

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Einleitung und Übersicht	18			
1.1	Methode zwischen klinischem Alltag und Wissenschaft	18	1.4.2	Visuelle Mustererkennung	19
1.2	Die klinische Bedeutung des EEG	18	1.5	Indikationen für das EEG	20
1.3	Musterentstehung	19	1.6	Wissenschaftliche Aspekte	21
1.4	Mustererkennung	19	1.7	Ausbildung	21
1.4.1	Rechnergestützte Mustererkennung	19	1.8	Messung elektrischer Aktivität an Nervenzellen	22
2	Elektrophysikalische Grundlagen	24			
2.1	Übersicht über die Signalgenerierung und -registrierung ..	24	2.12	Elektrischer Widerstand	31
2.2	Methoden der Signalmessung ..	24	2.12.1	Leitfähigkeit	32
2.3	Signalweg des EEG	25	2.13	Gesetz der Energieerhaltung in elektrischen Stromkreisen (Kirchhoff-Regel)	32
2.4	Elektrophysiologische Methodik	26	2.13.1	Geschlossener Stromkreislauf	32
2.5	Potenzialentstehung (Generierung)	28	2.13.2	Stromfluss in biologischen Systemen	32
2.6	Elektrische Ladung	28	2.14	Elektrisches Feld	33
2.7	Ladungsträger	29	2.15	Potenzialfeld	33
2.8	Elektrischer Strom	29	2.16	Elektrischer Dipol und Dipolfeld	33
2.8.1	Stromrichtung	29	2.16.1	Dipolfeld	33
2.8.2	Elektrischer Stromfluss in Elektrolytlösungen	30	2.16.2	Feldlinien	34
2.9	Elektrisches Potenzial	30	2.16.3	Entstehung eines Feldpotenzials ..	35
2.10	Elektrische Spannung	30	2.16.4	Feldstärke	35
2.10.1	Potenzialdifferenz	31	2.17	Neuronale Dipole	36
2.11	Stromstärke, Stromdichte und Energiequellen	31	2.18	Kondensatoren	37
			2.19	Elektrische Kapazität	38
			2.20	Membranpotenzial	38

2.21	Elektrische Leitung im Gewebe .	38	2.24	Superposition	39
2.22	Neuronale Erregungsleitung. . .	38	2.25	Nahfeldpotenzial, Fernfeld- potenzial.	39
2.23	Volumenleitung	38			
3	Anatomische Grundlagen				40
3.1	Übersicht	40	3.3	Für das EEG relevante Strukturen des Gehirns	54
3.2	Das Gehirn (Enzephalon)	40			
3.2.1	Graue und weiße Substanz	40	3.3.1	Zerebraler Kortex (kortikale Zytoarchitektur)	54
3.2.2	Die Neurone	42	3.3.2	Tieferegelegene Hirnstrukturen.	56
3.2.3	Aufbau des Neurons.	43	3.3.3	Thalamus	58
3.2.4	Gliazellen	53	3.3.4	Zusammenfassung	61
3.2.5	Zusammenfassung	53			
4	Physiologische Grundlagen				63
4.1	Membranpotenzial	63	4.2.5	Neurotransmitter	71
4.1.1	Ionenkanäle.	64	4.2.6	Postsynaptische Potenziale	75
4.1.2	Ladungsänderungen des Membranpotenzials.	64	4.2.7	Neuronale Dipole	78
4.1.3	Ruhepotenzial, Schwellenpotenzial, Aktionspotenzial.	66	4.2.8	Neuronale Projektion.	81
4.1.4	Erregungsleitung im Nervengewebe	68	4.2.9	Entstehung rhythmischer Aktivität	81
4.2	Synapsen.	69	4.3	Muster und Rhythmen	82
4.2.1	Synaptische Impulsübertragung. . .	69	4.3.1	Alphagrundtätigkeit.	82
4.2.2	Impulsübertragung am synaptischen Endknöpfchen.	70	4.3.2	Entstehungsmechanismen der Grundtätigkeit	83
4.2.3	Synaptische Rezeptoren.	71	4.3.3	Musterentstehung und -registrierung	84
4.2.4	Modulierende Synapsen im Zentralnervensystem	71	4.4	Zusammenfassung.	85
5	Neurophysiologische Grundlagen				87
5.1	Informationsverarbeitung (Reizintegration) im Gehirn	87	5.2	Zusammenfassung.	90
5.1.1	Neuronale Informationsverarbeitung.	87			

