

# Grundlagen der Neuropsychologie

Herausgegeben von

Prof. Dr. Hans J. Markowitsch, Bielefeld



Hogrefe · Verlag für Psychologie  
Göttingen · Bern · Toronto · Seattle

# Inhaltsverzeichnis

## 1. Kapitel: Zur Geschichte und Vorgeschichte der Neuropsychologie Von Michael Hagner

1	Einleitung	1
1.1	Literatur	2
2	Prähistorische Zeugnisse und altägyptische Medizin	3
3	Antike	5
3.1	Hippokratische Medizin	5
3.2	Die philosophische und physiologische Tradition	6
3.3	Die Entwicklung des medizinischen und physiologischen Wissens	8
4	Die mittelalterliche Ventrikellehre der geistigen Vermögen	12
5	Das Wissen vom Gehirn in der frühen Neuzeit	17
5.1	Die Anatomie in der Renaissance	17
5.2	Das Wissen der medizinischen Praktiker und erste experimentelle Untersuchungen	22
6	Descartes und die Folgen	24
6.1	Der psychophysische Dualismus bei Descartes	24
6.2	Philosophische und anatomische Kritik an Descartes	25
7	Das Seelenorgan in der Aufklärung	28
7.1	Lokalisierung und medizinische Praxis im späten 17. und 18. Jahrhundert	28
7.2	Experimentelle Hirnforschung im 18. Jahrhundert	31
7.3	Konsequenzen der physiologischen Innovationen für die Ätiologie der Hirnläsionen	34
7.4	Die Naturgeschichte der Seele	35
7.5	Das Ende vom Seelenorgan	37
7.6	Kants methodologischer Dualismus	38
8	Die Lokalisierung der geistigen Qualitäten	38
8.1	Gall und die Folgen	38
8.2	Anatomische Forschung und empirischer Skeptizismus	40
8.3	Anatomie, Physiologie und die romantische Naturphilosophie	42
8.4	Anti-Lokalisationismus in Frankreich	48
8.5	Aphasie und Lokalisation	50

9	Die klinische und experimentelle Durchsetzung der corticalen Lokalisation . . . .	52
9.1	Broca und die Folgen . . . . .	52
9.2	Die Evolutionsneurologie John Hughlings Jacksons . . . . .	53
9.3	Die Entwicklung der Lokalisationslehre in Deutschland . . . . .	56
9.4	Die Erregbarkeit der Hirnrinde . . . . .	58
9.5	Lokalisationslehre zwischen Anatomie und Psychologie . . . . .	63
10	Lokalisation und Anti-Lokalisation . . . . .	68
10.1	Die physiologische Psychologie . . . . .	68
10.2	Die Anfänge der Cytoarchitektonik . . . . .	71
10.3	Holistische Tendenzen ab 1900 . . . . .	73
10.4	Lokalisierung der Emotionen . . . . .	78
10.5	Lokalisation im Rahmen der Neurochirurgie . . . . .	79
11	Der Schritt zur „Neuropsychologie“ . . . . .	81
	Literatur . . . . .	83

## 2. Kapitel: Funktionelle Anatomie des Nervensystems: Anmerkungen zur strukturellen Grundlage der Neuropsychologie Von Bruno Preilowski

1	Einleitung . . . . .	103
1.1	Probleme interdisziplinärer Grenzüberschreitungen . . . . .	104
1.2	Wissenschaftstheoretische und philosophische Aspekte . . . . .	106
1.3	Die Gehirnmaschine . . . . .	108
2	Struktur und Funktion . . . . .	110
2.1	Gibt es das anatomische Substrat einer elementaren Einheit des Verhaltens? . . . . .	110
2.2	Die Bauteile des Nervensystems und Gehirns . . . . .	111
2.2.1	Neurone . . . . .	111
2.2.2	Gliazellen . . . . .	118
2.2.3	Interstitium . . . . .	119
2.3	Gruppierungen von Nervenzellen und ihren Fortsätzen . . . . .	120
2.3.1	Kern- und Schichtstrukturen . . . . .	121
2.3.2	Verbindungen zwischen Kern- und Schichtstrukturen . . . . .	122
2.4	Erste Schlußfolgerungen bezüglich funktioneller Prinzipien . . . . .	124
2.5	Struktur und Funktion des Cortex Cerebri . . . . .	125
2.5.1	Makromorphologie: Lobi, Gyri und Sulci . . . . .	126
2.5.2	Mikromorphologie: Cytoarchitektonische Unterteilungen . . . . .	127
2.5.3	Nervenfaserverbindungen des Marklagers . . . . .	133
2.5.4	Intracortiale Organisation . . . . .	140
2.5.5	Funktionelle Organisation des Cortex cerebri . . . . .	142
2.5.6	Neuere Vorstellungen zur funktionellen Neuroanatomie des Cortex . . . . .	144
2.6	Plastische Veränderungen im Nervensystem . . . . .	158
2.6.1	Plastizität im erwachsenen Nervensystem . . . . .	159

