

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Physiologie und Pathophysiologie der Atmung . . . . .</b>	<b>1</b>			
	<i>Jörg Rathgeber</i>				
1.1	Anatomie des Respirationstraktes . .	1	1.8.2	Diffusion . . . . .	41
1.1.1	Lufttröhre und Bronchialsystem . . .	2	1.8.3	Störungen des alveolo-kapillären Gasaustausches . . . . .	44
1.1.2	Alveolen . . . . .	3	1.9	Sauerstoffbindung und Sauerstoffsättigung . . . . .	49
1.1.3	Lunge . . . . .	5	1.9.1	Sauerstoffbindungskurve . . . . .	49
1.1.4	Konditionierung der Atemgase . . . .	6	1.9.2	Zyanose . . . . .	50
1.1.5	Mukoziliäre Clearance . . . . .	7	1.9.3	Kohlenmonoxidintoxikation . . . . .	50
1.2	Atemantrieb und -regulation . . . . .	7	1.9.4	Methämoglobinämie . . . . .	51
1.2.1	Atemungszentren . . . . .	8	1.10	O <sub>2</sub> -Gehalt des Blutes . . . . .	52
1.2.2	Mechanisch-reflektorische Kontrolle der Atmung . . . . .	9	1.10.1	Sauerstofftransportkapazität . . . . .	52
1.2.3	Chemische Kontrolle der Atmung . .	9	1.10.2	Hypoxie, Hypoxämie und Sauerstoffangebot . . . . .	52
1.3	Atmung und Säure-Basen-Haushalt .	10	1.11	CO <sub>2</sub> -Elimination: Normoventilation – Hypoventilation – Hyperventilation .	53
1.3.1	Regulation des pH-Wertes . . . . .	10	1.12	Weiterführende Literatur . . . . .	55
1.3.2	Respiratorische Azidose . . . . .	12	<b>2</b>	<b>Grundlagen der maschinellen Beatmung . . . . .</b>	<b>57</b>
1.3.3	Respiratorische Alkalose . . . . .	13		<i>Jörg Rathgeber</i>	
1.3.4	Metabolische Azidose . . . . .	13	2.1	Beatmungszyklus und Beatmungsmuster . . . . .	57
1.3.5	Metabolische Alkalose . . . . .	15	2.1.1	Beatmungsmuster . . . . .	57
1.4	Atemmechanik . . . . .	15	2.1.2	Beatmungszyklus . . . . .	57
1.4.1	Atempumpe . . . . .	16	2.2	Einstellparameter am Respirator . . .	58
1.4.2	Resistance . . . . .	17	2.2.1	Sauerstoffkonzentration FiO <sub>2</sub> . . . . .	59
1.4.3	Compliance . . . . .	20	2.2.2	Atemfrequenz/Beatmungsfrequenz .	59
1.4.4	Atemarbeit . . . . .	24	2.2.3	Tidalvolumen (Atemzugvolumen), Atemminutenvolumen . . . . .	60
1.5	Alveoläre Ventilation, Totraumventilation . . . . .	27	2.2.4	Positiv endexpiratorischer Druck, PEEP . . . . .	61
1.6	Lungenfunktion . . . . .	28	2.2.5	Atemzeitverhältnis, I/E-Ratio, In- und Expirationszeit, inspiratorische Pause . . . . .	61
1.6.1	Lungenvolumina . . . . .	28	2.2.6	Inspirationsflow . . . . .	62
1.6.2	Lungenfunktionsmessungen . . . . .	29	2.2.7	Triggerempfindlichkeit . . . . .	63
1.6.3	Lungenfunktionsparameter . . . . .	32	2.3	Hilfsfunktionen . . . . .	65
1.7	Erkrankungen mit pathologischen Veränderungen der Lungenvolumina	33	2.3.1	Inspiratorischer Hold . . . . .	65
1.7.1	Restriktive Lungenerkrankungen . .	34			
1.7.2	Obstruktive Lungenerkrankungen . .	35			
1.8	Der alveolo-kapilläre Gasaustausch .	37			
1.8.1	Perfusion und Ventilation . . . . .	37			

