

Klinische Elektroenzephalographie

Stephan Zschocke • Hans-Christian Hansen
Hrsg.

Klinische Elektro- enzephalographie

4. Auflage

Hrsg.

Priv.-Doz. Dr. med. Stephan Zschocke
ehem. Leitung Neurophysiologie
Neurologische Universitätsklinik
Hamburg-Eppendorf
Hamburg, Deutschland

Prof. Dr. med. Hans-Christian Hansen
Universität Hamburg und Klinik für Neurologie
Friedrich-Ebert-Krankenhaus Neumünster
GmbH
Neumünster, Deutschland

ISBN 978-3-662-63266-6

ISBN 978-3-662-63267-3 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63267-3>

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

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 1995, 2002, 2012, 2023

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

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

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

Fotonachweis Umschlag: © Teeradej/stock.adobe.com

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Das Papier dieses Produkts ist recyclebar.

Vorwort zur 4. Auflage

Stephan Zschocke, der Begründer dieses Buches, verstarb leider im Frühsommer 2017 während der ersten Vorbereitungen an dieser 4. und vollständig überarbeiteten Auflage unerwartet früh. Er hätte an dieser Stelle sicher gern – wie stets zuvor – allen Beitragenden von Herzen seinen Dank ausgesprochen, dies möchte ich hiermit in seinem Namen für beide Herausgeber tun.

Mein Dank richtet sich auch an ihn, denn als Mensch, Lehrer und Arzt wird er weiter vermisst: mit seinen präzisen und oft humorvollen Anregungen, seinen detaillierten und kritischen EEG-Befundanalysen, die stets klar in ihrer Diktion und gut verwertbar im klinischen Bezug blieben. Zur Vertiefung der klinischen Neurophysiologie in der praktischen Arbeit mit Patienten möge dieses Buch weiter dienen, denn „die Kenntnis des EEG-Befundes reicht nicht, es müssen auch Kenntnisse über das EEG vorhanden sein“ (Zitat St. Z.). Diese 4. Auflage soll seinem Wunsch entsprechen, die *Klinische Elektroenzephalographie* im kritischen Diskurs weiter voranzutreiben und sein EEG-Standardwerk mit neuen, anregenden und vertiefenden Hintergrundinformationen zu erhalten.

Die vorliegende Neuauflage widmet sich mit einem eigenen Kapitel dem EEG-Monitoring im intensivmedizinischen Bereich und greift neue Terminologien z. B. betreffend repetitiver EEG-Muster sowie deren Einordnung im Kontinuum iktualer und interiktualer EEG-Befunde auf. Alle Kapitel zur Epilepsie und zum EEG-Mapping wurden neu verfasst und hinsichtlich der Terminologie aktualisiert. Aufgenommen wurden neue Empfehlungen bzw. Erkenntnisse zum Status nichtkonvulsiver Anfälle, zum deliranten Psychosyndrom, über innovative Elektroden und EEG-Trendanalysen und die Diagnostik des Hirntods (IHA).

In beeindruckender Weise haben alle bisher mitwirkenden Arbeitsgruppen zu diesem Update beigetragen. Ich bin sehr froh, viele jüngere Kollegen nun „mit an Bord“ zu haben (Arbeitsgruppen von Prof. Surges, Bonn, und Prof. Laufs, Kiel). Allen beitragenden Autoren darf ich auch in St. Zschockes Namen herzlich und ausdrücklich für ihr intensives und anhaltendes Engagement danken. Herrn Prof. Gerloff und Herrn PD Dr. Gelderblom danke ich für ihre jahrelange Unterstützung aus der uns verbindenden Neurologischen Univ.-Klinik Hamburg-Eppendorf. Verbunden sind wir ebenso vielen auswärtigen unterstützenden Kollegen für hilfreiche Kommentare und Ergänzungen, darunter H. Hamer, Erlangen, U. Walter, Rostock, A. Günther, Jena, J. M. Rémi, München, M. Holtkamp, Berlin, und U. Günther, Oldenburg.

