

# Atmen - Atemhilfen

Atemphysiologie und Beatmungstechnik

Bearbeitet von  
Wolfgang Oczenski

10., überarbeitete und erweiterte Auflage. 2017. Buch inkl. Online-Nutzung. 584 S. Inkl. Online-Version in der eRef. Softcover

ISBN 978 3 13 137610 7

Format (B x L): 17 x 24 cm

Weitere Fachgebiete > Medizin > Klinische und Innere Medizin > Pneumologie, Atmung, Asthma

Zu [Leseprobe](#) und [Sachverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beack-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

# Inhaltsverzeichnis

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Anatomie des Respirationstrakts</b> .....                            | 21 |
| 1.1      | Luftleitungssystem .....  | 22 |
| 1.2      | Gasaustauschendes System. ....  | 25 |
| <b>2</b> | <b>Physiologie des Respirationstrakts</b> .....                         | 28 |
| 2.1      | Äußere und innere Atmung ....   | 28 |
| 2.2      | Zusammensetzung der Atemgase .....                                      | 28 |
| 2.3      | Respiratorischer Quotient .....   | 28 |
| 2.4      | Atemmechanik .....  | 29 |
| 2.4.1    | Definition .....  | 29 |
| 2.4.2    | Zwerchfell .....  | 29 |
| 2.5      | Übertragungen der Volumenänderungen des Thoraxraums auf die Lunge ..... | 31 |
| 2.6      | Unterschiede zwischen Spontanatmung und Beatmung .....                  | 31 |
| 2.6.1    | Druck-Zeit-Diagramm .....   | 31 |
| 2.7      | Druckgrößen in der Atemphysiologie und Beatmungstherapie .....          | 32 |
| 2.7.1    | Partialdruck .....  | 32 |
| 2.7.2    | Transmurale Druckdifferenz .....  | 35 |
| 2.7.3    | Alveolardruck (= intrapulmonaler Druck) .....                           | 35 |
| 2.7.4    | Intrapleuraler Druck (= intrathorakaler Druck) .....                    | 35 |
| 2.7.5    | Transpulmonaler Druck .....   | 36 |
| 2.7.6    | Transthorakaler Druck .....   | 37 |
| 2.7.7    | Transrespiratorischer Druck .....                                       | 37 |
| 2.7.8    | Volumenmessbedingungen .....  | 37 |
| 2.7.9    | Umrechnung zwischen den einzelnen Volumenmessbedingungen...             | 39 |
| 2.8      | Atemmechanische Größen .....  | 39 |
| 2.8.1    | Physikalische Grundlagen .....  | 39 |
| 2.8.2    | Resistance – Maß für den Strömungswiderstand .....                      | 41 |
| 2.8.3    | Atemsynchrone Resistance-Änderungen .....                               | 43 |
| 2.8.4    | Compliance – Maß für die Lungendehnbarkeit .....                        | 44 |
| 2.8.5    | Atemarbeit .....  | 53 |
| 2.9      | Pulmonaler Gasaustausch .....   | 57 |
| 2.9.1    | Ventilation .....   | 58 |
| 2.9.2    | Diffusion .....   | 59 |
| 2.9.3    | Perfusion .....   | 61 |
| 2.10     | Nachweis von Gasaustauschstörungen .....                                | 62 |
| 2.11     | Alveoloarterielle Sauerstoffpartialdruckdifferenz .....                 | 63 |
| 2.12     | Oxygenierungsindex .....  | 65 |
| 2.13     | Ventilations-/Perfusionsverhältnis .....                                | 65 |
| 2.14     | Lungendurchblutung .....  | 67 |
| 2.14.1   | Verteilung der Lungendurchblutung .....                                 | 68 |
| 2.14.2   | Regulation der Lungendurchblutung .....                                 | 70 |
| 2.14.3   | Hypoxische pulmonale Vasokonstriktion (HPV) .....                       | 74 |
| 1.3      | Weiterführende Literatur .....  | 27 |

