



Lutz Jäncke

Lehrbuch Kognitive Neuro- wissenschaften

4., überarbeitete Auflage



 hogrefe

Lehrbuch Kognitive Neurowissenschaften

Lehrbuch Kognitive Neurowissenschaften

Lutz Jäncke

Wissenschaftlicher Beirat Programmbereich Psychologie:

Prof. Dr. Guy Bodenmann, Zürich; Prof. Dr. Lutz Jäncke, Zürich;

Prof. Dr. Björn Rasch, Freiburg i. Üe.; Prof. Dr. Astrid Schütz, Bamberg;

Prof. Dr. Markus Wirtz, Freiburg i. Br.; Prof. Dr. Martina Zemp, Wien

Lutz Jäncke

Lehrbuch Kognitive Neuro- wissenschaften

4., überarbeitete Auflage



Prof. Dr. rer. nat. Lutz Jäncke

Zürich, Schweiz

E-Mail: lutz.jaencke@uzh.ch

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. Der Verlag weist ausdrücklich darauf hin, dass im Text enthaltene externe Links vom Verlag nur bis zum Zeitpunkt des Redaktionsschlusses eingesehen werden konnten. Auf spätere Veränderungen hat der Verlag keinerlei Einfluss. Eine Haftung des Verlags ist daher ausgeschlossen.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Kopien und Vervielfältigungen zu Lehr- und Unterrichtszwecken, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Anregungen und Zuschriften bitte an:

Hogrefe AG

Lektorat Psychologie

Länggass-Strasse 76

3012 Bern

Schweiz

Tel. +41 31 300 45 00

info@hogrefe.ch

www.hogrefe.ch

Lektorat: Dr. Susanne Lauri

Herstellung: René Tschirren

Umschlagabbildung: Getty Images/Yuichiro Chino

Satz: Claudia Wild, Konstanz

Druck und buchbinderische Verarbeitung: Finidr s. r. o., Český Těšín

Printed in Czech Republic

4., überarbeitete Auflage 2024

© 2013 Verlag Hans Huber, Hogrefe AG, Bern

© 2017, 2021, 2024 Hogrefe Verlag, Bern

(E-Book-ISBN_PDF 978-3-456-96346-4)

ISBN 978-3-456-86346-7

<https://doi.org/10.1024/86346-000>

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. Davon ausgenommen sind Materialien, die eindeutig als Vervielfältigungsvorlage vorgesehen sind (z. B. Fragebögen, Arbeitsmaterialien).

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 Download-Materialien.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 4. Auflage	15
Vorwort zur 3. Auflage	16
Vorwort zur 2. Auflage	17
Vorwort zur 1. Auflage	19
<hr/>	
1. Kognitive Neurowissenschaft – Was ist das?	21
1.1. Einführung	23
1.2. Geschichte der kognitiven Neurowissenschaften	24
1.3. Beziehung zwischen Psychologie und Hirnforschung	29
1.4. Zusammenfassung	32
1.5. Fragen und Aufgaben	33
1.6. Weiterführende Literatur	33
<hr/>	
2. Das menschliche Gehirn: Eine kurze Einführung	35
2.1. Orientierung im Gehirn	37
2.2. Grobe Einteilung des menschlichen Gehirns	40
2.2.1. Graue Substanz, weiße Substanz und das Ventrikelsystem	40
2.2.2. Hierarchische Organisation des zentralen Nervensystems	42
2.2.3. Zerebraler Kortex	42
2.2.4. Basalganglien	47
2.2.5. Limbisches System	48
2.2.6. Zwischenhirn	49
2.2.7. Hirnstamm	50
2.2.8. Hirnnerven	53
2.3. Hirnhäute	55
2.4. Zusammenfassung	55
2.5. Fragen und Aufgaben	56
2.6. Weiterführende Literatur	57
<hr/>	
3. Nervenzellen, Module, Kabel und Netzwerke	59
3.1. Einführung	61
3.2. Enzephalisationsquotient	61

3.3.	Neurone und Gliazellen	65
3.4.	Brodman-Areale	67
3.5.	Von der Phrenologie zu Netzwerken	68
3.6.	Zusammenfassung	72
3.7.	Fragen und Aufgaben	75
3.8.	Weiterführende Literatur	75
<hr/>		
4.	Reifung des Gehirns	77
4.1.	Allgemeines zur Reifung und Entwicklung des Gehirns	79
4.2.	Embryonalentwicklung	80
4.2.1.	Von der Neurulation zum Gehirn	80
4.2.2.	Neurogenese	82
4.2.3.	Migration	84
4.2.4.	Verknüpfung der Neurone und Dendritisierung	85
4.2.5.	Synaptogenese und programmierter Zelltod	87
4.2.6.	Myelinisierung	87
4.2.7.	Zusammenfassung der wichtigsten Entwicklungsschritte in der Embryonalphase	88
4.3.	Gehirnentwicklung in den ersten Lebensjahren bis zur Adoleszenz	89
4.4.	Gehirnentwicklung in der Adoleszenz	92
4.5.	Entwicklung des Gehirns und neurophysiologische Aktivität	95
4.6.	Hirnentwicklung und Verhalten	97
4.7.	Kritische Phasen	105
4.8.	Zusammenfassung	106
4.9.	Fragen und Aufgaben	109
4.10.	Weiterführende Literatur	109
<hr/>		
5.	Methoden der kognitiven Neurowissenschaften	111
5.1.	Einleitung	113
5.2.	Klassische Methoden aus der kognitiven Psychologie	113
5.3.	Bildgebung	114
5.3.1.	Magnetresonanztomografie – das Grundprinzip	115
5.4.	Elektrophysiologie	125
5.4.1.	Frequenzbezogene Analysen	127
5.4.2.	Ereigniskorrelierte Potenziale	129
5.4.3.	Elektrophysiologische Grundlage von EEG und ERP	132
5.5.	Dipolanalysen und elektrische Tomografie	133
5.6.	Magnetenzephalografie (MEG)	134
5.7.	Nahinfrarotspektroskopie	136
5.8.	Biofeedback von kortikaler Aktivität	138
5.9.	Beeinflussung des Gehirns	140
5.10.	Läsionsstudien	141
5.11.	Weiterführende Methoden	142

