

Inhaltsverzeichnis

Teil I Grundlagen

1	Einleitung und Übersicht	18
1.1	Methode zwischen klinischem Alltag und Wissenschaft	18
1.2	Die klinische Bedeutung des EEG	18
1.3	Musterentstehung	19
1.4	Mustererkennung	19
1.4.1	Rechnergestützte Mustererkennung	19
1.4.2	Visuelle Mustererkennung	19
1.5	Indikationen für das EEG	20
1.6	Wissenschaftliche Aspekte	21
1.7	Ausbildung	21
1.8	Messung elektrischer Aktivität an Nervenzellen	22
2	Elektrophysikalische Grundlagen	24
2.1	Übersicht über die Signal-generierung und -registrierung	24
2.2	Methoden der Signalmessung	24
2.3	Signalweg des EEG	25
2.4	Elektrophysiologische Methodik	26
2.5	Potenzialentstehung (Generierung)	28
2.6	Elektrische Ladung	28
2.7	Ladungsträger	29
2.8	Elektrischer Strom	29
2.8.1	Stromrichtung	29
2.8.2	Elektrischer Stromfluss in Elektrolytlösungen	30
2.9	Elektrisches Potenzial	30
2.10	Elektrische Spannung	30
2.10.1	Potenzialdifferenz	31
2.11	Stromstärke, Stromdichte und Energiequellen	31
2.12	Elektrischer Widerstand	31
2.12.1	Leitfähigkeit	32
2.13	Gesetz der Energieerhaltung in elektrischen Stromkreisen (Kirchhoff-Regel)	32
2.13.1	Geschlossener Stromkreislauf	32
2.13.2	Stromfluss in biologischen Systemen	32
2.14	Elektrisches Feld	33
2.15	Potenzialfeld	33
2.16	Elektrischer Dipol und Dipolfeld	33
2.16.1	Dipolfeld	33
2.16.2	Feldlinien	34
2.16.3	Entstehung eines Feldpotenzials	35
2.16.4	Feldstärke	35
2.17	Neuronale Dipole	36
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	Tiefergelegene 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			
7.3.6	Differenzverstärker	106	7.7	Analysesoftware und Hilfestellungen für den EEG-Befund	130
7.3.7	Phasenumkehr	110	7.7.1	Lokalisationslehre	130
7.4	Prinzipien der Potenzialanalyse und Mustererkennung	111	7.7.2	Polaritäts- und Potenzialanalysen	131
7.4.1	Überlagerung (Summation)	111	7.7.3	Grafische Analyse der Potenzial- felder	135
7.4.2	Darstellung spezifischer Muster	112	7.8	Papierloses EEG (PL-EEG): analoge Registrierung und digitale Umwandlung	137
7.5	EEG-Haube	113	7.8.1	Analog-Digital-Wandler	138
7.5.1	Messung vom Nasion zum Inion	114	7.8.2	Das Aliasing-Phänomen	139
7.5.2	Messung von präaurikulär links zu präaurikulär rechts	115	7.8.3	Nyquist-Theorem	139
7.5.3	Messung der Zirkumferenz (Kopfumfang)	115	7.8.4	Fourier-Transformation	139
7.5.4	Parasagittale Längsreihe	116	7.8.5	Digitale Montagen	139
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 (S 1, N1), Vertexwellen	262
10.2.3	Alphagrundrhythmus mit Squeak-Effekt	238	10.4.6	Schlafstadium 2 (S 2, N2)	264
10.2.4	Alphagrundrhythmusvarianten	239	10.4.7	Schlafstadium 2 (S 2, N2), Schlafspindeln	266
10.2.5	Okzipitales Delta der Jugend	242	10.4.8	Schlafstadium 3 (Deltaschlaf, S 3, 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 (S 4, 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	Mittelliniennahes 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
			10.8	Technische/elektrische Artefakte	321
			10.8.1	Gerätebezogene Artefakte.	321
			10.8.2	Elektrodenartefakte	324
11	Abnorme EEG-Befunde	326			
11.1	Vorbemerkung	326	11.4.2	Abnorme (pathologische) Thetaaktivität	336
11.2	Regionale (umschriebene) Störungen	326	11.4.3	Abnorme (bzw. pathologische) Deltaaktivität.....	338
11.2.1	Flüchtige Veränderungen der physiologischen Grundaktivität... ..	327	11.5	Generalisierte repetitive/ rhythmische Entladungen	370
11.2.2	Einseitig fehlende Blockierung bzw. paradoxe Aktivierung der Grundtätigkeit	328	11.5.1	Triphasische Wellen, repetitive triphasische Wellen	370
11.2.3	Abnorme Asymmetrie physiologischer Muster: Schlafmuster	330	11.5.2	Rhythmische Deltaaktivität (RDA) ..	374
11.3	Abnorme Ausprägung weiterer physiologischer Muster und Rhythmen	331	11.6	Periodische (epileptiforme) Entladungen (G/PED/GPDs)	375
11.3.1	Abnorme Betaaktivität.	331	11.6.1	Vorbemerkung	375
11.3.2	Knochenlückenrhythmus	333	11.6.2	Nomenklatur der ACNS Critical Care EEG Terminology.....	375
11.4	Verlangsamungen	335	11.6.3	Einschränkungen im klinischen Gebrauch	376
11.4.1	Vorbemerkung	335	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
			11.7.5	Hypsarrhythmie	424
11.7.1	Fokale epilepsietypische Muster.	399	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 fokalmotorischer Status epilepticus (SE mit prominenten motorischen Symptomen, fokalmotorisch)	468
12.2.3	Frontallappenanfall.	430	12.4.6	Bewusst erlebter fokalsensorischer 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
13.2	Kontinuierliches EEG-Monitoring (cEEG) auf der Intensiv-(Überwachungs-)station (ITS)	486
13.2.1	Entwicklung der EEG-Diagnostik in der Intensivmedizin	487
13.2.2	Besonderheiten der EEG-Routineableitungen auf Intensivstationen	487
13.2.3	Klinische Befunde	487
13.2.4	Indikationen für das cEEG (oder wiederholte Routine-Ableitungen)	488
13.2.5	Technische Aspekte und technische Artefakte	488
13.2.6	Biologische Artefakte	489
13.3	Häufige EEG-Muster und -Fragestellungen auf Intensivstation	489
13.3.1	Muster bei Enzephalopathien	489
13.3.2	Repetitive Muster und Anfallsmuster auf der Intensivstation	490
13.3.3	Klinisches Spektrum der Anfalls- und Statusmuster	491
13.3.4	EEG-Diagnostik von Anfällen und Status epileptici auf der Intensivstation	493
13.3.5	Besonderheit: Stimulussensitive rhythmische, periodische oder iktale Entladungen (SIRPID)	498
13.4	Medikamenteneffekte auf der Intensivstation	499
13.4.1	Häufig in der Intensivmedizin eingesetzte Substanzen	499
13.5	Intoxikationen	502
13.5.1	Klinischer Exkurs Toxidrome	505
14	EEG bei Bewusstseinsstörungen	510
14.1	Vorbemerkung	510
14.1.1	Problem der Definition von Bewusstsein	510
14.1.2	Definition	510
14.1.3	Ursachen von Bewusstseinsstörungen	513
14.1.4	EEG-Befunde bei Bewusstseinsstörungen	513
14.2	Koma	514
14.2.1	Ursachen und Folgen eines Hirnstammfunktionsverlusts	515
14.2.2	Theta- bzw. Deltakoma	515
14.2.3	Koma mit intermittierendem Deltarhythmus	517
14.2.4	Koma mit kontinuierlichem Deltarhythmus	518
14.2.5	Kontinuierlicher Subdeltarhythmus	519
14.2.6	Alphakoma	519
14.2.7	Spindelkoma	522
14.2.8	Burst-Suppression-Muster (BSM)	522
14.2.9	Repetitive Muster bei bewusstseinsgestörten Patienten	522
14.3	Schwer beeinträchtigte bioelektrische Aktivität des Gehirns	530
14.3.1	Reaktivität auf Außenreize	531
14.3.2	Niederspannungs-EEG	533
14.4	Irreversibler Hirnfunktionsausfall (Hirntod)	535
14.4.1	Ablaufschema der Hirntoddiagnostik	535
14.4.2	Qualifikation, Dokumentation und Befunderstellung	537
14.4.3	Ableittechnik	537
14.4.4	Elektrozerebrale Inaktivität (ECI, Nulllinien-EEG)	538
14.4.5	Hirntoddiagnostik und Transplantationsmedizin	544

