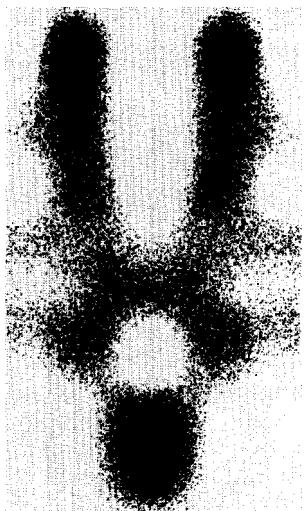


vom Neuron zum Gehirn



**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: Membrananäle 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 Transmittern 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	3
Vom neuronalen Signal zur Wahrnehmung	
Wie überträgt ein einzelnes Neuron Information?	
Die neuronalen Verbindungen entscheiden über die Bedeutung elektrischer Signale	
Neuronale Signale und höhere Funktionen	
Hintergrundinformationen über elektrische Signale	
Stromfluß in Nervenzellen	
Ableitungstechniken zur Registrierung elektrischer Aktivität in Nervenzellen	
Signaltypen	
Box 1: Ein Hinweis zur Nomenklatur	
Eigenschaften von lokalen Potentialen und Aktionspotentialen	
Kapitel 2: Membrankanäle und Signalentstehung	20
Eigenschaften von Kanälen	21
Nomenklatur	23
Direkte Messungen von Einzelkanalströmen	23
«Kanalrauschen»	23
Box 1: Rauschanalyse: Eine indirekte Messung von Kanal-Leitfähigkeit und Offenzeit	26
Leitfähigkeit von Kanälen	27
Gleichgewichtspotential	28
Leitfähigkeit und Permeabilität	29
Ionenpermeation durch Kanäle	29
Kanalstruktur	30
Kapitel 3: Ionale Basis des Ruhepotentials	46
Ionen, Membranen und elektrische Potentiale	47
Die Nernst-Gleichung	48
Elektrische Neutralität	48
Die Abhängigkeit des Ruhepotentials von der extrazellulären Kaliumkonzentration	48
Auswirkungen bei Änderung der extrazellulären Chloridkonzentration	48
Membranpotentiale realer Zellen	49
Einfluß der Natriumpermeabilität	50
Die Goldman-Gleichung	50
Aktiver Transport und die Fließgleichgewichts-Gleichung	52
Anteil des Transportsystems am Membranpotential	52
Chloridverteilung	53
Kapitel 4: Ionale Basis des Aktionspotentials	60
Natrium und das Aktionspotential	60
Die Rolle der Kaliumionen	61
Wieviele Ionen wandern während eines Aktionspotentials in die Zelle ein bzw. aus der Zelle aus?	61
Voltage clamp-Experimente	62
Signale in einem einfachen Reflexbogen	10
Neuronen, die an einem Dehnungsreflex beteiligt sind	11
Wie trägt ein Neuron verschiedenen konvergierenden Einflüssen Rechnung?	11
Hintergrundinformationen über neuronale Strukturen	12
Formen und Verbindungen von Neuronen	12
Synapsenstruktur	15
Neuronale Anordnung von Verbindungen am Beispiel der Retina	15
Box 2: Zusammenfassung von wichtigen Arbeitstechniken und Fachausdrücken	17
Der nicotinische Acetylcholinrezeptor	30
Box 2: Wie man Rezeptoren und Kanäle kloniert	31
Rezeptor-Überfamilien	35
Der spannungsaktivierte Natriumkanal	37
Box 3: Klassifizierung von Aminosäuren	38
Vielfalt ligandenaktivierter Ionenkanäle	37
Der spannungsaktivierte Natriumkanal	37
Box 4: Expression von Rezeptoren und Kanälen in Xenopws-Oocyten	40
Andere spannungsaktivierte Kanäle	42
Struktur und Funktion von Ionenkanälen	42
Berechnete Werte für das Membranpotential	53
Ein elektrisches Modell der Ruhmembran	54
Welche Ionenkanäle spielen beim Ruhepotential eine Rolle?	55
Aktiver Transport von Ionen	55
Die Na-K-Pumpe	55
Experimentelle Beweise für eine elektrogene Pumpe	56
Aktiver Transport von Chlorid und Hydrogen-carbonat	56
Sekundärer aktiver Transport	57
Chloridtransport in die Zelle	58
Regulation der intrazellulären Calciumkonzentration	58
Umkehr des Natrium-Calcium-Austausches	58
Box 1: Die voltage clamp-Methode	63
Kapazitive Ströme und Leckströme	64
Natrium- und Kaliumströme	64
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	74
Natrium- und Kalium-Leitfähigkeiten als Funktion des Membranpotentials	70	Inaktivierung	74
Natrium- und Kalium-Leitfähigkeiten als Funktion der Zeit	70	Kanaleigenschaften im Zusammenhang mit dem	75
Rekonstruktion des Aktionspotentials	71	Aktionspotential	75
Schwelle und Refraktärperiode	72	Calciumionen und Erregbarkeit	76
Torströme	72	Calciumkanäle	76
		Caldum-Aktionspotentiale	77
		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 Kableigenschaften	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 Membranzeitkonstante	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 Erregungsleitung	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 Elektroretinogramm und zum Elektroenzephalogramm	107
Strukturelle Beziehungen zwischen Neuronen und Glia	100	Box 1: Die Blut-Hirn-Schranke	108
Physiologische Eigenschaften der Neuroglia-Zellmembranen	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 Gliazellmembranen	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 hervorgerufen 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		
