

# Inhaltsverzeichnis

1	Die Entstehung des Elektroenzephalogramms . . . . .	1
1.1	Historischer Rückblick . . . . .	1
1.2	Struktur des Gehirns . . . . .	2
1.2.1	Anatomische Grundlagen . . . . .	2
1.2.2	Morphologie der Hirnrinde . . . . .	3
1.3	Elektrische Aktivität des Gehirns . . . . .	4
1.3.1	Einführung . . . . .	4
1.3.2	Das Membranpotential . . . . .	6
1.3.3	Das Aktionspotential . . . . .	6
1.3.4	Die Entstehung des kortikalen EEG . . . . .	7
1.4	Beziehungen zwischen kortikalen EEG-Ableitungen und Ableitungen von der Kopfhaut . . . . .	10
	Literatur . . . . .	13
2	Elektroden . . . . .	15
2.1	Einleitung . . . . .	15
2.2	Arten von Elektroden . . . . .	15
2.2.1	Skalpelektroden . . . . .	15
2.2.2	Sphenoidalelektroden . . . . .	16
2.2.3	Nasopharyngealelektroden . . . . .	16
2.2.4	Kortexelektroden . . . . .	17
2.2.5	Intrazerebrale Elektroden . . . . .	17
2.3	Chlorieren von Silberelektroden . . . . .	18
2.4	Messung des Elektrodenwiderstandes . . . . .	19
2.5	Eigenschaften von Elektroden . . . . .	20
2.5.1	Elektrodenpotential . . . . .	20
2.5.2	Polarisation . . . . .	22
2.5.3	Reversible Elektroden . . . . .	22
2.6	Elektrodenersatzschaltbild . . . . .	23
2.7	Messung der Elektrodeneigenschaften . . . . .	24
2.8	Elektroden für DC-Ableitungen . . . . .	27
2.9	Elektroden für Wechselspannungsableitungen . . . . .	28
	Literatur . . . . .	29
3	Möglichkeiten der Ableitung . . . . .	31
3.1	Einleitung . . . . .	31
3.2	Bipolare Ableitungen . . . . .	32

3.3	Ableitungen gegen eine gemeinsame Referenz . . . . .	34
3.4	Ableitungen gegen eine Durchschnitts-Referenz . . . . .	37
3.5	Quellenableitung . . . . .	41
3.6	Vergleich der Ableitetechniken . . . . .	42
3.7	Praktische Beispiele . . . . .	45
3.8	Allgemeines . . . . .	48
	Literatur . . . . .	50
4	EEG-Geräte . . . . .	51
4.1	Einleitung . . . . .	51
4.2	Eigenschaften des Eingangskreises . . . . .	51
4.2.1	Eingangsnetzwerk . . . . .	51
4.2.2	Gleichphasige Potentiale . . . . .	53
4.2.3	Differenzverstärker . . . . .	54
4.2.4	Beschreibung des Eingangsnetzwerkes eines Differenzverstärkers . . . . .	55
4.3	Eigenschaften der Verstärker . . . . .	57
4.3.1	Einleitung . . . . .	57
4.3.2	Empfindlichkeit . . . . .	57
4.3.3	Linearität . . . . .	59
4.3.4	Frequenzgang . . . . .	60
4.3.5	Phasengang . . . . .	60
4.3.6	Rauschen . . . . .	61
4.4	Regelung des Frequenzganges . . . . .	62
4.4.1	Einleitung . . . . .	62
4.4.2	Filter für tiefe Frequenzen und Zeitkonstante . . . . .	63
4.4.3	Filter für hohe Frequenzen . . . . .	66
4.4.4	50-Hz-Filter . . . . .	68
4.5	Schreibsystem und Federndämpfung . . . . .	68
4.6	«Elektrodenverstärker» . . . . .	70
4.7	Gesamtsystem . . . . .	71
4.7.1	Frequenzgang . . . . .	71
4.7.2	Simultanschalter . . . . .	73
4.7.3	Blockieren des Verstärkers . . . . .	73
4.7.4	Papiervorschub und Zeitmarkierung . . . . .	74
4.7.5	Andere Einrichtungen . . . . .	74
4.8	Testen des EEG-Gerätes . . . . .	75
4.8.1	Einleitung . . . . .	75
4.8.2	Empfindlichkeit . . . . .	76
4.8.3	Linearität und Dynamik . . . . .	76
4.8.4	Gleichtaktunterdrückung . . . . .	77
4.8.5	Frequenzgang . . . . .	77
4.8.6	Eingangswiderstand . . . . .	78
4.8.7	Rauschen . . . . .	78
4.8.8	Papiervorschub . . . . .	79
4.9	Fehlersuche . . . . .	79
4.10	Sicherheitsfragen . . . . .	81
	Literatur . . . . .	82