2.3.2	Expiratorischer Hold . . . . .	65	3.3.3	Airway Pressure Release Ventilation, APRV . . . . .	122
2.3.3	Manual Breath . . . . .	65	3.3.4	Biphasische positive Druckbeatmung, BIPAP . . . . .	123
2.3.4	Seufzer-Funktion . . . . .	65	3.3.5	Proportional Assist Ventilation, PAV . . . . .	128
2.4	Überwachung der Beatmung . . . . .	65	3.4	Spontanatmung . . . . .	130
2.4.1	Grafische Darstellungen ventilatorischer Parameter . . . . .	65	3.4.1	Automatische Tubuskompensation, ATC . . . . .	130
2.4.2	Errechnete lungenmechanische Größen . . . . .	81	3.4.2	Continuous Positive Airway Pressure, CPAP . . . . .	132
2.4.3	Pulsoximetrie . . . . .	82	3.5	Rückkoppelnde Systeme: Hybridverfahren . . . . .	134
2.4.4	Transkutane $pO_2$ -Messung . . . . .	85	3.5.1	Mandatorische Mindest-Ventilation, MMV . . . . .	134
2.4.5	Pulsoximetrie oder transkutane $O_2$ -Messung? . . . . .	86	3.5.2	Volume Support, VS . . . . .	135
2.4.6	Transkutane $pCO_2$ -Messung . . . . .	87	3.5.3	Druckregulierte, volumenkontrollierte Beatmung, PRVC . . . . .	136
2.4.7	Kapnometrie . . . . .	88	3.5.4	Kontrolliert adaptive Beatmung, APV . . . . .	137
2.5	Steuerung des Respirators . . . . .	93	3.5.5	AutoFlow . . . . .	138
2.5.1	Drucksteuerung . . . . .	94	3.5.6	Druckregulierte volumenkonstante Beatmung: BiLevel-VG . . . . .	139
2.5.2	Flowsteuerung . . . . .	94	3.5.7	Adaptive Support Ventilation, ASV . . . . .	140
2.5.3	Volumensteuerung . . . . .	95	3.5.8	AutoMode . . . . .	141
2.5.4	Zeitsteuerung . . . . .	95	3.5.9	SmartCare/PS . . . . .	141
2.5.5	Triggerung der Inspiration . . . . .	95	3.6	Neurally Adjusted Ventilatory Assist, NAVA . . . . .	142
2.6	Anhang: Versorgung mit medizinischen Gasen . . . . .	97	3.7	Biologically Variable Ventilation, BVV . . . . .	144
2.6.1	Zentrale Gasversorgungsanlage . . . . .	97	3.8	Nichtinvasive Beatmung, NIV . . . . .	145
2.6.2	Dezentrale Gasversorgung . . . . .	98	3.8.1	Indikationen . . . . .	146
2.6.3	Dezentrale Sauerstoffversorgung durch $O_2$ -Konzentratoren . . . . .	99	3.8.2	Kontraindikationen . . . . .	147
2.7	Weiterführende Literatur . . . . .	100	3.8.3	Durchführung . . . . .	147
<b>3</b>	<b>Beatmungsformen . . . . .</b>	<b>103</b>	3.9	CPAP-Therapie bei Schlafapnoe-Syndrom . . . . .	154
	<i>Jörg Rathgeber</i>		3.9.1	Heimbeatmung mit BiLevel und BiPAP . . . . .	154
3.1	Terminologie . . . . .	103	3.10	Alternative Beatmungsverfahren: Hochfrequenzbeatmung, HFV . . . . .	154
3.2	Kontrollierte Beatmungsverfahren . . . . .	104	3.10.1	HF-Überdruckbeatmung, HFPPV (High Frequency Positive Pressure Ventilation) . . . . .	156
3.2.1	Volumenkontrollierte Beatmung, VC-CMV . . . . .	104	3.10.2	HF-Jetbeatmung, HFJV (High Frequency Jet Ventilation) . . . . .	156
3.2.2	Assistierte Beatmung, A/C . . . . .	107	3.10.3	Hochfrequenzpulsation, HFP (High Frequency Pulsation) . . . . .	157
