

Inhaltsverzeichnis

1 Entstehung bioelektrischer Signale.....	9
1.1 Das Neuron	9
1.2 Elektrische Erregungsleitung und Projektion.....	15
2 Verstärkung und analoge Filterung in der medizinischen Messtechnik.....	23
2.1 Eigenschaften von Biosignalen und Störungen.....	23
2.1.1 Eigenschaften von Biosignalen und Störungen im Zeitverlauf	24
2.1.1.1 Periodische Verläufe	24
2.1.1.2 Stochastischer Verlauf	27
2.1.1.3 Transienter zeitlicher Verlauf	28
2.1.2 Eigenschaften von Biosignalen und Störungen im Spektrum.....	30
2.1.3 Einkopplung von Störungen in die Messanordnung.....	32
2.1.3.1 Galvanische Störungseinkopplung.....	32
2.1.3.2 Kapazitiv eingekoppelte Störungen	34
2.1.3.3 Induktiv eingekoppelte Störungen	39
2.1.3.4 Elektromagnetisch eingekoppelte Störungen	41
2.2 Medizinische Messverstärker.....	45
2.2.1 Spezifik der medizinischen Messtechnik	45
2.2.1.1 Zugänglichkeit der Biosignalquelle	45
2.2.1.2 Komplexität des biologischen Messobjekts	46
2.2.1.3 Rückwirkung auf das biologische Messobjekt.....	46
2.2.1.4 Ankopplung des Messsystems an das biologische Messobjekt.....	47
2.2.1.5 Eingangswiderstände medizinischer Messverstärker	51
2.2.1.6 Gleichtaktunterdrückung medizinischer Messverstärker	54
2.2.1.7 Amplitudengang und Rauschen medizinischer Messverstärker	56
2.2.2 Differenzverstärker.....	60
2.2.3 Operationsverstärker, Instrumentationsverstärker	71
2.2.4 Isolationsverstärker	81
2.2.5 Guardingtechnik	83
2.2.6 Aktive Elektroden.....	87
2.3 Analoge Filter	89
2.3.1 Grundlagen.....	89
2.3.2 Filtertheorie und Systementwurf	96
2.3.2.1 Amplitudenorientierter Entwurf.....	96
2.3.2.2 Phasenorientierter Entwurf	100
2.3.3 Aktive Filter mit Operationsverstärkern	101
2.3.4 Phasenfrequenzgang.....	106

2.4 Übungen	110
2.4.1 Aufgaben	110
2.4.2 Lösungen	114
3 Erfassung, Abtastung und Digitalisierung von Biosignalen	121
3.1 Erfassung von Biosignalen	121
3.1.1 Ableittechnik	121
3.1.1.1 Erdung	125
3.1.1.2 Elektrische Masse	125
3.1.1.3 Referenz	125
3.1.2 Referenzen in der Biosignalerfassung	127
3.1.2.1 Ableitsysteme mit realen Referenze	128
3.1.2.2 Ableitsysteme mit virtuellen Referenzen	128
3.1.2.3 Referenzfreie Ableitungen	129
3.2 Abtastung von Biosignalen	132
3.2.1 Spektrale Eigenschaften der Abtastung	132
3.2.2 Abtastung von bandbegrenzten Signalen	137
3.2.3 Abtastung in Mehrkanalsystemen	141
3.3 Digitalisierung von Biosignalen	145
3.3.1 Integrierende Wandler	145
3.3.2 Sukzessive Approximation	149
3.3.3 Delta-Sigma-Wandlung	151
3.4 Übungen	156
3.4.1 Aufgaben	156
3.4.2 Lösungen	160
4 Zeit-, Frequenz- und Verbundbereich	173
4.1 Signalanalyse im Zeitbereich	173
4.1.1 Merkmalsidentifikation	174
4.1.1.1 Artefakte: Entstehung, Detektion und Elimination	174
4.1.1.2 Deterministische Merkmalsidentifikation	185
4.1.2 Ermittlung von Kurvenparametern	187
4.1.2.1 Amplitudendetektion	187
4.1.2.2 Flankendetektion	194
4.1.2.3 Bestimmung von Frequenz und Rate	197
4.2 Signalanalyse im Frequenzbereich	203
4.2.1 Fouriertransformation	203
4.2.1.1 Eigenschaften der FT und IFT	204
4.2.1.2 Fensterung	208
4.2.1.3 Faltung im Zeitbereich und Korrelationsfunktion	211
4.2.2 Diskrete Fouriertransformation	213
4.2.2.1 Kontinuierliche und diskrete Zeit	213
4.2.2.2 Diskrete Fouriertransformation als Kreuzkorrelation	216
4.2.2.3 Diskrete Fouriertransformation als Filterbank	218
4.2.2.4 Berechnung der DFT über die FFT	220
4.2.2.5 Fehlerquellen der DFT	224