2.6.2	Gibt es Unterschiede in der Plastizität zwischen dem sich entwickelnden und dem erwachsenen Nervensystem? .....	161
2.6.3	Grundlagen der Plastizität .....	166
3	Abschließende Bemerkungen .....	169
4	Zusammenfassung .....	172
	Literatur .....	172

### 3. Kapitel: Analyse des Verhaltens Von Hans Welzl

1	Einleitung .....	181
2	Verhalten als Untersuchungsgegenstand in der Psychologie .....	182
2.1	Verhalten und Biologische Psychologie .....	184
2.2	Verhalten und Neuropsychologie .....	185
2.3	Untersuchungsgegenstand von Verhaltensuntersuchungen .....	186
2.3.1	Versuchsobjekt .....	186
2.3.2	Verhaltensweise .....	187
3	Methoden zur Analyse des Verhaltens .....	188
3.1	Reflexe und motorische Koordination .....	189
3.1.1	Reflexe .....	189
3.1.2	Motorische Koordination .....	191
3.2	Motorische Aktivität .....	192
3.2.1	Spontane lokomotorische Aktivität .....	193
3.2.2	Explorationsverhalten .....	197
3.2.3	Pathologisches motorisches Verhalten .....	200
3.3	Wahrnehmung .....	205
3.3.1	Reflexhafte Reaktionen auf sensorische Stimuli .....	205
3.3.2	Erlernte Reaktionen auf sensorische Stimuli .....	206
3.3.3	Pathologie der Wahrnehmung: Neglektssyndrom .....	207
3.4	Emotionales Verhalten: Ängstlichkeit .....	207
3.5	Motivationales Verhalten: Nahrungsaufnahme .....	209
3.6	Sozialverhalten: Aggressives Verhalten .....	213
3.7	Belohnung („reward“) .....	215
3.8	Aufmerksamkeit .....	217
3.9	Lernen und Gedächtnis .....	218
3.9.1	Habituation und Sensitivierung .....	219
3.9.2	Klassische Konditionierung .....	220
3.9.3	Operante Konditionierung .....	223
3.9.4	Aktives und passives Vermeidungslernen .....	225
3.9.5	Diskriminationslernen .....	226
4	Diskussion .....	230
	Literatur .....	233