Neurotransmittersynthese und Speicherung	180	Morphologische Korrelate der vesikulären Freisetzung	191
Die Synthese von ACh	181	Das Recycling der Vesikelmembran	192
Die Synthese von Dopamin und Noradrenalin	183	Anordnung der Vesikel in der Nervenendigung	194
Die Synthese von 5-HT	184	Die Rolle des Calciums bei der Vesikelfreisetzung	195
Die Synthese von Aminosäuretransmittern	184	Transmitterrezeptoren	197
Langfristige Regulation der Transmittersynthese	185	Die Verteilung der Rezeptoren	197
Die Synthese von Neuropeptiden	185	Desensitisierung ist ein häufiges Merkmal der Transmitterwirkung	200
Die Speicherung von Transmittern in synaptischen Vesikeln	187	Beendigung der Transmitterwirkung	201
Der axonale Transport	188	Die Beendigung der ACh-Wirkung durch Acetylcholinesterase	201
Mikrotubuli und Transport	189	Andere Mechanismen zur Beendigung der Transmitterwirkung	202
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	Opiode 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 Muskelmembran	259
Das Auftreten neuer ACh-Rezeptoren	259
Synthese und Abbau von Rezeptoren in denervierten Muskeln	260
Rezeptorverteilung in Nervenzellen	263
Denervierungs-Supersensitivität, Innervationsbereitschaft und axonales Aussprossen	265
Synapsenbildung in denervierten Muskeln	265
Vom Ziel stammende Chemoatatraktoren	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
Polyneuronale 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 Evertebraten	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
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
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
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	344
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
Teil 5: Das visuelle System	
Kapitel 16: Retina und Corpus geniculatum laterale	373
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 Farbensehen	383
Bipolar-, Horizontal- und Amakrinzellen	385
Der Begriff der rezeptiven Felder	388
Kapitel 17: Der visuelle Cortex	401
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
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
Schallallokation	339
Geruch und Geschmack	340
Geschmackstransduktion	340
Geruch	342
Olfaktorische Transduktion	342
Eingänge ins Cerebellum	357
Aufbau des Cortex cerebelli	357
Die Basalganglien	358
Zelluläre Aktivität und Bewegung	359
Aktivität corticaler Zellen während trainierter Bewegungen	359
Beziehungen corticaler Zellaktivität zur Armbewegungsrichtung	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
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
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
Augdominanz- 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
Farbensehen	427	Wohin führt der Weg von hier aus?	430
Kapitel 18: Genetische und umweltbedingte Einflüsse auf das visuelle System von Säugern 433			
Das visuelle System neugeborener Katzen und Affen	434	Kritische Phase für die Empfindlichkeit gegenüber ei-	
Anormale Verbindungen im visuellen System der		nen Lidverschluß	439
Siamkatze.	436	Erholung während der kritischen Phase	441
Albinismus.	436	Bedingungen für die Aufrechterhaltung	
Auswirkungen anormaler visueller Erfahrung	437	funktionierender Verbindungen im visuellen Sy-	
Corticale Zellen nach monokularer Deprivation . .	437	stem: Die Rolle des Wettbewerbs	443
Welche Bedeutung haben diffuses Licht und Form für		Binokularer Lidverschluß	443
die Aufrechterhaltung normaler Antworten.	438	Auswirkungen von artifiziellem Schielen	443
Morphologische Veränderungen im Corpus		Orientierungspräferenzen corticaler Zellen	444
geniculatum laterale nach visueller Deprivation .	438	Auswirkungen der Impulsaktivität auf die Struktur .	445
Morphologische Veränderungen im Cortex nach		Die Rolle synchronisierter Aktivität	447
visueller Deprivation.	439	Sensorische Deprivation in frühen Lebensphasen .	448
Teil 6: Schlußfolgerungen			
Kapitel 19: Perspektiven 453			
Höhere Gehirnfunktionen	453	Die Bedeutung der Neurologie	455
Integration im visuellen System	454	Perspektiven	458
Motorische Integration	455	Ungelöste Probleme	459
Psychopharmakologie.	455		
Anhang A: Stromfluß in elektrischen Schaltkrei-			
sen	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 Zeitkon-			
stante.	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		