|             |   |            |             |  |            |
|-------------|---|------------|-------------|--|------------|
| <b>2.15</b> | <b>Totraum – Totraumventilation . .</b>   | <b>75</b>  | <b>2.23</b> | <b>Differenzialdiagnose zwischen obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörungen. ....</b>       | <b>103</b> |
| 2.15.1      | Totraumquotient . . . . .   | 75         |             |  |            |
| 2.15.2      | Totraumventilation . . . . .  | 76         |             |  |            |
| 2.15.3      | Alveoläre Totraumventilation . . . .  | 76         | <b>2.24</b> | <b>Präoperative pulmonale Risikoeinschätzung . . . . .</b>   | <b>105</b> |
| <b>2.16</b> | <b>Intrapulmonaler Rechts-Links-Shunt . . . . .</b>   | <b>78</b>  | 2.24.1      | Präoperative Funktionsdiagnostik und Risikoeinschätzung vor all-gemeinchirurgischen Eingriffen . . . | 106        |
| 2.16.1      | Hepatopulmonales Syndrom – Sonderform eines intrapulmonalen Rechts-Links-Shunts . . . . .                                       | 81         | 2.24.2      | Präoperative Funktionsdiagnostik und Risikoeinschätzung vor lungenchirurgischen Eingriffen. . . .    | 107        |
| <b>2.17</b> | <b>Kompartimentmodell der Lunge .</b>   | <b>82</b>  | <b>2.25</b> | <b>Allgemeinanästhesie und Lungenfunktion. ....</b>  | <b>110</b> |
| <b>2.18</b> | <b>Sauerstofftransport im Blut. ....</b>  | <b>85</b>  | 2.25.1      | Faktoren der pulmonalen Gasaustauschstörung . . . . .  | 110        |
| 2.18.1      | Sauerstoffsättigung . . . . .   | 85         | 2.25.2      | Prävention intraoperativer Atelektasen . . . . .   | 114        |
| 2.18.2      | Sauerstoffbindungskurve . . . . .   | 86         | 2.25.3      | Messung der FRC beim beatmeten Patienten . . . . .   | 115        |
| 2.18.3      | Sauerstoffbindungskapazität . . . . .   | 88         | <b>2.26</b> | <b>Atemphysiologische Kenngrößen beim Erwachsenen . . . .</b>  | <b>118</b> |
| 2.18.4      | Sauerstoffgehalt. . . . .   | 88         | <b>2.27</b> | <b>Atemregulation. ....</b>  | <b>118</b> |
| 2.18.5      | Arteriovenöse O <sub>2</sub> -Gehaltsdifferenz (Ca-vDO <sub>2</sub> ) . . . . .   | 90         | 2.27.1      | Physiologische Regelmechanismen  | 118        |
| 2.18.6      | Sauerstofftransportkapazität (Sauerstoffangebot). . . . .   | 90         | 2.27.2      | Pathologische Atmungstypen . . . .   | 120        |
| 2.18.7      | Gemischt-venöse Sauerstoffsättigung. . . . .  | 91         | <b>2.28</b> | <b>Grundlagen des Säure-Basen-Haushalts . . . . .</b>  | <b>121</b> |
| 2.18.8      | Zentralvenöse Sauerstoffsättigung (ScVO <sub>2</sub> ) . . . . .  | 92         | 2.28.1      | Mathematische Grundlagen . . . . .   | 121        |
| 2.18.9      | Sauerstoffextraktionsrate. . . . .  | 92         | 2.28.2      | Definitionen und Normalbereiche .  | 121        |
| 2.18.10     | Beziehung zwischen O <sub>2</sub> -Angebot und O <sub>2</sub> -Aufnahme – DO <sub>2</sub> /VO <sub>2</sub> -Verhältnis. . . . . | 94         | 2.28.3      | Beurteilungen von Störungen des Säure-Basen-Haushalts. . . . .                                       | 123        |
| 2.18.11     | Kohlendioxidtransport im Blut . . . .   | 95         | 2.28.4      | Physiologische Gegenregulationsmechanismen . . . . .   | 124        |
| <b>2.19</b> | <b>Statische Lungenvolumina. ....</b>   | <b>96</b>  | <b>2.29</b> | <b>Weiterführende Literatur. ....</b>  | <b>125</b> |
