



Onur Güntürkün

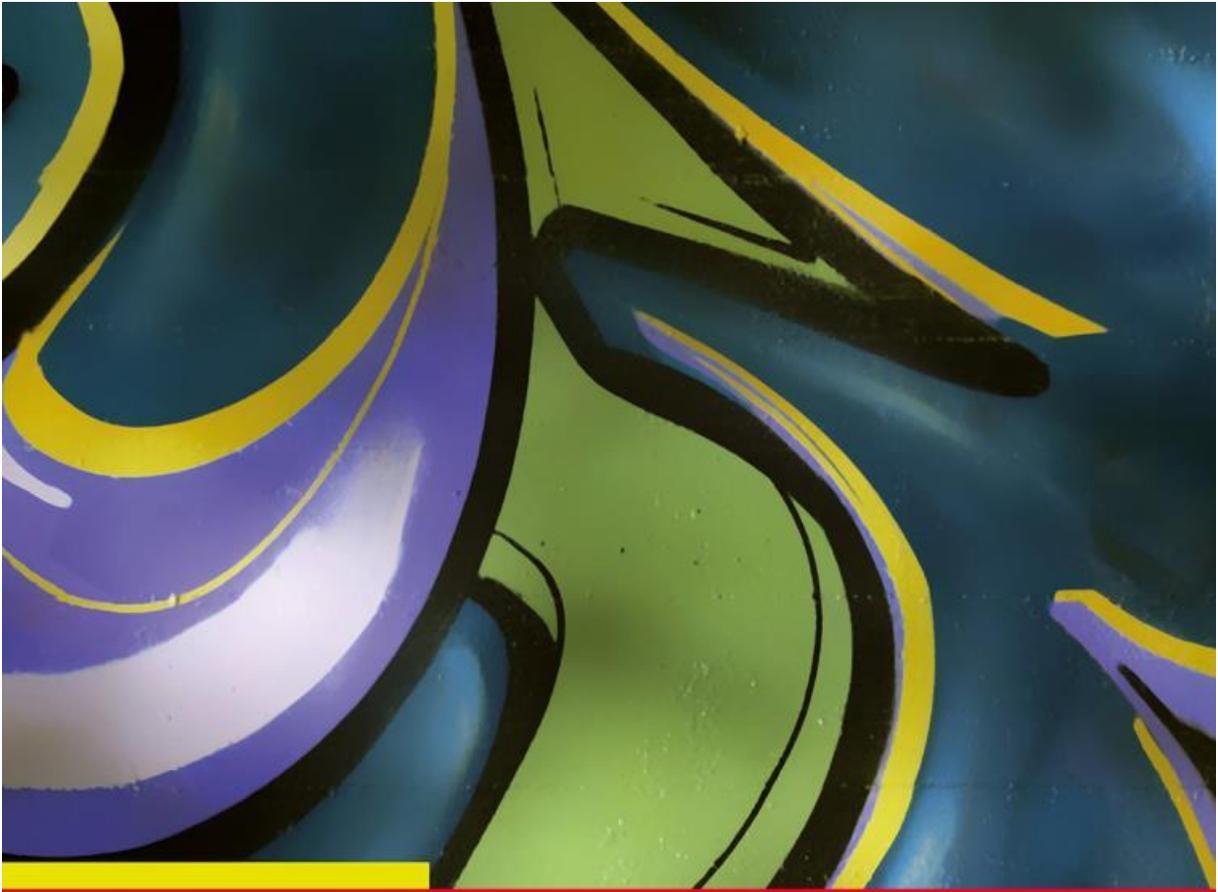
Biologische Psychologie

2., aktualisierte Auflage



Bachelorstudium
Psychologie

 hogrefe



Onur Güntürkün

Biologische Psychologie

2., aktualisierte Auflage



Bachelorstudium
Psychologie

 hogrefe



Onur Güntürkün

Biologische Psychologie

2., aktualisierte Auflage

 **hogrefe**

Bachelorstudium Psychologie

Biologische Psychologie

Prof. Dr. Onur Güntürkün

Herausgeber der Reihe:

Prof. Dr. Eva Bamberg, Prof. Dr. Hans-Werner Bierhoff, Prof.
Dr. Alexander Grob, Prof. Dr. Franz Petermann

Prof. Dr. Onur Güntürkün, geb. 1958. 1975–1980

Studium der Psychologie in Bochum. 1984 Promotion. 1984–1987 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Ruhr-Universität Bochum in der Arbeitseinheit Tierpsychologie. 1987–1988 Post-Doktorand in Paris und San Diego. 1988–1991 Wissenschaftlicher Assistent an der Universität Konstanz. 1991 Habilitation. 1992–1993 Hochschuldozent an der Universität Konstanz. Seit 1993 Professor für Biopsychologie an der Fakultät für Psychologie, Ruhr-Universität Bochum. Seit 1996 verschiedene Forschungsaufenthalte im Ausland als Gastwissenschaftler.



