

Inhaltsverzeichnis

1	Physiologie und Pathophysiologie der Atmung	1	1.8.2	Diffusion	41
	<i>Jörg Rathgeber</i>		1.8.3	Störungen des alveolo-kapillären Gasaustausches	44
1.1	Anatomie des Respirationstraktes	1	1.9	Sauerstoffbindung und Sauerstoffsättigung	49
1.1.1	Luftröhre und Bronchialsystem	2	1.9.1	Sauerstoffbindungscurve	49
1.1.2	Alveolen	3	1.9.2	Zyanose	50
1.1.3	Lunge	5	1.9.3	Kohlenmonoxidintoxikation	50
1.1.4	Konditionierung der Atemgase	6	1.9.4	Methämoglobinämie	51
1.1.5	Mukoziliäre Clearance	7	1.10	O₂-Gehalt des Blutes	52
1.2	Atemantrieb und -regulation	7	1.10.1	Sauerstofftransportkapazität	52
1.2.1	Atmungszentren	8	1.10.2	Hypoxie, Hypoxämie und Sauerstoffangebot	52
1.2.2	Mechanisch-reflektorische Kontrolle der Atmung	9	1.11	CO₂-Elimination: Normoventilation – Hypoventilation – Hyperventilation	53
1.2.3	Chemische Kontrolle der Atmung	9	1.12	Weiterführende Literatur	55
1.3	Atmung und Säure-Basen-Haushalt	10	2	Grundlagen der maschinellen Beatmung	57
1.3.1	Regulation des pH-Wertes	10	<i>Jörg Rathgeber</i>		
1.3.2	Respiratorische Azidose	12	2.1	Beatmungszyklus und Beatmungsmuster	57
1.3.3	Respiratorische Alkalose	13	2.1.1	Beatmungsmuster	57
1.3.4	Metabolische Azidose	13	2.1.2	Beatmungszyklus	57
1.3.5	Metabolische Alkalose	15	2.2	Einstellparameter am Respirator	58
1.4	Atemmechanik	15	2.2.1	Sauerstoffkonzentration FiO₂	59
1.4.1	Atempumpe	16	2.2.2	Atemfrequenz/Beatmungsfrequenz	59
1.4.2	Resistance	17	2.2.3	Tidalvolumen (Atemzugvolumen), Atemminutenvolumen	60
1.4.3	Compliance	20	2.2.4	Positiv endexspiratorischer Druck, PEEP	61
1.4.4	Atemarbeit	24	2.2.5	Atemzeitverhältnis, I/E-Ratio, In- und Exspirationszeit, inspiratorische Pause	61
1.5	Alveoläre Ventilation, Totraumventilation	27	2.2.6	Inspirationsflow	62
1.6	Lungenfunktion	28	2.2.7	Triggerempfindlichkeit	63
1.6.1	Lungenvolumina	28	2.3	Hilfsfunktionen	65
1.6.2	Lungenfunktionsmessungen	29	2.3.1	Inspiratorischer Hold	65
1.6.3	Lungenfunktionsparameter	32			
1.7	Erkrankungen mit pathologischen Veränderungen der Lungenvolumina	33			
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	Exspiratorischer 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
3	Beatmungsformen	103	3.9	CPAP-Therapie bei Schlapapnoe-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			

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

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 ₂ - und CO ₂ -Partialdrücke	283
8	Ventilator-assoziierte Pneumonie	263	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 Keimreservoiren	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
9	Beatmung in der Neonatologie und pädiatrischen Intensivmedizin	271	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	10	Beatmung in der Rettungsmedizin	297
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 ₂ -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	Präoxygenierung	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
11	Narkoseapparate und -systeme, Narkosebeatmung	307	<i>Jörg Rathgeber, Jan Baum, Peter Neumann</i>	<i>Jörg Rathgeber</i>	
11.1	Dosierung der Frischgaszufuhr . . .	307	11.6.1	Sicherheitstechnische Anforderungen	342
	<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			

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