3.2.3	Druckkontrollierte Beatmung, PC-CMV . . . . .	108			
3.2.4	Beatmung mit umgekehrtem Atemzeitverhältnis, IRV . . . . .	110			
3.2.5	„Fighting the respirator“ . . . . .	111			
3.2.6	Wechseldruckbeatmung, PNPV . . . . .	112			
3.3	Maschinell unterstützte Spontanatmung . . . . .	114			
3.3.1	Druckunterstützte Spontanatmung, PSV . . . . .	114			
3.3.2	Intermittierende mandatorische Beatmung, IMV . . . . .	119			

3.10.4	Hochfrequenz-Jet-Oszillation, HFJO (High Frequency Jet Oscillation) . . .	157	5.3	Zusätzliche Behandlungs- und Beatmungsstrategien bei schweren Formen von ALI und ARDS . . . . .	209
3.10.5	Forcierte Diffusionsventilation, FDV (Forced Diffusion Ventilation) . . . .	157	5.3.1	Alveoläre Rekrutmentstrategien . .	209
3.10.6	HF-Oszillation, HFOV (High Frequency Oscillation Ventilation) . . . . .	158	5.3.2	Inhalation vasoaktiver Substanzen .	214
3.10.7	Kombinierte HF-Systeme, CHFV (Combined High Frequency Ventilation) . . . . .	158	5.3.3	Surfactant-Substitution . . . . .	216
3.10.8	Superponierte Jet-Ventilation, SHFJV (Superimposed High Frequency Jet Ventilation) . . . . .	158	5.3.4	Glukokortikoide . . . . .	216
3.10.9	Technische Bewertung der HF-Beatmung . . . . .	159	5.3.5	Lagerungsbehandlung . . . . .	217
3.10.10	Indikationen für HF-Beatmung . . .	160	5.3.6	Flüssigkeitsbilanzierung . . . . .	219
3.11	Ein-Lungen-Ventilation und seitengetrennte Beatmung . . .	161	5.3.7	Extrakorporale Lungenersatzverfahren . . . . .	220
3.11.1	Ein-Lungen-Ventilation . . . . .	161	5.4	Weiterführende Literatur . . . . .	223
3.11.2	Seitengetrennte Beatmung . . . . .	165	<b>6</b>	<b>Extrapulmonale Störungen der Ventilation . . . . .</b>	<b>229</b>
3.12	Weiterführende Literatur . . . . .	166		<i>Jörg Rathgeber</i>	
<b>4</b>	<b>Atemgaskonditionierung in der Intensivmedizin . . . . .</b>	<b>169</b>	6.1	Therapie bei ventilatorischer Insuffizienz . . . . .	229
	<i>Jörg Rathgeber</i>		6.1.1	Ursachen der ventilatorischen Insuffizienz . . . . .	229
4.1	Aktive Befeuchter . . . . .	170	6.1.2	Chronisch-ventilatorische Insuffizienz . . . . .	230
4.1.1	Vernebler . . . . .	171	6.2	Kurzzeitbeatmung / postoperative Nachbeatmung . . . .	233
4.1.2	Verdunster . . . . .	171	6.3	Besonderheiten bei Patienten mit erhöhtem intrakraniellm Druck	235
4.1.3	Sprudler . . . . .	173	6.4	Besonderheiten bei Patienten mit Thoraxtrauma . . . . .	237
4.2	Passive Befeuchter: Heat and Moisture Exchanger, HME . . . .	173	6.4.1	Diagnostik . . . . .	237
4.2.1	Funktionsprinzip . . . . .	173	6.4.2	Therapie . . . . .	238
4.2.2	Hinweise für den Einsatz von HME .	175	6.5	Weiterführende Literatur . . . . .	242
4.3	Weiterführende Literatur . . . . .	176	<b>7</b>	<b>Respiratorentwöhnung und Extubation . . . . .</b>	<b>245</b>
<b>5</b>	<b>Akute respiratorische Insuffizienz und akutes Lungenversagen . . .</b>	<b>179</b>		<i>Jörg Rathgeber und Peter Neumann</i>	
