



Herwig Unger · Mario Kubek  
Panchalee Sukjit

# Netzbasierte Ansätze zur natürlichsprachlichen Informationsverarbeitung

---

# Netzbasierte Ansätze zur natürlichsprachlichen Informationsverarbeitung

---

Herwig Unger · Mario Kubek · Panchalee Sukjit

# Netzbasierte Ansätze zur natürlichsprachlichen Informationsverarbeitung

Herwig Unger  
LG Kommunikationsnetze  
FernUniversität in Hagen  
Hagen, Deutschland

Mario Kubek  
LG Kommunikationsnetze  
FernUniversität in Hagen  
Hagen, Deutschland

Panchalee Sukjit  
Iserlohn, Deutschland

ISBN 978-3-658-37283-5      ISBN 978-3-658-37284-2 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-37284-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: David Imgrund

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

---

## Zum Geleit

Das Zeitalter der Informationstechnik konfrontiert und überlädt die Menschen mehr und mehr mit einer Flut von Informationen, die es in intelligenter Weise zu filtern, zu sortieren und zu verarbeiten gilt. Bislang ist jedoch das menschliche Gehirn eine der wenigen Instanzen, die die Bewältigung der alltäglichen Informationsflut in effektiver Weise mit einem überraschend geringen Energieverbrauch leisten kann und von Computern bisher wenig Konkurrenz bekommen hat. Es ergibt sich konsequenterweise die Frage, wie man diese Lücke in der Verarbeitungsleistung zwischen Gehirn und Computer in Zukunft am besten ausfüllen kann. Drei Grundsätze, von Forschern in verschiedener Weise formuliert, scheinen dabei gute Wegweiser zu sein:

- Man schaue immer auch ein wenig über den eigenen Tellerrand, d. h. man betrachte nicht nur seine eigenen Forschungen und Tagesaufgaben, sondern interessiere sich auch für diejenigen von Kollegen aus benachbarten Gebieten oder gar anderen Wissenschaftszweigen. Viele Probleme treten in unterschiedlichen Anwendungsgebieten in ähnlicher Form auf und sind ggf. übertragbar.
- Man betrachte tiefgehend, wie die Natur etwas macht, denn in der Natur haben sich viele effiziente Verfahren im Laufe einer harten, Millionen Jahre dauernden Evolution gegenüber anderen, weniger effektiven herausgebildet und zum Überleben bewährt und können oftmals auch in technischen Gebieten angewendet werden.
- Man folge in seinen Forschungen nicht der Masse (dem Mainstream), denn die Wahrscheinlichkeit, dort etwas tatsächlich innovatives (selber) zu finden, ist sicherlich geringer als in den von der Mehrheit nicht betrachteten Forschungsthematiken.

Ganz in diesem Sinne versucht das vorliegende Buch dem Leser einen neuen Zugang zur Verarbeitung textueller Informationen zu bieten. Dabei motivieren die Autoren ausgehend von ausgewählten Aspekten des – im Vergleich zur gesamten Funktionalität des menschliche Gehirns geringen – Wissens von Neurologen und Psychologen, einen neuen, netzbasierten Zugang zur Verarbeitung natürlichsprachlicher Textinformationen

zu schaffen. Im Gegensatz zu dem (optimalerweise vorher zu lesenden) Lehrbuch von *Rada Mihalcea* [66] soll in diesem Buch hierbei ein Zugang beschrieben werden, der die Verfahren der Sprachverarbeitung im Einklang und in Wechselwirkung mit der sie ausführenden Computerarchitektur sieht, die heutzutage i. Allg. ebenfalls in eine komplizierte, vernetzte, globale Struktur eingebunden ist.

In diesem Sinne ist das vorliegende Buch gleichzeitig eine Weiterführung von Grundvorlesungen in natürlichsprachlicher Verarbeitung bzw. Text Mining als auch solcher zu verteilten und dezentralen Systemen sowie dem Natural Computing.

Der rote Faden des Buches sind die immer wieder in verschiedensten Formen auftretenden Netzwerk- und Graphstrukturen; insofern ist auch ein Lehrbuch zur diskreten Mathematik und insbesondere zur Theorie der Graphen, wie etwa [69] von *Kenneth H. Rosen*, eine gute Vorlektüre. Die entsprechenden Graphmodelle bilden die alles umspannende Klammer von den neuronalen Strukturen des Gehirns bis hin zur dezentralen, sich selbst organisierenden Struktur der vorgestellten Suchmaschine ‚TheBrain‘, deren Name aus all diesen vielen Koinzidenzen in Struktur, Beschreibung und Verarbeitung abgeleitet wurde.