| <b>2.20</b> | <b>Verschlussvolumen (Closing Volume) – Verschlusskapazität (Closing Capacity). . . . .</b>                                     | <b>98</b>  |             |  |            |
| <b>2.21</b> | <b>Dynamische Atemvolumina. ....</b>  | <b>99</b>  |             |  |            |
| <b>2.22</b> | <b>Atemflusswerte (Fluss-Volumen-Diagramm). ....</b>  | <b>101</b> |             |  |            |
| 2.22.1      | Quotient der Atemgasflüsse. . . . .   | 101        |             |  |            |
| 2.22.2      | Konfiguration des Fluss-Volumen-Diagramms. . . . .  | 102        |             |  |            |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>3</b> | <b>Respiratorische Insuffizienz</b>  | 127 |
| 3.1      | Respiratorisches System  | 127 |
| 3.2      | Atempumpe  | 127 |
| 3.3      | Definition und Klinik der respiratorischen Insuffizienz  | 128 |
| 3.4      | Pathophysiologie der postoperativen pulmonalen Funktionseinschränkung                                      | 130 |
| 3.4.1    | Prophylaxe perioperativer pulmonaler Komplikationen  | 132 |
| 3.5      | Pathomechanismen der postoperativen und post-traumatischen respiratorischen Insuffizienz                   | 133 |
| 3.6      | Kenngößen für die Indikation zur maschinellen Atemhilfe bei akuter respiratorischer Insuffizienz           | 133 |
| 3.7      | Weiterführende Literatur   | 134 |
| <b>4</b> | <b>Beatmungstechnik</b>  | 135 |
| 4.1      | Atemzyklus   | 135 |
| 4.1.1    | Phasenvariable   | 135 |
| 4.2      | Grafische Darstellung des Atemzyklus   | 137 |
| 4.2.1    | Druck-Zeit-Diagramm bei volumenkontrollierter Beatmung   | 137 |
| 4.2.2    | Druck-Zeit-Diagramm bei druckkontrollierter Beatmung   | 140 |
| 4.2.3    | Flow-Zeit-Diagramm   | 140 |
| 4.2.4    | Volumen-Zeit-Diagramm  | 145 |
| 4.2.5    | Druck-Volumen-Schleife (Pressure-Volume-Loop)  | 145 |
| 4.3      | Beatmungsmuster – Beatmungsformen  | 150 |
| 4.3.1    | Definition: Beatmungsmuster  | 150 |
| 4.3.2    | Definition: Beatmungsform (Atemhilfe)  | 153 |
| 4.3.3    | Auswahl der Atemhilfe  | 154 |
| 4.3.4    | Kontrollierte Beatmungsformen (CMV = Controlled Mechanical Ventilation = Continuous Mandatory Ventilation) | 157 |
| 4.3.5    | Maßnahmen zur Verbesserung der Oxygenierung  | 169 |
| 4.3.6    | Augmentierende Beatmungsformen   | 189 |
| 4.3.7    | Zusätzliche Beatmungsoptionen  | 223 |
| 4.4      | Seitengetrennte Beatmung (ILV = Independent Lung Ventilation)  | 243 |
| 4.4.1    | Definition   | 243 |
| 4.4.2    | Indikationen   | 243 |
| 4.4.3    | Wirkprinzip  | 243 |
| 4.5      | Nicht-invasive Beatmung (NIV = Non-invasive Ventilation)   | 245 |
| 4.5.1    | Definition   | 245 |
| 4.5.2    | Vorteile der NIV (im Vergleich zur invasiven Beatmung)   | 245 |
| 4.5.3    | Nachteile der NIV (im Vergleich zur invasiven Beatmung)  | 245 |
| 4.5.4    | Voraussetzungen für NIV  | 245 |
| 4.5.5    | Indikationen   | 246 |
| 4.5.6    | Kontraindikationen   | 246 |
| 4.5.7    | Nebenwirkungen   | 247 |
| 4.5.8    | Beatmungszugang („Interface“)  | 247 |
| 4.5.9    | Adaptationsphase   | 249 |
| 4.5.10   | Auswahl der Atemhilfe und praktische Durchführung  | 249 |
| 4.5.11   | Erfolgskriterien der NIV   | 253 |
| 4.5.12   | Abbruch- bzw. Intubationskriterien bei NIV   | 253 |
| 4.5.13   | Prädiktoren des NIV-Versagens  | 253 |
| 4.5.14   | Weaning und NIV  | 253 |
| 4.5.15   | Sedierung  | 254 |
| 4.5.16   | Monitoring   | 254 |
| 4.5.17   | Helium-Sauerstoff-Mischung   | 255 |