	<i>Jörg Rathgeber und Peter Neumann</i>		7.1	Die einfache Entwöhnung . . . . .	246
5.1	Akute respiratorische Insuffizienz .	180	7.2	Die schwierige Entwöhnung . . . . .	247
5.1.1	Therapiestrategien . . . . .	181	7.2.1	Ursachen für die schwierige Entwöhnung . . . . .	248
5.1.2	Indikation zur Intubation und Beatmung . . . . .	185	7.3	Der Weg zur Extubation – welches Verfahren ist das richtige? .	249
5.1.3	Lungenprotektive Beatmung . . . . .	186	7.3.1	Prädiktoren, Spontanatmungs- versuch, Protokolle . . . . .	250
5.2	Akutes Lungenversagen, ARDS . . . .	204	7.3.2	Beatmungsformen . . . . .	251
5.2.1	Auslöser des ARDS . . . . .	206	7.3.3	Automatisierte Weaning-Modes . . .	255
5.2.2	ALI oder ARDS? . . . . .	206			
5.2.3	Klinischer Verlauf . . . . .	207			
5.2.4	Probleme bei der Beatmung . . . . .	209			

7.4	Weaning-Versagen . . . . .	255	9.5.1	Akute Desaturierung . . . . .	280
7.4.1	Tracheotomie . . . . .	256	9.5.2	Pulmonal-interstitielles Emphysem (PIE), Pneumomediastinum, Pneumoperikard . . . . .	281
7.4.2	Ernährung bei prolongierter Entwöhnung . . . . .	256	9.6	Atemgasklimatisierung . . . . .	282
7.5	Besonderheiten der Pflege des intubierten Patienten . . . . .	259	9.7	Monitoring der Beatmung . . . . .	283
7.6	Weiterführende Literatur . . . . .	261	9.7.1	Monitoring der O <sub>2</sub> - und CO <sub>2</sub> -Partialdrücke . . . . .	283
<b>8</b>	<b>Ventilator-assoziierte Pneumonie . . . . .</b>	<b>263</b>	9.7.2	Pulsoximetrie . . . . .	284
	<i>Jörg Rathgeber</i>		9.8	Erstversorgung des Neugeborenen und häufige Krankheitsbilder in der Neonatologie . . . . .	284
8.1	Pathophysiologie . . . . .	263	9.8.1	Postnatale Adaptationsverzögerung Früh- und Neugeborener . . . . .	284
8.2	Diagnostik . . . . .	265	9.8.2	Erstversorgung des Neugeborenen . . . . .	286
8.3	Therapeutische und präventive Maßnahmen . . . . .	265	9.8.3	Besondere Situationen der Erstversorgung . . . . .	287
8.3.1	Antibiotische Therapie . . . . .	265	9.8.4	Respiratorische Insuffizienz des Frühgeborenen . . . . .	287
8.3.2	Hygienemaßnahmen . . . . .	265	9.8.5	Bronchopulmonale Dysplasie, BPD . . . . .	290
8.3.3	Elimination von Keimreservoiraren . . . . .	266	9.8.6	Mekonium-Aspirations-Syndrom, MAS . . . . .	292
8.3.4	Präventive Maßnahmen . . . . .	268	9.9	Spezielle Krankheitsbilder der pädiatrischen Intensivmedizin . . . . .	293
8.4	Weiterführende Literatur . . . . .	269	9.9.1	Bronchiolitis . . . . .	293
<b>9</b>	<b>Beatmung in der Neonatologie und pädiatrischen Intensivmedizin . . . . .</b>	<b>271</b>	9.9.2	Krupp-Syndrom . . . . .	294
	<i>Jan-Holger Schiffmann</i>		9.9.3	Epiglottitis . . . . .	295
9.1	Definitionen . . . . .	271	9.10	Weiterführende Literatur . . . . .	295
9.1.1	Altersgruppen . . . . .	271	<b>10</b>	<b>Beatmung in der Rettungsmedizin . . . . .</b>	<b>297</b>