5.12.	Übersicht über die Methoden der kognitiven Neurowissenschaften	144
5.13.	Zusammenfassung	145
5.14.	Fragen und Aufgaben	149
5.15.	Weiterführende Literatur	149
<hr/>		
6.	Hemisphärenasymmetrie	151
6.1.	Allgemeines	153
6.2.	Funktionelle Links-rechts-Asymmetrien	153
6.2.1.	Sprachlateralisierung	153
6.2.2.	Händigkeit	154
6.2.3.	Experimentalpsychologische Verfahren	158
6.2.4.	Neurophysiologische Asymmetrien	163
6.2.5.	Zusammenfassung der funktionellen Asymmetrien	167
6.2.6.	Befunde aus der Neurologie	167
6.3.	Corpus callosum und interhemisphärischer Informationsaustausch	168
6.3.1.	Split brain	168
6.3.2.	Corpus-callosum-Anatomie	169
6.4.	Anatomische Asymmetrien	171
6.4.1.	Sylvische Fissur	172
6.4.2.	Globale Links-rechts-Unterschiede	173
6.4.3.	Die Planum-temporale- und Planum-parietale-Asymmetrie	175
6.4.4.	Weitere anatomische Asymmetrien	176
6.5.	Verhaltensauffälligkeiten und atypische Asymmetrien	180
6.6.	Dynamik der Asymmetrien	180
6.6.1.	Asymmetriewechsel bei auditorischer Wahrnehmung	181
6.6.2.	Interaktionen zwischen beiden Hemisphären beim motorischen Lernen	182
6.7.	Ursachen der Asymmetrien	186
6.8.	Geschlechtsunterschiede bei Asymmetrien	187
6.9.	Zusammenfassung	190
6.10.	Fragen und Aufgaben	192
6.11.	Weiterführende Literatur	192
<hr/>		
7.	Allgemeines zur Wahrnehmung	193
7.1.	Bedeutung der Wahrnehmung	195
7.2.	Was ist Wahrnehmung?	195
7.3.	Ablauf der Wahrnehmung	196
7.4.	Psychophysik	198
7.5.	Bottom-up- und Top-down-Verarbeitung	203
7.6.	Beziehung zwischen Top-down- und Bottom-up-Verarbeitung	205
7.7.	Bindungsproblem und dynamische Kopplung	206
7.8.	Synästhesie	208
7.9.	Zusammenfassung	210

7.10.	Fragen und Aufgaben	212
7.11.	Weiterführende Literatur	212
<hr/>		
8.	Visuelle Wahrnehmung	213
8.1.	Vom Auge zum Gehirn	215
8.1.1.	Retina	215
8.1.2.	Sehbahn	216
8.1.3.	Rezeptive Felder	218
8.2.	Visueller Kortex	218
8.2.1.	Visuelle Areale	218
8.2.2.	Verschaltungsprinzip im visuellen Kortex	223
8.2.3.	Retinotopie	225
8.3.	Blindsight – Blindsight	229
8.4.	Einfache und grundlegende Wahrnehmungsleistungen	229
8.4.1.	Tiefenwahrnehmung	229
8.4.2.	Farbwahrnehmung	232
8.4.3.	Bewegungswahrnehmung	234
8.5.	Objektwahrnehmung	236
8.5.1.	Das Problem der Objektwahrnehmung	236
8.5.2.	Theoretische Konzepte zur Erklärung der Objektwahrnehmung	236
8.5.3.	Kortikale Repräsentation der Objektwahrnehmung	238
8.5.4.	Raumwahrnehmung	251
8.6.	Störungen der visuellen Wahrnehmung	254
8.7.	Visuelle Vorstellungen	258
8.8.	Zusammenfassung	259
8.9.	Fragen und Aufgaben	262
8.10.	Weiterführende Literatur	263
<hr/>		
9.	Auditorische Wahrnehmung	265
9.1.	Einleitung	267
9.2.	Akustische Signale	267
9.3.	Lautstärke und Isophone	269
9.4.	Auditorisches System	270
9.4.1.	Ohr	270
9.4.2.	Zentrale Verarbeitung akustischer Reize	276
9.5.	Zusammenfassung	295
9.6.	Fragen und Aufgaben	298
9.7.	Weiterführende Literatur	298
<hr/>		
10.	Aufmerksamkeit	301
10.1.	Das Wesen der Aufmerksamkeit	303
10.2.	Bewusstsein – Aufmerksamkeit	304

10.3.	Kontrollierte und automatische Prozesse	306
10.4.	Aufmerksamkeitsmetaphern und Aufmerksamkeitsinstanzen	308
10.4.1.	Die „Filter“-Metapher	308
10.4.2.	Die „Spotlight“-Metapher	308
10.4.3.	Die „Spotlight-in-the-brain“-Metapher	308
10.4.4.	Die „Attention-as-vision“-Metapher	309
10.4.5.	Top-down-Ansätze	309
10.4.6.	Bottom-up-Ansätze	309
10.4.7.	Hybrid-Ansätze	309
10.5.	Neuropsychologie der Aufmerksamkeit	310
10.5.1.	Taxonomie der Aufmerksamkeit nach Zoomeren-Sturm	310
10.5.2.	„Biased-competition“-Modell der Aufmerksamkeit	312
10.5.3.	Neuroanatomie der Aufmerksamkeit	315
10.6.	Neurophysiologie der Aufmerksamkeit	321
10.6.1.	Verstärkung neuronaler Aktivität	321
10.6.2.	Aufmerksamkeit und elektrische Hirnoszillationen	326
10.6.3.	Neurochemie der Aufmerksamkeit	327
10.7.	Zeitlicher Verlauf von Aufmerksamkeitsprozessen	329
10.8.	Neurophysiologie bewusster und reflexiver Aufmerksamkeitssteuerung	331
10.9.	Aufmerksamkeitsmodelle	333
10.9.1.	Aufmerksamkeitsmodell nach Posner	333
10.9.2.	Aufmerksamkeitsmodell nach Mesulam	335
10.9.3.	Aufmerksamkeitsmodell nach Mirsky	336
10.9.4.	Aufmerksamkeitsmodell nach Corbetta und Shulman	338
10.10.	Aufmerksamkeitsstörungen	339
10.10.1.	Neglekt	340
10.10.2.	Bálint-Holmes-Syndrom	342
10.11.	Zusammenfassung	343
10.12.	Fragen und Aufgaben	346
10.13.	Weiterführende Literatur	346
<hr/>		
11.	Exekutive Funktionen	349
11.1.	Was sind exekutive Funktionen?	351
11.2.	Theoretische Überlegungen zu den exekutiven Funktionen	352
11.2.1.	System der überwachenden Aufmerksamkeit	352
11.2.2.	Handlungstheoretische Modelle	352
11.2.3.	Arbeitsgedächtnismodelle	353
11.2.4.	Theorie der somatischen Marker	354
11.2.5.	Reduktion auf Basisprozesse	354
11.2.6.	Konzept der exekutiven Funktionen nach Drechsler	355
11.3.	Anatomie der exekutiven Kontrolle	358
11.3.1.	Anatomisch-funktionelles Netzwerk der exekutiven Funktionen	360
11.3.2.	Rolle der Basalganglien	362
11.3.3.	Frontalkortex	362