Besondere Beachtung wurde bei der Beschreibung darauf gelegt, den Leser sensibel für die hohe Dynamik der verschiedenen Netzwerke zu machen und Verfahren zumindest halbformal vorzustellen, die die vielfältigen zeitlichen Veränderungen in sinnvoller Weise behandeln können. Auf den in der Mathematik üblichen formalen Beweis der Funktionalität und Effizienz musste dabei i. Allg. trotz halbformaler Beschreibung der Verfahren aufgrund der hohen Komplexität praktisch anwendbarer Methoden jedoch verzichtet werden; hier versuchen die Autoren, den Leser von deren Praktikabilität durch geeignete Experimente und vor allem Simulationen zu überzeugen.

Das vorliegende *Lesebuch für Fortgeschrittene* erhebt sicher nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und 100-%ige Problemlösungen, sondern will den Leser und die Leserin anregen, eigene neuartige Experimente anzustellen und zum künftigen Fortschritt auf dem Gebiet der netzwerkbasierter Sprachverarbeitung mit eigenen originellen Lösungen beizutragen. Als weiterführende Literatur sei auch auf [84] und [39] verwiesen. In diesem Sinne wünschen wir unseren Lesern und Leserinnen viel Spaß bei der Lektüre und eigenem Nachdenken und freuen uns über jede weitere Anregung.

Hagen, Deutschland  
Hagen, Deutschland  
Iserlohn, Deutschland  
27. Januar 2022

Herwig Unger  
Mario Kubek  
Panchalee Sukjit

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Das menschliche Gehirn</b> . . . . .	1
1.1	Leistungsfähigkeit . . . . .	1
1.2	Abriss der Evolution . . . . .	2
1.3	Neuronale Informationsverarbeitung . . . . .	5
1.4	Modellierung der Datenverarbeitung in Neuronen . . . . .	10
<b>2</b>	<b>Lernen aus makroskopischer Sicht</b> . . . . .	15
2.1	Begriffsbestimmung . . . . .	15
2.2	Bewältigung der Informationsflut . . . . .	16
2.3	Vergessen als Filter . . . . .	19
2.4	Sequenzen . . . . .	20
<b>3</b>	<b>Der kortikale, mikroskopische Lernansatz</b> . . . . .	23
3.1	Feinstruktur des Kortex . . . . .	23
3.2	Lernen durch Sequenzbearbeitung . . . . .	27
3.3	Neuroplastizität und modulare Segregation . . . . .	29
3.4	Fazit . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Netzwerke für Textuntersuchungen</b> . . . . .	33
4.1	Kookkurrenzen . . . . .	33
4.2	Sukzessive Erstellung von Kookkurrenzgraphen . . . . .	37
4.3	Bedeutungsschwerpunkte . . . . .	40
4.3.1	Kategorisierung als Zielsetzung . . . . .	40
4.3.2	Masseschwerpunkte als physikalisches Analogon . . . . .	40
4.3.3	Übertragung und Nutzung in Wortdistanzgraphen . . . . .	41
4.3.4	Eigenschaften der Bedeutungsschwerpunkte . . . . .	43
4.4	Clusterbildung . . . . .	50
4.4.1	Lokales Clustering: Zielsetzung und Idee . . . . .	50
4.4.2	Ein lokal arbeitendes Clusterverfahren . . . . .	51
4.4.3	Der Clusteralgorithmus . . . . .	53
4.4.4	Experimentelle Erfahrungen . . . . .	58