|            |   |     |            |   |     |
|------------|---|-----|------------|---|-----|
| 4.5.18     | Intermittierende kontrollierte<br>nächtliche Selbstbeatmung (ISB) –<br>Heimbeatmung .....                   | 255 | 4.6.3      | Patient-Respirator-Asynchronie<br>unter kontrollierter Beatmung ....                              | 256 |
| 4.5.19     | Wirkprinzip .....   | 255 | 4.6.4      | Patient-Respirator-Asynchronie<br>unter augmentierter Spontan-<br>atmung .....                    | 258 |
| 4.5.20     | Klinische Effekte .....   | 255 | 4.6.5      | Klinische Folgen. ....  | 262 |
| <b>4.6</b> | <b>Patient-Respirator-Asynchronie.</b>  | 256 | 4.6.6      | Diagnose .....  | 262 |
| 4.6.1      | Synonym .....   | 256 | 4.6.7      | Therapeutische Maßnahmen. ....  | 263 |
| 4.6.2      | Definition .....  | 256 | <b>4.7</b> | <b>Weiterführende Literatur.</b> .....  | 264 |
| <b>5</b>   | <b>Entwöhnung vom Respirator (Weaning)</b> .....  | 268 |            |   |     |
| <b>5.1</b> | <b>Definition</b> .....   | 268 | 5.4.2      | Atemwegsokklusionsdruck (P 0,1) .   | 284 |
| <b>5.2</b> | <b>Pathophysiologie der Entwöh-<br/>nung vom Respirator.</b> .....  | 269 | 5.4.3      | Maximale Inspiratorische Kraft<br>(MIP) .....   | 285 |
| 5.2.1      | Voraussetzung für eine erfolgreiche<br>Entwöhnung (allgemeine Weaning-<br>Strategien) .....                 | 269 | 5.4.4      | Tension-Time-Index (TTI) .....  | 285 |
| 5.2.2      | Determinanten der erforderlichen<br>Atemarbeit .....  | 269 | 5.4.5      | Automatische Tubuskompensation<br>(ATC) .....   | 286 |
| <b>5.3</b> | <b>Methoden der Entwöhnung vom<br/>Respirator (respiratorbezogene<br/>Weaning-Strategien)</b> .....         | 278 | <b>5.5</b> | <b>Weaning-Protokolle.</b> .....  | 286 |
| 5.3.1      | Diskontinuierliches Weaning. ....   | 278 | 5.5.1      | Nicht-invasive Beatmung als<br>Weaning-Strategie. ....  | 290 |
| 5.3.2      | Kontinuierliches Weaning .....  | 279 | <b>5.6</b> | <b>Automatische Entwöhnung vom<br/>Respirator – Closed-Loop-<br/>Beatmungsverfahren.</b> .....    | 291 |
| <b>5.4</b> | <b>Entwöhnungsindizes („Pre-<br/>dictors of Weaning Outcome“) .</b>   | 283 | 5.6.1      | Smart Care/PS .....   | 293 |
| 5.4.1      | Hechelindex (Rapid Shallow<br>Breathing Index [RSBI]) .....   | 283 | 5.6.2      | Adaptive Support Ventilation (ASV)  | 294 |
| <b>6</b>   | <b>Nebenwirkungen der maschinellen Beatmung</b> .....   | 301 | <b>5.7</b> | <b>Weiterführende Literatur.</b> .....  | 298 |
| <b>6.1</b> | <b>Kardiovaskuläre Neben-<br/>wirkungen</b> .....   | 301 | 6.1.4      | Pathophysiologische Auswirkungen<br>der Beatmung auf die Nachlast des<br>rechten Ventrikels ..... | 304 |
| 6.1.1      | Pathophysiologische Auswirkungen<br>der Beatmung auf die Vorlast des<br>rechten und linken Ventrikels. .... | 301 | <b>6.2</b> | <b>Renale Nebenwirkungen</b> .....  | 305 |
| 6.1.2      | Pathophysiologische Auswirkungen<br>der Beatmung auf die Nachlast des<br>linken Ventrikels .....            | 303 | <b>6.3</b> | <b>Hepatale Nebenwirkungen und<br/>Splanchnikusdurchblutung</b> .....                             | 305 |
| 6.1.3      | Pathophysiologische Auswirkungen<br>bei suffizientem und insuffizientem<br>Myokard .....                    | 304 | <b>6.4</b> | <b>Zerebrovaskuläre Neben-<br/>wirkungen</b> .....  | 306 |