Informationen und Zusatzmaterialien zu diesem Buch finden Sie unter

www.hogrefe.de/buecher/lehrbuecher/psychlehrbuchplus

Wichtiger Hinweis: Der Verlag hat gemeinsam mit den Autoren bzw. den Herausgebern große Mühe darauf verwandt, dass alle in diesem Buch enthaltenen Informationen (Programme, Verfahren, Mengen, Dosierungen, Applikationen, Internetlinks etc.) entsprechend dem Wissensstand bei Fertigstellung des Werkes abgedruckt oder in digitaler Form wiedergegeben wurden. Trotz sorgfältiger Manuskripterstellung und Korrektur des Satzes und der digitalen Produkte können Fehler nicht ganz ausgeschlossen werden. Autoren bzw. Herausgeber und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und keine daraus folgende oder sonstige Haftung, die auf irgendeine Art aus der Benutzung der in dem Werk enthaltenen Informationen oder Teilen davon entsteht. Geschützte Warennamen (Warenzeichen) werden nicht besonders kenntlich gemacht. Aus dem Fehlen eines solchen Hinweises kann also nicht geschlossen werden, dass es sich um einen freien Warennamen handelt.

Copyright-Hinweis:

Das E-Book einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar. Der Nutzer verpflichtet sich, die Urheberrechte anzuerkennen und einzuhalten.

Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG
Merkelstraße 3
37085 Göttingen
Deutschland
Tel. +49 551 999 50 0
Fax +49 551 999 50 111
verlag@hogrefe.de
www.hogrefe.de

Umschlagabbildung: © José Marafona – Dreamstime.com
Satz: ARThür Grafik-Design & Kunst, Weimar
Format: EPUB

2., überarbeitete Auflage 2019

© 2012, 2019 Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG, Göttingen
(E-Book-ISBN [PDF] 978-3-8409-2941-0; E-Book-ISBN [EPUB]
978-3-8444-2941-1)

ISBN 978-3-8017-2941-7

<http://doi.org/10.1026/02941-000>

Nutzungsbedingungen:

Der Erwerber erhält ein einfaches und nicht übertragbares Nutzungsrecht, das ihn zum privaten Gebrauch des E-Books und all der dazugehörigen Dateien berechtigt.

Der Inhalt dieses E-Books darf von dem Kunden vorbehaltlich abweichender zwingender gesetzlicher Regeln weder inhaltlich noch redaktionell verändert werden.

Insbesondere darf er Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen, digitale Wasserzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

Der Nutzer ist nicht berechtigt, das E-Book – auch nicht auszugsweise – anderen Personen zugänglich zu machen, insbesondere es weiterzuleiten, zu verleihen oder zu vermieten.

Das entgeltliche oder unentgeltliche Einstellen des E-Books ins Internet oder in andere Netzwerke, der Weiterverkauf und/oder jede Art der Nutzung zu kommerziellen Zwecken sind nicht zulässig.

Das Anfertigen von Vervielfältigungen, das Ausdrucken oder Speichern auf anderen Wiedergabegeräten ist nur für den persönlichen Gebrauch gestattet. Dritten darf dadurch kein Zugang ermöglicht werden.

Die Übernahme des gesamten E-Books in eine eigene Print- und/oder Online-Publikation ist nicht gestattet. Die Inhalte des E-Books dürfen nur zu privaten Zwecken und nur auszugsweise kopiert werden.

Diese Bestimmungen gelten gegebenenfalls auch für zum E-Book gehörende Audiodateien.

Anmerkung:

Sofern der Printausgabe eine CD-ROM beigelegt ist, sind die Materialien/Arbeitsblätter, die sich darauf befinden, bereits Bestandteil dieses E-Books.

Zitierfähigkeit: Dieses EPUB beinhaltet Seitenzahlen zwischen senkrechten Strichen (Beispiel: |1|), die den Seitenzahlen der gedruckten Ausgabe und des E-Books im PDF-Format entsprechen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Kapitel 1 Neurone und Gliazellen

1.1 Nervenzellen

1.1.1 Das Soma

1.1.2 Der Dendrit

1.1.3 Das Axon

1.2 Gliazellen

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 2 Die Funktionsmechanismen von Nervenzellen

2.1 Die Entstehung des neuronalen Signals

2.1.1 Die Ionen innerhalb und außerhalb der Zelle

2.1.2 Die neuronale Zellmembran

2.1.3 Die Ionenkanäle

2.1.4 Die Konzentrationsgradienten der Ionen

2.1.5 Die elektrostatische Kraft

2.1.6 Das Membranpotenzial

2.2 Das Aktionspotenzial

2.2.1 Entstehung und Verlauf eines Aktionspotenzials

2.2.2 Die Reise des Aktionspotenzials

2.2.3 Myelinisierte Axone

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 3 Synapsen und Neurotransmitter