11.4.	Modelle der Frontalkortexfunktionen	364
11.4.1.	Domänenspezifisch oder funktionsspezifisch	364
11.4.2.	Hierarchische Modelle	365
11.4.3.	Dorsolaterales präfrontales Kontrollsystem	368
11.4.4.	Ventromediales präfrontales System	373
11.5.	Zusammenfassung	379
11.6.	Fragen und Aufgaben	381
11.7.	Weiterführende Literatur	382
<hr/>		
12.	Motorische Kontrolle	383
12.1.	Faszination der Bewegung	385
12.2.	Das motorische Transformationsproblem	385
12.3.	Ein einfaches Modell der menschlichen Bewegungskontrolle	387
12.3.1.	Regelung und Steuerung	388
12.3.2.	Das motorische Programm	389
12.4.	Motorareale	390
12.4.1.	Organisation der Motorareale	392
12.4.2.	Funktion einzelner kortikaler Areale – der Informationsfluss im motorischen System	395
12.5.	Planung von Bewegungen	402
12.6.	Bewegungsvorbereitung und Willenshandlungen	404
12.7.	Bewegungslernen	409
12.8.	Bewegung, Vorstellung und Sprache	411
12.9.	Störungen der Motorik	415
12.10.	Zusammenfassung	418
12.11.	Fragen und Aufgaben	422
12.12.	Weiterführende Literatur	422
<hr/>		
13.	Allgemeines zum Gedächtnis	423
13.1.	Warum das Gedächtnis so wichtig ist?	425
13.2.	Gedächtnissysteme	426
13.3.	Gedächtnisprozesse	426
13.4.	Messung des Gedächtnisses	427
13.5.	Taxonomie des Langzeitgedächtnisses	427
13.6.	Gedächtnis auf der zellulären Ebene	429
13.6.1.	Habituation und Sensitivierung	430
13.6.2.	Langzeitpotenzierung und Langzeitdepression	431
13.6.3.	Veränderung der Synapsen beim Lernen	432
13.6.4.	Zusammenfassung der synaptischen Mechanismen	433
13.7.	Neuronale Netze	433
13.8.	Mesiotemporales Gedächtnissystem	439
13.9.	Von der zellulären Ebene zum übergeordneten System	441
13.10.	Konsolidierung im deklarativen Gedächtnis	441
13.11.	Gedächtnis und Emotionen	444

13.12.	Zusammenfassung	446
13.13.	Fragen und Aufgaben	448
13.14.	Weiterführende Literatur	448
<hr/>		
14.	Deklaratives Gedächtnis	449
14.1.	Das deklarative Gedächtnis und seine Teilkomponenten	451
14.2.	Mesiotemporaler Hirnbereich und das deklarative Gedächtnis	451
	14.2.1. Theorien	451
	14.2.2. Integration aller neurowissenschaftlichen Gedächtnistheorien	454
14.3.	Frontalkortex und deklaratives Gedächtnis	455
	14.3.1. Encodieren im Frontalkortex	456
	14.3.2. Abruf von Informationen	457
	14.3.3. Zusammenfassung	460
14.4.	Parietallappen und deklaratives Gedächtnis	460
14.5.	Sensorische Areale und deklaratives Gedächtnis	461
14.6.	Elektrophysiologische Kennwerte des deklarativen Gedächtnisses	461
14.7.	Wie ist Wissen repräsentiert?	465
	14.7.1. Semantisches Netzwerk	466
	14.7.2. Prototypenmodell	468
	14.7.3. Exemplartheorie	468
	14.7.4. Neurowissenschaftliche Befunde	469
14.8.	Beeinflussung des deklarativen Gedächtnisses	470
14.9.	Zusammenfassung	472
14.10.	Fragen und Aufgaben	474
14.11.	Weiterführende Literatur	474
<hr/>		
15.	Nondeklaratives Gedächtnis	475
15.1.	Einleitung	477
15.2.	Verschiedene Formen des Primings	478
	15.2.1. Perzeptuelles Priming	478
	15.2.2. Konzeptuelles Priming	482
	15.2.3. Semantisches Priming	484
	15.2.4. Theorien zum Priming	486
15.3.	Lernen von Fertigkeiten	487
	15.3.1. Lernen von motorischen Fertigkeiten	491
	15.3.2. Perzeptuelles Lernen	495
	15.3.3. Lernen von kognitiven Fertigkeiten	498
15.4.	Konditionierung	500
15.5.	Zusammenfassung	503
15.6.	Fragen und Aufgaben	504
15.7.	Weiterführende Literatur	504

16.	Arbeitsgedächtnis	505
16.1.	Einführung	507
16.2.	Arbeitsgedächtnismodelle	508
16.3.	Hirnaktivität bei Arbeitsgedächtnisaufgaben	511
16.4.	Verbales Arbeitsgedächtnis	512
	16.4.1. Phonologisches Arbeitsgedächtnis	512
	16.4.2. Arbeitsgedächtnis für Grapheme	513
	16.4.3. Semantisches Arbeitsgedächtnis	515
	16.4.4. Zusammenfassung zum verbalen Arbeitsgedächtnis	515
16.5.	Visuelles Arbeitsgedächtnis	516
16.6.	Auditorisches Arbeitsgedächtnis	518
16.7.	Die Rolle des dorsolateralen Präfrontalkortex	518
16.8.	Elektrophysiologie des Arbeitsgedächtnisses	519
16.9.	Zusammenfassung	523
16.10.	Fragen und Aufgaben	525
16.11.	Weiterführende Literatur	525
<hr/>		
17.	Plastizität	527
17.1.	Einleitung	529
17.2.	Genetik und Umwelt	531
17.3.	Funktionelle Plastizität bei Tieren	532
17.4.	Funktionelle Plastizität beim Menschen	533
17.5.	Strukturelle Plastizität	541
17.6.	Rehabilitation	545
17.7.	Zusammenfassung	548
17.8.	Fragen und Aufgaben	550
17.9.	Weiterführende Literatur	551
<hr/>		
18.	Sprache und Kommunikation	553
18.1.	Einführung	555
18.2.	Was ist Sprache?	556
18.3.	Sprache der Tiere	561
18.4.	Produktion von Lauten und Sprache	561
18.5.	Funktionelle Neuroanatomie sprachlicher Äußerungen	564
	18.5.1. Zeitliche Organisation der auditiven Sprachverarbeitung	569
	18.5.2. Neurale Signatur der lautsprachlichen Verarbeitung	574
	18.5.3. Neuroanatomische Korrelate der Sprachartikulation	581
18.6.	Die Sprache des Gehirns	584
18.7.	Gebärdensprache	586
18.8.	Die Evolution der Sprache	589
18.9.	Zusammenfassung	592
18.10.	Fragen und Aufgaben	594
18.11.	Weiterführende Literatur	594