## 4. Kapitel: Zugänge zur morphologischen Beschreibung des Gehirns

### Von Wolfgang Guldin

1	Grundlegende Techniken der Neuroanatomie .....	253
1.1	Die Aufarbeitung von Hirngewebe .....	253
1.1.1	Die Perfusion .....	253
1.1.2	Fixierung des Gewebes .....	254
1.1.3	Herstellung von Hirnschnitten .....	255
1.2	Klassische Methoden zur Färbung von Hirnschnitten .....	258
1.2.1	Die Golgi-Technik .....	258
1.2.2	Die HE-Färbung .....	259
1.2.3	Die Nisslfärbung .....	259
1.2.4	Die Faserfärbung .....	260
2	Klassische Methoden der Hirnkartierung .....	262
2.1	Die Methode der zytoarchitektonischen Beschreibung der Hirnrinde ....	262
2.2	Die Methode der myeloarchitektonischen Beschreibung der Hirnrinde ..	265
2.3	Die Bedeutung der kortikalen Felderung für die Erforschung der Hirnrinde .....	267
3	Das Mikroskop in der Neurowissenschaft .....	267
3.1	Das Lichtmikroskop .....	267
3.1.1	Das Hellfeld-Durchlicht-Mikroskop .....	268
3.1.2	Das Auflichtmikroskop .....	268
3.1.3	Das Dunkelfeldmikroskop .....	268
3.1.4	Phasenkontrast und Interferenzkontrast .....	268
3.1.5	Die Polarisationsmikroskopie .....	269
3.1.6	Das Fluoreszenzmikroskop .....	269
3.1.7	Das konfokale Mikroskop .....	272
3.2	Die Elektronenmikroskopie als Werkzeug in der Neuroanatomie .....	273
3.2.1	Das Transmissionselektronenmikroskop .....	274
3.2.2	Das Rasterelektronenmikroskop .....	275
3.2.3	Präparation des histologischen Materials für die Elektronenmikroskopie .....	276
3.2.4	Präparation des Gewebes für das Rasterelektronenmikroskop .....	276
4	Den „Schaltplan der Seele“ sichtbar machen: Methoden zur Aufklärung der Verschaltung des Gehirns .....	277
4.1	Die Läsionsmethode .....	278
4.1.1	Die retrograde Degeneration .....	278
4.1.2	Die Marchi Silberfärbung zum Nachweis der anterograden Degeneration .....	278
4.2	Das Sichtbarmachen der Verschaltung des Gehirns mit Hilfe neuronaler Spurstoffe .....	279
4.2.1	Das prinzipielle Vorgehen bei der Spurstoffmethode .....	280
4.2.2	Der enzymatische Nachweis von Spurstoffen .....	282
4.2.3	Der autoradiographische Nachweis von Spurstoffen .....	283
4.2.4	Der immunologische Nachweis von Spurstoffen .....	284
4.2.5	Andere Spurstoffe .....	284

4.2.6	Transneuronalen Spurstoffe	287
4.2.7	Retroviren als Spurstoffe	288
4.2.8	Diffusionsspurstoffe	289
5	Der Stoff aus dem die Seele ist oder wie lassen sich die an der Hirnfunktion beteiligten chemischen Vorgänge sichtbar machen?	289
5.1	Die Histofluoreszenzmethode bei biogenen Monoaminen: Formalininduzierte Fluoreszenz	290
5.2	Die immunochemischen Methoden	292
5.2.1	Die Antikörper	293
5.2.2	Die Herstellung von Antikörpern	294
5.2.3	Monoklonale Antikörper	295
5.2.4	Über den Einsatz von Antikörpern in der Neuroanatomie	296
5.2.5	Markierstoffe	299
5.2.6	Die Spezifität von Antikörpern	300
5.3	Rezeptorbindungsstudien	301
6	Sichtbarmachen von Hirnfunktionen	303
6.1	Die 2-Deoxyglukose-Methode	303
6.2	Die Cytochromoxydasefärbung	304
6.3	In-situ-Hybridisierung	305
7	Neue Trends in der neuroanatomischen Forschung	306
	Literatur	308

## 5. Kapitel: Eingriffe in Aufbau und Arbeitsweise des Gehirns Von Wolfgang Guldin

1	Historisches	321
1.1	Die Lokalisationslehre	322
2	Die Läsionsmethode	323
2.1	Läsionen im ZNS	323
2.2	Nicht-selektive irreversible Läsionen	325
2.2.1	Mechanische Läsionen	325
2.2.2	Elektrolytische Läsionen	326
2.2.3	Thermoläsionen	326
2.2.4	Andere Methoden	327
2.3	Nicht-selektive reversible Läsionen	328
2.3.1	Spreading Depression	328
2.3.2	Kühlung	329
2.3.3	Lokalanästhesie	330
2.4	Selektive nicht reversible Läsionen	330
2.4.1	Exzitotoxische Aminosäuren	330
2.4.2	Neurotoxische Monoamine	334
2.4.3	Spezifische Neurotoxine	336
2.4.4	Andere Mittel zur Erzeugung selektiver reversibler Läsionen	338
2.5	Anwendungen der Läsionsmethode im Tierexperiment	338
2.5.1	Generelles Vorgehen beim Läsionsversuch	339
2.5.2	Über die Stereotaxie	342

