

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>7</b>
<b>Wichtiger Hinweis</b>	<b>11</b>
<b>Geleitworte</b>	<b>13</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>19</b>
<b>Einleitung</b>	<b>29</b>
<b>1. Allgemeine Sicherheitshinweise</b>	<b>31</b>
<b>2. Grundlagen der Pathophysiologie – Therapieansätze</b>	<b>35</b>
2.1 <b>Respiratorische Insuffizienz</b>	<b>35</b>
2.1.1 <b>Definition – Klassifikation – Problematik</b>	<b>36</b>
2.1.2 <b>Akute respiratorische Insuffizienz</b>	<b>38</b>
2.1.2.1 <b>Hypoxämische Verlaufsform</b>	<b>38</b>
2.1.2.2 <b>Hyperkapnische Verlaufsform</b>	<b>42</b>
2.1.3 <b>Chronische respiratorische Insuffizienz</b>	<b>43</b>
2.1.4 <b>Veränderungen der Blutgase und des Säure-Basen-Haushalts</b>	<b>48</b>
2.1.5 <b>Grundlegende Therapieziele</b>	<b>53</b>
2.1.6 <b>Berechnungen zur Sauerstoffbilanz</b>	<b>54</b>
2.1.7 <b>Hypoxämie: wo liegt die kritische Grenze?</b>	<b>58</b>
2.2 <b>Entscheidungen vor Beginn der invasiven Beatmung</b>	<b>60</b>
<b>3. Grundlegende Zusammenhänge</b>	<b>67</b>
3.1 <b>Stromversorgung</b>	<b>67</b>
3.2 <b>Gasversorgung</b>	<b>68</b>
3.3 <b>Auswahl des geeigneten Beatmungsgerätes</b>	<b>70</b>
3.4 <b>Trigger</b>	<b>74</b>
3.4.1 <b>Funktionsprinzip</b>	<b>74</b>
3.4.1.1 <b>Inspirationstrigger</b>	<b>74</b>
3.4.1.2 <b>Expirationstrigger</b>	<b>77</b>
3.4.2 <b>Einstellung der Triggerempfindlichkeit</b>	<b>78</b>
3.4.2.1 <b>Inspirationstrigger</b>	<b>78</b>
3.4.2.2 <b>Expirationstrigger</b>	<b>78</b>

3.5	Flow	79
3.5.1	Floweinstellungen	79
3.5.2	Inspiratorischer Flowverlauf	84
3.5.2.1	Akzelerierender Flowverlauf	84
3.5.2.2	Konstanter Flowverlauf	84
3.5.2.3	Dezelerierender Flowverlauf	84
3.5.3	Expiratorischer Flowverlauf	87
3.6	Inspirations-Expirations-Verhältnis (I : E) und Inspirationszeit	90
3.7	Beatmungsfrequenz – Atemhubvolumen – Atemminutenvolumen	97
3.8	PEEP: Positive endexpiratory pressure	103
4.	<b>Beatmungsformen</b>	<b>111</b>
4.1	Kontrollierte Beatmung	112
4.1.1	Volumenkontrollierte Beatmung	113
4.1.2	Drucklimitierte Beatmung	119
4.1.3	Druckkontrollierte Beatmung	124
4.1.4	Inverse Ratio Ventilation (IRV)	128
4.2	Maschinell unterstützte Spontanatmung	135
4.2.1	Continuous Positive Airway Pressure (CPAP)	136
4.2.2	Druckunterstützte Spontanatmung	141
4.2.2.1	Funktionsprinzip	142
4.2.2.2	Steuerungsmechanismen	147
4.2.2.3	Einstellung der inspiratorischen Druckunterstützung	151
4.2.2.4	Druckunterstützte Spontanatmung: spontan oder kontrolliert?	156
4.2.2.5	Einstellung der Inspirationsanstiegszeit	158
4.2.2.6	Desynchronisationsphänomene	160
4.2.2.7	Druckunterstützte Spontanatmung versus kontrollierte Beatmung	165
4.2.2.8	Einschätzung	168
4.2.3	Proportional Assist Ventilation	170
4.2.3.1	Grundlegende Zusammenhänge	171
4.2.3.2	Technische Merkmale	172
4.2.3.3	PPS <sup>®</sup> : Proportional Pressure Support (DRÄGER)	173
4.2.3.4	PAV+ <sup>™</sup> : Proportional Assist Ventilation (Puritan Bennett 840 <sup>™</sup> )	177
4.2.3.5	Einschätzung	180