19.	Lesen und Schreiben	597
19.1.	Das Wesen des Lesens	599
19.2.	Wie lesen wir?	600
19.3.	Funktionelle Neuroanatomie und Neurophysiologie des Lesens	603
19.4.	Leseprozess	604
19.5.	Lesestörungen	606
19.6.	Schreiben	609
19.7.	Lesen in anderen Sprachen	610
19.8.	Zusammenfassung	612
19.9.	Fragen und Aufgaben	613
19.10.	Weiterführende Literatur	613
<hr/>		
20.	Emotion und Motivation	615
20.1.	Einleitung	617
20.2.	Emotion und Motivation – was ist das?	617
20.3.	Emotionstheorien	620
20.4.	Konzept der Basisemotionen – von Darwin zu Ekman	624
20.5.	Theorie von Panksepp – die Rolle von Emotionssystemen	625
20.6.	Theorie der somatischen Marker von Damasio	627
20.7.	Emotionen und Lernen	631
	20.7.1. Furchtkonditionierung	631
	20.7.2. Indirektes Konditionieren	632
	20.7.3. Informationswege der Amygdala	632
	20.7.4. Amygdala und Lernen	633
20.8.	Asymmetrie-Hypothese der Emotionsverarbeitung	635
20.9.	Verstärkung und Motivation	638
20.10.	Frontalkortex	638
20.11.	Funktionelle Spezialisierung des Frontalkortex	640
20.12.	Konzept der Verstärkung	640
	20.12.1. Verstärkung im Affengehirn	641
	20.12.2. Verstärkung im Menschengehirn	641
20.13.	Wanting und Liking	643
20.14.	Impulskontrolle	644
20.15.	Zusammenfassung	645
20.16.	Fragen und Aufgaben	648
20.17.	Weiterführende Literatur	649
<hr/>		
21.	Urteilen und Entscheiden	651
21.1.	Einleitung	653
21.2.	Psychologische Entscheidungstheorien	653
	21.2.1. Klassische Entscheidungstheorie – eine Frage des Nutzens	653
	21.2.2. Prospect-Theorie und Rahmungseffekte	654
21.3.	Einfluss von Emotionen auf Entscheidungen	657

21.4.	Spieltheorien	659
21.5.	Neuronale Grundlagen	661
21.5.1.	Interaktives Entscheidungsverhalten	666
21.5.2.	Entscheidungspräferenzen	670
21.5.3.	Entscheidungsverhalten und Informationsintegration	672
21.6.	Theory of mind	674
21.7.	Oxytocin und Entscheidungsverhalten	676
21.8.	Zusammenfassung	676
21.9.	Fragen und Aufgaben	678
21.10.	Weiterführende Literatur	679
<hr/>		
22.	Das Gehirn in Ruhe	681
22.1.	Einleitung	683
22.2.	Ruhezustand gemessen mit der funktionellen Magnetresonanztomografie	684
22.3.	Ruhezustand gemessen mit dem EEG	686
22.4.	Interindividuelle Unterschiede in den Ruhenetzwerken	690
22.5.	Der Schlaf – ein besonderer Ruhezustand des Gehirns	690
22.6.	Zusammenfassung	695
22.7.	Fragen	697
22.8.	Weiterführende Literatur	698
<hr/>		
23.	Das alternde Gehirn	699
23.1.	Altersdemografie	701
23.2.	Demenzen	704
23.3.	Kognitive Leistungen im Alter	706
23.4.	Neuroanatomie des alternden Gehirns	707
23.5.	Neurophysiologie im Alter	714
23.5.1.	Allgemeine Aspekte der Hirnaktivierung	714
23.5.2.	Hirnaktivierung im Alter	716
23.6.	Lernen im Alter	718
23.7.	Zusammenfassung	721
23.8.	Fragen und Aufgaben	724
23.9.	Weiterführende Literatur	724
<hr/>		
Literatur		725
<hr/>		
Index		753

Vorwort zur 4. Auflage

Liebe Leserinnen und Leser,*

es ist mir eine besondere Freude, Ihnen die 4. Auflage meines „Lehrbuchs Kognitive Neurowissenschaften“ vorstellen zu dürfen. In den vergangenen Jahren haben wir kontinuierlich an diesem Werk gearbeitet, um sicherzustellen, dass es auf dem neuesten Stand der Forschung bleibt und Ihnen einen Einstieg in die faszinierende Welt der kognitiven Neurowissenschaften bietet.

Die kognitiven Neurowissenschaften haben in den vergangenen 30 Jahren eine enorme Entwicklung erfahren und sich zu einer eigenständigen Disziplin entwickelt. Diese Disziplin hat erhebliche Einflüsse auf die kognitive Psychologie, die Neurobiologie, die Neurologie und die Psychiatrie entfaltet, die in den 1990er-Jahren nicht absehbar waren. Ich bin mir sicher, dass diese Entwicklung weiter voranschreiten und sich insbesondere auf die Anwendung im klinischen Alltag positiv auswirken wird.

In dieser neuen Auflage haben wir nicht nur kleinere Fehler korrigiert und Aktualisierungen vorgenommen, sondern auch ein gänzlich neues Kapitel hinzugefügt, das sich mit einem äußerst relevanten und aktuellen Thema beschäftigt: dem Altern und den damit verbun-

denen anatomischen und kognitiven Veränderungen. Unsere Gesellschaft altert unaufhörlich, und somit gewinnt die Erforschung des Alterns und seiner Auswirkungen auf unser Gehirn und unsere kognitiven Fähigkeiten zunehmend an Bedeutung. Dieses neue Kapitel bietet Ihnen einen Einblick in die spannenden Entwicklungen auf diesem Gebiet und zeigt, wie die kognitiven Neurowissenschaften dazu beitragen, unser Verständnis des Alterns zu vertiefen.

Mein Dank gilt allen, die an der Entstehung dieser Auflage beteiligt waren: den Kollegen und Forschern, den Studierenden und Lesern und Frau Dr. Lauri, die mich immer angespornt hat, eine weitere Auflage auf den Weg zu bringen. Ihr Engagement und ihre Leidenschaft für die kognitiven Neurowissenschaften sind die treibende Kraft hinter diesem Buch.

Abschließend möchte ich Sie ermutigen, dieses Lehrbuch als Werkzeug zu nutzen, um Ihr Verständnis für die faszinierende Welt der kognitiven Neurowissenschaften zu vertiefen. Möge es Ihnen helfen, neue Erkenntnisse zu gewinnen, Fragen zu beantworten und Ihren eigenen Forschungspfad zu gestalten. Denn in der Welt der kognitiven Neurowissenschaften gibt es immer noch so viel zu entdecken.