2.6	Spezielle Läsionen von Faserverbindungen	343
2.6.1	Die Lobotomie	343
2.6.2	Split Brain	343
2.6.3	Encephale isolé und Cerveau isolé	344
2.7	Tiermodelle	345
2.7.1	Die Parkinsonsche Erkrankung	345
2.7.2	Die Chorea Huntington	347
2.7.3	Andere Tiermodelle	347
3	Konstruktive Eingriffe in das ZNS	348
3.1	Transplantation von Hirngewebe	348
3.1.1	Anwendung der Hirntransplantation in Tiermodellen und Klinik	349
3.1.2	Ethische Fragen der Hirntransplantation	352
3.2	Gentechnische Veränderungen als Mittel der Hirnforschung	352
3.2.1	Transgene Tiere	353
3.2.2	Verpflanzung genchirurgisch manipulierten Gewebes zur Restaurierung von Hirnfunktionen	354
	Literatur	354

## 6. Kapitel: Einzelzelleitung

### Von Wolfgang Guldin

1	Die elektrischen Eigenschaften der Nervenzelle	364
1.1	Das Ruhepotential der Zelle	364
1.2	Das Aktionspotential der Nervenzelle	367
1.3	Die Weiterleitung der Aktionspotentiale im Zentralen Nervensystem	369
1.4	Informationsübertragung im Zentralen Nervensystem	369
2	Die Ableitung der elektrischen Aktivität von Nervenzellen	370
2.1	Die Mikroelektrode	371
2.1.1	Glaspipetten-Elektroden	371
2.1.2	Metallmikroelektroden	372
2.1.3	Herstellung von Metallelektroden	372
2.1.4	Andere Elektrodentypen	374
2.1.5	Mehrkanalelektroden	375
2.1.6	Büschelelektroden	375
2.2	Elektrische Eigenschaften der Mikroelektrode	375
2.3	Die Registrierung des extrazellulären Aktionspotentials	377
2.3.1	Akustische Überwachung der Ableitung	379
2.3.2	Störende Einflüsse bei der Einzelzellregistrierung	379
3	Aufarbeitung und Auswertung von Einzelzelldaten	382
3.1	Auswertung der Daten	384
3.1.1	Formen der Darstellung von Daten	384

4	Besondere Formen der Einzelzellregistrierung	386
4.1	Intrazelluläre Einzelzellableitung	386
4.2	Ionenselektive Elektroden	386
4.3	Fleckenklemme	387
4.4	Die optische Darstellung der Zellaktivität	388
5	Einzelzellableitung am wachen Tier	388
5.1	Probleme der Ableitung am wachen Tier	389
5.2	Arbeiten mit trainierten Tieren	390
5.3	Einzelzellregistrierung am wachen Menschen	391
5.4	Präparation für die chronische Ableitung	392
5.4.1	Pflege der Implantate	395
5.4.2	Sterotaxie	396
6	Über die Lokalisation der Ableitorte	396
6.1	Histologische Bestimmung des Ableitortes	397
6.1.1	Bestimmung des Ableitortes mit Hilfe von Markierstoffen	397
6.1.2	Andere Methoden zur Markierung des Ableitortes	398
7	Der Nutzen der Einzelzellableitung für die Psychologie	399
7.1	Die Unterscheidung verschiedener Aktivitätsmuster von Neuronen in verschiedenen Untereinheiten des ZNS	399
7.2	Die ursächliche Zuordnung der Zellaktivitäten zu sensorischen Reizen oder motorischen Aktionen	400
7.3	Beschreibung der Zellaktivität im Zusammenhang mit Erkennungsprozessen	402
7.4	Beschreibung der Zellaktivität im Zusammenhang mit der Planung komplexer Bewegungsabläufe	403
7.5	Aufzeichnung von Zellaktivitäten die mit kognitiven Prozessen einhergehen	403
7.6	Beispiele relevanter Einzelzellarbeiten	403
7.6.1	Zellaktivität während der Mustererkennung (zu 7.3)	403
7.6.2	Einzelzellaktivität während Greifbewegungen (zu 7.4)	407
7.6.3	Einzelzellaktivität im Zusammenhang mit der Lösung einer Aufgabe (zu 7.5)	410
7.7	Einzelzellableitung und Verhalten	414
	Literatur	415