Die fortgesetzte Zusammenarbeit mit Frau Dr. C. Lerche und Frau C. Bauer aus dem Springer-Verlag erwies sich wieder als hilfreich, sehr geduldig, angenehm und produktiv, ebenso das Lektorat durch Frau Krause und Herrn Tupaika. Ganz besonders danken wir unseren technischen EEG-Assistenzen¹ in Neumünster (Frau Okraska und allen Mitarbeiterinnen) und Hamburg (Frau Kuhlmann) für wichtige Impulse sowie den Repräsentanten verschiedener Gerätehersteller, allen voran St. Richter und J. Grunert. Erst mit diesem „Orchester“ ließ sich ein rundes Update erreichen. Meiner Familie und Familie Zschocke danke ich besonders für ihre anhaltende Unterstützung und geduldiges Verständnis für das mit dieser Überarbeitung verbundene Arbeitspensum.

Die vorliegende Ausgabe² unterstützt hoffentlich viele Kolleginnen und Kollegen in ihrem Bemühen um das Wohlergehen der uns anvertrauten Patienten und führt zu mehr Klarheit und Sicherheit, wo immer dies möglich ist.

Hans-Christian Hansen
Hamburg/Neumünster
im August 2023

¹ Neue Bezeichnung 2023: Medizinische Technologinnen/Technologen für Funktionsdiagnostik.

² Die in diesem Werk verwendeten Personen- und Berufsbezeichnungen wurden aus Gründen der besseren Lesbarkeit auf das männliche Geschlecht reduziert; gemeint sind stets alle Menschen in gleichwertiger Weise.

Vorwort zur ersten Auflage

Das vorliegende Buch befasst sich mit der Elektroenzephalographie wie sie routinemäßig in Klinik und Praxis durchgeführt wird beziehungsweise durchgeführt werden kann. Verfahren, die spezialisierten Einrichtungen wie beispielsweise der prächirurgischen Epilepsiediagnostik vorbehalten sind, bleiben ausgespart. Auch die besonderen Aspekte der Elektroenzephalographie des Kindes und der EEG-Diagnostik in der Psychiatrie konnten nur sehr eingeschränkt berücksichtigt werden. Diese Bereiche der Elektroenzephalographie, die schon immer einen eignen Stellenwert hatten, erfordern eigenständige Darstellungen. Entsprechende Lehrbücher stehen zur Verfügung. Auch die Schlaf-EEG-Diagnostik wird vielfach als eine Spezialdisziplin gesehen. Umso glücklicher bin ich, dass dieses Buch durch diesen wichtigen Bereich der klinischen Neurophysiologie, der am ehesten noch die tägliche Praxis tangiert, mit dem Beitrag von Prof. St. Kubicki abgerundet wird.

In dem vorliegenden Buch wird den physiologischen und pathophysiologischen Grundlagen des EEG an verschiedenen Stellen oft besonderer Raum gegeben. Dabei wandelt man jedoch auf schmalen Graten, denn in bezug zum EEG des Menschen und insbesondere zu den EEG-Veränderungen bei den verschiedenen Erkrankungen des menschlichen Hirns fehlen diesbezüglich oft hinreichend gesicherte Erkenntnisse, oder sie fehlen ganz. Auf jeden Fall soll das Bestreben gefördert werden, die EEG-Wellen nicht nur als Epiphänomene zu sehen, die zu beschreiben sind, sondern immer auch als Abbild komplexer Vorgänge im erkrankten Gehirn.

Auch die methodischen Grundlagen der Elektroenzephalographie werden ausführlich dargestellt. Viele Fehler in der Praxis haben ihre Wurzel in einer unzureichenden Kenntnis der Technik, durch die die Neurophysiologie schon immer in besonderem Maße geprägt wurde. Vor allem die moderne digitale Elektronik darf für uns Kliniker nicht zur einer „black box“ werden.

Dagegen bleibt die klinische Neurologie, der das EEG als diagnostisches Hilfsmittel dient, mit Absicht auf die für das Verständnis der EEG-Phänomene wichtigen Angaben beschränkt. Eine breitere Darstellung klinischer Sachverhalte hätte den Umfang dieses Buches gesprengt. Dazu stehen uns die Lehrbücher der klinischen Neurologie zur Verfügung.