Vielen Dank für Ihr Interesse an den kognitiven Neurowissenschaften und viel Erfolg auf Ihrer Reise durch dieses spannende Forschungsfeld.

Lutz Jäncke
Zürich, im Januar 2024

* Aus Gründen der Lesbarkeit wird in diesem Buch auf eine gendergerechte Sprache verzichtet. Mit der männlichen Form (z. B. Partner) sind immer Frauen, Männer und nicht-binäre Personen gemeint.

Vorwort zur 3. Auflage

Mit dieser 3. Auflage haben wir die Gelegenheit genutzt, um Ergänzungen und Verbesserungen im Vergleich zur 2. Auflage einzufügen. Wie immer bemühen wir uns, Fehler zu identifizieren und sie zu eliminieren. Einige haben wir entdeckt und entsprechend korrigiert. Es sind auch neue Abbildungen hinzugekommen, andere wurden angepasst, verbessert und korrigiert. Ich hatte eigentlich vorgehabt, ein eigenes Kapitel zur Neurowissenschaft des Bewusstseins hinzuzufügen. Dies habe ich aber nach reiflicher Überlegung unterlassen und lediglich einige Absätze zum Bewusstsein im Kapitel Aufmerksamkeit hinzugefügt. Das Thema Neurowissenschaften

und Bewusstsein ist eigentlich zu breit und wenig fokussiert, um es in einem Lehrbuch zur Einführung in die Neurowissenschaften zu besprechen. Hinzugekommen sind neue und interessante Befunde zur Neuroplastizität, zur Hemisphärenasymmetrie, Methoden und Neuroanatomie. Wie auch immer, wir hoffen, dass wir mit der 3. Auflage wichtige Ergänzungen und Verbesserungen hinzugefügt haben, die dem Studierenden helfen, sich in dieses faszinierende Gebiet hineinzuarbeiten.

Lutz Jäncke
Zürich, im August 2020

Vorwort zur 2. Auflage

„Kognitive Neurowissenschaft“ ist ein Sammelbegriff, unter dem verschiedene Wissenschaftsdisziplinen, die sich alle mit dem Zusammenhang zwischen Gehirn und Verhalten auseinandersetzen, zusammengefasst werden. Jede dieser Disziplinen (z. B. Neuroanatomie, Neurophysiologie, Bildgebung, Kognitive Psychologie etc.) hat sich in den letzten 10 Jahren enorm entwickelt. Viele dieser Disziplinen erleben methodische, technische und inhaltliche Weiterentwicklungen, welche außer in den Ingenieur- und Computerwissenschaften in kaum einer anderen Wissenschaftsdisziplin anzutreffen sind. Im Zuge dieser Entwicklung werden ständig neue Befunde berichtet, andere werden bestätigt oder gar verworfen. Insofern ist eine enorme Dynamik in dieser Forschungsdisziplin zu vermerken.

In der vorliegenden 2. Auflage sind deshalb einige neue Befunde aufgenommen worden, um dieser rasanten Entwicklung Rechnung zu tragen. Da vor allem die EEG-Technologie einen enormen Fortschritt und Aufschwung erfahren hat, habe ich insbesondere neue Informationen aus diesem Methodenbereich aufgenommen. Des Weiteren wurde ein neues Kapitel eingefügt, in dem ich die Bedeutung des „Ruhezustandes“ des Ge-

hirns dargestellt habe. Ein großer Teil der aktuellen neurowissenschaftlichen Arbeiten konzentriert sich auf die neurophysiologischen Grundlagen und Begleiterscheinungen dieses Zustandes, da er viele interessante Informationen über die Arbeitsweise und Organisation des Gehirns liefert.

Natürlich haben wir uns auch bemüht, Fehler zu identifizieren und sie zu eliminieren. Trotz aller Mühe schleichen sich immer wieder Rechtschreib-, Interpunktions- oder Grammatikfehler ein, die nicht gerne gefunden werden wollen, insbesondere nicht vom Autor. Wir haben allerdings einige entdeckt, die wir entsprechend korrigiert haben. Auch einige Abbildungen sind angepasst, verbessert und korrigiert worden. Hierfür danke ich insbesondere meinen Studierenden in Zürich, die immer wieder Ungereimtheiten und Fehler entdecken.

Ich hoffe, dass mit der 2. Auflage ein interessantes und für den Studierenden hilfreiches Werk vorliegt, mit dem man einen Einstieg in die faszinierende Welt der Kognitiven Neurowissenschaften findet.

Lutz Jäncke
Zürich, im April 2017

Vorwort zur 1. Auflage

Dieses Lehrbuch beruht auf den Einführungs-vorlesungen zur kognitiven Neurowissenschaft, die ich an der Universität Zürich und an der ETH Zürich in den Jahren 2002 bis 2012 gehalten habe. Der Leser sollte berücksichtigen, dass dies ein Einführungsbuch ist. Ich betone das, weil sich die kognitiven Neurowissenschaften in den letzten 25 Jahren enorm entwickelt und viele Zweige eingeschlagen und verfolgt haben, die meines Erachtens nicht zusammengefasst in einem Lehrbuch dargestellt werden können. In diesem Lehrbuch habe ich mich v. a. auf die kognitive Neurowissenschaft aus dem Blickwinkel des Menschen konzentriert. Tierversuche und Ergebnisse daraus wurden weitgehend ausgeklammert und nur jene ausgewählt, die für das Verständnis der kognitiven Neurowissenschaften des Menschen wichtig sind. Viele interessante Bereiche der modernen kognitiven Neurowissenschaften konnten aus Platzgründen, aber auch aus Gründen der Didaktik nicht dargestellt werden. Dazu gehören die kognitive Psychopharmakologie, die Genetik, die vielen Befunde aus der Molekularbiologie und v. a. aus dem sich derzeit schnell entwickelnden Gebiet der mathematisch orientierten kognitiven Neurowissenschaften. Ich habe auch vermieden, die klinische Neuropsychologie und Neurologie zu stark zu betonen, sondern mich v. a. auf die normale Funktion des Gehirns konzentriert. Trotz allem oder vielleicht gerade deswegen denke ich, dass der Leser einen Überblick über das neue Gebiet der kognitiven Neurowissenschaften erhält.

Lehrbücher und insbesondere Einführungsbücher „leben“ von den Befunden, die viele Wissenschaftler der Gemeinschaft zur Verfügung gestellt haben. Nicht alle konnten berücksichtigt werden und ich habe die aus meiner Sicht wichtigen dargestellt. Dies ist keine Wertung, sondern nur dem selektiven Blick geschuldet, den man bei der Flut der vielen Befunde einnehmen muss. Insofern entschuldige ich mich bereits an dieser Stelle bei den Kollegen, deren Arbeiten ich in diesem Lehrbuch nicht angemessen würdigen konnte, aber eigentlich hätte aufnehmen müssen.

