunderten Millionen Jahren Evolution können diese Strukturen auch viel mehr, als synaptische Signale einfach einzusammeln. Sie wirken als eigenständige Informationsverarbeitungssysteme.

Die Schönheit der Dendriten beeindruckte schon den spanischen Mediziner Santiago Ramón y Cajal (1852–1934), der Ende des 19. Jahrhunderts einzelne Ner-

venzellen angefärbt und unter dem Mikroskop betrachtet hatte. Seine Zeichnungen offenbaren das komplexe Netzwerk der dendritischen Verzweigungen.

Um die Arbeitsweise der neuronalen Empfänger besser zu verstehen, müssen wir sie uns ein wenig näher anschauen: Die feinsten dendritischen Verästelungen, die seitlich aus den dickeren Hauptästen sprießen, sind bis zu 0,1 Mikrometer dick – also etwa ein Tausendstel so dick wie ein menschliches Haar – und auch nur wenige Mikrometer lang. Große Nervenzellen wie die Purkinje-Zellen im Kleinhirn besitzen Tausende dieser Dornfortsätze oder »Spines« (englisch für Dornen). Mit seinem weit verzweigten Dendritenbaum weist ein Neuron eine deutlich größere Oberfläche auf als eine kugelförmige Zelle mit dem gleichen Volumen, bietet für Nachbarzellen also viel Platz zum Andocken.

Unter dem Elektronenmikroskop offenbart sich, woraus die schwarzen Äste in Ramón y Cajals Zeichnungen bestehen: dünne, von einer Lipidmembran umgebene Würste aus Zellplasma. In der Zellmembran steckt, wie bei jeder anderen Zelle auch, eine Vielzahl von Ionenkanälen. Hierbei handelt es sich um komplexe Protein-

AUF EINEN BLICK

Empfangen, Filtern, Verändern von Signalen

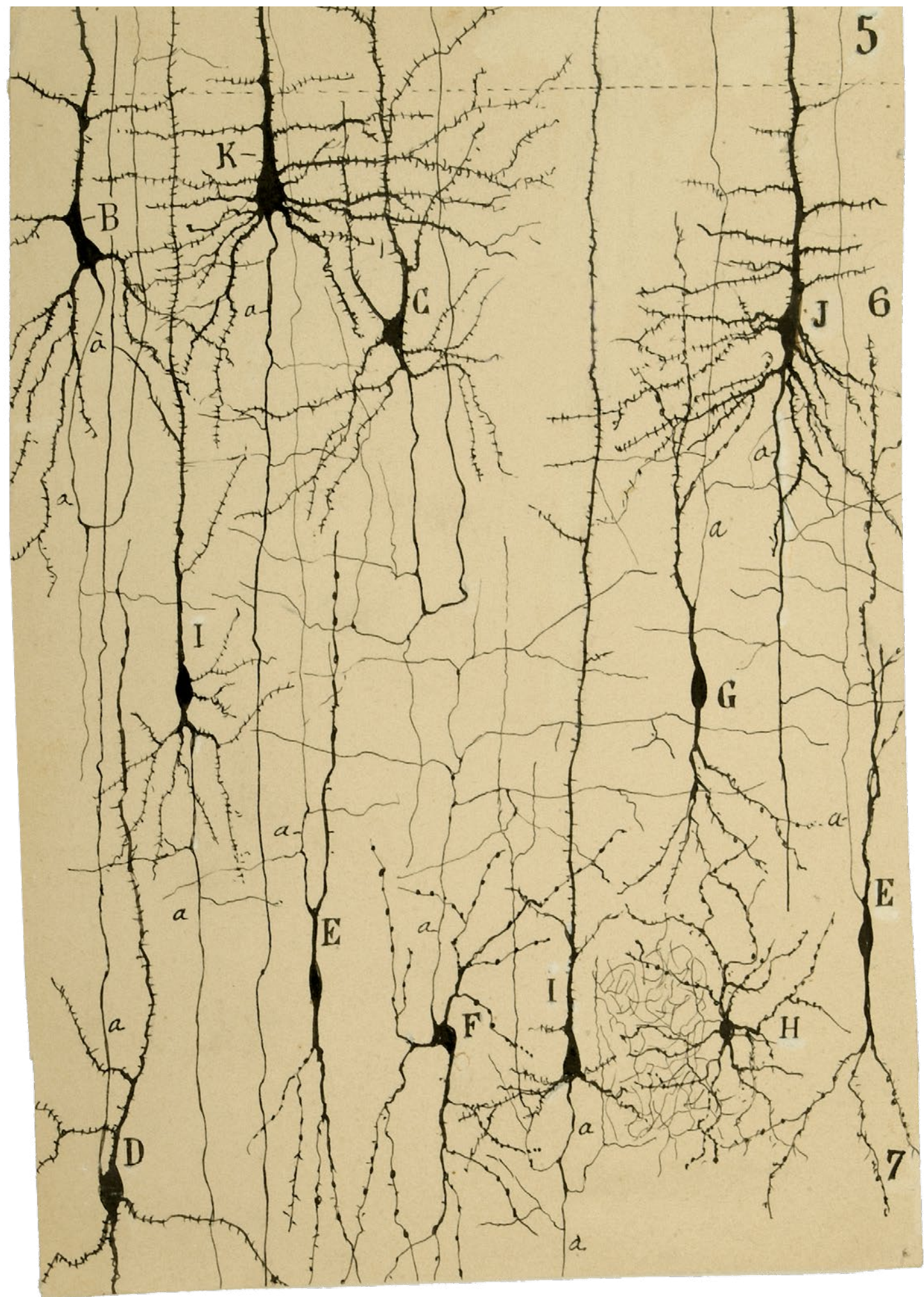
- 1 Dendriten sind die zellulären Fortsätze von Neuronen. Sie wirken ähnlich wie Antennen: Bei ihnen laufen die Signale benachbarter Nervenzellen über Synapsen ein.
- 2 Allerdings verarbeiten die Dendriten die Informationen in der Regel aktiv. Sie filtern und verändern ankommende Signale.
- 3 Die Grundlage dafür bilden Ionenkanäle, die abhängig vom empfangenen Signal positive oder negative Ladungsträger gezielt passieren lassen.