4.3	Signalanalyse im Zeit-Frequenz-Verbundbereich.....	229
4.3.1	Einführung zu Zeit-Frequenz-Verteilungen	230
4.3.2	Fourierbasierte Zeit-Frequenz-Verteilungen	234
4.3.2.1	Short-Time-Fourier-Transform	234
4.3.2.2	Spektrogramm.....	237
4.3.2.3	Wigner-Verteilung	241
4.3.3	Wavelets.....	258
4.3.3.1	Skalierung und Fourier-basierte Zeit-Frequenz-Verteilungen	258
4.3.3.2	Wavelet-Transformation	261
4.3.3.3	Wavelets als Filterbank.....	267
4.3.3.4	Typen und Anwendungen von Wavelets	274
4.4	Übungen.....	286
4.4.1	Aufgaben	286
4.4.2	Lösungen	292
	Literatur	313
5	Digitale Filter	315
5.1	Einführung in die digitale Filterung.....	315
5.2	LTI-Systeme: FIR und IIR.....	317
5.2.1	Einführung zur Impulsantwort und Filterstruktur.....	317
5.2.2	Filter mit unendlicher Impulsantwort, IIR.....	318
5.2.2.1	Analoge und digitale Filterung – Impulsinvariante Technik....	318
5.2.2.2	Rekursive Filter.....	322
5.2.3	Filter mit endlicher Impulsantwort, FIR.....	326
5.2.3.1	Grundlagen.....	326
5.2.3.2	Kausalität von FIR-Filtern	329
5.2.3.3	Phasenfrequenzgang von FIR-Filtern	330
5.3	LTV-Systeme: zeitvariable und adaptive Filter	333
5.3.1	Grundlagen der zeitvariablen Filterung.....	333
5.3.2	Zeitvariable Filter.....	334
5.3.3	Adaptive Filter.....	338
5.3.3.1	Theoretische Grundlagen der adaptiven Filterung	338
5.3.3.2	Gradientenverfahren, LMS-Algorithmus	341
5.3.3.3	Adaptive Störungsunterdrückung, ANC	346
5.4	Räumlich-zeitliche Filterung	351
5.4.1	Grundlagen der räumlich-zeitlichen Filterung.....	351
5.4.2	Beamforming.....	354
5.4.3	Räumliche Filter.....	357
5.4.3.1	Spezifik der Biosignalquellen	357
5.4.3.2	Modellfreie räumliche Filter	358
5.4.3.3	Adaptive räumliche Filterung	362
5.4.4	Mittelwertreferenz	367
5.4.4.1	Theorie der Mittelwertreferenz	368
5.4.4.2	Die Mittelwertreferenz als räumliches Filter	369
5.4.4.3	Auswirkungen der Mittelwertreferenz	372
5.5	Übungen.....	377

5.5.1 Aufgaben	377
5.5.2 Lösungen	380
Literatur	389
6 Stochastische Prozesse	391
6.1 Grundlagen der analytischen Statistik	392
6.1.1 Verteilungen von Zufallsgrößen	392
6.1.1.1 Stetige und diskrete Verteilungen	392
6.1.1.2 Verteilungen und Deskriptionsmaße	394
6.1.1.3 Quantile und grafische Darstellung	400
6.1.1.4 Ausgewählte Verteilungen	403
6.1.1.5 Zentraler Grenzwertsatz	410
6.1.2 Statistischer Zusammenhang	412
6.1.2.1 Grundgesamtheit und Stichprobe	413
6.1.2.2 Korrelation und Darstellung von Zusammenhängen	414
6.1.3 Schätzverfahren	427
6.1.3.1 Grundlagen	427
6.1.3.2 Methoden	432
6.1.3.3 Konfidenzintervall	436
6.2 Statistische Tests	440
6.2.1 Grundlagen	440
6.2.2 Hypothesen für statistische Tests	442
6.2.3 Güte statistischer Tests, ROC	444
6.2.4 Parametrische Tests	448
6.2.4.1 Der t -Test	448
6.2.4.2 Wilcoxon-Test	455
6.2.4.3 Wilcoxon-Test vs. t -Test	458
6.2.4.4 Vorzeichentest	459
6.3 Statistische Analyse von Zeitreihen	462
6.3.1 Von statischen Daten zu Prozessen	462
6.3.1.1 Stichprobe und Ensemble	464
6.3.1.2 Stationarität und Ergodizität	465
6.3.2 Schätzung des Leistungsdichtespektrums	469
6.3.2.1 Das Parseval-Theorem	469
6.3.2.2 Das Periodogramm, direkte spektrale Schätzung	470
6.3.2.3 Indirekte spektrale Schätzer	472
6.3.2.4 Methoden zur Schätzung der spektralen Leistungsdichte	476
6.3.3 Spektrale Kreuzleistungsdichte und Kohärenz	482
6.3.3.1 Spektrale Kreuzleistungsdichte, das KLDS	482
6.3.3.2 Kohärenz	484
6.3.3.3 Das KLDS in der Systemidentifikation	487
6.4 Statistiken und Spektren höherer Ordnung	489
6.4.1 Momente und Kumulanten	489
6.4.1.1 Definitionen von Momenten und Kumulanten	490
6.4.1.2 Eigenschaften von Momenten und Kumulanten	491
6.4.2 Spektren höherer Ordnung	494

6.4.2.1 Definition von Spektren höherer Ordnung.....	494
6.4.2.2 Eigenschaften von Spektren höherer Ordnung.....	494
6.4.2.3 Schätzung der Spektren höherer Ordnung	496
6.4.3 Lineare und Quadratische Phasenkopplung.....	497
6.4.3.1 Lineare Phasenkopplung	498
6.4.3.2 Quadratische Phasenkopplung	499
6.5 Übungen.....	503
6.5.1 Aufgaben	503
6.5.2. Lösungen	506
Literatur	514
Glossar	515
Index	521