Ich hoffe, dass das Buch allen etwas geben kann, die mit der klinischen Elektroenzephalographie zu tun haben, den EEG-Assistentinnen und -Assistenten ebenso wie den im EEG tätigen oder am EEG interessierten Ärzten, aber auch den Technikern, auf deren Mitarbeit wir angewiesen sind. Ich habe vielen Mitarbeitern und Kollegen zu danken, die mir geholfen oder mich für die zeitlich aufwendigen Arbeiten an diesem Buch entlastet haben. Zu danken habe ich Prof. K. Kunze, dem Direktor der Neurologischen Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf, dass ich auch nach meinem Ausscheiden aus dieser Klinik alle Möglichkeiten nutzen konnte, das Buch zu Ende zu bringen. Ich danke Prof. H. Zeumer, dem Direktor der Neuroradiologischen Abteilung des Universitätskrankenhauses Hamburg-Eppendorf, für die Überlassung der verschiedenen, in diesem Buch wiedergegebenen CCT-Befunde.

Mein besonderer Dank gilt den Ratschlägen und kritischen Stellungnahmen der Herren PD Dr. H. Hinrichs, Prof. H. Petsche, Prof. P. Rappelsberger, Prof. E.-J. Speckmann, D. Struck und U. Walter. Zu besonderem Dank verpflichtet bin ich vor allem meiner langjährigen Mitarbeiterin und EEG-Assistentin Frau E. Kuhlmann. Viele der abgebildeten besonderen EEG-Beispiele gehen auf ihre mitdenkende Arbeit vor Ort (am Patienten) zurück, und auch bei der Verwirklichung dieses Buches hat sie mir in vielfältiger Weise geholfen. Schließlich gebührt dem Springer-Verlag für die Zusammenarbeit mein Dank und hier insbesondere für die im Verlaufe der Zeit durch Frau H. Berger und Herrn R. M. Kohl gewährte Unterstützung, jeweils unter der Leitung von Dr. Th. Thiekötter.

Stephan Zschocke

September 1995

Abkürzungsverzeichnis

ACNS	American Clinical Neurophysiological Society	IEA	interiktuelle epilepsietypische Aktivität
AD	Alzheimer-Erkrankung	IHA	Irreversibler Hirnfunktionsausfall, Hirntod
ADR	α - δ -Ratio	IIC	iktual-interiktuales Kontinuum
ASM	anfallssupprimierendes Medikament	ILAE	International League against Epilepsy
BÄK	Bundesärztekammer	IRDA	intermittierend rhythmisierte Delta-Aktivität
BSM	Burst-Suppression-Muster	LBD	Demenz mit Lewy-Körperchen
BZD	Benzodiazepine	LE	Limbsche Enzephalitis/Enzephalopathie
CAPE	Zyklisch alternierende Enzephalopathiemuster, engl. cycling alternating patterns of encephalopathy	mEEG	mobiles (Langzeit-)EEG
CBZ	Carbamazepin	NCA	Nonkonvulsiver Anfall
CCSA	Farbkodiert dargestellte Spektralanalyse, engl. color coded density modulated spectral analysis	NCSE	Nonkonvulsiver Status epilepticus
cEEG	kontinuierliches EEG	PD	Periodische Potentiale, engl. periodic discharges
CJD	Creutzfeldt-Jakob-Erkrankung	PML	Progressive multifokale Leukenzephalopathie
CSA	kontinuierliche Spektralanalyse	PRES	posteriores reversibles Leukenzephalopathie-Syndrom
CSD	Streudepolarisation, engl. cortical spreading depolarisation	qEEG	quantitative EEG Analyse
DGKN	Deutsche Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie	RDA	Rhythmisierte Delta-Aktivität
DMN	Ruhenetzwerk, engl. default mode network	SAB	Subarachnoidalblutung
DND	verzögert auftretende neurologische Ausfälle, engl. delayed neurologic deficit	SAE	subkortikale arteriosklerotische Enzephalopathie
DSA	spektrale Dichteverteilung	SHT	Schädelhirntrauma
EEG	Elektroenzephalogramm	SIRPIDS	Reizbezogene rhythmische oder epileptische Aktivität, engl. stimulus induced rhythmic or ictal discharges
EKG	Elektrokardiogramm	SMB	Syndrom minimaler Bewusstheit, engl. minimally conscious state
EMU	Epilepsie-Monitoring-Unit	SRW	Syndrom reaktionsloser Wachheit (früher apallisches Syndrom)
EP	Evozierte Potentiale	SUDEP	plötzliche Todesereignisse bei Epilepsiepatienten
ETA	epilepsietypische Aktivität	SWE	spike-wave Entladungen
FIRDA	frontal betonte intermittierend rhythmisierte Delta-Aktivität		
FTLD	Frontotemporale Lobärdegeneration		
GCS	Glasgow Coma Score		