3.1 Die Übertragung an der Synapse

3.1.1 Die chemische Synapse

3.1.2 Die postsynaptischen Rezeptoren

3.2 Das postsynaptische Potenzial

3.3 Neurotransmitter

3.3.1 Aminosäuren

3.3.2 Amine

3.3.3 Peptide

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 4 Neuroanatomie

4.1 Die Terminologie der Ortsbeschreibungen im Gehirn

4.2 Die Hirnhäute

4.3 Prosencephalon

4.3.1 Telencephalon

4.3.2 Diencephalon

4.4 Mesencephalon

4.4.1 Tectum

4.4.2 Tegmentum

4.5 Rhombencephalon

4.5.1 Metencephalon

4.5.2 Myelencephalon

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 5 Der sensomotorische Schaltkreis

5.1 Die sensorische Landkarte

5.2 Die verzerrte Landkarte unserer Sinne

5.3 Jenseits der primären sensorischen Landkarte

5.3.1 Primär sensorische Areale

5.3.2 Assoziativ-sensorische Areale

5.3.3 Multimodale Areale

5.3.4 Prämotorische Areale

5.3.5 Primäres motorisches Areal

5.4 Der sensorische Thalamus: Das „Tor zum Bewusstsein“

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 6 Die Ordnung des Denkens

6.1 Die Makroebene des Gehirns: Die Topografie des Denkens

6.1.1 Die anteroposteriore Achse des präfrontalen Cortex

6.1.2 Die dorsoventrale Achse des präfrontalen Cortex

6.2 Die Mikroebene des Gehirns: Die fragile Welt der Zellensembles

6.2.1 Das Entstehen und Vergehen eines Ensembles

6.2.2 Die Spur der Ensembles

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 7 Gedächtnissysteme: Arbeitsgedächtnis und deklaratives Gedächtnis

7.1 Das Arbeitsgedächtnis

7.2 Die Rolle des Hippocampus

7.3 Die Entstehung des deklarativen
Langzeitgedächtnisses

7.4 Die Rolle der NMDA-Rezeptoren

7.5 Ungelöste Fragen

7.6 Der Abruf aus dem Gedächtnisspeicher

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 8 Gedächtnissysteme: Nicht deklaratives
Gedächtnis

8.1 Prozedurales Gedächtnis

8.2 Bahnung

8.3 Klassische Konditionierung

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 9 Emotionen

9.1 Die Evolution des emotionalen Gehirns

9.2 Die Anatomie der Amygdala

9.3 Regulation von aggressivem Verhalten

9.4 Regulation von Furchtverhalten

9.4.1 Schnelles und vorbewusstes Reagieren

9.4.2 Aufmerksamkeit für emotional relevante Reize

9.4.3 Reaktionen auf emotionale Stimuli

9.4.4 Lernen emotionaler Stimuli

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 10 Sucht

10.1 Erstkonsum

10.2 Gewöhnung

10.3 Abstinenz

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 11 Hunger und Durst

11.1 Hunger

11.1.1 Die Energiereserven

11.1.2 Hunger und Nahrungsaufnahme

11.1.3 Sättigung

11.2 Durst

11.2.1 Das osmometrische System

11.2.2 Das volumetrische System

Zusammenfassung

Fragen

Kapitel 12 Geschlecht

12.1 Das genetische Geschlecht

12.2 Das körperliche Geschlecht

12.3 Das neuronale Geschlecht

12.4 Das kognitive Geschlecht

Zusammenfassung

Fragen

Anhang

Literatur

Glossar

Sachregister

^[9] **Vorwort**

Es ist Jahrzehnte her, aber ich kann mich noch an alle Details erinnern. Es war ein sehr großer, gekachelter Raum, eigentlich schon eher ein Saal. Die Edelstahltische standen in Reihen. Es lag ein merkwürdiger Geruch in der Luft. Ich hatte einen verfleckten Laborkittel an und trug Einmalhandschuhe. Die Studenten waren schon lange weg und ein Kollege hatte mich reingelassen, hatte auf einen weißen Plastikeimer auf einem der Tische gezeigt und einfach nur „da“ gesagt. Dann war er gegangen. Jetzt saß ich davor und war aufgeregt.

Ich hatte ein bisschen Angst davor, dass der Inhalt mich ekeln würde. Vorsichtig nahm ich den Eimer auf den Schoß, machte den Deckel auf und blickte hinein. Sofort brannten meine Augen von dem scharfen Formalingeruch, aber ich hatte das Gehirn schon gesehen. Als ich es rausnahm, rutschte der Ärmel meines Kittels rein und schnell sog der Stoff das Formalin auf. Mir war alles egal. Zum ersten Mal in meinem Leben hielt ich ein menschliches Gehirn in der Hand. Ehrfurcht durchflutete mich; aber auch Scham, einem mir unbekanntem Menschen auf so intime Art und Weise so nahe zu kommen. Mir war klar, dass die gesetzlichen Vorgaben es erforderten, dass die Fixierung des Gehirns lange nach dem Tod der Person erfolgt und somit die synaptische Feinstruktur des Gehirns in meiner Hand schon erheblich zerfallen war. Aber zelluläre Reste des Gedächtnisses dieses Menschen waren zweifellos noch

vorhanden. Erinnerungen an warme Sommertage, an Momente des Glücks und der Liebe, dunkle Geheimnisse, deren letzte unlesbare Spuren ich in meiner Hand hielt.