15	Medikamenteneffekte	545
15.1	EEG-Veränderungen	545
15.1.1	Beeinflussung der zerebralen Aktivität	545
15.1.2	Beeinflussung der zerebralen Erregbarkeit	546
15.1.3	Vigilanzeffekte	546
15.2	EEG-wirksame Medikamente ...	546
15.2.1	Antikonvulsiva	546
15.2.2	Psychopharmaka	549
16	Bewertung der EEG-Befunde	556
16.1	Gradeinteilung der Pathologie ..	556
17	Historischer Rückblick	562
17.1	Meilensteine der klinischen Elektroenzephalografie	562
17.1.1	Galvanometer	562
17.2	Wichtige Personen und klinische Schulen rund um das EEG	567
17.2.1	Hans Berger (1873–1941)	567
17.2.2	Edgar Douglas Adrian (1. Baron Adrian, 1889–1977)	568
17.2.3	W. Grey Walter (1910–1977)	568
17.2.4	Pierre Gloor (1923–2003)	569
17.2.5	Frederic A. Gibbs (1903–1992) und Erna L. Gibbs (1904–1987)	569
17.2.6	Unterschiedliche nationale und internationale EEG-Schulen	569
17.3	Ausblick	570
18	Literatur	571
	Sachverzeichnis	597