Inhaltsverzeichnis

1	Entstehungsmechanismen des EEG	1
	<i>Stephan Zschocke und Hans-Christian Hansen</i>	
1.1	Potentialquellen des EEG	2
1.2	Das EEG als Summe kortikaler Feldpotentiale	10
1.3	Nichtsynaptische Erregungsübertragungen	12
1.4	Bedeutung der Neuroglia für die Entstehung kortikaler Feldpotentiale	13
1.5	Entstehung der EEG-Rhythmen	15
1.6	Die Bedeutung des EEG. Kritische Zusammenfassung und Versuch einer Interpretation des α -Grundrhythmus	25
	Literatur	27
2	Ableitung des EEG	29
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
2.1	Abgriff aus der räumlichen Struktur der kortikalen Feldpotentiale	30
2.2	Einfluss der Leitfähigkeiten des Gewebes und des Abstandes zwischen Potentialgenerator und EEG-Elektrode	32
2.3	Elektrodenpositionen zur EEG-Ableitung	34
2.4	Anschluss und Verschaltung der Elektroden	38
2.5	Rahmenbedingungen der EEG-Ableitung und -Befundung	64
	Literatur	65
3	Auswertung und Beschreibung des EEG	67
	<i>Stephan Zschocke und Hans-Christian Hansen</i>	
3.1	Frequenz der EEG-Potentiale	68
3.2	Amplitude der EEG-Potentiale	70
3.3	Morphologie der EEG-Potentiale	71
3.4	Häufigkeit der EEG-Potentiale. Ausprägung	72
3.5	Zeitliche Abfolge und zeitliche Beziehungen der EEG-Potentiale	73
3.6	Topographie der EEG-Potentiale	74
3.7	Allgemeine Anmerkungen Befundbeschreibung im EEG	75
	Literatur	78
4	Die Grundaktivität des normalen EEG (Erwachsener). Grundrhythmus, EEG-Varianten und hirnregionale Besonderheiten	79
	<i>Stephan Zschocke und Hans-Christian Hansen</i>	
4.1	Definition der Begriffe	81
4.2	α -Grundrhythmus (α -EEG)	82
4.3	β -Wellen im normalen EEG	88
4.4	Sogenannte α -Varianten als Grundrhythmustyp	91
4.5	Langsame Varianten des Grundrhythmus	93
4.6	Niederspannungs-EEG als Normtyp	96
4.7	Mischformen	98
4.8	Hirnregionale Besonderheiten des normalen EEG	99
4.9	Normvarianten ähnlich epileptogenen Potentialen	104
4.10	γ -Wellen	104
4.11	Genetischer Hintergrund des normalen EEG	106
4.12	Zusammenfassung	109
	Literatur	109