6	Apparativ-technische Grundlagen				91
6.1	Topografische Lagebeziehungen	91	6.2.2	Räumlich-apparative Ausstattung .	94
6.1.1	Ableitorte	91	6.3	Störungen und Artefakte	95
6.2	Grundlagen der Registrierung . . .	92	6.3.1	Technische Artefakte	95
6.2.1	Elektroden	93	6.3.2	Biologische Artefakte	97
7	Komponenten der Registrierung – das EEG-Gerät und Zubehör				100
7.1	Bestandteile des EEG-Geräts	100	7.6	Montagen	116
7.2	Elektrodenanschlussbox	100	7.6.1	Referenzableitungen (referenzielle Montagen)	116
7.3	Verstärker	101	7.6.2	Toposelektive Quellenableitung nach Laplace	120
7.3.1	Kanäle	101	7.6.3	Bipolare Montagen	121
7.3.2	Vorverstärker und EEG-Filter	102	7.6.4	Zusammenstellung der Montagen nach Empfehlungen der DGKN	125
7.3.3	Zeitkonstante	103	7.6.5	Stärken und Schwächen der verschiedenen Montagen	127
7.3.4	Technische Parameter des EEG-Verstärkers	105	7.6.6	Praktische Empfehlungen zu den Montagen	128
7.3.5	Funktion des Verstärkers	105	7.7	Analysesoftware und Hilfestellungen für den EEG-Befund	130
7.3.6	Differenzverstärker	106	7.7.1	Lokalisationslehre	130
7.3.7	Phasenumkehr	110	7.7.2	Polaritäts- und Potenzialanalysen. .	131
7.4	Prinzipien der Potenzialanalyse und Mustererkennung	111	7.7.3	Grafische Analyse der Potenzial- felder	135
7.4.1	Überlagerung (Summation)	111	7.8	Papierloses EEG (PL-EEG): analoge Registrierung und digitale Umwandlung	137
7.4.2	Darstellung spezifischer Muster . .	112	7.8.1	Analog-Digital-Wandler	138
7.5	EEG-Haube	113	7.8.2	Das Aliasing-Phänomen	139
7.5.1	Messung vom Nasion zum Inion. . .	114	7.8.3	Nyquist-Theorem	139
7.5.2	Messung von präaurikulär links zu präaurikulär rechts	115	7.8.4	Fourier-Transformation	139
7.5.3	Messung der Zirkumferenz (Kopfumfang)	115	7.8.5	Digitale Montagen	139
7.5.4	Parasagittale Längsreihe	116			
7.5.5	Frontale und parietale Querreihe . .	116			
8	EEG-Befundung				141
8.1	Vorbemerkung	141	8.3	Beurteilung	141
8.2	Beschreibung der auftretenden Phänomene	141	8.3.1	Wichtige Aspekte bei der Beurteilung	142

