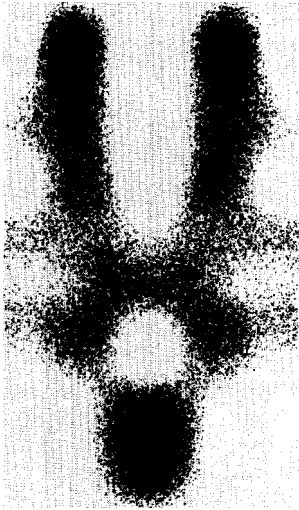


vom Neuron zum Gehirn

Zum Verständnis der
zellulären und molekularen
Funktion des Nervensystems



John G. Nicholls
A. Robert Martin
Bruce G. Wallace

Übersetzt aus dem Amerikanischen
von:
Monika Niehaus-Osterloh
Andrea Bibbig

Wissenschaftliche Beratung:
Eberhard von Berg

Mit einem Geleitwort von
Sir Bernhard Katz

Mit 372 meist farbigen Abbildungen und 5 Tabellen



Gustav Fischer Verlag
Stuttgart • Jena • New York • 1995

Kurzes Inhaltsverzeichnis

Teil 1: Eigenschaften von Neuronen und Glia	
Kapitel 1: Einführung: Signalanalyse im Nervensystem	3
Kapitel 2: Membrankanäle und Signalentstehung	20
Kapitel 3: Ionale Grundlagen des Ruhepotentials	46
Kapitel 4: Ionale Basis des Aktionspotentials	60
Kapitel 5: Neuronen als Leiter von Elektrizität	79
Kapitel 6: Eigenschaften und Funktionen von Neurogliazellen	95
Teil 2: Kommunikation zwischen erregbaren Zellen	
Kapitel 7: Prinzipien der synaptischen Übertragung	121
Kapitel 8: Indirekte Mechanismen der synaptischen Übertragung	154
Kapitel 9: Zelluläre und molekulare Biochemie der synaptischen Übertragung	176
Kapitel 10: Identifizierung und Funktion von Transmittem im Zentralnervensystem	204
Teil 3: Entwicklung und Regeneration im Nervensystem	
Kapitel 11: Neuronale Entwicklung und die Bildung von synaptischen Verbindungen	225
Kapitel 12: Denervierung und Regeneration synaptischer Verbindungen	257
Teil 4: Integrative Mechanismen	
Kapitel 13: Blutegel und <i>Aplysia</i> : Zwei einfache Nervensysteme	281
Kapitel 14: Transduktion und Verarbeitung sensorischer Signale	310
Kapitel 15: Motorische Systeme	344
Teil 5: Das visuelle System	
Kapitel 16: Retina und Corpus geniculatum laterale	373
Kapitel 17: Der visuelle Cortex	401
Kapitel 18: Genetische und umweltbedingte Einflüsse auf das visuelle System von Säugern	433
Teil 6: Schlußfolgerungen	
Kapitel 19: Perspektiven	453
Anhang A: Stromfluß in elektrischen Schaltkreisen	461
Anhang B: Stoffwechselbahnen für die Synthese und Inaktivierung von Transmittern mit niedrigem Molekulargewicht	468
Anhang C: Strukturen und Bahnen im Gehirn	475

Inhaltsverzeichnis

Geleitwort von Sir Bernard Katz	VI
Vorwort der Autoren zur deutschen Auflage	VII
Danksagung	XV
Die Autoren	XVI