5	Ableittechniken . . . . .	84
5.1	Einleitung . . . . .	84
5.2	Elektrodenanordnungen . . . . .	85
5.3	Ableitprogramme . . . . .	87
5.4	Aufsetzen der Elektroden . . . . .	89
5.5	Durchführung der Ableitung . . . . .	91
5.6	Provokationsmethoden . . . . .	93
5.6.1	Einleitung . . . . .	93
5.6.2	Hyperventilation . . . . .	93
5.6.3	Photostimulation . . . . .	94
5.6.4	Fernseh- und Musterempfindlichkeit . . . . .	95
5.6.5	Schlaf . . . . .	96
5.6.6	Intravenöse Verabreichung von Medikamenten . . . . .	96
5.7	Der Gebrauch der Kontrollschalter . . . . .	97
5.8	Artefakte . . . . .	99
5.8.1	Einleitung . . . . .	99
5.8.2	Externe elektrische Einstreuungen . . . . .	100
5.8.3	Elektroden- und Kabelartefakte . . . . .	102
5.8.4	Artefakte durch den Patienten . . . . .	103
	Literatur . . . . .	108
6	Visuelle Analyse des EEG . . . . .	110
6.1	Einleitung . . . . .	110
6.2	Zeitlich veränderliche Muster . . . . .	110
6.2.1	Beschreibung des Signals . . . . .	110
6.2.2	Sinuswellen . . . . .	111
6.2.3	EEG-Frequenzbänder . . . . .	113
6.2.4	Komplexe Wellenformen . . . . .	113
6.2.5	Spezifische Wellenformen . . . . .	115
6.3	Spatiale Muster . . . . .	118
6.3.1	Stationäre Potentialfelder . . . . .	118
6.3.2	Wandernde Potentialfelder . . . . .	119
6.4	Spatiale Analyse . . . . .	122
6.4.1	Einleitung . . . . .	122
6.4.2	Bestimmung der Potentialverteilung aus den Schreiber- auslenkungen . . . . .	123
6.4.3	Darstellung von kleinen Potentialfeldern . . . . .	124
6.4.4	Darstellung von großflächigen Potentialfeldern . . . . .	126
6.5	Beschreibung des EEG . . . . .	128
	Literatur . . . . .	130
7	Spezielle Techniken . . . . .	132
7.1	Anwendung spezieller Techniken . . . . .	132
7.1.1	Ableitung mit Sphenoidal-Elektroden . . . . .	132
7.1.2	Ableitung mit Nasopharyngeal-Elektroden . . . . .	133
7.1.3	Naso-ethmoidal-Elektroden . . . . .	133

7.1.4	Elektrokortikographie . . . . .	134
7.1.5	Intrazerebrale Ableitungen . . . . .	135
7.2	Ableitung in Intensivstationen . . . . .	136
7.3	Nachtschlaf-Ableitungen . . . . .	140
7.4	DC-Ableitungen . . . . .	142
7.5	Registrierung anderer Größen . . . . .	144
7.5.1	Einleitung . . . . .	144
7.5.2	Elektrokardiogramm und Herzfrequenz . . . . .	147
7.5.3	Atmung . . . . .	147
7.5.4	Augenbewegungen . . . . .	148
7.5.5	Muskelaktivität und Körperbewegung . . . . .	148
7.5.6	Hautwiderstand und Hautpotential . . . . .	149
7.5.7	Blutdruck . . . . .	150
7.5.8	Registrierung sensorischer Reize . . . . .	150
7.6	Anschluß von Zusatzeinrichtungen an EEG-Geräte . . . . .	151
7.7	Speicherung der EEG-Signale auf Magnetband . . . . .	152
7.8	Langzeitableitung von ambulanten Patienten . . . . .	154
7.9	Telemetrie . . . . .	155
7.9.1	Einleitung . . . . .	155
7.9.2	Modulationsverfahren . . . . .	156
7.9.3	Funk-Telemetrie . . . . .	157
7.9.4	Telephonische Übertragung . . . . .	159
7.10	EEG und Biofeedback . . . . .	161
	Literatur . . . . .	162
8	Ereignisbezogene Potentiale . . . . .	167
8.1	Einleitung . . . . .	167
8.2	Signal-Geräusch-Anhebung . . . . .	168
8.2.1	Überlagerung . . . . .	168
8.2.2	Mittelung . . . . .	168
8.3	Mittelung . . . . .	174
8.3.1	Einleitung . . . . .	174
8.3.2	Abtastrate und Segmentlänge . . . . .	175
8.3.3	Anzahl Segmente . . . . .	178
8.3.4	Numerische Vergrößerung . . . . .	181
8.3.5	Eichung . . . . .	181
8.3.6	Polarität und Nomenklatur . . . . .	183
8.3.7	Artefakte . . . . .	184
8.4	Variabilität evozierter Potentiale . . . . .	186
8.4.1	Latenzschwankungen . . . . .	186
8.4.2	Amplitudenschwankungen . . . . .	187
8.5	Die mittlere Reizantwort . . . . .	189
8.6	Einteilung ereignisbezogener Potentiale . . . . .	192
8.6.1	Einleitung . . . . .	192
8.6.2	Hirnstammpotentiale . . . . .	194
8.6.3	Somatosensorisch evozierte Potentiale . . . . .	196
8.6.4	Visuell evozierte Potentiale . . . . .	197
8.6.5	N100-Komponente . . . . .	200