8.4	Klinische Bewertung	142	8.7.2	Müdigkeit	163
			8.7.3	Einschlafen	163
8.5	Vorbemerkungen zur Befunderstellung	142	8.8	Das EEG als „Hirnstrombild“	164
8.6	Mustererkennung	144	8.8.1	Schalenmodell als Erklärungsmodell	164
8.6.1	Aktivität	144	8.9	Provokationsmethoden	165
8.6.2	Artefakte	144	8.9.1	Hyperventilation	165
8.6.3	Grafoelemente und Wellen	148	8.9.2	Fotostimulation	167
8.6.4	Komplexe	153	8.9.3	Schlafentzug bzw. Kurzschlaf-EEG	168
8.6.5	Rhythmen und Frequenzen	154			
8.7	Einflüsse von Vigilanz und Schlaf auf das EEG	163			
8.7.1	Wachzustand	163			
9	Abnorme EEG-Befunde	170			
9.1	Vorbemerkung	170	9.3.2	Epilepsietypische Muster als Ausdruck der abnormen Synchronisation der neuronalen Erregung und Hemmung	186
9.2	Abnorme Verlangsamungen	170	9.3.3	Muster bei erhöhter Anfallsbereitschaft	188
9.2.1	Abnorme Veränderungen der Amplituden	170	9.3.4	Pathophysiologie der Epileptogenese	189
9.2.2	Terminologie der umschriebenen Funktionsstörungen	171	9.3.5	Anfallsformen, Störungen der Erregbarkeit und epilepsietypische Muster	190
9.2.3	Umschriebene (regionale) Verlangsamungen	172	9.3.6	Erkennung und Einordnung interiktaler epilepsietypischer Muster	196
9.2.4	Leichtgradige regionale Veränderungen der Grundaktivität	178	9.3.7	Morphologie epilepsietypischer Muster	198
9.2.5	Temporale Verlangsamung beim älteren Menschen	178	9.3.8	Iktale Muster (Anfallsmuster)	201
9.2.6	Diffuse und generalisierte Verlangsamungen (generalisierte Hirnfunktionsstörung/Allgemeinveränderung)	178	9.3.9	Klassifikation von Anfällen und Epilepsien	203
9.2.7	IRDA und generalisierte singuläre oder triphasische Wellen	180	9.3.10	Status epilepticus	208
9.2.8	Zusammenfassung: Befunde bei umschriebenen und diffusen Prozessen	182	9.4	Klinische Betrachtung der gesamten abnormen EEG-Befunde	215
9.2.9	Medikamenteneffekte	183	9.5	Differenzialdiagnostische Abgrenzung der EEG-Befunde ausgewählter neurologischer Krankheitsbilder	216
9.3	Epileptische Erregungssteigerungen	183	9.5.1	Stärke der EEG-Befundung	216
9.3.1	Entstehung und Morphologie epilepsietypischer Muster (bzw. Potenziale)	184			

9.5.2	Differenzialdiagnostische Abgrenzung abnormer EEG-Befunde	216	9.7	Hirnregionale Besonderheiten ..	229
9.6	Metabolische Erkrankungen	223	9.7.1	Frontale Funktionsstörungen	229
9.6.1	Hypoxämie (Sauerstoffmangel)	223	9.7.2	Funktionsstörungen der Frontobasis	229
9.6.2	Störungen des Glukosestoffwechsels	224	9.7.3	Temporale Funktionsstörungen	229
9.6.3	Elektrolytentgleisungen	224	9.7.4	Zentroparietale Funktionsstörungen	229
9.6.4	Nierenfunktionsstörungen	225	9.7.5	Okzipitale Funktionsstörungen	229
9.6.5	Leberfunktionsstörungen	226	9.7.6	Funktionsstörungen bei tiefliegenden zerebralen Prozessen	230
9.6.6	Weitere metabolische Störungen und enzephalopathische Syndrome	227			
9.6.7	Medikamentöse Therapie und Intoxikationen	228			