Teil 1: Eigenschaften von Neuronen und Glia

Kapitel 1: Einführung: Signalanalyse im Nervensystem			
Vom neuronalen Signal zur Wahrnehmung		Signale in einem einfachen Reflexbogen	3
Wie überträgt ein einzelnes Neuron Information?		Neuronen, die an einem Dehnungsreflex beteiligt sind	10
Die neuronalen Verbindungen entscheiden über die Bedeutung elektrischer Signale		Wie trägt ein Neuron verschiedenen konvergierenden Einflüssen Rechnung?	11
Neuronale Signale und höhere Funktionen		Hintergrundinformationen über neuronale Strukturen	11
Hintergrundinformationen über elektrische Signale		Formen und Verbindungen von Neuronen	12
Stromfluß in Nervenzellen		Synapsenstruktur	15
Ableitungstechniken zur Registrierung elektrischer Aktivität in Nervenzellen		Neuronale Anordnung von Verbindungen am Beispiel der Retina	15
Signaltypen		Box 2: Zusammenfassung von wichtigen Arbeitstechniken und Fachausdrücken	17
Box 1: Ein Hinweis zur Nomenklatur			
Eigenschaften von lokalen Potentialen und Aktionspotentialen			
Kapitel 2: Membrankanäle und Signalentstehung			20
Eigenschaften von Kanälen	21	Der nicotinic Acetylcholinrezeptor	30
Nomenklatur	23	Box 2: Wie man Rezeptoren und Kanäle kloniert	31
Direkte Messungen von Einzelkanalströmen	23	Rezeptor-Überfamilien	35
«Kanalrauschen»	23	Der spannungsaktivierte Natriumkanal	37
Box 1: Rauschanalyse: Eine indirekte Messung von Kanal-Leitfähigkeit und Offenzeit	26	Box 3: Klassifizierung von Aminosäuren	38
Leitfähigkeit von Kanälen	27	Vielfalt ligandenaktivierter Ionenkanäle	37
Gleichgewichtspotential	28	Der spannungsaktivierte Natriumkanal	37
Leitfähigkeit und Permeabilität	29	Box 4: Expression von Rezeptoren und Kanälen in Xenopus-Oocyten	40
Ionenpermeation durch Kanäle	29	Andere spannungsaktivierte Kanäle	42
Kanalstruktur	30	Struktur und Funktion von Ionenkanälen	42
Kapitel 3: Ionale Basis des Ruhepotentials			46
Ionen, Membranen und elektrische Potentiale	47	Berechnete Werte für das Membranpotential	53
Die Nernst-Gleichung	48	Ein elektrisches Modell der Ruhmembran	54
Elektrische Neutralität	48	Welche Ionenkanäle spielen beim Ruhepotential eine Rolle?	55
Die Abhängigkeit des Ruhepotentials von der extrazellulären Kaliumkonzentration	48	Aktiver Transport von Ionen	55
Auswirkungen bei Änderung der extrazellulären Chloridkonzentration	49	Die Na-K-Pumpe	55
Membranpotentiale realer Zellen	50	Experimentelle Beweise für eine elektrogene Pumpe	56
Einfluß der Natriumpermeabilität	50	Aktiver Transport von Chlorid und Hydrogencarbonat	56
Die Goldman-Gleichung	52	Sekundärer aktiver Transport	57
Aktiver Transport und die Fließgleichgewichtsgleichung	52	Chloridtransport in die Zelle	58
Anteil des Transportsystems am Membranpotential	53	Regulation der intrazellulären Calciumkonzentration	58
Chloridverteilung	53	Umkehr des Natrium-Calcium-Austausches	58
Kapitel 4: Ionale Basis des Aktionspotentials			60
Natrium und das Aktionspotential	60	Box 1: Die voltage clamp-Methode	63
Die Rolle der Kaliumionen	61	Kapazitive Ströme und Leckströme	64
Wieviele Ionen wandern während eines Aktionspotentials in die Zelle ein bzw. aus der Zelle aus?	61	Natrium- und Kaliumströme	64
Voltage clamp-Experimente	62	Abhängigkeit der Ionenströme vom Membranpotential	64