Die Faszination und die Ehrfurcht, die ich damals als Doktorand verspürte, haben nie nachgelassen. Heute, viele Jahre später, weiß ich erheblich mehr über die neuronalen Mechanismen des Denkens und trotzdem weiß ich viel zu wenig. Die Begeisterung für mein Fach ist in dieses Buchprojekt eingeflossen, und ich hoffe, man spürt es. Das Buch behandelt drei Themenbereiche: die Architektur des Gehirns ([Kapitel 1 bis 4](#)), das lernende und erinnernde Gehirn ([Kapitel 5 bis 8](#)), das fühlende und agierende Gehirn ([Kapitel 9 bis 12](#)). Somit wird zuerst eine Grundlage über den Aufbau des Gehirns und die Funktionen von Neuronen gelegt, bevor die Mechanismen der Informationsspeicherung und des Verhaltens dargestellt werden. Es gibt in diesem Buch keine Trennung zwischen Struktur und Funktion, da diese Trennung auch im Gehirn nicht existiert. Schließlich lassen sich nur bei einem Computer Hard- und Software unterscheiden, während das Gehirn lernabhängig seine Hardware und somit seine Funktion ständig verändert und damit seine Struktur den gemachten Erfahrungen anpasst. Ich habe in allen Kapiteln versucht, die neuronalen Grundlagen psychologischer Prozesse mechanistisch zu erklären. Das heißt, ich wollte die Leser nicht mit korrelativen Zusammenhängen langweilen, sondern ihnen klarmachen, ^[10] wie im Einzelnen unsere mentalen Funktionen entstehen. Es ist nicht einfach, diesen Anspruch so umzusetzen, dass dabei trotzdem ein Buch entsteht, dass für Bachelorstudenten nicht nur verständlich ist, sondern

sogar Spaß macht. Ich hoffe, es hat geklappt. Um meine Leser zu verlocken, immer weiterzulesen, habe ich jedes Kapitel mit einer Kurzgeschichte begonnen, die das Thema und einige wesentliche inhaltliche Punkte umreißt. Innerhalb der zwölf Kapitel sorgen farbig hervorgehobene Kästen für die detaillierte Darstellung einzelner Methoden, wichtiger Experimente oder die Zusammenfassung des Lebens wichtiger Wissenschaftler.

Mittlerweile erscheint das Buch in der zweiten Auflage, und ich freue mich, dass es offensichtlich Anklang gefunden hat. Für die zweite Auflage sind viele neue Erkenntnisse und Zitationen eingebaut worden.

Viele Kolleginnen und Kollegen haben Teile des Buches gelesen und mir sowohl für die erste als auch für die zweite Auflage wichtige Hinweise gegeben oder eigenes Bildmaterial zur Verfügung gestellt. Dafür danke ich ihnen sehr. Ich möchte hier vor allem nennen: Christian Beste, Hubert Dinse, Michael Falkenstein, Klaus Funke, Markus Hausmann, Sebastian Ocklenburg, Maik Stüttgen, Carsten Theiß, Juliana Yordanova und Karl Zilles. Oliver Wrobel danke ich für einen Teil der Abbildungen in den Kapiteln 4, 9 und 11. Meine Frau Monika hat viele Kapitel sehr kritisch Korrektur gelesen. Ich danke ihr sehr für die Mühe. Zum Schluss geht mein Dank an Levent, meinen jüngsten Sohn. Er hat einige Kapitel auf Studententauglichkeit getestet. Zudem spielte er bei der Realisierung des Buchprojektes eine entscheidende Rolle: Als ein Kollege fragte, ob ich ein solches Buch schreiben würde, erbat ich mir Bedenkzeit und erzählte zu Hause von diesem Angebot. Levent sagte dann

beim Abendessen: „Hey Papa, mach’s doch einfach.“ Das Ergebnis halten Sie in den Händen.

Bochum, im November 2018

Onur Güntürkün

^[11] **Kapitel 1**

Neurone und Gliazellen

^[12] Die Fahrt nach Stockholm kam Camillo Golgi vor wie eine Ewigkeit. Nun bekam er also den Nobelpreis. Welch ungeheure Ehre und Befriedigung für die Jahrzehnte harter Arbeit. Aber er musste sich den Preis mit jemand anderem teilen und dieser andere war ausgerechnet Santiago Ramón y Cajal. Wie er ihn hasste! Er wusste, dass er ihm unterlegen war; jeder wusste es. Es war schwer mit einem Mann zu konkurrieren, der sowohl genial als auch auf fast unmenschliche Art und Weise fleißig war. Das Schlimmste aber war, dass er selbst diesem Konkurrenten die Methode für seine Forschungen geliefert hatte.