Teil II Spezieller Teil

10	Normale EEG-Befunde	232			
10.1	Vorbemerkung	232	10.4.2	Leichte Vigilanzabnahme	258
10.2	Grundrhythmus	233	10.4.3	Positive okzipitale Transienten des Schlafes (POSTS)	260
10.2.1	Alphagrundrhythmus (Alpha-EEG)	233	10.4.4	Betaaktivität bei Müdigkeit	261
10.2.2	Alphagrundrhythmus mit visueller Blockadereaktion (Berger-Effekt) ..	236	10.4.5	Schlafstadium 1 (S1, N1), Vertexwellen	262
10.2.3	Alphagrundrhythmus mit Squeak-Effekt	238	10.4.6	Schlafstadium 2 (S2, N2)	264
10.2.4	Alphagrundrhythmusvarianten	239	10.4.7	Schlafstadium 2 (S2, N2), Schlafspindeln	266
10.2.5	Okzipitales Delta der Jugend	242	10.4.8	Schlafstadium 3 (Deltaschlaf, S3, N3)	269
10.2.6	Alpharhythmus des Älteren	244	10.4.9	Arousal-Reaktion	270
10.3	Quantität der Alphagrundtätigkeit	246	10.4.10	Schlafstadium 4 (S4, N3)	271
10.3.1	Unterschiedliche Ausprägungen des Alpha-EEGs	246	10.4.11	REM-Schlaf-Stadium (REM-Schlaf) ..	272
10.3.2	Beta-EEG	248	10.4.12	Sägezahnwellen (Saw Tooth Waves)	274
10.3.3	Niederspannungs-EEG („flaches EEG“)	250	10.4.13	Rhythmisches mitt-temporales Theta der Müdigkeit	274
10.3.4	Lambdawellen	251	10.4.14	Wicket Spikes	276
10.3.5	μ-Rhythmus	253	10.4.15	Mittelliniennes Theta der Müdigkeit	278
10.3.6	Betawelleneinlagerungen im normalen EEG	254	10.4.16	Übersicht über die verschiedenen Muster in den Schlafstadien	280
10.4	Vigilanzeffekte und Schlafmuster	256	10.5	Muster unklarer Signifikanz (abnorme, aber nicht pathologische Muster)	281
10.4.1	Stadieneinteilung (Schlafstadien) ..	257	10.5.1	Benigne epileptiforme Transienten des Schlafes (BETS)	281

10.5.2	Subklinische rhythmische elektroenzephalografische Entladungen des Erwachsenen (SREDA)	282	10.6.6	Schlafentzug	302
10.5.3	14- und 6-Hz-positive Spitzen	284	10.7	Biologische/mechanische Artefakte	306
10.5.4	Spike-Wave-Phantommuster (WHAM und FOLD)	286	10.7.1	Vertikale Augenbewegungen	306
10.5.5	„Mitten Patterns“	289	10.7.2	Horizontale Augenbewegungen...	307
10.6	Befunde unter Provokation	293	10.7.3	Langsame Augenbewegungen (SEM = Slow Eye Movements)	308
10.6.1	Physiologische Hyperventilationsreaktion	293	10.7.4	Blinzelartefakte	309
10.6.2	Intermittierende Fotostimulation und Ankopplungsreaktion	295	10.7.5	Rectus-lateralis-Spikes	311
10.6.3	Intermittierende Fotostimulation und fotomyoklonische Reaktion (FMR)	298	10.7.6	Faziale und andere Muskelartefakte	312
10.6.4	Intermittierende Fotostimulation und gesteigerte Fotosensibilität inkl. fotoparoxysmale Reaktion (FPR)	300	10.7.7	Zungenartefakte, glossokinetisches Artefakt	314
10.6.5	Intermittierende Fotostimulation und fotokonvulsive Reaktion (FCR)	302	10.7.8	Schwitzartefakte	315
			10.7.9	EKG-Artefakte	316
			10.7.10	Pulsartefakte	318
			10.7.11	Tremorartefakte	320
11	Abnorme EEG-Befunde	326	10.8	Technische/elektrische Artefakte	321
11.1	Vorbemerkung	326	10.8.1	Gerätebezogene Artefakte	321
11.2	Regionale (umschriebene) Störungen	326	10.8.2	Elektrodenartefakte	324
11.2.1	Flüchtige Veränderungen der physiologischen Grundaktivität ...	327			
11.2.2	Einseitig fehlende Blockierung bzw. paradoxe Aktivierung der Grundtätigkeit	328	11.4.2	Abnorme (pathologische) Thetaaktivität	336
11.2.3	Abnorme Asymmetrie physiologischer Muster: Schlafmuster	330	11.4.3	Abnorme (bzw. pathologische) Deltaaktivität	338
11.3	Abnorme Ausprägung weiterer physiologischer Muster und Rhythmen	331	11.5	Generalisierte repetitive/rhythmische Entladungen	370
11.3.1	Abnorme Betaaktivität	331	11.5.1	Triphasische Wellen, repetitive triphasische Wellen	370
11.3.2	Knochenlückenrhythmus	333	11.5.2	Rhythmische Deltaaktivität (RDA) ..	374
11.4	Verlangsamungen	335	11.6	Periodische (epileptiforme) Entladungen (G/PED/GPDs)	375
11.4.1	Vorbemerkung	335	11.6.1	Vorbemerkung	375
			11.6.2	Nomenklatur der ACNS Critical Care EEG Terminology	375
			11.6.3	Einschränkungen im klinischen Gebrauch	376
			11.6.4	Generalisierte periodische Muster (GPED/GPDs)	378