|            |  |     |            |  |     |
|------------|--|-----|------------|--|-----|
| <b>6.5</b> | <b>Pulmonale Nebenwirkungen ...</b>  | 308 | <b>6.6</b> | <b>Pneumothorax und Thorax-<br/>drainage .....</b>         | 315 |
| 6.5.1      | Beatmungsassoziierte Lungen-<br>schädigung.....                                  | 308 | 6.6.1      | Pneumothorax .....   | 315 |
| 6.5.2      | Beatmungsinduzierte diaphrag-<br>male Dysfunktion .....                          | 314 | 6.6.2      | Thoraxdrainage.....  | 316 |
| 6.5.3      | Sauerstofftoxizität .....  | 314 | <b>6.7</b> | <b>Weiterführende Literatur .....</b>                      | 318 |
| <b>7</b>   | <b>Beatmungsmonitoring .....</b>   | 320 |            |  |     |
| <b>7.1</b> | <b>Pulsoxymetrie.....</b>  | 320 | 7.5.5      | Inspiratorische Sauerstoff-<br>konzentration .....         | 328 |
| 7.1.1      | Funktionsprinzip .....   | 320 | 7.5.6      | Atemgastemperatur .....                                    | 328 |
| 7.1.2      | Grenzen und Fehlermöglichkeiten<br>der Pulsoxymetrie .....                       | 321 | <b>7.6</b> | <b>Alarmmeldungen.....</b>                                 | 328 |
| <b>7.2</b> | <b>Kapnometrie – Kapnografie ....</b>  | 322 | <b>7.7</b> | <b>Elektrische Impedanztomografie<br/>(EIT) .....</b>      | 328 |
| 7.2.1      | Funktionsprinzip .....   | 322 | 7.7.1      | Definition.....  | 328 |
| 7.2.2      | Physiologisches Kapnogramm ....  | 322 | 7.7.2      | Funktionsprinzip .....                                     | 329 |
| <b>7.3</b> | <b>Erweitertes Monitoring .....</b>  | 325 | 7.7.3      | Visualisierung der Lungendehnung<br>("Lung-Stretch") ..... | 332 |
| <b>7.4</b> | <b>Monitoring der Atemmechanik .</b>   | 325 | 7.7.4      | Klinische Anwendung .....                                  | 334 |
| <b>7.5</b> | <b>Maschinenmonitoring<br/>(Respiratormonitoring) .....</b>                      | 325 | 7.7.5      | Regionale versus globale Druck-<br>Volumen-Beziehung.....  | 338 |
| 7.5.1      | Beatmungsdruck.....  | 325 | 7.7.6      | Limitationen und Kontra-<br>indikationen .....             | 338 |
| 7.5.2      | Volumenüberwachung .....   | 326 | <b>7.8</b> | <b>Weiterführende Literatur .....</b>                      | 338 |
| 7.5.3      | Frequenzüberwachung .....  | 327 |            |  |     |
| 7.5.4      | Apnoeventilation .....   | 327 |            |  |     |
| <b>8</b>   | <b>Anfeuchtung und Erwärmung des Atemgases<br/>(Atemgaskonditionierung).....</b> | 339 |            |  |     |
| <b>8.1</b> | <b>Physikalische Grundlagen .....</b>  | 339 | 8.3.1      | Aktive Befeuchtungssysteme .....                           | 343 |
| <b>8.2</b> | <b>Physiologie – Pathophysiologie.</b>   | 340 | 8.3.2      | Passive Befeuchtungssysteme.....                           | 344 |
| <b>8.3</b> | <b>Methoden zur Atemgas-<br/>konditionierung .....</b>                           | 343 | <b>8.4</b> | <b>Weiterführende Literatur .....</b>                      | 346 |
| <b>9</b>   | <b>Physikalische Therapie – Atemtherapie .....</b>                               | 348 |            |  |     |
| <b>9.1</b> | <b>Inzentive Spirometrie<br/>(SMI = Sustained Maximal<br/>Inspiration) .....</b> | 348 | <b>9.2</b> | <b>Oszillierende PEP-Systeme .....</b>                     | 349 |
| 9.1.1      | Funktionsprinzip .....   | 348 | 9.2.1      | Definition.....  | 349 |
|            |  |     | 9.2.2      | Aufbau und Funktionsprinzip.....                           | 349 |