4.2.4	Volumenunterstützte Spontanatmung (Volume Support)	183
4.2.4.1	Merkmale und technische Umsetzung	183
4.2.4.2	Einschätzung	185
4.2.5	Neurally adjusted ventilator assist (NAVA)	185
4.2.5.1	Funktionsprinzip	186
4.2.5.2	Praktische Umsetzung	187
4.2.5.3	Vorteile	193
4.2.5.4	Nachteile und Grenzen	194
4.2.5.5	Einschätzung	195
4.3	Beatmungsmischformen	195
4.3.1	Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)	196
4.3.1.1	Merkmale und technische Umsetzung	198
4.3.1.2	Einschätzung	203
4.3.2	Mandatory Minute Ventilation (MMV)	203
4.3.3	Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP <sup>®</sup> )	205
4.3.3.1	Begriffsdefinitionen	205
4.3.3.2	Grundsätzliche Merkmale von BIPAP <sup>®</sup>	206
4.3.3.3	BIPAP <sup>®</sup> -Varianten	212
4.3.3.4	Indikationsfelder der einzelnen BIPAP <sup>®</sup> -Varianten	217
4.3.3.5	Einschätzung	220
4.3.4	Airway Pressure Release Ventilation (APRV)	221
4.3.4.1	Grundsätzliche Merkmale	222
4.3.4.2	Grenzen – Risiken	224
4.3.4.3	Einstellungshinweise	225
4.3.4.4	Einschätzung	230
4.3.5	Druckregulierte volumenkontrollierte Beatmung	230
4.3.5.1	Einschätzung	231
5.	Erweiterte Einstellungen	235
5.1	Seufzerbeatmung	235
5.2	Automatische Tubuskompensation	236
5.2.1	Funktionsprinzip	237
5.2.2	Einstellungen	241
5.2.3	Einschätzung	242

5.3	Automatischer Moduswechsel	243
5.3.1	Einschätzung	243
5.4	Apnoeventilation	244
6.	<b>Messverfahren und Überwachungsmaßnahmen</b>	<b>247</b>
6.1	Grundlagen	247
6.2	Flowmessung – Volumenmessung	249
6.2.1	Hitzdrahtmessung: ein Beispiel	250
6.2.2	Ultraschallmessung: ein Beispiel	250
6.2.3	Durchflusswandler: ein Beispiel	251
6.2.4	Flow- und Volumenüberwachung	252
6.3	Beatmungsdruckmessung	254
6.3.1	Druckmessverfahren	254
6.3.2	Überwachung des Beatmungsdrucks	255
6.3.2.1	Obere Druckgrenze	255
6.3.2.2	Untere Druckgrenze	256
6.3.2.3	Messung des Intrinsic-PEEP	257
6.3.2.4	Messung des Okklusionsdrucks	258
6.3.2.5	Messung des Negative Inspiratory Force (NIF)	260
6.4	Überwachung von Compliance und Resistance	261
6.4.1	Compliance	263
6.4.2	Resistance	264
6.4.3	Darstellung von Loops	266
6.4.3.1	Druck-Volumen-Loops	266
6.4.3.2	Flow-Volumen-Loops	274
6.4.3.3	Einschätzung und Bedeutung der Loop-Darstellung	274
6.5	Messung der Sauerstoffkonzentration	275
6.5.1	Messverfahren	276
6.5.2	Überwachung der Sauerstoffkonzentration	277
6.6	Apnoeüberwachung und Tachypnoeüberwachung	278
6.7	Überwachung technischer Alarme	280
7.	<b>Spezielle Beatmungs- und Therapiestrategien</b>	<b>283</b>
7.1	Lungenprotektive Beatmung	283