Selektive Gifte für Natrium- und Kaliumkanäle	66	Antwort einzelner Natriumkanäle auf Depolarisation	73
Inaktivierung des Natriumstroms	67	Kinetische Modelle der Kanalaktivierung und Inaktivierung	74
Natrium- und Kalium-Leitfähigkeiten als Funktion des Membranpotentials	70	Kanaleigenschaften im Zusammenhang mit dem Aktionspotential	75
Natrium- und Kalium-Leitfähigkeiten als Funktion der Zeit	70	Calciumionen und Erregbarkeit	76
Rekonstruktion des Aktionspotentials	71	Calciumkanäle	76
Schwelle und Refraktärperiode	72	Calcium-Aktionspotentiale	77
Torströme	72	Kaliumkanäle	77
Kapitel 5: Neuronen als Leiter von Elektrizität	79		
Passive elektrische Eigenschaften von Nerven- und Muskelmembranen	79	Box 2: Reizung und Ableitung mit extrazellulären Elektroden	88
Spezifische Widerstandseigenschaften von Membran und Axoplasma	82	Box 3: Klassifizierung von Nervenfasern bei Wirbeltieren	89
Auswirkung des Durchmessers auf die Kabeleigen- schaften	82	Leitungsgeschwindigkeit myelinisierter Fasern	89
Membrankapazität	83	Kanalverteilung in myelinisierten Fasern	90
Zeitkonstante	84	Formeneinflüsse auf die neuronale Leitung	90
Box 1: Elektrotonische Potentiale und Membranzeit- konstante	85	Pfade für den Stromfluß zwischen Zellen	91
Fortleitung von Aktionspotentialen	85	Strukturelle Basis für die elektrische Kopplung: gap junctions	91
Myelinisierte Nerven und saltatorische Erregungs- leitung	87	Die Bedeutung der Kopplungen von Zellen	92
Kapitel 6: Eigenschaften und Funktion von Neurogliazellen	95		
Aussehen und Klassifikation von Gliazellen	96	Stromfluß und Kaliumbewegung durch Gliazellen ..	107
Charakterisierung von Gliazellen durch immunologische Techniken	98	Beitrag von Gliazellen zum Elektoretinogramm und zum Elektroencephalogramm	107
Strukturelle Beziehungen zwischen Neuronen und Glia	100	Box 1: Die Blut-Hirn-Schranke	108
Physiologische Eigenschaften der Neuroglia-Zell- membranen	101	Gliazellen und das Flüssigkeitsmilieu rund um die Neuronen	110
Einfache Präparationen zur intrazellulären Ableitung aus Gliazellen	102	Zur Funktion der Neurogliazellen	111
Membranpotentiale von Gliazellen	102	Myelin und die Rolle der Neurogliazellen bei der axonalen Leitung	112
Abhängigkeit des Membranpotentials von Kalium	102	Gliazellen und die Bildung von neuronalen Verbindungen	113
Ionenkanäle, Pumpen und Rezeptoren in Gliazell- membranen	103	Molekulare Wechselwirkungen zwischen Gliazellen und Neuronen während der Entwicklung	115
Das Fehlen von regenerativen Antworten oder Impulsen	104	Die Rolle der Satellitenzellen bei Reparatur und Regeneration	115
Elektrische Kopplung zwischen Gliazellen	104	Welche direkten Wirkungen haben Gliazellen auf die neuronale Signalverarbeitung?	117
Ein Signalsystem von den Neuronen zu den Gliazellen	104	Astrocyten und Gehirndurchblutung: Eine Spekulation	117
Kaliumfreisetzung als Vermittler der Wirkung von Nervensignalen auf Gliazellen	106	Gliazellen und Immunantworten des ZNS	117
Teil 2: Kommunikation zwischen erregbaren Zellen			
Kapitel 7: Prinzipien der synaptischen Übertragung	121		
Erste Annäherungen	122	Die Bedeutung des Umkehrpotentials	129
Elektrische und chemische Übertragung	122	Ein elektrisches Modell der motorischen Endplatte	130
Elektrische Übertragung an Synapsen	123	Die Kinetik der Ströme durch einzelne ACh- Rezeptorkanäle	131
Die chemische synaptische Übertragung	124	Synaptische Hemmung	134
Die Struktur der Synapsen	124	Umkehr von hemmenden Potentialen	134
Synaptische Potentiale an Nerv-Muskel- Verbindungen	126	Die ionale Basis der inhibitorischen Potentiale	134
Lokale Applikation von ACh	128	Präsynaptische Inhibition	135
Messung von Ionenströmen, die von ACh hervor- gerufen werden	128	Durch einen Kationenkanal vermittelte Inhibition	136
		Direkt wirkende Neurotransmitter	136