1872, als 29-Jähriger, hatte Camillo Golgi aus Geldnot den Posten eines Arztes in einer kleinen Klinik mit psychiatrischen Patienten angenommen. Er war fest davon überzeugt, dass seine Patienten keine Krankheit der Seele hatten, sondern eine Erkrankung des Gehirns. Um dies zu beweisen, wollte er das Gehirn erforschen, aber das war sehr schwierig, denn das Gehirn war eine graue homogene Masse. Golgi wollte darin Strukturen identifizieren, aber der Klinikleitung war Forschung egal. Erst nach langem Bitten stellte man Golgi eine winzige Küche als Labor zur Verfügung. Dort entwickelte er histologische Methoden für die Hirnfärbung. Eines Morgens nahm er ein kleines Stück Gehirn aus einem Gefäß, das über Tage in Wechselbäder aus Kaliumdichromat, Osmium und Silbernitrat getaucht worden

war. Unter der Lupe erkannte er, dass kleine Pünktchen das Präparat überzogen. Die Betrachtung eines dünnen Hirnschnittes unter dem Mikroskop tauchte ihn plötzlich in eine neue Welt, die er zeitlebens nie wieder verlassen sollte: Der Schnitt war durchsichtig geworden, aber einige wenige Zellen waren in all ihren Details zu sehen. Camillo Golgi wurde zum ersten Menschen, der Zugang zu den Bausteinen des Gehirns bekam.

Die nach Camillo Golgi benannte Golgi-Methode wurde zum Standard der Hirnforschung. Mit ihr erkannte Golgi, dass es zwei Arten von Zellen im Gehirn gab: Neurone und Gliazellen. Erstere waren für die Denkprozesse verantwortlich, letztere hatten stützende und versorgende Funktionen. Einige Jahre nach der Veröffentlichung der Golgi-Färbetechnik fing auch ein junger spanischer Anatom namens Cajal an, diese Methode zu verwenden und brachte sie zur Perfektion. Cajal erkannte, dass Neurone lange, Dendriten genannte Fortsätze besitzen, mit denen sie Informationen von anderen Nervenzellen aufnehmen. Neurone gaben Informationen über Axone weiter, die teilweise über lange Strecken zu entfernten Hirnstrukturen reichten, ähnlich den Telegrafenkabeln, die Europa durchzogen. Cajal formulierte mithilfe von Golgi-Färbungen die Neuronendoktrin, nach der die Funktion des Gehirns auf der Wechselwirkung von spezialisierten Neuronentypen beruht. Die Doktrin besagte auch, dass Nervenzellen neurale Netzwerke bildeten, aber in diesen Netzwerken nach wie vor als individuelle Zellen existierten. Veränderungen des Denkens gin ^[13] gen demnach mit Veränderungen der Kontaktstellen zwischen den Neuronen

dieses Netzwerkes einher. Cajal stellte die Hypothese auf, dass verschiedene mentale Funktionen an unterscheidbaren Stellen des Gehirns lokalisiert waren, und dass in diesen Hirnarealen die Neurone so verschaltet waren, dass ihr lokales Netzwerk genau diese mentale Funktion erzeugte.

Camillo Golgi dagegen behauptete, dass im Gehirn die Neurone zu einem Nervenetz verschmelzen, dass Dendriten nur eine Ernährungsfunktion haben und dass es keinerlei Lokalisation von Funktionen im Gehirn gibt. Camillo Golgi hatte diese wunderbare Färbemethode entwickelt. Er hatte so viele weitere wichtige Beiträge geleistet. Aber immer, wenn es um große Theorien ging, irrte er. Und so fuhr er also nach Stockholm und hielt dort am 11. Dezember 1906 eine peinliche Feierrede, in der er im Beisein von Santiago Ramón y Cajal alles verteidigte, woran er selbst kaum noch glaubte.