Für die Durchsicht bestimmter Kapitel bedanke ich mich bei Klaus Oberauer (Arbeitsgedächtnis), Renate Drechsler (Exekutive Funktionen) und Kai Lutz (Motorik). Ebenso bedanke ich mich bei Frau Susanne Richli, die viele Kapitel gelesen hat, um diese aus Sicht eines Studierenden zu beurteilen. Mein besonderer Dank gilt Frau Edelmann, die die Abbildungen entweder völlig neu gezeichnet oder anhand von Vorlagen modifiziert und nachgezeichnet hat. In einigen Abbildungen habe ich ein Standardgehirn aus dem Programm MriCro von Chris Rorden genutzt. Ich danke Chris für seine Zustimmung hierzu.

Für Hinweise auf etwaige Fehler, Miss- und Unverständlichkeiten bin ich dankbar.

Lutz Jäncke
Zürich, im Juni 2013

1. Kognitive Neurowissenschaft – Was ist das?



1.1. Einführung

Die kognitive Neurowissenschaft ist eine junge Disziplin. Einer Anekdote zufolge wurde der Begriff von Michael Gazzaniga spontan erfunden, als er während einer U-Bahn-Fahrt in Paris von einem Mitfahrenden gefragt wurde, in welchem Wissenschaftsbereich er arbeite. Ungeachtet dessen, ob diese Anekdote wahr ist, haben sich die kognitiven Neurowissenschaften als Kombination aus kognitiver Psychologie und den Neurowissenschaften in den späten 1980er Jahren entwickelt. Die kognitive Psychologie untersucht seit Ende der 1960er Jahre die internen psychischen Vorgänge, die im Zusammenhang mit den kognitiven Funktionen wirksam sind. Herauszufinden, wie Denken, Lernen, Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Motorik, mentale Repräsentation, Sprache, Emotion und Motivation beim Men-

schen funktionieren, ist das Hauptanliegen. Während die kognitive Psychologie klar umschrieben ist und vorwiegend von Psychologen betrieben wird, arbeiten in den **Neurowissenschaften** Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen zusammen, denen die Erforschung des Gehirns bzw. des zentralen Nervensystems gemeinsam ist und die mittels biologischer, physikalischer, chemischer und mathematischer Methoden das Gehirn von Menschen und Tieren untersuchen. Teildisziplinen sind Neurobiologie, Neurophysiologie, Neuropsychologie und klinisch-medizinische Fächer, die sich mit den Fehlfunktionen des Gehirns befassen (**Tab. 1-1**).

Insbesondere durch die Entwicklung der bildgebenden Verfahren (z.B. funktionelle Magnetresonanztomografie, fMRT; Kap. 5) zu Beginn der 1990er Jahre ist der Zusammenschluss von kognitiver Psychologie und Neuro-

Tabelle 1-1: Neurowissenschaften und die dazugehörigen Teildisziplinen.

Neurobiologie	<ul style="list-style-type: none"> • beschäftigt sich mit den molekularen und zellbiologischen Grundlagen der Neurowissenschaften • Teildisziplinen sind Biochemie, Molekularbiologie, Genetik, Epigenetik, Histologie, Anatomie und die Zellbiologie • arbeitet oft mit Tiermodellen
Neurophysiologie	<ul style="list-style-type: none"> • gilt als zentrale Disziplin der Neurowissenschaften und untersucht die Aktivität der Nervenzellen • gilt als zentral, da die Aktivität der Neuronen allgemein als «Sprache der Nervenzellen» aufgefasst wird • Teildisziplinen sind Elektrophysiologie, Neuropharmakologie, Neuroendokrinologie und Toxikologie • arbeitet oft mit Tiermodellen oder mit physiologischen Präparaten. • wird auch beim Menschen angewendet; es werden v.a. elektroenzephalografische und elektromyografische Methoden zur Registrierung menschlicher Funktionen eingesetzt
kognitive Neurowissenschaft	<ul style="list-style-type: none"> • befasst sich mit den neuronalen Mechanismen, die kognitiven und psychischen Funktionen zugrunde liegen • arbeitet vorwiegend humanbiologisch und interessiert sich deshalb in erster Linie für das menschliche Gehirn und dessen Kontrolle von psychischen Funktionen • Tiermodelle werden eingeschränkt herangezogen

klinisch-medizinische Disziplinen	<ul style="list-style-type: none"> • beschäftigen sich mit der Pathogenese, Diagnose und Therapie der Gehirnerkrankungen beim Menschen • Teildisziplinen sind Neurologie, Neuropathologie, Neurochirurgie, Neuroradiologie, biologische Psychiatrie und klinische Neuropsychologie
Neuropsychologie	<ul style="list-style-type: none"> • Teildisziplin der Psychologie und der Neurowissenschaften • Ziel ist es, Verhalten und Erleben aufgrund physiologischer Prozesse zu beschreiben und zu erklären • arbeitet am Menschen und mit Tiermodellen • Methoden sind Läsions- und Interventionsstudien (Arzneimittel, TMS etc.), Registrierung von Hirnaktivitäten während des Durchführens von psychischen Tätigkeiten

wissenschaften beschleunigt worden. Bereits vor Einführung der fMRT hatte sich eine Forschungsdisziplin innerhalb der Psychologie etabliert, die als **kognitive Psychophysiologie** bezeichnet wird. Sie nutzt elektrophysiologische Methoden, um kognitive Vorgänge zu untersuchen (z. B. Elektroenzephalografie oder Methoden zur Messung peripherer physiologischer Vorgänge). In dieser Disziplin wurde insbesondere die Technik der evozierten Potenziale entwickelt, mit der Erkenntnisse bezüglich der Funktion des menschlichen Gehirns sowie psychischer Funktionen gewonnen werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die kognitive Neurowissenschaft mit den

neuronalen Mechanismen auseinandersetzt, die kognitiven und psychischen Funktionen zugrunde liegen (**Abb. 1-1**). Sie arbeitet vorwiegend humanbiologisch und befasst sich daher hauptsächlich mit dem menschlichen Gehirn und dessen Kontrolle von psychischen Funktionen. In diesem Sinn beschäftigt sie sich mit dem in der Philosophie seit Langem diskutierten **Leib-Seele-Problem**.

1.2. Geschichte der kognitiven Neurowissenschaften

Die wohl älteste Nennung des Wortes „Gehirn“ findet sich in den „Edwin-Smith-Papyrus-Rollen“ (**Abb. 1-2**), die wahrscheinlich um 1700 v. Chr. erstellt worden sind. Archäologen gehen davon aus, dass die dort beschriebenen Inhalte bis in die Zeit 2500–3000 v. Chr. zurückreichen. In diesen Papyrus-Rollen sind 48 klinische Fälle beschrieben, darunter 27 Hirnverletzungen (Nunn, 1996).