<b>5</b>	<b>Digitales Aktualisieren und Vergessen</b> . . . . .	61
5.1	Zeitliche Aspekte des Informationsmanagements . . . . .	61
5.2	Volatilität . . . . .	63
5.3	Aktualisierungen . . . . .	64
5.4	Vergessensprozesse . . . . .	70
5.4.1	Notwendigkeit der Modellierung . . . . .	70
5.4.2	Beschreibung der Dynamik . . . . .	71
5.4.3	Systematik und Experimente . . . . .	73
<b>6</b>	<b>Dynamische Bedeutungsschwerpunkte</b> . . . . .	81
6.1	Zeitliche Entwicklung der Satzsemantik . . . . .	81
6.2	Definitionen . . . . .	83
6.2.1	Positionen . . . . .	83
6.2.2	Einführung dynamischer Bedeutungsschwerpunkte . . . . .	84
6.2.3	Spuren dynamischer Bedeutungsschwerpunkte . . . . .	86
6.3	Experimentelle Ergebnisse und Diskussion . . . . .	87
<b>7</b>	<b>Weitere Exploration von Netzwerkstrukturen</b> . . . . .	91
7.1	Abstraktion . . . . .	91
7.2	Hierarchiebildung . . . . .	92
7.3	Lernen von Wortsequenzen . . . . .	94
7.4	Bewertung von Dokumenten . . . . .	98
7.4.1	Konzeptueller Ansatz . . . . .	98
7.4.2	Entwurf des Algorithmus . . . . .	101
7.4.3	Adaptation der Ebenengrenzen . . . . .	104
7.4.4	Experimentelle Evaluation . . . . .	105
<b>8</b>	<b>Konzepte der Realisierung</b> . . . . .	109
8.1	Implementierung mit beschränkten Ressourcen . . . . .	109
8.2	Schnelle Berechnung der Bedeutungsschwerpunkte . . . . .	110
8.2.1	Konzeptueller Ansatz . . . . .	110
8.2.2	Das Verfahren der sich ausbreitenden Aktivierung . . . . .	112
8.2.3	Experimentelle Evaluation . . . . .	113
8.3	Effiziente, verteilte Dokumentverarbeitung . . . . .	117
8.4	Dezentralisierung des Routings . . . . .	119
8.4.1	Communityaspekte der dezentralen Verarbeitung . . . . .	119
8.4.2	Ein nutzerbasiertes, dezentrales Routing . . . . .	120
8.4.3	Bootstrapping und Einfügen von Knoten/Wörtern . . . . .	122
<b>9</b>	<b>Konzepte der dynamischen Systemoptimierung</b> . . . . .	125
9.1	Aufgabenbewältigung durch ‚zufällige Wanderer‘ . . . . .	125
9.1.1	Begriffsbestimmung . . . . .	125
9.1.2	Kontrolle der Populationsgröße . . . . .	126



---

9.1.3	Dezentrale Abstimmungen .....	128
9.1.4	Verfahren nach dem Vorbild von Ameisen .....	130
9.2	Lastbalancierung .....	133
9.2.1	Klassisches Vorgehen .....	133
9.2.2	Lastverteilung in der P2P-Umgebung .....	135
9.3	Fehlertoleranz .....	139
9.3.1	Redundanz .....	139
9.3.2	Rekonstruktion ausgefallener Peers .....	141
<b>10</b>	<b>Ansätze für ein WWW<sup>x</sup> .....</b>	<b>149</b>
10.1	WWW und WWW <sup>x</sup> .....	149
10.2	Ein Ansatz zur dezentralen Suche .....	152
10.3	Bildunterstützte Dokumentensuche .....	156
10.4	Ein Businessmodell für das WWW <sup>x</sup> .....	159
10.5	<i>TheBrain</i> als lokales Expertensystem .....	160
10.6	Weiterentwicklungen .....	165
10.6.1	Ideen .....	165
10.6.2	Strukturen mit WebMap .....	166
10.6.3	Initialer Aufbau einer Verlinkung .....	167
10.6.4	Suchprozesse .....	168
<b>11</b>	<b>Zusammenfassung und Zukunft .....</b>	<b>171</b>
	<b>Literatur .....</b>	<b>175</b>

---

## Über die Autoren



**Herwig Unger** (\*1966) promovierte 1994 mit einer Dissertation zu Petri-Netz-Transformationen an der TU Ilmenau und habilitierte sich an der Universität Rostock im Jahr 2000 mit einer Arbeit zu großen verteilten Systemen. Seit 2006 ist er Professor an der FernUniversität in Hagen und Leiter des Lehrgebiets Kommunikationsnetze. Im Jahr 2019 verlieh ihm die King Mongkut's University of Technology North Bangkok (Thailand) einen Ehrendoktor in Informationstechnologie.

Seine Forschungsinteressen liegen im Bereich der natürlichsprachlichen Informationsverarbeitung, der großen verteilten und Big-Data-Systeme, der Selbstorganisation sowie der Simulation. Neben verschiedenen Industriekooperationen, z. B. mit Airbus Industries, war er als Gastprofessor bzw. -forscher am ICSI Berkeley, der Universität Leipzig und weiteren Universitäten in Mexico, Kanada und Thailand. Er ist Verfasser von über 150 begutachteten Publikationen sowie Autor bzw. Herausgeber von mehr als 30 Büchern.



**Mario Kubek** (\*1979) promovierte 2012 mit einer Arbeit auf dem Gebiet der Suche im Internet und habilitierte sich im Jahr 2018 mit Arbeiten zu Konzepten einer vollständig integrierten, dezentralen Suchmaschine auf der Basis von Bibliothekskonzepten an der FernUniversität in Hagen, wo er z. Zt. als akademischer Oberrat beschäftigt ist. Neben umfangreichen praktischen Erfahrungen, u. a. aus über 3 Jahren Industrietätigkeit, ist er Autor von mehr als 40 Publikationen auf Tagungen und in wissenschaftlichen Zeitschriften und hat 5 Bücher publiziert. Er forscht im Bereich

der natürlichsprachlichen Informationssysteme, der IT-Sicherheit sowie dem Information Retrieval in großen verteilten Systemen. Ebenso interessiert er sich für mobile sowie kontextabhängige, kooperative Systeme.