Tabelle 1: Das Gehirn des Menschen in Zahlen (nach [Blinkov & Glezer, 1968](#); [Pakkenberg & Gundersen, 1997](#); [Azevedo et al., 2009](#))

Durchschnittliches Gewicht	1,5 kg
Anzahl der Nervenzellen	86 Milliarden (86×10^9)
Anzahl der Nervenzellen im Cortex	16 Milliarden (16×10^9)
Anzahl der Nervenzellen im Kleinhirn	69 Milliarden (69×10^9)
Anzahl der Synapsen	1 Billiarde (1×10^{15})

Anzahl corticaler Neurone pro mm³	14.000
Axonlänge pro mm³	4 km
Dendritenlänge pro mm³	400 m
Oberfläche aller Neuronen	25.000 m ² (4 Fußballfelder)

Das Gehirn des Menschen ist ein gewaltiges Organ, das aus mehr als einer Billion Zellen besteht (vgl. [Tab. 1](#)). Die zwei wichtigsten Zelltypen sind die *Nervenzellen* (auch *Neurone* genannt) und die *Gliazellen*. Das menschliche Gehirn besitzt etwa 86 Milliarden (86×10^9) Nervenzellen. Die Anzahl der Gliazellen ist ungefähr genauso hoch. Beide Zelltypen kommen sowohl im *Zentralnervensystem* (*ZNS*; umfasst das Gehirn und das Rückenmark) als auch im *peripheren Nervensystem* vor ^[14] (*PNS*; umfasst das Nervensystem außerhalb des ZNS, das im gesamten Körper inkl. der Eingeweide liegt). Sowohl Neurone als auch Gliazellen sind spezialisierte Formen von normalen Körperzellen und enthalten deshalb all die Merkmale, die auch alle anderen Zellen unseres Körpers besitzen. Allerdings besitzen Neurone und Gliazellen darüber hinaus einige Eigenschaften, die einzigartig und nur für ihre Funktionen innerhalb des Nervensystems notwendig sind. Diese Eigenschaften werden im Folgenden erläutert.

1.1 Nervenzellen

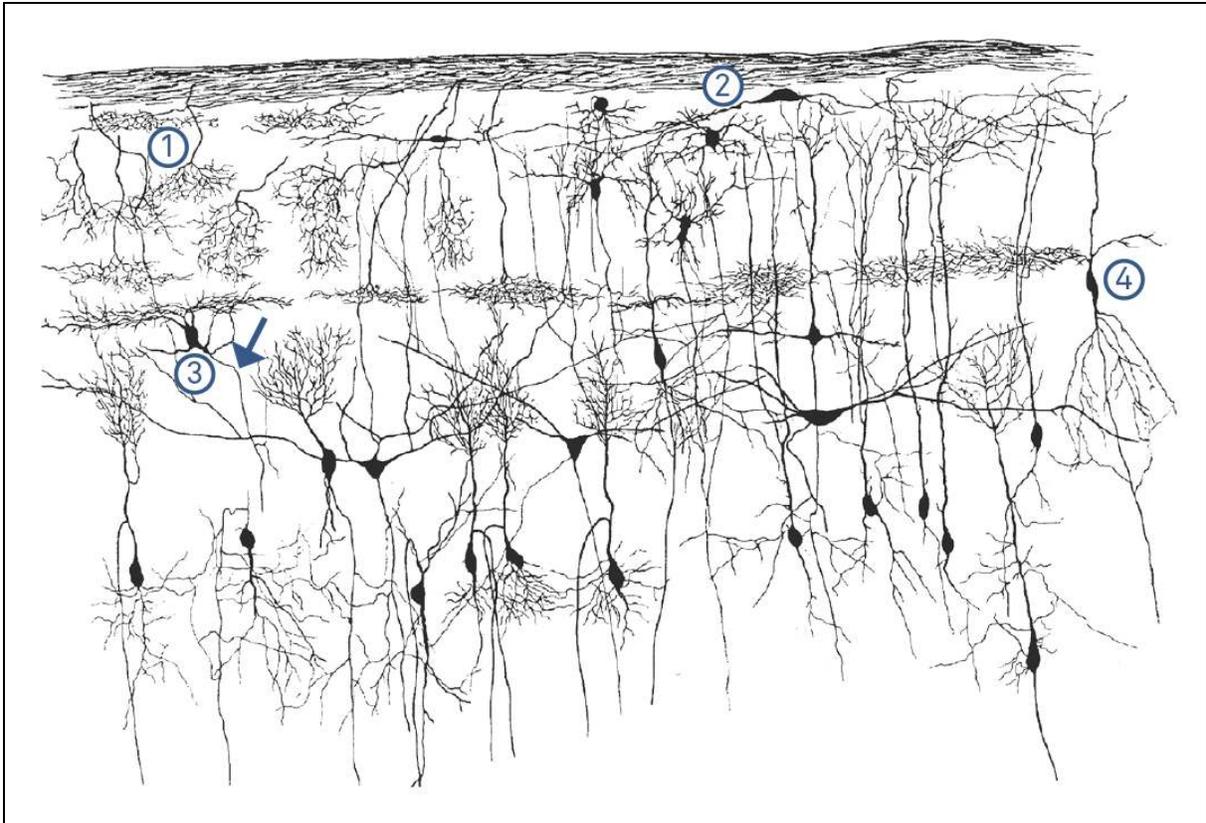


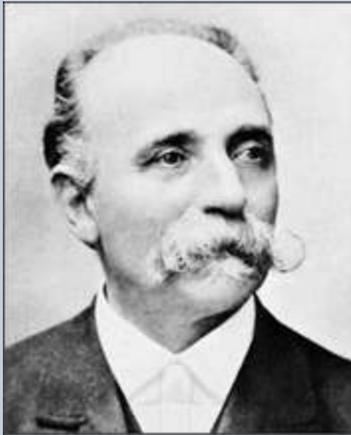
Abbildung 1: Darstellung von Nervenzellen (aus [Ris, 1899](#))