|             |   |     |             |  |     |
|-------------|---|-----|-------------|--|-----|
| <b>9.3</b>  | <b>Expiratory Positive Airway Pressure (EzPAP).....</b>             | 351 | 9.4.2       | Aufbau.....  | 353 |
| 9.3.1       | Definition und Begriffserklärung ..                                 | 351 | 9.4.3       | Funktionsprinzip.....  | 354 |
| 9.3.2       | Aufbau.....   | 351 | 9.4.4       | Indikationen.....  | 355 |
| 9.3.3       | Funktionsprinzip.....   | 351 | <b>9.5</b>  | <b>Beatmungsinhalation (IPPB = Intermittent Positive Pressure Breathing) .....</b>   | 355 |
| 9.3.4       | Indikationen.....   | 353 | 9.5.1       | Technik der Beatmungsinhalation ..   | 355 |
| <b>9.4</b>  | <b>Nasale High-Flow-Sauerstofftherapie (HFOT).....</b>              | 353 | 9.5.2       | Indikationen.....  | 356 |
| 9.4.1       | Definition.....   | 353 | <b>9.6</b>  | <b>Weiterführende Literatur.....</b>   | 356 |
| <b>10</b>   | <b>Beatmungsstrategien bei verschiedenen Krankheitsbildern.....</b> | 357 |             |  |     |
| <b>10.1</b> | <b>ARDS (= Acute Respiratory Distress Syndrome) .....</b>           | 357 | 10.3.1      | Pathophysiologie.....  | 393 |
| 10.1.1      | Pathophysiologie und klinischer Verlauf.....                        | 357 | 10.3.2      | Beatmungsform – Beatmungsmuster.....   | 396 |
| 10.1.2      | Beatmungsstrategien beim ARDS ..                                    | 365 | 10.3.3      | Analosedierung .....   | 398 |
| 10.1.3      | Analosedierung .....  | 382 | <b>10.4</b> | <b>Herzinsuffizienz.....</b>   | 398 |
| <b>10.2</b> | <b>COPD und Asthma bronchiale... ..</b>                             | 384 | 10.4.1      | Pathophysiologie.....  | 398 |
| 10.2.1      | Definition und Pathophysiologie ..                                  | 384 | 10.4.2      | Beatmungsstrategie bei Linksherzinsuffizienz und kardiogenem Lungenödem .....        | 399 |
| 10.2.2      | Klinische Symptome .....  | 385 | <b>10.5</b> | <b>Pulmonalembolie – akute pulmonale Hypertonie .....</b>                            | 401 |
| 10.2.3      | Klassifikation des Schweregrads der COPD .....                      | 386 | 10.5.1      | Pathophysiologie.....  | 401 |
| 10.2.4      | Indikation zur maschinellen Atemhilfe .....                         | 386 | 10.5.2      | Beatmungsstrategie bei akuter pulmonaler Hypertonie und Rechtsherzinsuffizienz ..... | 401 |
| 10.2.5      | Abbruch- bzw. Intubationskriterien bei NIV .....                    | 387 | 10.5.3      | Atemhilfen .....   | 402 |
| 10.2.6      | Beatmungsform – Beatmungsmuster.....                                | 388 | 10.5.4      | Analosedierung .....   | 403 |
| 10.2.7      | Analosedierung .....  | 392 | <b>10.6</b> | <b>Weiterführende Literatur.....</b>   | 403 |
| <b>10.3</b> | <b>Schädel-Hirn-Trauma – erhöhter intrakranieller Druck.....</b>    | 393 |             |  |     |
| <b>11</b>   | <b>Additive Therapie beim akuten Lungenversagen (ARDS) .....</b>    | 408 |             |  |     |
| <b>11.1</b> | <b>Lagerungstherapie – kinetische Therapie.....</b>                 | 408 | 11.1.4      | Bauchlagerung versus kontinuierliche laterale Rotationstherapie ...                  | 417 |
| 11.1.1      | Oberkörperhochlagerung und Seitenlagerung.....                      | 408 | <b>11.2</b> | <b>Inhalative Vasodilatoren.....</b>   | 418 |
| 11.1.2      | Bauchlagerung.....  | 408 | 11.2.1      | Stickstoffmonoxid – NO .....   | 418 |
| 11.1.3      | Kontinuierliche laterale Rotationstherapie (KLRT) .....             | 415 | 11.2.2      | Prostanoide .....  | 423 |