11.6.5	Periodische lateralisierte (epileptiforme) Entladungen (LPDs, bisher PLEDs)	393	11.7.2	Hirnlokale Besonderheiten umschriebener epilepsietypischer Muster (ETM)	407
11.6.6	Bilaterale periodische lateralisierte (epileptiforme) Entladungen (BiPLEDs/BIPDs)	397	11.7.3	Weitere Formen epilepsietypischer Muster	413
11.7	Interiktale epilepsietypische Muster (IEM, ETM)	399	11.7.4	Generalisierte epilepsietypische Muster	414
11.7.1	Fokale epilepsietypische Muster ...	399	11.7.5	Hypsarrhythmie	424
			11.7.6	Zusammenfassung	424
12	Anfallsmuster	425			
12.1	Vorbemerkung	425	12.4.1	Klinische Definitionen im Wandel der Zeit	458
12.1.1	Begriffsbestimmung	425	12.4.2	Aktuelle Empfehlungen der ILAE zum Zeitrahmen des SE	460
12.2	Fokale Anfälle	426	12.4.3	Klinische Statusformen	460
12.2.1	Fokales (metamorphes) Anfallsmuster (fokaler Beginn, bewusst erlebt oder nicht bewusst erlebt, motorisch oder nicht motorisch) ..	426	12.4.4	Interpretation/klinische Bedeutung	465
12.2.2	Klinik und Ausbreitung der fokalen epileptischen Aktivität	429	12.4.5	Bewusst erlebter fokal-motorischer Status epilepticus (SE mit prominenten motorischen Symptomen, fokal-motorisch)	468
12.2.3	Frontallappenanfall	430	12.4.6	Bewusst erlebter fokal-sensorischer Status epilepticus (SE)	471
12.2.4	Mesiale Temporallappenepilepsie (MTLE)	434	12.4.7	Nicht bewusst erlebter fokaler und generalisierter non-convulsiver Status epilepticus (SE)	472
12.2.5	Neokortikaler Temporallappenanfall (NTLE)	437	12.4.8	Absence-Status (non-convulsiver SE [NCSE], ohne Koma generalisiert)	477
12.2.6	Parietallappenanfall	441	12.4.9	Sonderformen hochfrequenter epileptischer Entladung	478
12.2.7	Okzipitallappenanfall	443	12.4.10	Bilateral und generalisiert tonisch-klonischer Anfalls-Status (BTKA/GTKA) – SE, convulsiver SE (CSE) ..	480
12.2.8	Sekundäre Generalisierung fokaler Anfälle	446	12.4.11	Elektrodekrement	482
12.3	Generalisierte Anfälle	452	12.4.12	Status epilepticus mit prominenten motorischen Symptomen, tonischer SE, hyperkinetischer SE	482
12.3.1	Muster/Befund	452	12.4.13	Non-convulsiver Status epilepticus ohne Koma, autonomer Status epilepticus	483
12.3.2	Definition	452			
12.3.3	Lokalisation und geeignete Montagen	454			
12.3.4	Differenzialdiagnose der generalisierten Anfallsmuster	454			
12.4	Status epilepticus (SE)	458			