5	Vigilanz und Schlaf	111
	<i>Hubertus Kursawe und Stanislaw Kubicki</i>	
5.1	Vigilanzgrade. Vigilanzschwankungen im EEG	113
5.2	Zirkadianer Rhythmus und ultradiane Zyklen	115
5.3	Schlafpolygraphie	116
5.4	EEG-Schlafmuster	118
5.5	Schlafablauf. Schlafstadien	125
5.6	EEG-Diagnostik bei Schlafstörungen (ausgewählte Aspekte)	133
5.7	Änderungen pathologischer EEG-Befunde im Schlaf	134
	Literatur	135
6	Provokationsmethoden im EEG	137
	<i>Stephan Zschocke und Hans-Christian Hansen</i>	
6.1	Übersicht über die Methoden	138
6.2	Hyperventilation (HV)	138
6.3	Fotostimulation (FS)	142
6.4	Andere sensorische Aktivierungen des EEG	149
6.5	Aktivierung abnormer EEG-Befunde durch Schlaf und Schlafentzug	149
	Literatur	151
7	Epilepsietypische Hirnaktivität	153
	<i>Michael Wenzel, Attila Rácz und Rainer Surges</i>	
7.1	Grundlegende Begriffe zu Epilepsien und epileptischen Anfällen	155
7.2	Klassifikation und Terminologie von Epilepsien und epileptischen Anfällen	157
7.3	Stellenwert der Elektroenzephalographie bei Anfallserkrankungen	158
7.4	Grundlagen epilepsietypischer Aktivität (ETA)	159
7.5	Fokale Epilepsien und epilepsietypische EEG-Befunde	165
7.6	Generalisierte Epilepsien und epilepsietypische EEG-Befunde	173
7.7	Modulatoren epilepsietypischer Aktivität	179
7.8	Fotosensibilität bei Epilepsien	181
7.9	Bewusstseinsstörungen bei epileptischen Anfällen	183
7.10	Normvarianten	186
7.11	Periodische epileptiforme Entladungen (PEDs/PLEDs)	191
7.12	Status epilepticus (SE)	192
	Literatur	200
8	Das EEG in der prächirurgischen Epilepsiediagnostik	211
	<i>Attila Rácz und Rainer Surges</i>	
8.1	Pharmakoresistente Epilepsien und Epilepsiechirurgie	213
8.2	Methoden und Ziele der prächirurgischen Epilepsiediagnostik	215
8.3	Stellenwert der EEG-Ableitung in der prächirurgischen Epilepsiediagnostik	218
8.4	Typische EEG-Befunde bei verschiedenen Epilepsien	224
8.5	Weitere Anwendungsgebiete der EEG-Diagnostik in der prächirurgischen Epilepsiediagnostik	235
	Literatur	237
9	Generelle Herdstörungen im EEG und Befunde bei Tumoren	243
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
9.1	Umschriebene Verlangsamungen im EEG	244
9.2	Lokale abnorme Aktivierung und Beschleunigung als Herdstörung. „Breach Rhythm“ ..	256
9.3	Fokale epileptische Erregungssteigerungen bei Herdstörungen	259
9.4	Allgemeine EEG-Veränderungen bei umschriebenen Hirnläsionen	262
9.5	Verhalten von Herdbefunden bei Sinnesreizen, bei Vigilanzschwankungen und im Schlaf	262

9.6	Ableitungsbedingte Besonderheiten bei EEG-Herdbefunden	266
9.7	Herdbefunde im EEG-Mapping	268
9.8	Zusammenfassung	268
	Literatur	269
10	EEG bei Hirnstammfunktionsstörungen und Koma. Schädel-Hirn-Trauma	271
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
10.1	Definition des Begriffs Hirnstamm	273
10.2	Definition der Bewusstseinsstörungen	273
10.3	EEG bei Hirnstammläsionen mit Bewusstseinsstörungen	276
10.4	Hirnstammläsionen ohne EEG-Veränderungen	290
10.5	EEG-Befunde bei Schädel-Hirn-Verletzungen	293
	Literatur	299
11	EEG bei diffusen Erkrankungen des Gehirns. Hypoxische und andere Enzephalopathien. Nicht-convulsiver Status epilepticus und Delir	303
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
11.1	Allgemeine Abänderungen des EEG als Grenzbefund	305
11.2	Allgemeinveränderung des EEG	306
11.3	Intermittierend auftretende δ-Wellen (IRDA)	311
11.4	Burst-Suppression-Muster	312
11.5	Rhythmisierte und periodische EEG-Veränderungen im iktual-interiktualen Kontinuum (IIC)	320
11.6	EEG-Parameter zur Diagnose und Prognostik der hypoxischen Enzephalopathie	325
11.7	Erregungssteigerungen in Abgrenzung gegen epileptische Hirnaktivität inkl. Status epilepticus im iktual-interiktualen Kontinuum (IIC)	331
11.8	Alpha-Koma	342
11.9	EEG-Befunde im Delir und bei metabolischen Enzephalopathien	344
	Literatur	348
12	EEG in der Diagnostik des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls (IHA)	353
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
12.1	Befunderstellung	360
	Literatur	362
13	Entzündliche Hirnerkrankungen	363
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
13.1	Meningitis	364
13.2	Eitrige (bakterielle) Meningoenzephalitis	365
13.3	Hirnabszess	365
13.4	Akute virale Enzephalitis	365
13.5	Enzephalopathien durch langsame Viruserkrankungen und Infektion durch Prionen	367
13.6	EEG-Befunde bei HIV/AIDS	372
13.7	Autoimmun vermittelte Enzephalitiden und Enzephalopathien	373
	Literatur	375
14	Vaskuläre und degenerative Hirnerkrankungen. Migräne und Synkope	377
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
14.1	Zerebrovaskuläre Erkrankungen	378
14.2	Allgemeine Kreislaufreaktionen. Synkopen	386
14.3	Migräne	388
14.4	Degenerative Hirnerkrankungen mit organischen Psychosyndromen.	
	Demenzsyndrome	390
	Literatur	392