|             |  |     |             |  |     |
|-------------|--|-----|-------------|--|-----|
| <b>11.3</b> | <b>Flüssigkeitsmanagement</b> .....  | 426 | 11.3.3      | Monitoring des Volumenstatus ...                                   | 428 |
| 11.3.1      | Pathophysiologischer Hintergrund   | 426 | 11.3.4      | Prognose – Letalität .....   | 428 |
| 11.3.2      | Restriktives Flüssigkeitsmanagement .....  | 427 | <b>11.4</b> | <b>Weiterführende Literatur</b> .....                              | 428 |
| <b>12</b>   | <b>Spezielle Behandlungsstrategien in der Therapie des akuten Lungenversagens</b> .....                                  | 431 |             |  |     |
| <b>12.1</b> | <b>Extrakorporale Gasaustauschverfahren</b> .....  | 431 | <b>12.2</b> | <b>Hochfrequenzbeatmung (High Frequency Ventilation – HFV)</b> ... | 448 |
| 12.1.1      | Definitionen .....   | 431 | 12.2.1      | Definition .....   | 448 |
| 12.1.2      | Extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) .....  | 432 | 12.2.2      | Formen der Hochfrequenzbeatmung .....                              | 448 |
| 12.1.3      | Pumpenfreie extrakorporale Lungenunterstützung zur CO <sub>2</sub> -Elimination (Interventional Lung Assist [iLA]) ..... | 441 | <b>12.3</b> | <b>Applikation von Surfactant</b> .....                            | 474 |
| 12.1.4      | Extrakorporale Low-Flow-CO <sub>2</sub> -Elimination am Nierenersatzverfahren .....                                      | 445 | 12.3.1      | Klinische Auswirkungen einer Surfactant-Schädigung .....           | 474 |
| 12.1.5      | Extrakorporale CO <sub>2</sub> -Elimination und Evidenz .....  | 446 | 12.3.2      | Klinische Wirkungen von exogen appliziertem Surfactant .....       | 474 |
| 12.1.6      | Zusammenfassung: extrakorporale Gasaustauschverfahren .....  | 447 | 12.3.3      | Surfactant-Präparate .....   | 475 |
|             |  |     | 12.3.4      | Dosierung .....  | 475 |
|             |  |     | <b>12.4</b> | <b>Weiterführende Literatur</b> .....                              | 476 |
| <b>13</b>   | <b>Weitere Therapieansätze in der Behandlung des akuten Lungenversagens</b> .....  | 478 |             |  |     |
| <b>13.1</b> | <b>Partielle Flüssigkeitsbeatmung (Partial Liquid Ventilation – PLV)</b>   | 478 | 13.1.6      | Nebenwirkungen .....   | 479 |
| 13.1.1      | Definition .....   | 478 | <b>13.2</b> | <b>Tracheale Gasinsufflation (TGI)</b> ..                          | 479 |
| 13.1.2      | Physikalisch-chemische Eigenschaften .....   | 478 | 13.2.1      | Definition und Wirkprinzip .....                                   | 479 |
| 13.1.3      | Formen der Flüssigkeitsbeatmung  | 478 | 13.2.2      | Indikationen .....   | 481 |
| 13.1.4      | Wirkprinzip .....  | 479 | <b>13.3</b> | <b>Weiterführende Literatur</b> .....                              | 481 |
| 13.1.5      | Klinische Effekte .....  | 479 |             |  |     |
| <b>14</b>   | <b>Beatmung in der Neonatologie und Pädiatrie</b> .....  | 482 |             |  |     |
| <b>14.1</b> | <b>Anatomische und physiologische Besonderheiten des kindlichen Respirationstrakts</b> .....                             | 482 | <b>14.2</b> | <b>Indikationen für maschinelle Atemhilfen</b> .....               | 486 |
| 14.1.1      | Lungenvolumina und Atemfrequenz .....  | 483 | 14.2.1      | Wahl der Tubusgröße für die endotracheale Intubation .....         | 487 |
| 14.1.2      | Blutgase .....   | 486 | 14.2.2      | Indikationen zur Intubation .....                                  | 488 |