**Panchalee Sukjit** (\*1974) war von 1994–2006 bei Ajinomoto und AB Logistics Thailand tätig, zuletzt als leitende Warehouse-Managerin. Neben dieser Tätigkeit erwarb sie einen MBA von der Ramkhamhaeng Universität Bangkok im Jahr 2006, begann 2007 ein Promotionsstudium an der FernUniversität in Hagen und promovierte an der Universität Groningen (NL) im Jahr 2011 mit einer Arbeit zur verteilten Strukturbildung. Seit einer Postdoktorandenzeit an der FernUniversität in Hagen bis 2014 ist sie freiberuflich tätig, u. a. als Partnerin der Think Tank Management und Consulting (Bad Soden). Neben ihrem Engagement für die Forschungsk Kooperation Deutschland-Thailand interessiert sie sich für Themen im Bereich des Internets, der Logistik und Datenbanken.



## 1.1 Leistungsfähigkeit

Bis heute ist das menschliche Gehirn die leistungsfähigste Informationsverarbeitungs- und Kommunikationseinrichtung, die auf der Erde zurzeit zur Verfügung steht. Die Kenntnis, wie die Speicherung von Informationen, das Lernen und Wiedererkennen von Objekten und Prozessen vor sich geht, gibt die Möglichkeit, diese in Computern und anderen künstlichen Informationsverarbeitungseinheiten nachzubilden oder zumindest davon inspiriert ähnlich effektive Systeme zu schaffen (siehe auch [80]).

Mit geringen geschlechtsspezifischen Unterschieden von  $\pm 100$  g beträgt die Masse des menschlichen Gehirns 1400 g, was lediglich 2–5 % des Gesamtkörpergewichtes sind. Dieses enthält bis zu 90 Mrd. Nervenzellen, auch Neuronen genannt, die für die Informationsverarbeitung zuständig sind, sowie noch einmal ebenso viele Gliazellen, die als Isolations- und Stützzellen Verwendung finden, aber auch dem Material- und Abfalltransport dienen: Ohne eine Versorgung mit Nährstoffen und Sauerstoff verliert das Gehirn bereits nach 6–10 min unwiederbringlich seine Funktion und gespeicherte Informationen.

Jedes Neuron seinerseits ist im Mittel mit 1000 anderen Neuronen verbunden; dieses Netzwerk ermöglicht i. W. die menschliche Kreativität und Denkleistung. Hierzu benötigt das Gehirn ca. 20 W Energie, was wiederum 20 bis 50 % des Energieumsatzes bei einem Erwachsenen bzw. Neugeborenen ausmacht.

Längst ist es der Wissenschaft gelungen, Teile der menschlichen Gehirnstruktur künstlich nachzubilden, insbesondere die Neuronen und ihre Vernetzung, die in den folgenden Abschnitten noch detailliert behandelt werden sollen. Die künstlichen Neuronen sind dabei bis zu 100.000-mal schneller als ihre natürlichen Vorbilder: Die hohe Leistung des menschlichen Gehirns wird i. W. durch die hohe Parallelität in der Verarbeitung erreicht. Ein Vergleich zeigt, dass trotz beeindruckender Ergebnisse die vom Menschen geschaffenen Systeme bis heute bei Weitem nur in ausgewählten Parametern an das Original heranreichen:

- Der 2014 geschaffene IBM-Chip *TrueNorth* [65] bringt es auf 1 Mio. künstliche Neuronen mit 256 Mio. Verbindungen, ist damit aber noch weit vom menschlichen Gehirn entfernt.
- Mit  $3,6 \cdot 10^{14}$  Gleitkommaoperationen je Sekunde beim *Blue Gene/L* [3] der IBM bzw.  $2 \cdot 10^{12}$  Gleitkommaoperationen bei Intels *Tera-Scale* [71] erreichen die künstlichen Gehirne in der Rechenleistung im Vergleich zum analog arbeitenden Gehirn mit  $10^{13}$  analogen Verarbeitungsoperationen pro Sekunde bereits vergleichbare Werte.
- Der dazu notwendige Leistungsaufwand von 1,2 MW bei der *Blue Gene/L* bzw. die 190 W der *TeraScale* zeigen jedoch im Vergleich zu o. g. 20 W eine beachtlich geringere Energieeffizienz als sie das menschliche Gehirn aufweist.