Anmerkungen: Jede Nervenzelle sieht anders aus und trotzdem sind sie alle gleich aufgebaut. Dies wird deutlich, wenn man sich diese Darstellung eines Teils des Vogelgehirns anschaut, die mit der Golgi-Methode erstellt wurde. Der aus dünnen Strichen gebildete dunkle Streifen am oberen Rand besteht aus Tausenden von Axonen von Neuronen der Retina, die an der Oberfläche des Gehirns entlanglaufen. An einem bestimmten Punkt knicken diese Axone vertikal nach unten ab und teilen sich in Dutzende Terminalien auf. Bei (1) sind viele dieser unterschiedlichen Axonterminalien dargestellt. Bei (2) sieht man Neurone, die sich mit ihren Dendriten horizontal ausbreiten. Die

Nervenzelle bei (3) bildet mit ihren nach oben reichenden Dendriten eine buschige Schicht, während ihr Axon (Pfeil) nach unten zieht. Bei (4) ist ein Bipolarneuron abgebildet, dessen dendritische Verzweigungen sowohl nach oben als auch nach unten auswachsen.

Nervenzellen leisten die Informationsverarbeitung und Informationsweitergabe unseres Gehirns. Abhängig von ihrer genauen Funktion und der Lokalisation im Gehirn können sie sehr unterschiedlich aus ^[15] sehen (vgl. [Abb. 1](#)). Trotz dieser verschiedenen Formen sind die Funktionsmechanismen der Neurone immer nahezu gleich. Dies gilt nicht nur für Menschen, sondern für alle Tiere. Überall funktionieren Nervenzellen nach exakt den gleichen Prinzipien. Dies macht es möglich, die Mechanismen von Neuronen bei Schnecken oder Tintenfischen zu untersuchen und Schlussfolgerungen für das Nervensystem des Menschen zu ziehen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Nervenzellen von einem gemeinsamen Vorfahren abstammen, der vor fast einer Milliarde Jahren lebte. Zumindest ist das die Meinung der meisten Wissenschaftler. Allerdings gibt es alternative Ansichten, die davon ausgehen, dass Nervenzellen auf unserem Planeten mehrfach unabhängig voneinander entstanden sind ([Moroz, 2009](#)). Dies könnte bedeuten, dass es doch eine kleine Anzahl von Tiergruppen gibt, deren sensorische und motorische Verarbeitungsprinzipien sich von dem unterscheiden, was wir in diesem Buch besprechen werden ([Moroz & Kohn, 2016](#)). Diese Diskussion hält noch an.

Die Menschen hinter den Entdeckungen



Camillo Golgi

Camillo Golgi wurde am 7. Juli 1843 im Städtchen Corteno bei Brescia (Italien) geboren und starb am 21. Januar 1926 in Pavia. Er war Mediziner und Physiologe und wurde für seine Entdeckungen in der Anatomie des Nervensystems 1906 zusammen mit Santiago Ramón y Cajal mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

Golgi studierte Medizin in Pavia und promovierte 1865 über Geisteskrankheiten. Danach wandte er sich der Neuroanatomie zu. Da er kaum Geld verdiente und die Karriereaussichten an der Universität sehr schlecht waren, ging er als Oberarzt an eine Klinik für chronisch Kranke nach Abbiategrosso. Die Klinik hatte keine sanitären Einrichtungen, war verfallen und ohne jeden Bezug zur Wissenschaft. Nach langem Drängen durfte er in seiner Freizeit einen Teil der Küche für Forschungen nutzen. Hier entwickelte er neue histologische Verfahren. Hier kam ihm auch die Idee, Silbernitrat zur Imprägnierung der Gewebeschnitte zu verwenden. Das Ergebnis war die heute nach ihm benannte Golgi-Technik, mit der einzelne Neurone mit all ihren Fortsätzen sichtbar werden, während die anderen Nervenzellen durchsichtig bleiben.

Mit diesem und weiteren histologischen Verfahren wurde Camillo Golgi zum Entdecker vieler struktureller Eigenschaften des Gehirns und seiner Zellen. 1881 kehrte Golgi als Professor an die Universität in Pavia zurück. Er erhielt neben dem Nobelpreis noch zahlreiche weitere bedeutende Ehrungen aus dem In- und Ausland. Er war der Hauptverfechter der Retikulum-Theorie, nach der alle Neuronen in einem großen Hirnnetz ^[16] verschmelzen. Golgi arbeitete bis zu seinem Tod jeden Tag im Labor. Er starb am 21. Januar 1926. Sein Denkmal steht heute im „Cortile della Salute“ der Universität Pavia.