Indirekte synaptische Aktivierung	137	Die Molekülanzahl in einem Quant	148
Die Ausschüttung chemischer Transmitter.	137	Die von einem Quant aktivierte Anzahl von Kanälen	148
Synaptische Verzögerung	138	Veränderungen der mittleren Quantengröße an der neuromuskulären Verbindung	149
Belege dafür, daß der Calciumeinstrom für die Freisetzung erforderlich ist	138	Nicht-gequantelte Freisetzung	150
Lokalisation der Stellen des Calciumeintritts	143	Bahnung und Depression der Transmitterausschüttung	150
Spielt die Depolarisation eine direkte Rolle bei der Freisetzung?	143	Die Rolle von Calcium bei der Bahnung	151
Gequantelte Freisetzung?	144	Posttetanische Potenzierung	151
Statistische Fluktuationen des Endplattenpotentials	145		
Die allgemeine Bedeutung der gequantelten Transmitterfreisetzung	148		
Kapitel 8: Indirekte Mechanismen der synaptischen Übertragung.	154		
Modulation der synaptischen Übertragung	155	G-Protein-Aktivierung cAMP-abhängiger Protein-kinase	163
Neuromodulation an der neuromuskulären Verbindung	155	Aktivierung von Phospholipase C durch G-Protein	167
Neuromodulation in sympathischen Ganglien	156	Box 2: Cyclisches AMP als second messenger.	168
Neuromodulation von Pyramidenzellen im Hippocampus	159	Aktivierung von Phospholipase A2 durch G-Proteine	169
Indirekt gekoppelte Rezeptoren und G-Proteine	160	Indirekt gekoppelte Rezeptoren modulieren Kalium- und Calciumkanäle	169
G-Proteine und G-Protein-gekoppelte Rezeptoren	160	Calcium als ein intrazellulärer second messenger	170
Box 1: Eigenschaften von Proteinrezeptor-Systemen	161	Box 3: Diacylglycerin und IP3 als sekundäre Botenstoffe.	172
Direkte Modulation der Kanalfunktion durch ein G-Protein	162	Zeitverlauf der indirekten Transmitterwirkung	174
Kapitel 9: Zelluläre und molekulare Biochemie der synaptischen Übertragung.	176		
Identifizierung von Neurotransmittern	177	Morphologische Korrelate der vesikulären Freisetzung	191
Neurotransmittersynthese und Speicherung	180	Das Recycling der Vesikelmembran	192
Die Synthese von ACh.	181	Anordnung der Vesikel in der Nervenendigung	194
Die Synthese von Dopamin und Noradrenalin.	183	Die Rolle des Calciums bei der Vesikelfreisetzung	195
Die Synthese von 5-HT.	184	Transmitterrezeptoren	197
Die Synthese von Aminosäuretransmittern.	184	Die Verteilung der Rezeptoren	197
Langfristige Regulation der Transmittersynthese	185	Desensitisierung ist ein häufiges Merkmal der Transmitterwirkung	200
Die Synthese von Neuropeptiden.	185	Beendigung der Transmitterwirkung	201
Die Speicherung von Transmittern in synaptischen Vesikeln.	187	Die Beendigung der ACh-Wirkung durch Acetylcholinesterase.	201
Der axonale Transport	188	Andere Mechanismen zur Beendigung der Transmitterwirkung	202
Mikrotubuli und Transport	189		
Transmitterausschüttung und Vesikelrecycling	191		
Der Vesikelinhalt wird durch Exocytose freigesetzt	191		
Kapitel 10: Identifizierung und Funktion von Transmittern im Zentralnervensystem.	204		
Kartierung der Transmitterverteilung	205	Acetylcholin: Basalkerne im Vorderhirn	212
GABA und Glycin: Wichtige inhibitorische Transmitter im ZNS.	206	Cholinerge Neuronen, kognitive Fähigkeiten und die Alzheimer-Krankheit	213
GABAA- und GABA β -Rezeptoren.	207	Peptidtransmitter im ZNS.	214
Die Modulation der Funktion von GABAA-Rezeptoren durch Benzodiazepine und Barbiturate	207	Substanz P.	215
Glutamat: Ein wichtiger erregender Transmitter im ZNS.	208	Opioide Peptide.	215
Langfristige Veränderungen bei der Signalverarbeitung im Hippocampus.	209	Noradrenalin, Dopamin, 5-HT und Histamin als Regulatoren der ZNS-Funktion	217
Assoziative LTP in den Pyramidenzellen des Hippocampus.	210	Noradrenalin: Der Locus coeruleus.	217
NMDA-Rezeptoren vermitteln LTP.	211	5-HT: Die Raphe-Kerne.	218
		Histamin	219
		Dopamin: Die Substantia nigra	219