Die Ursachen hierfür sind sicherlich in der langen Zeit zu sehen, in der sich das menschliche Gehirn in der Natur aus einfachen Zellsinnesorganen herausgebildet hat: Von einer riesigen Anzahl von Variationen und Mutationen hat jeweils über Jahrtausende hinweg nur die effektivste Struktur überlebt und konnte sich weiterentwickeln. Dieser Entwicklungsweg soll in den folgenden Abschnitten kurz umrissen werden.

---

## 1.2 Abriss der Evolution

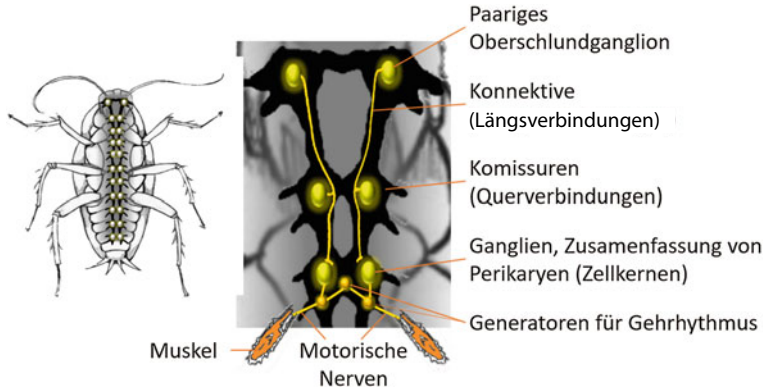
Die Reaktion auf Umweltsignale ist eines der wichtigen Merkmale des Lebens, und so ist es kaum verwunderlich, dass bereits einfache Einzeller und Pflanzen z. B. auf Wärme und Licht reagieren ohne hierfür ein ausgeprägtes eigenes zentralisiertes Nervensystem zu besitzen. Erste einfache Nervensysteme finden sich bei Quallen, die über ein undifferenziertes Nervennetzwerk verfügen, bei dem dedizierte Nervenzellen miteinander verbunden sind, damit kommunizieren und gezielt Signale an die Muskeln weitergeben können [50].

Ganglion- oder Strickleiternnervensysteme [76] stellen die ersten einfachen zentralisierten Nervensysteme dar und treten erstmals bei Insekten und Gliederfüßern in der Entwicklungsgeschichte auf. Hierbei treten (oft paarig) zentralisierte Nervenknoten auf, die untereinander leiterartig miteinander verbunden sind. Kakerlaken (Abb. 1.1) sind ein Beispiel für ein derartiges Ganglionnervensystem, das über zwei im Kopf gelegene, gehirnähnliche Kommandozentren verfügt, aber auch weitere, über den ganzen Körper verteilte Nervenknoten aufweist. Letztere sind oftmals über motorische Nerven direkt mit den Muskeln verbunden. Durch diese kurzen Kommandowege wird eine unmittelbare und sehr schnelle Reaktion auf Umweltsignale möglich, ohne dass ein Gehirn als einzige Kommandozentrale für das Nervensystem und den gesamten Körper existiert.

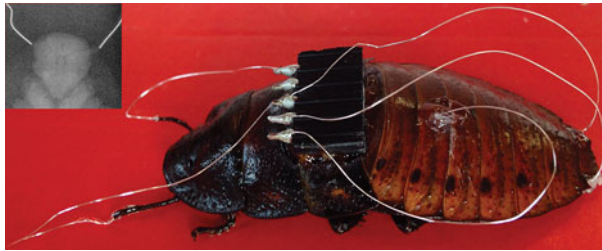
Die Einfachheit dieser Informationsverarbeitung ermöglichte es u. a. *Erickson et al.*, Kakerlaken durch Einspeisung elektrischer Signale an bestimmte Stellen der Nervenknoten zu steuern (Abb. 1.2<sup>1</sup> und [20, 29] sowie [63]).

---

<sup>1</sup> Unmodifiziert von <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0134348>, Originalautor: Erickson J.C. et al., [29], Creative Commons Licence: CC BY 4.0.



