

Inhaltsverzeichnis

Autoren	xvii
Akronyme	xix
1 Einführung	1
Steffen Leonhardt und Marian Walter	
1.1 Worum geht es in diesem Buch?	1
1.2 Für wen ist dieses Buch?	3
Literaturverzeichnis	3
2 Physikalisch-technische Grundlagen	5
Steffen Leonhardt	
2.1 Zur Bedeutung der Diffusion in der Physiologie	5
2.1.1 Instationäre Lösung	7
2.1.2 Zur Vielfalt des Konzentrationsbegriffs	10
2.2 Gleich- und Gegenstromaustauschersysteme	12
2.2.1 Modellbildung	12
2.2.2 Stationäre Lösung	15
2.3 Physik der Phasengrenze	17
2.3.1 Der Partialdruck	18
2.3.2 Das Gesetz von Dalton	19
2.3.3 Das Gesetz von Henry	19
2.4 Reibungsbehafteter Transport von Fluiden	20
2.4.1 Das Gesetz von Hagen-Poiseuille	20
2.4.2 „Blut ist ein besonderer Saft“	23
2.4.3 Das „Ohm´sche Gesetz“ des Massentransportes	23
2.5 Analogiebetrachtungen für Quellen	24
2.5.1 Elektrische Ersatzquellen	25
2.5.2 Pneumatische Quellen	26
2.5.3 Hydraulische Quellen	28
2.6 Grundlagen der Systemtechnik	29
2.6.1 Gesteuerte Systeme	29

2.6.2	Das Prinzip der Rückkopplung	30
2.6.3	Das Prinzip der Homöostase	31
2.6.4	Technische und physiologische Regelkreise	34
2.6.5	Kategorien medizintechnischer Regelkreise	35
2.7	Aufgaben	37
	Literaturverzeichnis	38
3	Grundlagen der Modellbildung	39
	Berno J.E. Misgeld	
3.1	Einleitung	39
3.1.1	System und Modell	40
3.1.2	Komplexität von medizintechnischen Systemen	41
3.1.3	Modellzweck	42
3.2	Mathematische Modellbildung	43
3.2.1	Experimentelle Modellbildung	44
3.2.2	Theoretische Modellbildung	44
3.2.3	Simulation und Validierung	46
3.3	Kompartiment-Modelle	48
3.3.1	Modellierung des Gasaustauschs in einem Membranoxygenator	50
3.3.2	Herleitung der linearen Gleichungen	51
3.3.3	Nichlineares Modell des O ₂ -Kompartiments	52
3.4	Modellierung mittels konzentrierten und verteilten Parametern	55
3.4.1	Windkessel-Modell	56
3.4.2	Modellierung mit verteilten Parametern	59
3.4.3	Modelle des arteriellen Gefäßsystems	62
3.5	Biomechanische Modellierung	65
3.5.1	Lineare Modellierung des menschlichen Beins	66
3.5.2	Modellbildung mit Hilfe des Lagrange-Formalismus	68
3.6	Aufgaben	70
	Literaturverzeichnis	73
4	Künstliche Regelung des Blutdrucks	75
	Olaf Simanski und Ralf Kähler	
4.1	Einleitung	75
4.2	Physiologische Grundlagen der Blutdruckregulation	80
4.2.1	Kurzfristige Regulationsmechanismen	83
4.2.2	Mittelfristige Regulationsmechanismen	87
4.2.3	Langfristige Regulationsmechanismen	91
4.2.4	Pathophysiologie	93
4.3	Therapieansätze	95
4.4	Ansätze zur Automatisierung und Beispiele für konkrete Regelungskonzepte	96
4.4.1	Der eingesetzte Regler	100
4.4.2	Ergebnisse der p _{MAP} -Regelung mit Nitroprussid-Natrium	103