Teil 3: Entwicklung und Regeneration im Nervensystem

Kapitel 11: Neuronale Entwicklung und die Bildung von synaptischen Verbindungen.	225
Bildung des Nervensystems.	227
Substrate für die neuronale Migration.	229
Segmentale Entwicklung des Vertebraten-Rautenhirns.	229
Regulierung der neuronalen Entwicklung	230
Zellabstammung und induktive Wechselwirkungen in einfachen Nervensystemen.	230
Zellentwicklung im Säuger-ZNS.	232
Die Beziehung zwischen neuronalem Geburtstag und Zellentwicklung.	233
Einfluß lokaler Gegebenheiten auf die Cortexarchitektur.	234
Kontrolle des neuronalen Phänotyps im peripheren Nervensystem.	234
Hormonale Kontrolle der Entwicklung.	236
Mechanismen des Auswachsens und der Leitung von Axonen	236
Wachstumskegel und Axonwachstum.	237
Neuronale Adhäsionsmoleküle.	238
Adhäsionsmoleküle der extrazellulären Matrix.	239
Kapitel 12: Denervierung und Regeneration synaptischer Verbindungen.	257
Auswirkungen einer Axotomie.	257
Wirkungen der Denervierung auf die post-synaptische Zelle.	259
Die denervierte Muskelfaser.	259
Das Auftreten neuer ACh-Rezeptoren.	259
Synthese und Abbau von Rezeptoren in denervierten Muskeln.	260
Rezeptorverteilung in Nervenzellen.	263
Denervierungs-Supersensitivität, Innervierungsbereitschaft und axonales Aussprossen	265
Synapsenbildung in denervierten Muskeln.	265
Vom Ziel stammende Chemoattraktoren.	241
Ortsabhängige Navigation.	243
Wegweiser-Neuronen und Zellen der Bodenplatte	243
Zielinnervierung	245
Synapsenbildung	247
Anfängliche synaptische Kontakte.	248
Akkumulation von ACh-Rezeptoren.	248
Kompetitive Wechselwirkungen während der Entwicklung	249
Neuronaler Zelltod.	249
Polyneuronal Innervierung.	249
Entdeckung von Wachstumsfaktoren	250
Identifizierung des Nervenwachstumsfaktors.	250
Der Einfluß des NGF auf das Neuritenwachstum	252
Trophische Wirkungen von NGF während der Embryonalentwicklung.	253
Aufnahme und retrograder Transport von NGF	253
Die Molekularbiologie der Wachstumsfaktoren	253
NGF im Zentralnervensystem.	254
Allgemeine Überlegungen zur neuronalen Spezifität	254
Denervierungsinduziertes Aussprossen von Axonen	265
Die Rolle der Basalmembran bei regenerierenden Synapsen.	266
Selektivität der Regeneration	270
Neuronale Regulation der Muskelfaser-Eigenschaften.	270
Spezifität der Regeneration im peripheren Nervensystem von Vertebraten.	271
Regeneration im ZNS von Evertrebraten.	271
Regeneration im ZNS niederer Vertebraten.	273
Regeneration im Säuger-ZNS.	273