8.6.6	P300-Komponente	201
8.6.7	Contingent Negative Variation (CNV)	202
8.6.8	Bereitschaftspotential	203
8.7	Ausmessung evozierter Potentiale	204
	Literatur	206
9	EEG-Signal-Analyse	209
9.1	Einleitung	209
9.2	Analoge und digitale Methoden	210
9.3	Amplitudenmaße	212
9.4	Messung von Wellenindizes	217
9.5	Frequenzanalyse – Theoretische Grundlagen	218
9.6	Frequenzanalyse – Analoge Methoden	223
9.6.1	Selektive Filterung	223
9.6.2	Funktionelle Beschreibung eines Analoganalysators	226
9.7	Frequenzanalyse – Digitale Methoden	228
9.7.1	Theoretische Grundlagen	228
9.7.2	Das Produkt eines Signals und einer Sinusschwingung	229
9.7.3	Beschreibung der Methode	231
9.7.4	Praktische Durchführung	235
9.7.5	Darstellung von Frequenzspektren	238
9.7.6	Eichung digitaler Frequenzspektren	239
9.8	Korrelationsanalyse	242
9.8.1	Theoretische Grundlagen	242
9.8.2	Kreuzkorrelationsfunktion	243
9.8.3	Autokorrelationsfunktion	244
9.8.4	Anwendung und Auswertung der Korrelationsanalyse	246
9.9	Kohärenzanalyse	248
9.9.1	Theoretische Grundlagen	248
9.9.2	Praktische Beispiele	250
9.10	Vergleich von Amplitudenspektrum, Korrelationsfunktion und Kohärenzanalyse	251
9.11	Spatiale Analyse	256
9.12	Analyse von Phasenbeziehungen	260
9.13	Andere Methoden zur EEG-Signalanalyse	261
9.13.1	Einleitung	261
9.13.2	Hjorth'sche Analyse	262
9.13.3	Autoregressiv-Analyse	263
9.13.4	Spektralparameter-Analyse (SPA)	264
9.13.5	Adaptive Segmentation	266
9.14	Statistische Behandlung von EEG-Daten	267
9.15	Mustererkennung	270
9.15.1	Einleitung	270
9.15.2	Mustererkennung in EEG-Signalen	270
9.15.3	Anwendung der Mustererkennung auf EEG-Befunde	272
9.15.4	Aufzeichnung von Bewußtseins- und Verhaltenszuständen	273
9.16	Computerunterstützte EEG-Analyse (CEAN)	274
9.17	Abschließende Bemerkungen	275

Literatur . . . . .	276
<b>Anhang</b>	
A Herstellung einer isotonischen Elektrodenpaste . . . . .	289
B Herstellung einer Bentonitpaste . . . . .	290
C Berechnung der Amplituden- und Zeitfehler bei Winkel- verzerrungen . . . . .	291
D Binäre Verschlüsselung . . . . .	293
E Numerisches Beispiel für die Fourieranalyse . . . . .	295
F Beispiel eines EEG-Befundes . . . . .	299
G Vergleich von Durchschnittsreferenz- und Quellenableitung . . .	303
Sachregister . . . . .	311