**Abb. 1.1** Aufbau des Nervensystems einer Kakerlake



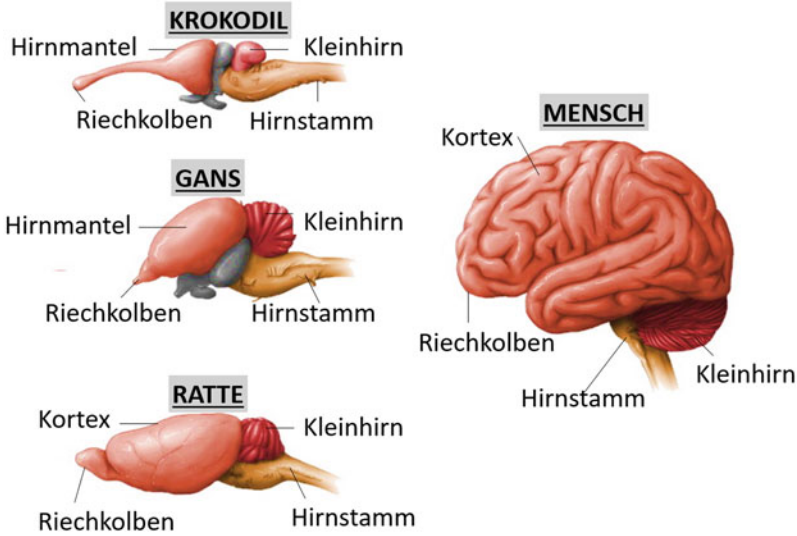
**Abb. 1.2** Cyber-Kakerlaken: erste Beispiele für Cyborgs

Über einen kleinen Computer erfolgt hierzu die Kommunikation durch elektrische Impulse, die über Drähte in die entsprechenden Nervenknoten gesandt werden. Damit wird es möglich, die Bewegung des Tieres gezielt zu beeinflussen und dessen Bewegungsrichtung nach links, rechts bzw. geradeaus zu steuern. Fügt man im Zuge der Miniaturisierung weitere Sensoren (z. B. Kameras) hinzu, sind damit sicher bereits einige sinnvolle Aufgaben, beispielsweise in der Katastrophenbewältigung, zu lösen.

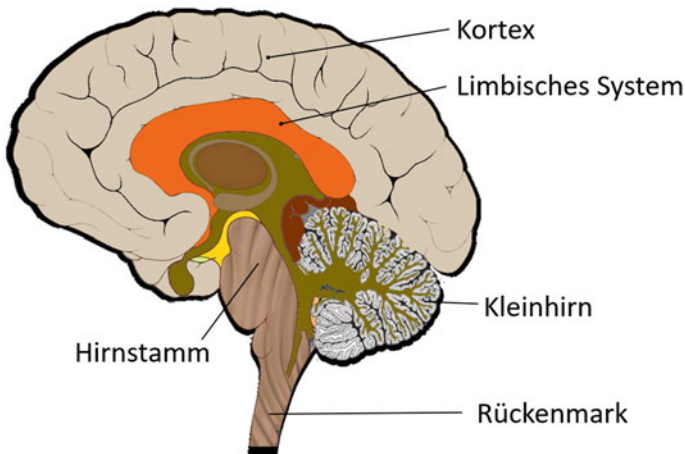
Entwicklungsgeschichtlich hat eine immer stärkere Konzentration und Zentralisierung der Nervenzellen stattgefunden, die sich erstmals bei den Säugetieren in der Ausbildung eines wirklichen zentralen Gehirns manifestiert hat [12].

Dabei lassen sich i. W. die vier Hauptkomponenten Gehirnstamm mit Rückenmark, Kleinhirn, die Hirnrinde (Pallium bzw. Kortex) sowie der Riechkolben unterscheiden, die je nach Entwicklungsstand unterschiedlich groß ausgeprägt sind. Abb. 1.3 zeigt die entsprechenden Größenverhältnisse für je einen Vertreter der Kriechtiere, Vögel sowie ein Säugetier im Vergleich zum Menschen. Hierbei wird insbesondere die reduzierte Größe des Riechkolbens und der wachsende Anteil der Hirnrinde deutlich. Letzterer ist gerade beim Menschen zugunsten eines deutlichen Größengewinns der Schichten gefaltet.

Auch im Aufbau und in der funktionalen Arbeitsteilung der Teile des Gehirns spiegelt sich die gesamte geschichtliche Entwicklung wider (vgl. Abb. 1.4):



**Abb. 1.3** Entwicklung des Gehirns bei Säugetieren



**Abb. 1.4** Aufbau des menschlichen Gehirns

- **Der Hirnstamm und das Rückenmark**

sind die entwicklungsgeschichtlich ältesten Komponenten des Gehirns und finden sich in sehr ausgeprägter Form bereits bei den niederen Wirbeltieren wieder. Hier werden grundlegende physische Funktionen wie Herzschlag, Atmung und einfache motorische Abläufe realisiert, zu denen insbesondere auch das Fluchtverhalten gehört.

- **Das limbische System**

ist eine Einheit im Zentrum des Gehirns, die insbesondere die Entstehung von Emotionen (z. B. Angst-, Dominanz- und Stimulanzverhalten) und das Triebverhalten steuert.

Hierzu gehört u. a. auch die Steuerung der Sympathie- und Antisympathiebestimmung, die Partnersuche oder das Verhalten bei der Nachwuchsaufzucht.