Teil 4: Integrative Mechanismen

Kapitel 13: Blutegel und <i>Aplysia</i> : Zwei einfache Nervensysteme.	281
<i>Aplysia</i>	282
Das Zentralnervensystem von <i>Aplysia</i>	284
Der Blutegel.	285
Blutegelganglien: Semiautonome Einheiten.	287
Entwicklung des Nervensystems.	287
Bildung von Ganglien, Zielorganen und einzelnen Neuronen.	289
Analyse von Reflexen, die von einzelnen Neuronen vermittelt werden	291
Sinneszellen in Blutegel- und <i>Aplysia</i> -Ganglien.	291
Rezeptive Felder.	292
Motorische Zellen.	293
Interneuronen und neurosekretorische Zellen.	294
Kapitel 14: Transduktion und Verarbeitung sensorischer Signale.	310
Sensorische Nervenendigungen als Transducer.	312
Primäre und sekundäre Rezeptoren.	312
Mechanoelektrische Transduktion in Dehnungsrezeptoren: Das Rezeptorpotential.	313
Die Morphologie der Synapsen.	294
Synaptische Verbindungen sensorischer und motorischer Zellen.	295
Kurzzeitveränderungen der synaptischen Wirksamkeit.	298
Ungewöhnliche synaptische Mechanismen.	299
Höhere Integrationsebenen.	300
Habituation bei <i>Aplysia</i>	302
Sensitivierung bei <i>Aplysia</i>	302
Langzeit-Sensitivierung.	304
Regeneration von synaptischen Verbindungen beim Blutegel.	306
Identifizierte Neuronen in Kultur: Wachstum, Synapsenbildung und Modulation.	307
Dem Rezeptorpotential zugrundeliegende Ionenmechanismen.	314
Muskelspindelorganisation.	315
Adaptationsmechanismen in sensorischen Rezeptoren.	316

Adaptation im Pacini-Körperchen 317
Zentrifugale Kontrolle der Muskelrezeptoren 317
 Zentrifugale Kontrolle der Muskelspindeln 319
 Die Kontrolle der Dehnungsrezeptoren während der
 Bewegung 321
 Golgi-Sehnenorgane 323
 Gelenkstellung 323
 Somatosensorik 323
 Somatische Rezeptoren 323
 Zentrale Bahnen 323
 Rezeptive Felder 324
 Temperaturwahrnehmung 327
 Nociceptive Systeme und Schmerz 327
Das auditorische System 330
 Auditorische Transduktion 330

Kapitel 15: Motorische Systeme
Integration spinaler Motoneuronen 346
 Die motorische Einheit 346
 Synaptische Eingänge auf Motoneuronen 347
 Einzelne synaptische Potentiale in Motoneuronen 348
 Synaptische Integration 348
 Eigenschaften von Muskelfasern 349
 Das Größenprinzip 350
 Der Dehnungsreflex 351
 Der Flexorreflex 352
Supraspinale Kontrolle der Motoneuronen 352
 Medial-laterale Organisation der Motoneuronen 352
 Laterale motorische Bahnen 353
 Mediale motorische Bahnen 354
Das Cerebellum und die Basalganglien 355
 Ausgänge vom Cerebellum 356

Elektrische Transduktion in den Haarzellen 331
Box 1: Der Vestibularapparat 332
 Frequenzdiskriminierung im auditorischen System 332
 Elektrisches Tuning der Haarzellen in der Cochlea 333
 Efferente Regulation der Haarzellenantworten 334
 Elektromechanisches Tuning der Basilmembran 335
 Zentrale auditorische Verarbeitung 335
 Frequenzverschärfung 336
 Lautelemente 336
 Schallokalisation 339
Geruch und Geschmack 340
 Geschmackstransduktion 340
 Geruch 342
 Olfaktorische Transduktion 342

Eingänge ins Cerebellum 344
 Aufbau des Cortex cerebelli 357
 Die Basalganglien 358
Zelluläre Aktivität und Bewegung 359
 Aktivität corticaler Zellen während trainierter
 Bewegungen 359
 Beziehungen corticaler Zellaktivität zur Arm-
 bewegungsrichtung 360
 Zelluläre Aktivität in Kleinhirnkernen 360
 Zelluläre Aktivität in den Basalganglien 362
 Die Rolle des sensorischen Feedbacks bei
 Bewegungen 363
 Neuronale Kontrolle der Atmung -364
 Fortbewegung: Schritt, Trab und Galopp bei Katzen 366

Teil 5: Das visuelle System

Kapitel 16: Retina und Corpus geniculatum laterale
 Das Auge 374
 Anatomische Bahnen des visuellen Systems 374
Die Retina 376
 Photorezeptoren 376
 Morphologie und Anordnung der Photorezeptoren 376
 Sehpigmente 378
 Transduktion 379
 Elektrische Antworten auf Lichtreize 381
 Quantenantworten 382
 Zapfen und Farbsehen 383
 Bipolar-, Horizontal- und Amakrinzellen 385
 Der Begriff der rezeptiven Felder 388