7.1.1	Auswahl der Beatmungsform	286
7.1.2	Festlegung des Tidalvolumens	287
7.1.2.1	Tidalvolumen: 6 ml/kg oder darf es auch etwas mehr sein?	288
7.1.3	Einstellung des Beatmungsdrucks	291
7.1.4	Hyperkapnie: permissiv oder doch therapeutisch?	292
7.1.5	Einstellung des PEEP	294
7.1.5.1	Grundlegende Zusammenhänge	294
7.1.5.2	Der transpulmonale Druck	297
7.1.5.3	Praktische Umsetzung	300
7.1.5.4	Zusammenfassende Einschätzung	304
7.1.6	Einstellung von Beatmungsfrequenz, Inspirationszeit und Inspirations-Expirations-Verhältnis	305
7.1.7	Einstellung der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration	307
7.2	Rekrutierungsmanöver	307
7.2.1	Ansatz und Ziel	308
7.2.2	Erfolgsprädiktoren	310
7.2.3	Durchführung	315
7.2.3.1	Voraussetzungen zur Durchführung	315
7.2.3.2	Einstellung des Respirators vor dem Rekrutierungsmanöver	320
7.2.3.3	Einzelschritte des Manövers	322
7.2.3.4	Rekrutierungsmanöver: ein Beispiel aus der Praxis	326
7.2.3.5	Grenzen – Risiken – Einschätzung	330
7.2.4	Weitere Rekrutierungsmaßnahmen	332
7.3	Therapie des akuten Lungenversagens (ARDS)	333
7.3.1	Beatmungsstrategie	333
7.3.2	Lagerungstherapie	334
7.3.2.1	Oberkörperhochlage	334
7.3.2.2	Seitenlage	336
7.3.2.3	Lagerungsdrainagen	337
7.3.2.4	Inkomplette und komplette Bauchlage	338
7.3.2.5	Laterale Drehung	353
7.3.3	Extrakorporale Lungenersatzverfahren	358
7.3.3.1	Grundlagen	359
7.3.3.2	Überlegungen vor der Anwendung	360
7.3.3.3	Protektive Effekte extrakorporaler Lungenersatzverfahren	360

7.3.3.4	Systeme für den extrakorporalen Lungensatz	362
7.3.3.5	Perspektiven	368
7.3.4	Selektive pulmonale Vasodilatation durch inhalatives Stickstoffmonoxid	368
7.3.4.1	Wirkungsmechanismen	369
7.3.4.2	Dosierung	370
7.3.4.3	Risiken und Komplikationen	370
7.3.4.4	Einschätzung	371
7.3.5	Hochfrequenz-Oszillationsventilation (HFOV)	372
7.3.5.1	Das Problem der konventionellen Beatmung	372
7.3.5.2	Vereinfachte Darstellung des Funktions- und Wirkungsprinzips	372
7.3.5.3	Einstellung der Beatmungsparameter	375
7.3.5.4	Klinischer Einsatz – Datenlage – Ausblick	375
7.3.6	Medikamentöse Therapie	378
7.4	Behandlung von Patienten mit chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen	382
7.4.1	Aktuelle und zukünftige Bedeutung der chronisch obstruktiven Lungenerkrankungen	382
7.4.2	Pathophysiologie: kurz gefasst	384
7.4.3	Grundlagen der klinischen Therapie	387
7.4.4	Beatmungsstrategien	390
7.4.4.1	Kontrollierte versus assistierende Beatmung	391
7.4.4.2	Einstellung des Unterstützungsdrucks und des Inspirationsflusses (Druckunterstützte Spontanatmung)	393
7.4.4.3	Einstellung des PEEP	393
7.4.5	Begleittherapie	396
7.5	Beatmung von Patienten mit erhöhtem intrakraniellen Druck	405
7.5.1	Einflüsse des arteriellen Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdrucks	405
7.5.2	Beatmungsstrategien	406
7.5.3	Lagerungsstrategien	409
<b>8.</b>	<b>Entwöhnung von der Beatmung</b>	<b>413</b>
	<b>Behandlungskonzept zur einfachen, schwierigen und prolongierten Entwöhnung</b>	
8.1	Der Begriff „Weaning“	414
8.2	Problemstellungen bei der Festlegung einer Entwöhnungsstrategie	415
8.3	Grundlagen und Einzelaspekte des Entwöhnungsprozesses	416