strukturen, durch die Ionen, also positiv oder negativ geladene Teilchen, hindurchfließen und damit elektrische Ladungen in die Nervenzelle hinein- oder aus ihr heraus transportieren können. Dieser Ladungsfluss bildet das Fundament der Informationsverarbeitung des Nervensystems.

Ein Ionenkanal lässt jeweils nur bestimmte Teilchenarten passieren. Durch manche fließen allein positiv geladene Natrium- oder Kaliumionen, andere sind auf eine Mischung aus negativ geladenen Chlorid- und Bikarbonationen spezialisiert. Manche Kanäle stehen immer offen, wieder andere öffnen sich abhängig von der Ladungsverteilung an der Dendritenmembran. Es gibt auch Kanäle, die sich erst öffnen, wenn sie über eine Synapse aktiviert

NERVENZELLEN DER GROSSHIRNRINDE

Vom berühmten spanischen Hirnforscher Santiago Ramón y Cajal (1852–1934) existieren zahlreiche Zeichnungen von Neuronen, wie diese 1904 entstandene, die Nervenzellen der Großhirnrinde zeigt. Deutlich zu erkennen sind die filigranen, stark verzweigten Dendritenäste, die dicken Zellkörper sowie die langen Axone der Nervenzellen.



Aktive Antennen

Die wegen ihrer Form Pyramidenzellen genannten Neurone in der Großhirnrinde besitzen zahlreiche Dendriten, die sich wiederum in kurze Nebenäste verzweigen, die »Spines«. Dort liegen die Synapsen, über die benachbarte Nervenzellen Signale weitergeben. Die Dendriten wirken jedoch nicht nur als passive Antennen, sondern verarbeiten die empfangenen Signale auch. Beispiele dafür sind hier gezeigt.

(A) REIHENFOLGE: Die Informationsverarbeitung beginnt bereits mit der Abfolge der einlaufenden Informationen: Signale, die zuerst weiter außen liegende und dann innere Spines erreichen, erzeugen im Zellkörper ein stärkeres Ausgangssignal als im umgekehrten Fall.

(B) UNABHÄNGIGKEIT: Einzelne Dendritenäste können durch hemmende Synapsen aus- und angeschaltet werden. Die Dendriten arbeiten somit unabhängig voneinander.

(C) AKTIVER AUSGLEICH: Ein Signal, das in einem vom Zellkörper weit entfernten Dornfortsatz einläuft, sollte im Zellkörper ein schwächeres Ausgangssignal hervorrufen. Aktive Dendriten sorgen aber dafür, dass das Ausgangssignal unabhängig vom Eingangsort gleich stark ist.

(D) VERSTÄRKER: Dendriten können das Ausgangssignal überproportional verstärken.