- **Das Kleinhirn**

ist mit ca. 150 g Gewicht (nach der Hirnrinde) der zweitgrößte Teil des Gehirns, der jedoch mit 70 Mrd. Neuronen etwa 4/5 der informationsverarbeitenden Zellen des Gehirns enthält. Das Kleinhirn ist verantwortlich für die Koordination, Feinabstimmung, unbewußte Planung und das Erlernen von Bewegungsabläufen; weitere kognitive Prozesse scheinen nach neuesten Forschungsergebnissen auch im Kleinhirn angelagert zu sein.

- **Die Hirnrinde,**

auch als Kortex, Hirnmantel oder Pallium bezeichnet, befindet sich am äußeren Rand des Groß- und Kleinhirns. Sie enthält in sechs Schichten die grauen Nervenzellen und weist eine Dicke von 1,5 . . 4,5 mm auf. Nach [38] finden hier die wesentliche Vorgänge des Lernens nach einem einzigartigen, einheitlichen Schema für alle Arten von Informationen statt, die den Menschen deutlich von Tieren unterscheiden. Auch das Bewusstsein, die Persönlichkeit (das ICH), Kreativität, die Abspeicherung der Erlebensgeschichte, die Aktionsplanung sowie das zielorientierte Arbeiten sollen hier verankert sein.

Um zu verstehen, wie die o. g. Aufgaben umgesetzt werden können, muss man sich zunächst mit den kleinsten Bausteinen des Gehirns, den informationsverarbeitenden Zellen oder Neuronen befassen.

---

### 1.3 Neuronale Informationsverarbeitung

Die Existenz von informationsverarbeitenden, miteinander vernetzten Neuronen [80] macht den eigentlichen qualitatitiven Fortschritt auf dem Weg hin zu einem hochentwickelten, zentralisierten Nervensystem aus. Abb. 1.5 zeigt eine schematische Darstellung eines solchen Neurons. Es besteht i. W. aus drei Teilen:

- **den Dendriten,**

die die (Signal-) Eingänge des Neurons bilden und ein Neuron mit bis zu 1000 Signalquellen (Sinnesorgane oder andere Neuronen) verbinden können;

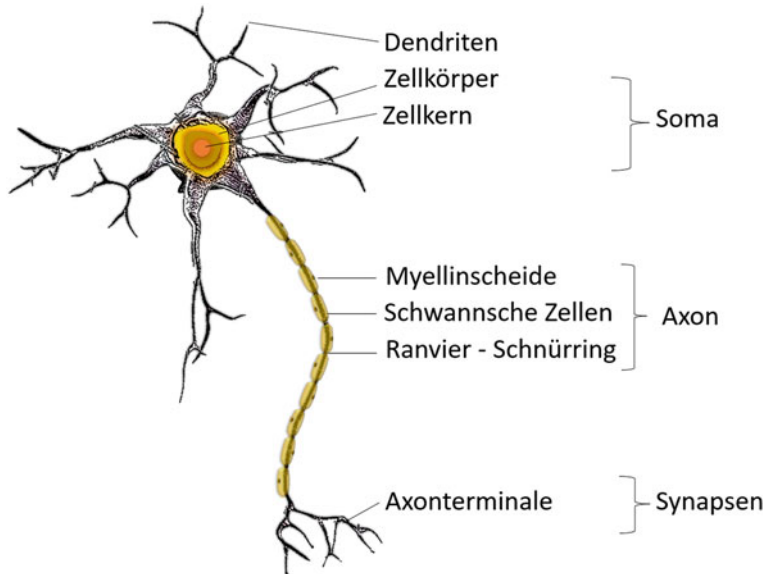
- **dem Soma oder Zellkörper,**

der die Verarbeitung der Eingangssignale übernimmt, die i. W. eine Summenbildung über alle Eingänge realisiert. Das Soma hat eine Größe von 5 . . 100  $\mu\text{m}$ ;

- **den Axonen,**

die die Ausgangssignale zu den Zielpunkten transportieren, wenn das Soma ein bestimmtes Aktivierungslevel erreicht hat. Axone sind 0,05 . . 20  $\mu\text{m}$  dick, erreichen jedoch beim Menschen eine Länge von 1  $\mu\text{m}$  bis zu 1 m.