9.1.2	Respiratorische Kenngrößen . . . . .	272		<i>Jörg Rathgeber</i>	
9.2	Indikationen zur Beatmung . . . . .	272	10.1	Verbesserung des pulmonalen Gasaustauschs bei Notfallpatienten . . . . .	297
9.3	Airway-Management . . . . .	272	10.1.1	O <sub>2</sub> -Insufflation . . . . .	297
9.4	Praxis der maschinellen Beatmung . . . . .	274	10.1.2	Indikation zur Intubation . . . . .	298
9.4.1	Respiratoren in der pädiatrischen Intensivmedizin . . . . .	274	10.2	Besonderheiten bei Patienten mit chronisch ventilatorischer Insuffizienz . . . . .	299
9.4.2	Respiratoren in der Neonatologie . . . . .	274	10.3	Präoxigenierung . . . . .	300
9.4.3	Druckkontrollierte Beatmungsformen . . . . .	275	10.4	PEEP-Beatmung in der Notfallmedizin . . . . .	300
9.4.4	Druckunterstützte Beatmungsformen, PSV, PAV . . . . .	277	10.5	Die Beatmung in der Rettungsmedizin – immer invasiv? . . . . .	301
9.4.5	Volumenkontrollierte Beatmungsformen, VC-CMV . . . . .	278	10.6	Atemgasklimatisierung bei Notfallpatienten . . . . .	303
9.4.6	Hybridbeatmungsformen . . . . .	278			
9.4.7	High Frequency Oscillation Ventilation, HFOV . . . . .	278			
9.5	Komplikationen der Beatmung . . . . .	280			

10.7	Notfallrespiratoren . . . . .	303	11.5.5	Spontanatmungs-/ Handbeatmungssysteme zum externen Anschluss an Narkoseapparate . . . . .	341
10.8	Weiterführende Literatur . . . . .	304	11.6	Narkosegeräte und Patientensicherheit . . . . .	342
<b>11</b>	<b>Narkoseapparate und -systeme, Narkosebeatmung . . . . .</b>	<b>307</b>		<i>Jörg Rathgeber</i>	
	<i>Jörg Rathgeber, Jan Baum, Peter Neumann</i>		11.6.1	Sicherheitstechnische Anforderungen . . . . .	342
11.1	Dosierung der Frischgaszufuhr . . .	307		<i>Jörg Rathgeber</i>	
	<i>Jörg Rathgeber</i>		11.7	Narkosesysteme und -respiratoren für Säuglinge und Kleinkinder . . .	345
11.2	Dosierung und Applikation volatiler Anästhetika . . . . .	310		<i>Jörg Rathgeber</i>	
	<i>Jörg Rathgeber</i>		11.7.1	Handbeatmung oder maschinelle Beatmung? . . . . .	345
11.2.1	Narkosemittelverdunster/ -verdampfer . . . . .	310	11.7.2	Praktisches Vorgehen . . . . .	346
11.2.2	Pharmakokinetik und -dynamik der volatilen Anästhetika . . . . .	316	11.8	Umgebungsbelastung durch Inhalationsanästhetika . . . .	346
11.2.3	Sicherheitsvorschriften für Narkosemitteldosiervorrichtungen .	318		<i>Jörg Rathgeber</i>	
11.3	Narkosesysteme . . . . .	319	11.8.1	Narkosegasfortleitung . . . . .	346
	<i>Jan Baum, Jörg Rathgeber</i>		11.9	Atemgasklimatisierung während der Narkose . . . . .	348
11.3.1	Differenzierung der Narkosesysteme nach technisch-konstruktiven Kriterien . . . . .	320		<i>Jörg Rathgeber</i>	
11.3.2	Differenzierung der Narkosesysteme nach funktionellen Kriterien . . . .	326	11.10	Kontamination und Kreuzinfektion durch Narkosesysteme . . . . .	348