15	Substanzeffekte im EEG. Medikamente – Drogen – Intoxikationen	395
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
15.1	Medikamenteneffekte im therapeutischen Bereich	396
15.2	Intoxikationen	404
	Literatur	410
16	Methodische Grundlagen. Elektroden und EEG-Geräte	413
	<i>Stephan Zschocke und Hans-Christian Hansen</i>	
16.1	Elektroden	414
16.2	EEG-Verstärker	424
16.3	EEG-Filter	425
16.4	EEG-Ausgabe	429
16.5	Zeitbasis des EEG	431
16.6	Digitale EEG-Geräte	432
16.7	Digitale EEG-Registrierung	433
16.8	Polygraphie	436
	Literatur	440
17	Grundlagen der Frequenzanalyse, der digitalen EEG-Verarbeitung und der quantitativen Auswertung (qEEG)	441
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
17.1	Grundlagen der digitalen Rechentechnik	442
17.2	Frequenzanalyse des EEG	448
	Literatur	458
18	EEG-Überwachung: Langzeitregistrierungen (mEEG) und Intensiv-EEG-Monitoring (cEEG)	459
	<i>Hans-Christian Hansen und Stephan Zschocke</i>	
18.1	Ambulante EEG-Langzeitregistrierung (mEEG/LZ-EEG)	460
18.2	Stationäre EEG-Video-Überwachung (Epilepsie-Monitoring-Unit, EMU)	462
18.3	Intensivmedizinisches EEG-Monitoring (cEEG)	463
18.4	Verarbeitung und Darstellung der cEEG-Ergebnisse	473
	Literatur	483
19	Nichtlineare EEG-Analysen	487
	<i>Klaus Lehnertz</i>	
19.1	Definition der Begriffe	488
19.2	Grundlagen der nichtlinearen Zeitreihenanalyse	488
19.3	Grenzen und Fehlerquellen der nichtlinearen EEG-Analyse	495
19.4	Einsatz der nichtlinearen EEG-Analyse	496
19.5	Schlussfolgerungen	501
	Literatur	501
20	EEG-Mapping	503
	<i>Helmut Laufs und Frederic von Wegner</i>	
20.1	Darstellungen des Ursprungs des Oberflächen-EEG	504
20.2	Kartierung des EEG mittels biophysikalischer Modelle (klassische EEG-Quellenanalyse)	504
20.3	Kartierung evozierter Potentiale und (induzierter) oszillatorischer EEG-Aktivität (Kartierung gemittelter EEG-Aktivität)	507
20.4	Kartierung des EEG mittels Microstate-Analyse (EEG-Amplitudenkartierung)	510
20.5	Kartierung des EEG mittels funktioneller Magnetresonanztomographie (EEG-fMRT) ...	512
20.6	Bewertung und Zusammenfassung der EEG-Kartierungsverfahren	515
	Literatur	515