## 7. Kapitel: Psychophysische und elektrophysiologische Untersuchungsmethoden Von Wolfgang Skrandies

1	Einleitung	423
2	Subjektive sinnesphysiologische Methoden: Psychophysik	426
3	Elektrophysiologische Methoden: Physiologische und technische Grundlagen	429
3.1	Physiologische Voraussetzungen für die Ableitung elektrischer Aktivität	429
3.2	Technische Voraussetzungen für die Ableitung elektrischer Aktivität	431



4	Zentralnervöse Aktivität	432
4.1	Spontane Hirnaktivität: Elektroenzephalogramm (EEG)	432
4.1.1	Allgemeine Grundlagen des EEG	432
4.1.2	EEG-Reaktivität und Orientierungsreaktion	437
4.2	Reaktionen auf Sinnesreize: Evozierte Potentiale (EPs)	441
4.2.1	Methodische Voraussetzungen	441
4.2.2	Somatosensorisch evozierte Potentiale: Mechanorezeption und Schmerz	444
4.2.3	Akustisch evozierte Potentiale	449
4.2.4	Olfaktorisch und gustatorisch evozierte Potentiale	452
5	Neuronale Aktivität und Wahrnehmung: Visuelle Informationsverarbeitung	454
5.1	Physiologische Grundlagen visuell evozierter Aktivität	454
5.2	Aktivität der Netzhaut	456
5.2.1	Das Helligkeits-Elektroretinogramm	456
5.2.2	Das Muster-Elektroretinogramm	460
5.3	Wahrnehmung und visuelle Aktivität: Effekte von Netzhautort und physikalischen Reizparametern	461
5.4	Das Zeitverhalten des Visuellen Systems	466
5.5	Topologische Zuordnung von evozierter Aktivität	466
5.6	Psychophysik und Elektrophysiologie des Stereosehens	470
6	Zusammenfassung und Ausblick	475
7	Literatur	477

## 8. Kapitel: Pharmakologische Eingriffe: Konzepte, Strategien und Probleme Von Martin Sarter

1	Von anatomischen und elektrophysiologischen Ansätzen zu Transmitter- bezogenen Eingriffen und Messungen	487
2	Transmitter, Modulatoren und Neurohormone	489
3	Rezeptoren und postsynaptische Transduktionsprozesse	492
4	Pharmakologische Eingriffe	494
4.1	Interpretationsprobleme hinsichtlich der Effekte direkter Rezeptor-Agonisten	494
4.2	Rezeptorblockade und intrinsische Aktivität	497
5	<i>In vivo</i> -Messungen der Aktivitätsveränderungen von Neurotransmittersystemen	498
6	Transsynaptische Analyse der kognitiven Funktionen cholinergischer kortikaler Afferenzen – eine Fallstudie	499
6.1	GABA-cholinerge Interaktion im basalen Vorderhirn	501
6.2	Transsynaptische Modulation der kortikalen Acetylcholinfreisetzung	503
6.2.1	Effekte von Benzodiazepin-Rezeptor-Agonisten	503

6.2.2 Effekte von Benzodiazepin-Rezeptor-Inversagonisten .....	504
6.3 Kognitive Funktionen der kortikalen Acetylcholin-Freisetzung .....	506
7 Schlußbemerkungen .....	506
Literatur .....	507

## 9. Kapitel: Tiermodelle in der Neuropsychologie

### Von Godehard Weniger und Eva Irle

1 Einleitung .....	517
1.1 Historische Perspektiven von Tiermodellen in der Psychologie .....	517
1.2 Problemstellung: Explikation des Argumentationsrahmens .....	519
2 Der Modellbegriff in den Wissenschaften und Isomorphie .....	521
2.1 Der Modellbegriff in den Wissenschaften .....	521
2.2 Tiermodelle in der Neuropsychologie .....	526
3 Relevante Modellrelationen zwischen Mensch und Tier .....	536
3.1 Neuroanatomischer Vergleich zwischen Mensch und Tier .....	537
3.2 Tierisches versus menschliches Verhalten .....	542
3.3 Relation zwischen Gehirn und Verhalten .....	544
3.4 Problematische Konstrukte .....	558
4 Validität von Tierexperimenten für den Menschen .....	564
4.1 Modellimmanente Validität von Tierexperimenten .....	564
4.2 Transfervalidität von Tierexperimenten .....	568
5 Darstellung paradigmatischer Bereiche von Tiermodellen .....	572
5.1 Theorien für Gedächtnis und Demenz .....	572
5.2 Modelle für Amnesie .....	580
5.3 Modelle für Demenz und Alterungsprozesse .....	587
5.4 Probleme der Modelle für Amnesie und Demenz .....	589
6 Zusammenfassung .....	600
Literatur .....	603