|             |  |     |             |  |     |
|-------------|--|-----|-------------|--|-----|
| <b>14.3</b> | <b>Grundprinzipien der maschinellen Beatmung in der Neonatologie und Pädiatrie</b> ..... | 488 | <b>14.4</b> | <b>Respiratoren für die maschinelle Beatmung in der Neonatologie</b> ..                        | 502 |
| 14.3.1      | Beatmungsparameter .....   | 488 | 14.4.1      | Constant-Flow-Respirator .....   | 502 |
| 14.3.2      | Beatmungsformen – Beatmungsmuster. ....  | 495 | 14.4.2      | Leckagekompensation .....  | 505 |
| 14.3.3      | Grundeinstellung des Respirators. .  | 498 | <b>14.5</b> | <b>Weiterführende Literatur</b> .....  | 505 |
| 14.3.4      | Entwöhnung vom Respirator (Weaning). ....  | 501 |             |  |     |
| <b>15</b>   | <b>Technologie der Beatmungsgeräte</b> .....   | 507 |             |  |     |
| <b>15.1</b> | <b>Gasversorgung</b> .....   | 507 | <b>15.6</b> | <b>Klassifizierung der Respiratoren nach dem Atemgasdosierprinzip (Funktionsprinzip)</b> ..... | 516 |
| 15.1.1      | Zentrale Gasversorgung .....   | 507 | 15.6.1      | Constant-Flow-System .....   | 516 |
| 15.1.2      | Transportrespiratoren. ....  | 508 | 15.6.2      | Demand-Flow-System .....   | 517 |
| <b>15.2</b> | <b>Gasmischer</b> .....  | 509 | 15.6.3      | Intermittierendes Constant-Flow-System (Flow-Zerhacker-Prinzip) ..                             | 518 |
| 15.2.1      | Druckgasmischer .....  | 509 | 15.6.4      | Atemgasdosierung über ansteuerbare Hochdruckdosierventile („High-Pressure-Servoventile“). . .  | 519 |
| 15.2.2      | Strömungsmischer (Frischgasmischer) .....  | 509 | 15.6.5      | Atemgasdosierung über Proportionalventile .....  | 520 |
| 15.2.3      | Injektormischer .....  | 511 | 15.6.6      | Narkosesysteme. ....   | 523 |
| <b>15.3</b> | <b>Klassifizierung der Respiratoren nach dem Steuerprinzip</b> .....                     | 512 | <b>15.7</b> | <b>Atemsysteme für die intraoperative Beatmung</b> .....                                       | 526 |
| 15.3.1      | Inspiratorische Steuerungen .....  | 512 | 15.7.1      | Komponenten eines Narkoserespirators .....   | 526 |
| 15.3.2      | Expiratorische Steuerungen .....   | 513 | 15.7.2      | Klassifizierung der Atemsysteme ..   | 529 |
| <b>15.4</b> | <b>Triggerung</b> .....  | 513 | <b>15.8</b> | <b>Niedrigflusnarkosen</b> .....   | 550 |
| 15.4.1      | Pneumatikabhängige Triggerung ..   | 514 | 15.8.1      | Verfahrensspezifische Besonderheiten .....   | 550 |
| 15.4.2      | Pneumatikunabhängige Triggerung  | 515 | 15.8.2      | Praktische Durchführung von Niedrigflusnarkosen .....  | 555 |
| <b>15.5</b> | <b>Klassifizierung der Respiratoren nach dem Antriebsprinzip</b> .....                   | 515 | 15.8.3      | Xenonanästhesie .....  | 557 |
| 15.5.1      | Antriebsarten (Energiequellen). . .  | 515 | <b>15.9</b> | <b>Weiterführende Literatur</b> .....  | 559 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| <b>16</b>   | <b>Hyperbare Oxygenierung</b> .....                                   | 561 |
| <b>16.1</b> | <b>Physikalische Grundlagen</b> .....                                 | 561 |
| 16.1.1      | Gesetz von Dalton .....   | 561 |
| 16.1.2      | Gesetz von Henry .....  | 561 |
| 16.1.3      | Gesetz von Boyle-Mariotte .....                                       | 562 |
| <b>16.2</b> | <b>Pathophysiologische und<br/>biochemische Grundlagen</b> .....      | 563 |
| 16.2.1      | Dekompressionskrankheit<br>(Caisson-Krankheit) .....                  | 564 |
| <b>16.3</b> | <b>Indikationen für eine<br/>HBO-Therapie</b> .....                   | 565 |
| <b>16.4</b> | <b>Nebenwirkungen und Komplika-<br/>tionen der HBO-Therapie</b> ..... | 565 |
| <b>16.5</b> | <b>Kontraindikationen für eine<br/>HBO-Therapie</b> .....             | 566 |
| <b>16.6</b> | <b>Behandlungsschemata</b> .....                                      | 566 |
| <b>16.7</b> | <b>Technische Anlagen</b> .....                                       | 567 |
| <b>16.8</b> | <b>Weiterführende Literatur</b> .....                                 | 567 |
|             | <b>Sachverzeichnis</b> .....  | 569 |