21	Artefakte im EEG	517
	<i>Stephan Zschocke und Hans-Christian Hansen</i>	
21.1	Patientenbezogene (biologische) Artefakte	518
21.2	Technische Artefakte	534
	Literatur	541
22	Magnetenzephalographie (MEG)	543
	<i>Hermann Hinrichs</i>	
22.1	Technische Grundlagen der Magnetenzephalographie	544
22.2	Physikalische Unterschiede zwischen EEG und MEG	546
22.3	Praktische Aspekte des MEG	546
22.4	Die Quellenanalyse in der Magnetenzephalographie	547
22.5	Beispiele klinischer Anwendung der Magnetenzephalographie	548
	Literatur	550
23	EEG in der Neuropädiatrie	553
	<i>Bernhard Schmitt und Gabriele Wohlrab</i>	
23.1	Neonatales EEG (Früh- und Termingeborene)	554
23.2	EEG vom Säugling bis zur Adoleszenz	576
23.3	EEG bei pädiatrischen Epilepsiesyndromen	589
23.4	Neuropädiatrische Krankheiten	607
	Literatur	617
	Serviceteil	623
	Anhang: Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Klinische Neurophysiologie und Funktionelle Bildgebung (DGKN)	624
A	Mindestanforderungen der DGKN (Richtlinie 4) für die Durchführung von EEG-Ableitungen in Klinik und Praxis bei Erwachsenen	624
B	Mindestanforderungen der DGKN (Richtlinie 5) für die Durchführung von EEG-Ableitungen in Klinik und Praxis bei Kindern	625
C	Empfehlungen der DGKN zu EEG-Ableitprogrammen (Richtlinie 6)	626
D	Empfehlungen der DGKN (Richtlinie 11) für das Mapping von EEG-Parametern	630
E	Empfehlung der DGKN (Richtlinie 34) für den Umgang mit Nadeln (EMG, EEG, EVP usw.) im Hinblick auf Prionenerkrankungen wie die CJK (Creutzfeldt-Jakob-Krankheit)	633
F	Empfehlungen der DGKN (Richtlinie 13) zur Desinfektion von EEG-Elektroden und Zubehör	633
G	Empfehlungen der DGKN zur Diagnostik des irreversiblen Hirnfunktionsausfalls (IHA)	634
H	Befundbogen auf Basis der Intensiv-EEG-Terminologie der American Clinical Neurophysiological Society (ACNS)	636
	Stichwortverzeichnis	639

Mitarbeiterverzeichnis

Herausgeber

Stephan Zschocke, Priv.-Doz. Dr. med. ehemals Neurologische Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf, Halstenbek, Deutschland

Hans-Christian Hansen, Prof. Dr. med. Universität Hamburg und Klinik für Neurologie, Friedrich-Ebert-Krankenhaus GmbH, Hamburg/Neumünster, Deutschland

Mitarbeiter

Hans-Christian Hansen, Prof. Dr. med. Universität Hamburg und Klinik für Neurologie, Friedrich-Ebert-Krankenhaus GmbH, Hamburg/Neumünster, Deutschland

Hermann Hinrichs, Prof. Dr. Ing. Klinik für Neurologie, Universität Magdeburg, Magdeburg, Deutschland

Stanislaw Kubicki, Prof. Dr. med. ehemals Freie Universität Berlin, Berlin, Deutschland

Elisabeth Kuhlmann Klinik für Neurologie, ehemals Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland

Hubertus Kursawe, Prof. Dr. med. ehemals Neurologische Klinik St. Joseph-Krankenhaus, Potsdam, Deutschland

Helmut Laufs, Prof. Dr. med. Neurologie Praxis Kiel und Klinik für Neurologie, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, Deutschland

Klaus Lehnertz, Prof. Dr. rer. nat. Dipl. Phys. Klinik für Epileptologie, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Attila Rácz, Dr. rer. nat. Dr. med. Klinik für Epileptologie, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Bernhard Schmitt, Prof. Dr. med. ehemals Universitäts-Kinderspital Zürich – Eleonorenstiftung, Zürich, Schweiz

Rainer Surges, Prof. Dr. med. MHBA Klinik für Epileptologie, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Frederic von Wegner, Dr. med. Wallace Wurth Building, UNSW, Sydney, Australien

Michael Wenzel, Priv.-Doz. Dr. med. Klinik für Epileptologie, Universität Bonn, Bonn, Deutschland

Gabriele Wohlrab, Dr. med. Klinische Dozentin, ehemals Universitäts-Kinderspital Zürich – Eleonorenstiftung, Zürich, Schweiz

Stephan Zschocke, Priv.-Doz. Dr. med. ehemals Neurologische Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Deutschland