In der Antike bestand nur während einer kurzen Periode Interesse am menschlichen Gehirn, was im Wesentlichen auf das Tabu, menschliche Leichen zu sezieren, zurückzuführen ist. Dieses Tabu brachen im 3. Jahrhundert v. Chr. in Alexandria die beiden Forscher **Herophilus und Erasistratos**, die

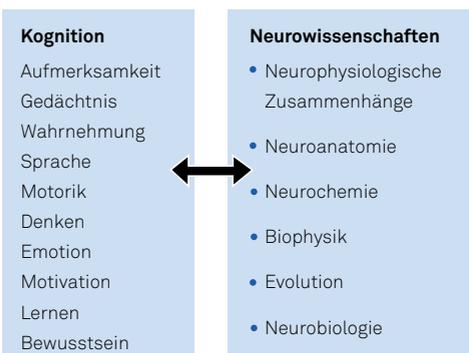


Abbildung 1-1 : Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen kognitiver Psychologie (Kognition) und den Neurowissenschaften.

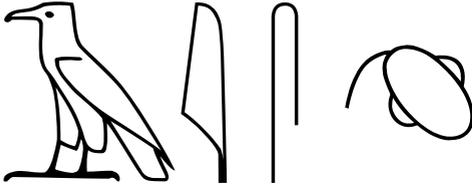


Abbildung 1-2: Hieroglyphisch geschriebenes Wort mit der Bedeutung „Gehirn“. Nachgezeichnet nach Nunn (1996).

anatomische und physiologische Studien an den Leichen Hingerichteter durchführten (Diels & Kranz, 1952). Es wird vermutet, dass sie Vivisektionen auch an zum Tode Verurteilten vornahmen. Leider sind nur Teile ihrer Arbeiten erhalten geblieben, der größte Teil ihrer Schriften wurde beim großen Brand der Bibliothek von Alexandria 47 v. Chr. vernichtet.

Nach dem Tod dieser Forscher sind in der Antike wahrscheinlich keine weiteren Sektionen durchgeführt worden und das Interesse am menschlichen Gehirn nahm ab, was insbesondere durch den berühmten Philosophen **Aristoteles** (384–322 v. Chr.) befördert wurde (von Staden, 1989). Aristoteles sah im Gehirn nicht mehr als ein Kühlaggregat für das vom Kreislauf erhitzte Blut; für ihn war das Herz das zentrale Organ des Menschen. Diese Ansicht blieb lange Zeit sehr einflussreich und hat in unserer Alltagssprache Spuren hinter-

lassen, nehmen wir uns doch z. B. Dinge „zu Herzen“ und nicht „zu Hirne“. Eine gewisse Hinwendung zum Gehirn ist in dem wunderschönen Werk von **Andreas Vesalius** zu erkennen. In seiner Lehr- und Forschungszeit als Professor für Chirurgie an der Universität Padua schuf er sein anatomisches Lebenswerk *De humani corporis fabrica* – Über den Bau des menschlichen Körpers, das er 1543 veröffentlichte. Darin vertrat er, entgegen der vorherrschenden Meinung, die Ansicht, allein die menschliche Leiche sei ein zuverlässiger Weg, Erkenntnisse über den Körperbau zu erlangen – damals eine ungeheure und für die Kirche unerträgliche Sichtweise. Vesalius hat beeindruckende Zeichnungen des menschlichen Gehirns angefertigt, die auch heutzutage nicht an Ausdruckskraft verloren haben.

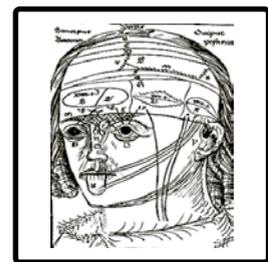
Diese Zeichnungen sind in einer Zeit entstanden, in der die **ventrikuläre Lokalisierungshypothese** (nach Aristoteles) noch sehr populär war. Im Rahmen dieser Theorie wird den Ventrikeln eine besondere funktionelle Bedeutung zugeschrieben, der zufolge das psychische „Pneuma“ in ihnen zirkulieren und über das Ventrikelsystem quasi in den Körper gepumpt werden soll. Das Gehirn fungiert gemäß dieser Hypothese lediglich als Stützkörper und bestimmte Ventrikelbereiche sind auf verschiedene psychische Funktionen spezialisiert. Illustrationen dieser Hypothese haben



Gregor Reisch
1504



Vesalius
1543



Markus Hundt
1501

Abbildung 1-3: Historische Hirn- und Schädelzeichnungen von Vesalius, Hundt und Reisch. Die Bilder sind dem Buch von Walsh (1978) entnommen und leicht modifiziert worden.

die Mönche Gregor Reisch (1504) und Magnus Hundt (1501) erstellt (Abb. 1-3). So wird z. B. dem ersten Ventrikel (der nicht gleichzusetzen ist mit dem heute als 1. Ventrikel bezeichneten Hohlkörper) die Fähigkeit zu geschrieben, Fantasie und Imagination zu kontrollieren. Der zweite Ventrikel ist demnach für das Denken und der dritte für das Gedächtnis zuständig. Somit war das Gehirn als möglicher „Sitz“ wichtiger psychischer Funktionen aus dem Blick der zeitgenössischen Intellektuellen geraten. Ein Umstand, der auch durch den Einfluss der christlichen Kirche gefördert wurde.

Eine (allerdings falsche) Reorientierung auf das Gehirn als zentrales Organ für die Kontrolle psychischer Funktionen, zumindest in populärwissenschaftlichen Kreisen, erfolgte durch die **Phrenologie**. Die beiden Hauptvertreter dieser Richtung, Franz Josef Gall und sein Schüler Johann Spurzheim, versuchten aus den Unebenheiten der Schädeloberfläche (Beulen; engl. = bumps) auf die Beschaffenheit des darunterliegenden Hirngewebes zu schlie-

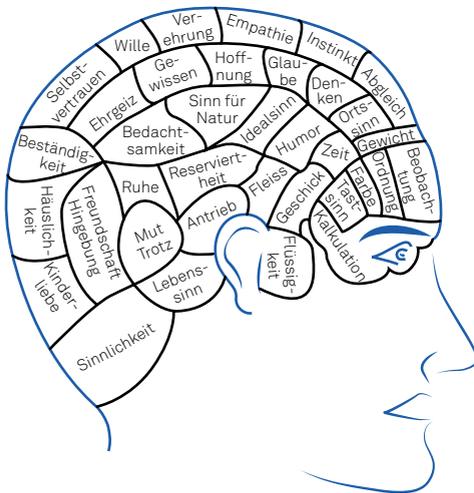


Abbildung 1-4: Beispiel für phrenologische Lokalisationen von bestimmten Charaktereigenschaften. Nachgezeichnet nach Bilz (1894).