4.4.3	Erweiterung des Regelungssystems um die pMAP-Regelung mit Noradrenalin	103
4.5	Aufgaben	106
	Literaturverzeichnis	106
5	Herzunterstützungssysteme	107
	Sebastian Schwandtner und Christoph Nix	
5.1	Hämodynamik des Herz-Kreislauf-Systems	107
5.1.1	Das Herz als Pumpe in einem verzweigtem Röhrensystem	107
5.1.2	Der Herzzyklus - Drücke im Herzen und den herznahen Gefäßen	110
5.1.3	Drücke, Flüsse, Fließgeschwindigkeiten und Widerstände der einzelnen Kompartimente	112
5.1.4	Die Versorgung des Herzmuskels	114
5.2	Kardiale Leistungsindizes	115
5.2.1	Herzzeitvolumen \dot{V}_{HZV} - Cardiac Output CO	115
5.2.2	Cardiac Index CI	116
5.2.3	Cardiac Power Output/Index	116
5.2.4	Ejection Fraction (EF)	117
5.2.5	Zusammenfassung der wichtigsten kardialen Indizes	117
5.2.6	pV-Diagramm	118
5.2.7	Akutes Herzversagen	120
5.3	Herzunterstützungssysteme	121
5.3.1	Gegenpulsation	123
5.3.2	Intraaortale Ballonpumpe	124
5.3.3	Extraaortale Gegenpulsation (C-Pulse®)	126
5.3.4	Gegenpulsation mit Pumpenventrikeln (Symphony®) ...	127
5.3.5	Pulsatile Herzunterstützung mit Pumpenventrikeln	128
5.3.6	Herzunterstützung mit Rotationsblutpumpen	131
5.3.7	Synergy®-Diagonalpumpe von Circulite® (HeartWare®) .	133
5.3.8	Das HVAD® Zentrifugalpumpensystem von HeartWare® ..	134
5.3.9	Die Impella®-Blutpumpkatheter von Abiomed®	135
5.4	Hämodynamische Wirkung der mechanischen Herzkreislaufunterstützung	138
5.5	Aufgaben	143
	Literaturverzeichnis	144
6	Künstliche Beatmung	145
	Hans-Joachim Kohl und Stefan Mersmann	
6.1	Medizinische Grundlagen	145
6.1.1	Funktion der Atmung	145
6.1.2	Druck und Volumen	146
6.1.3	Flow	149
6.1.4	Pathophysiologie der Atmung	150
6.2	Historischer Abriss	153
6.2.1	Wechseldruckbeatmung	154

6.2.2	Unterdruckbeatmung	156
6.2.3	Überdruckbeatmung	156
6.3	Maschinelle Überdruckbeatmung: volumen- und druckkontrolliert	158
6.4	Aufbau eines Beatmungsgerätes	160
6.5	Gerätetechnik	162
6.5.1	Schlauchsystem	162
6.5.2	Ventile	164
6.5.3	Sensoren	166
6.6	Regelung Geräte-interner Größen	169
6.6.1	Inspiratorische Atemwegs-Druckregelung mit einer Flowquelle	169
6.6.2	Inspiratorische Volumenregelung mit einer Druckquelle .	174
6.6.3	Expiratorische Druckregelung	175
6.6.4	Automatic Tube Compensation	175
6.7	Beatmungssteuerung	176
6.7.1	Zeitliche Abfolgen (<i>Cycle Pattern</i>)	176
6.7.2	Spontanatemunterstützung	180
6.7.3	Art der Atemhübe (<i>Stroke Pattern</i>)	181
6.7.4	Zusätze für Beatmungsmuster	181
6.7.5	Andere übliche Bezeichnungen	182
6.7.6	Patientenmonitoring	183
6.7.7	Bestimmung von R_{rs} und C_{rs}	183
6.8	Automatisierung der künstlichen Beatmung	185
6.8.1	Motivation	185
6.8.2	Systemarchitektur und Funktionsprinzip	186
6.8.3	Techniken der Implementierung	188
6.8.4	Klinische Leitlinien zur Therapie-Unterstützung	188
6.8.5	Therapie-Automatisierung am praktischen Beispiel: SmartCare/PS®	190
6.9	Aufgaben	193
	Literaturverzeichnis	195
7	Extrakorporale Zirkulation und Gasaustausch	197
	Marian Walter und Rüdger Kopp	
7.1	Medizinische Grundlagen	197
7.2	Technik der extrakorporalen Zirkulation	199
7.2.1	Oxygenatoren	200
7.2.2	Blutpumpen	201
7.2.3	Sensoren	202
7.2.4	Schläuche und Kanülen	202
7.2.5	Weitere Komponenten	203
7.3	Mathematische Modellierung der Systemkomponenten	204
7.3.1	Modellierung des technischen Teilsystems	204
7.3.2	Modellierung der Physiologie	217
7.4	Regelung der extrakorporalen Lungenunterstützung	220