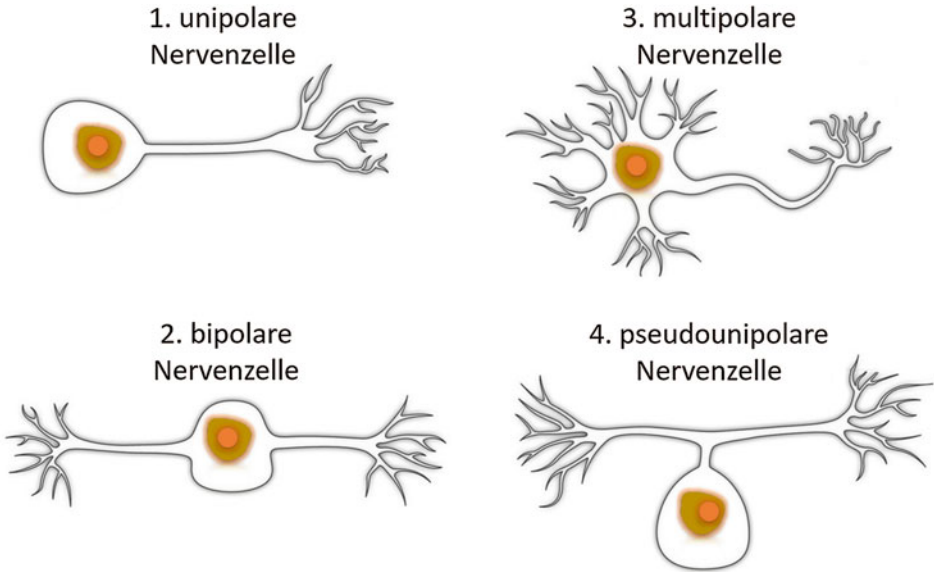
**Abb. 1.5** Die informationsverarbeitenden Zellen des Gehirns: Neuronen

Je nach Anzahl der Axone und Dendriten unterscheidet man nach Abb. 1.6:

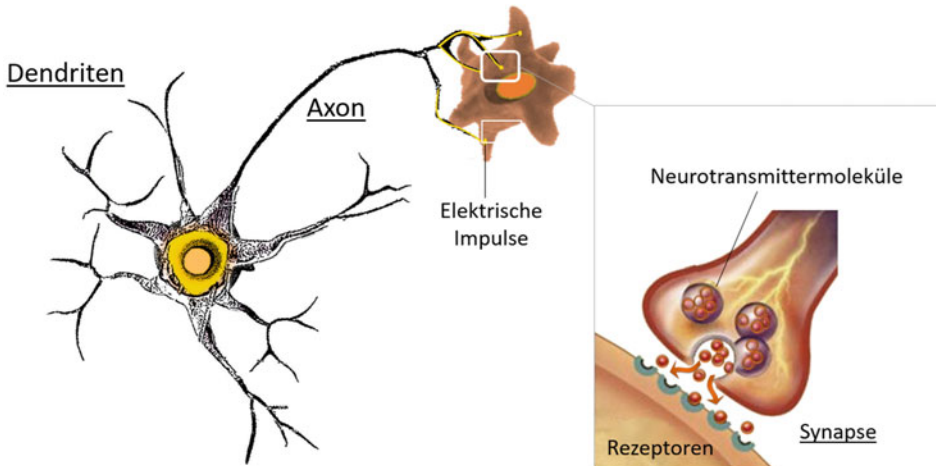
1. unipolare Neuronen mit einem Axon und ohne Dendriten, die meist als Rezeptorzellen, z. B. in der Netzhaut vorkommen,
2. bipolare Neuronen mit je einem Dendriten und Axon, die als Teil der sensorischen Informationsübertragung die Signale der Rezeptorzellen (z. B. von Geschmackssinn sowie von Tastsinn, Gehör und Gleichgewichtssinn) weiterleiten,
3. multipolare Neuronen mit zahlreichen Dendriten und einem Axon. Diesen Zelltyp findet man zum Beispiel als motorische Nervenzelle im Rückenmark von Wirbeltieren,
4. pseudounipolare Neuronen, die zwar ebenfalls über zwei Fortsätze verfügen, aber einen direkten Übergang zwischen Dendrit und Axon nahe dem Zellkörper aufweisen. Man findet sie bei sensiblen Nervenzellen, bei denen die Erregung direkt und schnell vom dendritischen auf das Axon übergehen kann.

Wenn ein Neuron aktiviert wird, spricht man oftmals auch vom Feuern eines Neurons, da die Aktivierung durch kurze elektrische Impulse (in der Größenordnung von 70 mV) bewirkt wird, die von den Dendriten weitergeleitet werden (Abb. 1.7).

Die Einspeisung dieser Impulse erfolgt über sogenannte Synapsen, die die Verbindung zweier Neuronen darstellen. Das präsynaptische Neuron ist dabei der Sender, das postsynaptische Neuron der Empfänger der Impulse. Prinzipiell kann man zwei Arten von Synapsen [72] unterscheiden:



**Abb. 1.6** Arten von Neuronen nach der Anzahl der Verbindungen



**Abb. 1.7** Synaptische Verbindungen zwischen Neuronen