ßen und diese anatomischen Eigenarten mit bestimmten psychischen Funktionen in Beziehung zu setzen. Mittels dieser Methode wurden detaillierte Karten zur Lokalisation psychischer Funktionen erstellt (Abb. 1-4). Aus heutiger Sicht hat sich dieser Ansatz als Irrweg erwiesen. Anhand der Schädelverformung kann nicht zweifelsfrei auf die Größe des darunterliegenden Hirngewebes geschlossen werden. Des Weiteren haben die Phrenologen mit psychischen Funktionen und Charaktereigenschaften gearbeitet, die schwer bis gar nicht operationalisierbar sind; typische Beispiele sind: Spiritualität, Idealismus oder Hang zum Geld (Abb. 1-4).

Aus der Phrenologie ist die **Kraniometrie** („Lehre von der Schädelvermessung“) hervorgegangen, die als Werkzeug der Rassenkunde pervertiert wurde. Sie wurde Anfang des 20. Jahrhunderts, v. a. im Zusammenhang mit rassistischen Theorien, populär. Kranimetrische Vermessungen waren in der Anthropologie und Ethnologie weit verbreitet. Heutzutage werden sie, außer bei der Beurteilung von tierischen Schädelknochen, nur noch in der Archäologie eingesetzt, um Erkenntnisse über die Evolution der menschlichen Spezies zu gewinnen.

Obwohl die Phrenologie als wissenschaftlicher Irrweg der Neurowissenschaften bewertet werden kann, hat diese Disziplin ihre Spuren hinterlassen und äußert sich in dem Versuch, psychische Funktionen bestimmten Hirngebieten zuzuordnen (**Lokalisationsansatz**). Bedeutend waren die Fallbeschreibungen der Neurologen Paul Broca und Carl Wernicke. Beide belegten erstmalig, dass bestimmte Hirnfunktionen (Sprachexekution, Sprachwahrnehmung) an die Intaktheit bestimmter Hirngebiete gebunden sind. Sie begründeten damit die Tradition der präzisen neurologisch-neuropsychologischen Fallbeschreibungen, die insbesondere zu Beginn des 20. Jahrhunderts von Neurologen wie z. B. Karl Kleist (ein Schüler Wernickes) wei-

von lokalisierbaren Hirnstrukturen abhängen, sondern durch eine dynamische Organisation des gesamten Gehirns (oder einiger Teile) zu erklären sind.

Der Frankfurter Neurologe Kurt Goldstein hat eine ähnliche Interpretation der Hirnfunktionen vertreten. Er war der herausragende Kritiker eines an Hirnkarten Kleist'scher Prägung orientierten Verständnisses von Hirnfunktionen. In den Symptomen von Hirnverletzten sah er nicht nur die Funktionsausfälle, sondern auch den Versuch des Gesamtorganismus, bei läSIONsbedingt reduzierter Gehirnleistung ein neues biologisches Gleichgewicht zu finden. Ein weiterer wichtiger Beitrag Goldsteins ist die Betonung des **Netzwerkcharakters** des Gehirns. Hierbei wird das Gehirn als dynamisches Netzwerk aufgefasst, wobei verschiedene Hirngebiete interagieren, um bestimmte psychische Funktionen zu kontrollieren. Diese Sichtweise war durch die damals moderne Gestaltpsychologie motiviert („Das Ganze ist mehr als die Summe der Einzelteile.“).

Dieser holistische Ansatz wird durch eine Arbeit des kanadischen Psychologen Donald O. Hebb mit dem Titel *What Psychology is about* unterstützt (Hebb, 1974). Bekannt geworden ist Hebb durch seine Arbeiten zu Zellverbänden (cell assemblies) und deren durch Lernen bedingten Aufbau (Hebb-Synapse). Er hat darüber hinaus die **Aufgabe der Psychologie** definiert, die er in der Entwicklung eines objektiven Verständnisses psychischer Prozesse als eine integrative Leistung des Gehirns sieht. Hebb hielt fest, dass die Neuropsychologie nicht in der Lage sei, Menschen in schwierigen psychischen Situationen zu helfen, und eher ungeeignet, um den Menschen zu verstehen. Für die Klärung existenzieller menschlicher Fragen sind laut Hebb die Geisteswissenschaften (Literatur und Kunst) wichtig. Hebb, Lashleys und Goldsteins Denkansätze sind wichtige Beiträge zu modernen Konzepten in den Neurowissenschaften, die das Gehirn als

ein dynamisches, selbstorganisierendes System auffassen. Trotz der großen Fortschritte blieb die Neuropsychologie lange eine randständige psychologische und neurologische Disziplin.

Dies änderte sich mit der Entwicklung der **bildgebenden Verfahren** (Positronen-Emissions-Tomografie, PET; strukturelle Magnetresonanztomografie, sMRT; funktionelle Magnetresonanztomografie, fMRT), die neue Möglichkeiten zur Untersuchung des menschlichen Gehirns eröffneten. Das Faszinierende dieser Methoden besteht darin, dass individuelle Gehirne während bestimmter psychischer Tätigkeiten untersucht werden können und dies auf Hirnbildern festgehalten werden kann. Weitere wichtige Neuentwicklungen sind die Magnetenzephalografie (MEG), moderne EEG-Technologien sowie die transkranielle Magnet- (TMS) und die transkranielle Gleichstromstimulation (tDCS), mit denen von außen das Gehirn erregt oder gehemmt werden kann. Eine neue Methodenvariante der Neuropsychologie sind Verfahren, die einen direkten Dialog zwischen Mensch und Maschine ermöglichen (sogenannte Brain-Computer-Interface-Techniken, BCI). Hierzu wird in der Regel die elektrische Hirnaktivität in Form des Elektroenzephalogramms (EEG) genutzt und diese Signale werden nach entsprechender Vorverarbeitung wieder zurück zum Generator der Aktivität (dem Menschen) übermittelt, der mittels dieser Signale entweder sein Gehirn regulieren oder andere Maschinen oder Steuereinrichtungen manipulieren soll.

Mit dem Fortschreiten der kognitiven Neurowissenschaft hat sich auch ein zunehmendes Interesse an einem Kernproblem der Philosophie des Geistes entwickelt, dem Leib-Seele-Problem. Aus diesem Grund finden sich mittlerweile sehr häufig Beiträge von Neurowissenschaftlern zu Themen, die das Bewusstsein und den freien Willen betreffen.