Antworten von Bipolar- und Horizontalzellen 388
 Rezeptive Felder von Ganglienzellen 392
 Größe von rezeptiven Feldern 394
Box 1: Verbindungen von Stäbchen und Ganglienzellen über Bipolar- und Amakrinzellen 395
 Klassifikation der rezeptiven Felder von Ganglienzellen 396
 Wie sind Bipolar- und Amakrinzellen mit Ganglienzellen verschaltet? 397
 Welche Informationen liefern Ganglienzellen? 397
Corpus geniculatum laterale 398
 Funktionelle Bedeutung der Schichtung 398

Kapitel 17: Der visuelle Cortex
 Generelle Probleme und Zahlen 401
 Strategien bei der Untersuchung des Cortex 402
 Cytoarchitektur des Cortex 402
 Cytochromoxidase-gefärbte „blobs“ 404
 Eingänge, Ausgänge und Schichtung des Cortex 405
 Trennung der Eingänge aus dem Geniculatum in
 Schicht 4 405
 Corticale rezeptive Felder 408
 Funktionelle Eigenschaften von simple-Zellen 409
 Eigenschaften von complex-Zellen 411

Rezeptive Felder aus beiden Augen konvergieren auf
 corticale Neuronen 412
 Verbindungen zur Vereinigung der rechten und linken
 Gesichtsfelder 413
 Entwürfe für das Zustandekommen rezeptiver
 Felder 414
Box 1: Corpus callosum (Balken) 415
 Rezeptive Felder: Einheiten der Formenwahrnehmung 417
 Augendominanz- und Orientierungssäulen 421

Horizontalverbindungen zwischen den Säulen	423	Farbbahnen	427
Beziehung zwischen blobs und Säulen	425	Farbkonstanz	428
Verbindungen von Vi zu höheren visuellen Arealen	426	Box 2: Farbkonstanz	430
Farbsehen	427	Wohin führt der Weg von hier aus?	430
Kapitel 18: Genetische und umweltbedingte Einflüsse auf das visuelle System von Säugern	433	Kritische Phase für die Empfindlichkeit gegenüber einem Lidverschluß	439
Das visuelle System neugeborener Katzen und Affen	434	Erholung während der kritischen Phase	441
Anormale Verbindungen im visuellen System der Siamkatze	436	Bedingungen für die Aufrechterhaltung funktionierender Verbindungen im visuellen System: Die Rolle des Wettbewerbs	443
Albinismus	436	Binokularer Lidverschluß	443
Auswirkungen anormaler visueller Erfahrung	437	Auswirkungen von artifiziellem Schielen	443
Corticale Zellen nach monokularer Deprivation	437	Orientierungspräferenzen corticaler Zellen	444
Welche Bedeutung haben diffuses Licht und Form für die Aufrechterhaltung normaler Antworten	438	Auswirkungen der Impulsaktivität auf die Struktur	445
Morphologische Veränderungen im Corpus geniculatum laterale nach visueller Deprivation	438	Die Rolle synchronisierter Aktivität	447
Morphologische Veränderungen im Cortex nach visueller Deprivation	439	Sensorische Deprivation in frühen Lebensphasen	448

Teil 6: Schlußfolgerungen

Kapitel 19: Perspektiven	453	Die Bedeutung der Neurologie	455
Höhere Gehirnfunktionen	453	Perspektiven	458
Integration im visuellen System	454	Ungelöste Probleme	459
Motorische Integration	455		
Psychopharmakologie	455		

Anhang A: Stromfluß in elektrischen Schaltkreisen 461

Begriffe und Einheiten, die elektrische Stromkreise beschreiben 461

Ohmsches Gesetz und elektrischer Widerstand 462

Der Nutzen des Ohmschen Gesetzes beim Verstehen von Stromkreisen 462

Anwendung der Schaltkreisanalyse auf das Membranmodell 463

Elektrische Kapazität und Zeitkonstante 464

Anhang B: Stoffwechselbahnen für die Synthese und Inaktivierung von Transmittern mit niedrigem Molekulargewicht 468

Anhang C: Strukturen und Bahnen im Gehirn 475

Glossar 485

Bibliographie 492

Register 530