7.4.1	Klinische Sicht	220
7.4.2	Technische Regelungskonzepte	220
7.5	Aufgaben	223
	Literaturverzeichnis	224
8	Nierenersatztherapie	225
	Jörg Vienken	
8.1	Einleitung	225
8.2	Medizinische Grundlagen	227
8.3	Grundzüge der Dialyseverfahren	233
8.3.1	Grundlagen der Hämodialyse (HD)	234
8.3.2	Aufbau eines Dialysators	235
8.3.3	Die Peritonealdialyse (PD)	244
8.4	Ansätze zur Automatisierung der Dialyse	247
8.5	Zusammenfassung und Ausblick	252
8.6	Aufgaben	252
	Literaturverzeichnis	253
9	Leberersatztherapie	255
	Jörg Vienken	
9.1	Einleitung	255
9.2	Geschichtliche Entwicklung der Leberersatztherapie	258
9.3	Medizinische Grundlagen	259
9.4	Grundzüge der Leberersatzverfahren	263
9.4.1	Allgemeines	263
9.4.2	Albumin, ein Molekül mit vielen Eigenschaften	265
9.4.3	Mechanismen und Einflussgrößen der Adsorption	268
9.5	Leberersatzverfahren und Funktionsprinzipien	272
9.5.1	Die Hämoperfusion	272
9.5.2	Kombination von Dialyse und Adsorption - das <i>Liver</i> <i>Dialysis System BioLogic DT</i> [®]	273
9.5.3	Albumin-Dialyse: das MARS [®] -System	274
9.5.4	Fraktionierte Plasmaseparation, Adsorption und Dialyse: das Prometheus [®] -System	276
9.5.5	Bioreaktoren für die Leberersatztherapie	279
9.6	Ansätze zur Automatisierung	279
9.7	Aufgaben	281
	Literaturverzeichnis	282
10	Thermoregulation des Menschen	283
	Jochim Koch	
10.1	Einleitung	283
10.2	Wärmebilanz des Menschen	284
10.3	Mechanismen der Wärmeübertragung	285
10.3.1	Konvektion	285
10.3.2	Strahlung	286

10.3.3	Konduktion	287
10.3.4	Evaporation	288
10.3.5	Respiratorischer Wärmetransfer	290
10.4	Wärmeproduktion	291
10.4.1	Wärmeproduktion durch Grundumsatz	291
10.4.2	Wärmeproduktion durch Muskelarbeit	293
10.5	Bestimmung der Hautoberfläche	293
10.6	Körpertemperaturen	295
10.6.1	Definition der Körperkerntemperatur	295
10.6.2	Verteilung der Körpertemperaturen	296
10.6.3	Messung der Körperkerntemperatur	297
10.6.4	Normaltemperatur	298
10.6.5	Fieber	299
10.6.6	Hyperthermie	300
10.6.7	Hypothermie	300
10.7	Simulation der Thermoregulation	302
10.7.1	Allgemein	302
10.7.2	Mechanische Ersatzmodelle	302
10.7.3	Numerische Ersatzmodelle	303
10.7.4	Regulierung des Blutflusses und der Wärmeproduktion aus Modellsicht	304
10.7.5	Validierung von Ersatzmodellen	305
10.8	Wärmetherapiegeräte	306
10.8.1	Neonatalogie	307
10.8.2	Perioperative Hypothermie	310
10.8.3	Wiedererwärmen nach akzidenteller Hypothermie	310
10.8.4	Neuroprotektive Hypothermie in der Neonatalogie	311
10.8.5	Therapeutische Hypothermie in der Kardiologie	311
10.8.6	Therapeutische Hyperthermie in der Notfallambulanz	312
10.8.7	Therapeutische Hyperthermie in der Onkologie	312
10.9	Körpertemperaturregelung	312
10.9.1	Regelung der Hauttemperatur in der Neonatalogie	313
10.9.2	Körpertemperaturregelung bei therapeutischen Hypothermiegeräten	315
10.9.3	Einordnung	315
10.10	Aufgaben	316
	Literaturverzeichnis	316
11	Blutzuckerregulation des Menschen	319
	Katrin Lunze und Mathias Brendel	
11.1	Einleitung	319
11.2	Physiologische und pathophysiologische Grundlagen	320
11.2.1	Natürliche Blutzuckerregulation	320
11.2.2	Diabetes mellitus	325
11.2.3	Langzeitfolgeschäden	327