## 10. Kapitel: Bildgebende Verfahren

### Von Karl Herholz und Walter Heindel

1 Überblick .....	635
2 Methoden .....	638
2.1 Computertomographie (CT) .....	638
2.2 Kernspintomographie (MRI) .....	641
2.3 Kernspinspektroskopie (MRS) .....	644
2.4 Positronen-Emissions-Tomographie (PET) .....	649
2.5 SPECT .....	653
2.6 Morphometrie .....	654

2.7 Regionale Quantifizierung	656
3 Praktische Anwendbarkeit und Risiken	658
3.1 CT	658
3.2 MRI und MRS	659
3.3 PET und SPECT	660
4 Untersuchung von gesunden Probanden	661
4.1 Durchblutung und Stoffwechsel	661
4.2 Altersabhängige Veränderungen	662
4.2.1 Reifung des ZNS	662
4.2.2 Altersveränderungen	664
4.3 Geschlecht, Händigkeit und Hirnasymmetrie	665
4.4 Funktionelle Systeme und ihre Aktivierung	666
4.4.1 Regionale vs. globale Aktivierung	668
4.4.2 Visuelles System und räumliche Orientierung	669
4.4.3 Auditives System und Sprachfunktionen	670
4.4.4 Gedächtnis und Lernen	672
4.4.5 Sensomotorisches System	674
5 Untersuchung von Patienten	675
5.1 Angeborene Mißbildungen und genetische Störungen	675
5.2 Perinatale Schädigung	677
5.3 Kindliche Entwicklungsverzögerung und Teilleistungsstörungen	678
5.4 Epilepsie	679
5.5 Demenz	681
5.6 Erworbene fokale Hirnläsionen	684
5.6.1 Blutungen, ischämische Infarkte und Tumoren	685
5.6.2 Aphasie	686
5.6.3 Trauma	687
5.6.4 Encephalomyelitis disseminata	688
5.7 Psychische Erkrankungen	691
5.8 Medikamentöse und neurotoxische Veränderungen	695
6 Zusammenfassung	697
Literatur	697

## 11. Kapitel: Netzwerktheorien der Informationsspeicherung Von Wolfgang Klimesch

1 Einleitung: Encodierung, Netzwerke und neuronale Struktur	725
2 Traditionelle Netzwerktheorien	727
2.1 Grundbegriffe	727
2.2 Ein Überblick zu verschiedenen Arten von Netzwerkmodellen	730
2.3 Netzwerkmodelle zum Faktenabruf	732
2.4 Traditionelle Netzwerkmodelle zum semantischen Gedächtnis	737
3 Das Vernetzungsmodell	740

4	Zur Lokalisation unterschiedlicher Netzwerksysteme .....	746
4.1	Das Speicher- und Monitornetzwerk .....	747
4.2	Hippocampale „Indizierung“ und episodisches Gedächtnis .....	748
4.3	Kortex, Langzeitgedächtnis und semantische Information .....	751
5	Die Repräsentation eines Codes im neuronalen Netz .....	753
5.1	Engramm und distribuierte Codes .....	753
5.2	Elementare Eigenschaften des neuronalen Netzes .....	755
5.3	„Weichenstellungen“ im Netzwerk: Synaptische Modifikation .....	757
5.4	Kortikale Module als funktionale Einheiten im Kortex .....	759
5.5	Zur neuronalen Implementation von Netzwerktheorien .....	760
6	Schlußbemerkungen: Spezifisches oder diffuses Netzwerk? .....	763
	Literatur .....	765
	Autorenregister .....	771
	Sachregister .....	799