11.3.3	Narkosesysteme unter technischen und funktionellen Aspekten . . . .	327		<i>Jörg Rathgeber</i>	
11.3.4	Kohlendioxidabsorption . . . . .	329	11.10.1	Hygiene-Richtlinien . . . . .	349
11.3.5	Trägergaszusammensetzung . . . .	331	11.10.2	Atemsystemfilter, ASF . . . . .	349
11.4	Niedrigfluss-Inhalationsnarkosen . .	333	11.10.3	Empfehlungen für die Praxis . . . .	352
	<i>Jörg Rathgeber</i>		11.11	Narkosebeatmung . . . . .	352
11.4.1	Narkosen mit „normal flow“ . . . .	334		<i>Peter Neumann, Jörg Rathgeber</i>	
11.4.2	Narkosen mit „low flow“ . . . . .	334	11.11.1	Beatmungsformen während der Narkose . . . . .	352
11.4.3	Narkosen mit „minimal flow“ . . .	335	11.11.2	Pathophysiologische Besonderheiten der Narkosebeatmung . . . . .	354
11.4.4	Narkosen im geschlossenen System .	336	11.11.3	Einstellung der Ventilationsparameter . . . . .	356
11.5	Beatmungsmodule zur manuellen / maschinellen Beatmung . . . . .	337	11.11.4	Anästhesierelevante Besonderheiten bei Kleinkindern und Säuglingen . .	359
	<i>Jörg Rathgeber</i>		11.12	Anhang: Prüfung des Narkosegerätes auf Betriebsbereitschaft und Funktionssicherheit . . . . .	360
11.5.1	Dräger Kreissystem 7a/8 ISO . . . .	337	11.13	Weiterführende Literatur . . . . .	364
11.5.2	Narkoserespiratoren ohne Frischgasflow-Kompensation . . . .	338			
11.5.3	Narkosegeräte mit Frischgasflow- Kompensation . . . . .	340			
11.5.4	Closed-Loop-Feedback-Systeme . .	341			

<b>12</b>	<b>Beatmung und Analgosedierung</b>	<b>369</b>	<b>12.5</b>	Prophylaxe und Therapie von Entzugs-	
	<i>Jörg Rathgeber</i>			syndromen nach Langzeitsedierung	396
12.1	Sedierungs-Scores	370	12.6	Beatmung und Muskelrelaxation	397
12.1.1	Subjektive Scores	371	12.7	Weiterführende Literatur	397
12.1.2	Objektive Scores: Bispektral-Index	372			
12.2	Schmerzscores	373	<b>13</b>	<b>Monitoring: Messmethoden</b>	<b>399</b>
12.3	Gebräuchliche Substanzen			<i>Jörg Rathgeber</i>	
	und ihre Pharmakologie	374	13.1	Messung von Atemvolumina	
12.3.1	Pharmakokinetik			und Flow	400
	und kontextsensitive Halbwertszeit	374	13.1.1	Messgenauigkeit	400
12.3.2	Sedativa	374	13.1.2	Differenzdruckverfahren	401
12.3.3	Analgetika	385	13.2	Messung der Beatmungsdrücke	407
12.4	Empfehlungen		13.2.1	Pneumatische Druckmanometer	407
	für die klinische Praxis	393	13.2.2	Elektronische Drucktransducer	407
12.4.1	Analgetika – intermittierend		13.3	Messung von Gaskonzentrationen	407
	oder kontinuierlich	394	13.3.1	Sauerstoff	408
12.4.2	On-Demand-Analgesie	394	13.3.2	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O und volatile Anästhetika	411
12.4.3	Stufenkonzept der Analgosedierung		13.4	Weiterführende Literatur	416
	bei beatmeten Patienten	394			
12.4.4	Kurzzeitsedierung	395	<b>Sachverzeichnis</b>		<b>417</b>
12.4.5	Mittellange Sedierung	395			
12.4.6	Langzeitanalgosedierung	396			