11.3	Exogene Insulintherapie	329
11.3.1	Therapieansatz	329
11.3.2	Glukosemessung	331
11.3.3	Insulinapplikation	332
11.3.4	Aktuelle manuelle Therapiemaßnahmen	333
11.4	Biologischer Organersatz	337
11.4.1	Transplantationstherapie	337
11.4.2	Vaskularisierte Pankreastransplantation	337
11.4.3	Transplantation isolierter Langerhans'scher Inselzellen	339
11.4.4	Vergleich der Therapieansätze	343
11.4.5	Notwendigkeit einer automatisierten Insulintherapie	343
11.5	Modelle des Glukosestoffwechselsystems	345
11.5.1	Grundstruktur des Stoffwechselmodells	345
11.5.2	Identifikation der Modellparameter	346
11.5.3	Bergman-Modell	348
11.5.4	Sorensen-Modell	349
11.6	Algorithmen für die künstliche Blutzuckerregelung	356
11.6.1	Sensor-Aktor-Weg	356
11.6.2	Herausforderungen für den Reglerentwurf	356
11.6.3	Modellbasierte Black-Box-Regelungsalgorithmen	357
11.6.4	Modellbasierte Grey-Box-Regelungsalgorithmen	358
11.7	Forschungsstand der automatisierten Therapie	359
11.7.1	Überblick über die Entwicklungsszenarien	359
11.7.2	Simulationen und Experimente	360
11.7.3	Zukünftige Entwicklungen	361
11.8	Aufgaben	362
	Literaturverzeichnis	362
12	Analyse und Regelung des Hirndrucks beim Hydrozephalus	365
	Inga Elixmann und Wolf-Ingo Steudel	
12.1	Einleitung	365
12.2	Grundlagen der Hirndruck-Entstehung und -Messung	368
12.2.1	Medizinische Grundlagen	368
12.2.2	Messmöglichkeiten	371
12.2.3	Sonden	374
12.2.4	Druck-Volumen-Kennlinie, Compliance und Hirndruck-Dynamik	379
12.3	Hydrozephalus und Liquordynamik	381
12.3.1	Medizinische Grundlagen	381
12.3.2	Geschichtliche Entwicklung der Shunt-Therapie	384
12.3.3	Shuntsysteme	386
12.4	Modellierung der Hirndruckdynamik	392
12.4.1	Zweck	392
12.4.2	Modelle mit konzentrierten Parametern	393
12.4.3	Finite-Elemente-Modelle	402

12.5	Aufgaben	403
	Literaturverzeichnis	404
13	Assistenzsysteme für die Anästhesie	405
	Steffen Leonhardt und Jürgen Manigel	
13.1	Einleitung	405
13.1.1	Begriffe und medizinischer Hintergrund	406
13.1.2	Geschichte der Anästhetika	407
13.1.3	Historischer Abriss der Gerätetechnik	409
13.2	Moderne Gerätetechnik	411
13.2.1	Atemantriebe	412
13.2.2	Dosierung von volatilen Anästhetika	415
13.2.3	Gasmesstechnik	418
13.2.4	Aufbau heutiger Atemsysteme	420
13.3	Pharmakologie der Anästhetika	426
13.3.1	Pharmakokinetik (PK)	426
13.3.2	Pharmakodynamik (PD)	431
13.4	Automatisierungskonzepte für Anästhesiemaschinen	435
13.4.1	Maschinen-interne Regelkreise	435
13.4.2	Der Patient als Störgröße	436
13.4.3	Patient-in-the-Loop	437
13.4.4	Computergestützte Narkose-Führung	439
13.5	Aufgaben	441
	Literaturverzeichnis	441
	Sachverzeichnis	443
A	Abbildungsnachweis	453