Nervenzellen bestehen aus vier Hauptregionen: dem Soma, dem Axon, der Synapse und dem Dendriten. Diese werden im Folgenden dargestellt.

1.1.1 Das Soma

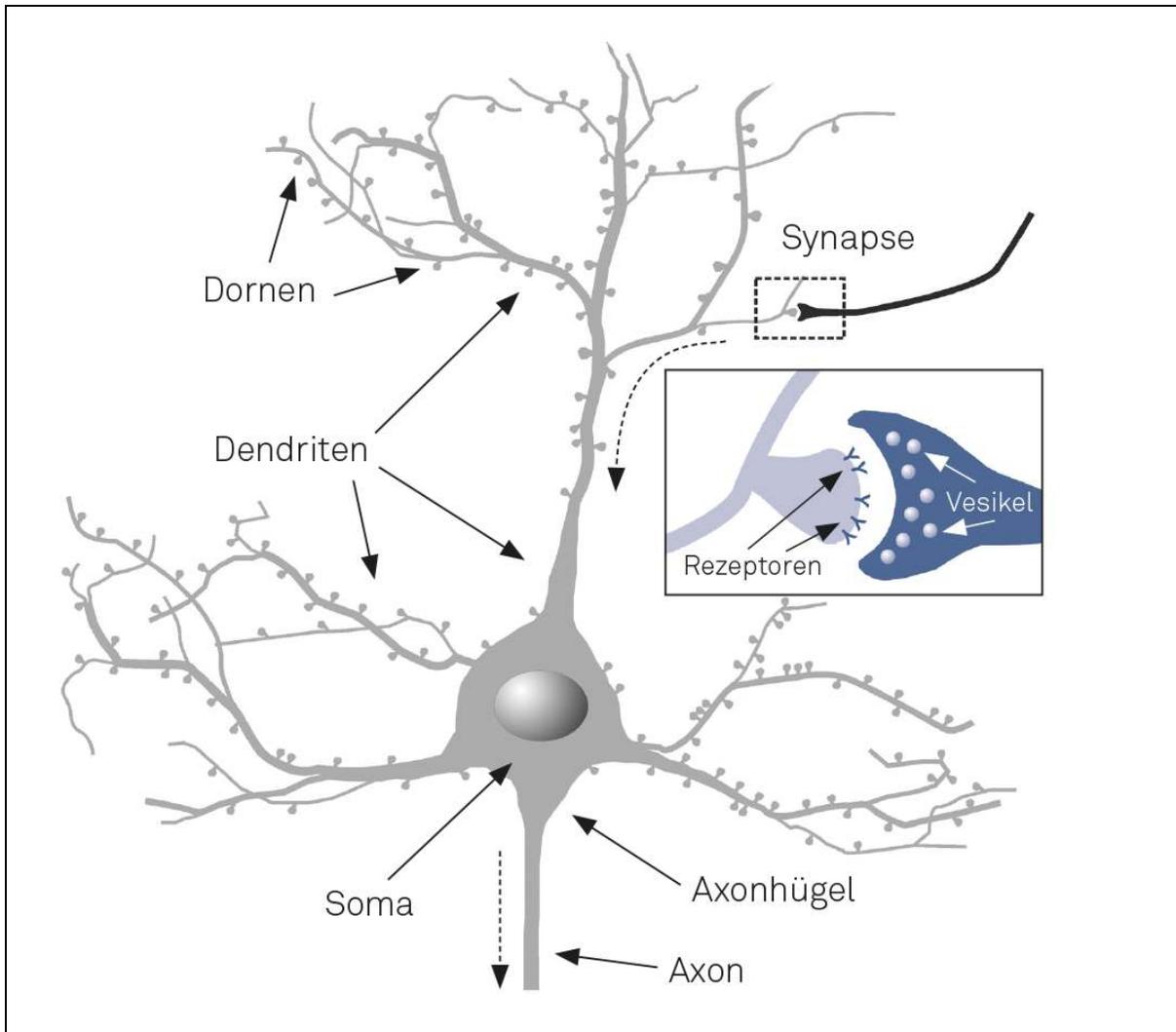


Abbildung 2: Schematische Darstellung eines Neurons

Anmerkung: Der weitere Verlauf des nach unten laufenden Axons ist nicht dargestellt. Zahlreiche Dornen sind sowohl auf den Dendriten als auch auf dem Soma zu erkennen. Der Axonhügel ist die konische Ausstülpung des Somas, aus der das Axon entspringt. Rechts oben ist in schwarz das Axon eines anderen Neurons dargestellt, das mit einer Dorne eine Synapse bildet (mit gestrichelten Linien eingerahmt). Dieser Bereich wird im Rahmen vergrößert dargestellt. Die