8.3.1	Strukturelle Voraussetzungen	417
8.3.2	Beatmungskonzept	421
8.3.3	Analgesiedierungskonzept	421
8.3.3.1	Scoring-Systeme zur Schmerzeinschätzung	423
8.3.3.2	Scoring-Systeme zur Einschätzung der Sedierung	426
8.3.3.3	Zielsetzung und Aufbau eines Analgesiedierungskonzepts	427
8.3.4	Therapie schwieriger psychischer Situationen	440
8.3.5	Ernährungskonzept	446
8.3.6	Transfusionskonzept	454
8.3.6.1	Konservative Transfusionsstrategie	455
8.3.6.2	Liberaler Transfusionsstrategie	457
8.3.7	Atmungstherapeutische und physiotherapeutische Maßnahmen	458
8.3.7.1	Mobilisation und Lagerung	459
8.3.7.2	Sekretmanagement	462
8.3.7.3	Atmungsunterstützende Techniken	468
8.3.7.4	Unterstützung beim Husten	470
8.3.9	Überleitungskonzept	478
8.3.10	Gesamtbehandlungskonzept im Überblick	482
	<b>Entwöhnungsverläufe: Grundsätzliche Vorbereitungsmaßnahmen und Strategien</b>	
8.4	Entwöhnungsverläufe	484
8.5	Entwöhnungsstrategien im Wandel der Zeit	490
8.6	Beatmungsformen im Entwöhnungsprozess	493
8.7	Intermittierende Spontanatmungsversuche	499
8.7.1	Varianten eines Spontanatmungsversuchs	500
8.7.2	Häufigkeit und Dauer des Spontanatmungsversuchs	502
8.8	Vorbereitung des Entwöhnungsprozesses	503
8.8.1	Behandlung der Ursache	504
8.8.2	Beatmungsstrategie	504
8.8.3	Analgesiedierungskonzept	504
8.8.3.1	Daily Wake-Up-Call	505
8.8.3.2	Protocol of no sedation	507
8.8.4	Tracheotomie	509

	<b>Die schwierige Entwöhnung</b>	
8.9	Die schwierige Entwöhnung	510
8.9.1	Ursachen – Probleme – Verläufe	510
8.9.2	Strategien	515
8.10	Einschätzung von Patienten unter Zuhilfenahme von Weaning-Protokollen	516
8.10.1	Wissenschaftliche Datenlage	517
8.10.2	Grundlagen der Entwicklung und praktischen Umsetzung	519
8.10.3	Einschätzungskriterien vor dem Spontanatmungsversuch	520
8.10.4	Durchführung des Spontanatmungsversuchs	529
8.10.5	Kriterien zum Abbruch des Spontanatmungsversuchs	532
8.10.6	Kritische Einschätzung	536
8.10.6.1	Was lässt sich aus den positiven Erkenntnissen als auch den Limitierungen lernen?	536
8.10.7	Weaning-Protokolle: ein Beispiel aus der Praxis	538
8.11	Extubation	541
8.11.1	Begleitmaßnahmen	541
8.11.2	Extubation mit Sog	544
8.11.3	Extubation mit Überdruck	545
8.11.4	Probleme und Behandlungsansätze in der Postextubationsphase	545
8.12	Tracheotomie	548
8.13	Nicht-invasive Beatmung	557
9.	<b>Künstliche Atemgasklimatisierung</b>	<b>563</b>
9.1	Atemgasklimatisierung bei normaler Atmung	563
9.2	Atemgasklimatisierung beim beatmeten Patienten	565
9.3	Grundlagen der künstlichen Atemgasklimatisierung	566
9.4	Methoden	568
9.4.1	Passive Atemgasklimatisierung	568
9.4.2	Aktive Atemgasklimatisierung	573
9.5	Empfehlungen für die Praxis	574
10.	<b>Auswirkungen der invasiven Beatmung auf verschiedene Organsysteme</b>	<b>579</b>
10.1	Auswirkungen auf die Lunge	579
10.1.1	Ventilator-Assoziierte-Pneumonie (VAP)	580

10.1.2	Beatmungsbedingte Traumatisierungen der Lunge	591
10.1.2.1	Volutrauma	591
10.1.2.2	Biotrauma	595
10.1.2.3	Barotrauma	596
10.1.2.4	Oxytrauma	599
10.1.2.5	Atelektrauma	600
10.2	Auswirkungen auf das Zwerchfell	600
10.3	Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf-System	603
10.4	Auswirkungen auf das Gehirn	606
10.5	Auswirkungen auf den Verdauungstrakt	606
10.6	Auswirkungen auf die Nierenfunktion	611
10.6.1	Hämodynamische Faktoren	611
10.6.2	Hormonelle und neuronale Faktoren	611
10.6.3	Therapiestrategien	614
	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>617</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>621</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>653</b>