13	EEG-Muster in der Intensivmedizin	486		
13.1	Vorbemerkung	486	13.3.2	Repetitive Muster und Anfallsmuster auf der Intensivstation
13.2	Kontinuierliches EEG-Monitoring (cEEG) auf der Intensiv-(Überwachungs-)station (ITS) ..	486	13.3.3	Klinisches Spektrum der Anfalls- und Statusmuster
13.2.1	Entwicklung der EEG-Diagnostik in der Intensivmedizin	487	13.3.4	EEG-Diagnostik von Anfällen und Status epileptici auf der Intensivstation
13.2.2	Besonderheiten der EEG-Routineableitungen auf Intensivstationen .	487	13.3.5	Besonderheit: Stimulussensitive rhythmische, periodische oder iktale Entladungen (SIRPID)
13.2.3	Klinische Befunde	487	13.4	Medikamenteneffekte auf der Intensivstation
13.2.4	Indikationen für das cEEG (oder wiederholte Routine-Ableitungen)	488	13.4.1	Häufig in der Intensivmedizin eingesetzte Substanzen
13.2.5	Technische Aspekte und technische Artefakte	488	13.5	Intoxikationen
13.2.6	Biologische Artefakte	489	13.5.1	Klinischer Exkurs Toxidrome
13.3	Häufige EEG-Muster und -Fragestellungen auf Intensivstation	489		
13.3.1	Muster bei Enzephalopathien	489		
14	EEG bei Bewusstseinsstörungen	510		
14.1	Vorbemerkung	510	14.2.9	Repetitive Muster bei bewusstseinsgestörten Patienten ..
14.1.1	Problem der Definition von Bewusstsein	510	14.3	Schwer beeinträchtigte bioelektrische Aktivität des Gehirns
14.1.2	Definition	510	14.3.1	Reaktivität auf Außenreize
14.1.3	Ursachen von Bewusstseinsstörungen	513	14.3.2	Niederspannungs-EEG
14.1.4	EEG-Befunde bei Bewusstseinsstörungen	513	14.4	Irreversibler Hirnfunktionsausfall (Hirntod)
14.2	Koma	514	14.4.1	Ablaufschema der Hirntoddiagnostik
14.2.1	Ursachen und Folgen eines Hirnstammfunktionsverlusts	515	14.4.2	Qualifikation, Dokumentation und Befunderstellung
14.2.2	Theta- bzw. Deltakoma	515	14.4.3	Ableittechnik
14.2.3	Koma mit intermittierendem Deltarhythmus	517	14.4.4	Elektrozerebrale Inaktivität (ECI, Nulllinien-EEG)
14.2.4	Koma mit kontinuierlichem Deltarhythmus	518	14.4.5	Hirntoddiagnostik und Transplantationsmedizin
14.2.5	Kontinuierlicher Subdeltarhythmus	519		
14.2.6	Alphakoma	519		
14.2.7	Spindelkoma	522		
14.2.8	Burst-Suppression-Muster (BSM) ..	522		

15	Medikamenteneffekte	545		
15.1	EEG-Veränderungen	545	15.1.3	Vigilanzeffekte
15.1.1	Beeinflussung der zerebralen Aktivität	545	15.2	EEG-wirksame Medikamente ...
15.1.2	Beeinflussung der zerebralen Erregbarkeit	546	15.2.1	Antikonvulsiva
			15.2.2	Psychopharmaka
16	Bewertung der EEG-Befunde	556		
16.1	Gradeinteilung der Pathologie ..	556		
17	Historischer Rückblick	562		
17.1	Meilensteine der klinischen Elektroenzephalografie	562	17.2.3	W. Grey Walter (1910–1977)
17.1.1	Galvanometer	562	17.2.4	Pierre Gloor (1923–2003)
			17.2.5	Frederic A. Gibbs (1903–1992) und Erna L. Gibbs (1904–1987)
17.2	Wichtige Personen und klinische Schulen rund um das EEG	567	17.2.6	Unterschiedliche nationale und internationale EEG-Schulen
17.2.1	Hans Berger (1873–1941)	567	17.3	Ausblick
17.2.2	Edgar Douglas Adrian (1. Baron Adrian, 1889–1977)	568		
18	Literatur	571		
	Sachverzeichnis	597		