

Inhaltsverzeichnis

1	Respiratorische Insuffizienz	1
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
1.1	Klassifizierung	2
1.2	Störungen der Ventilation	3
1.2.1	Störungen, die zur alveolären Hypoventilation führen können	4
1.2.2	Restriktive und obstruktive Ventilationsstörungen . .	4
1.3	Störungen des Belüftungs-Durchblutungs- Verhältnisses	5
1.4	Venöse Beimischung oder Shunt	5
1.4.1	Gesteigerte alveoläre Totraumventilation	7
1.4.2	Ventilatorische Verteilungsstörungen	9
1.5	Diffusionsstörungen	9
1.6	Veränderungen der funktionellen Residualkapazität	10
1.6.1	Abnahme der FRC	11
1.6.2	Zunahme der FRC	11
1.7	Veränderungen der Lungendehnbarkeit (Compliance)	12
1.8	Erhöhter Atemwegwiderstand (Resistance)	12
1.9	Ermüdung der Atemmuskulatur, »respiratory muscle fatigue«	13
1.9.1	Erhöhtes Lungenwasser	14
1.10	Störungen des Lungenkreislaufs	15
	Literatur	15
2	Beatmungsformen	17
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
2.1	Beatmungszyklus	18
2.2	Unterscheidung von Beatmungsformen	18
2.2.1	Auslösung der Inspiration	19
2.2.2	Durchführung der Inspiration: VCV und PCV	20
2.2.3	Beendigung der Inspiration	22
2.3	Atemtypen	22
2.3.1	Mandatorischer Atemtyp	23
2.3.2	Spontaner Atemtyp	23

2.4	Grundformen der Beatmung	23
2.4.1	Terminologische Erläuterungen zu VCV und PCV . . .	25
2.5	Einteilung der Beatmungsformen nach der Eigenleistung des Patienten	27
2.5.1	Augmentierende (unterstützende) Atemhilfen	28
2.5.2	Unkonventionelle Verfahren	30
	Literatur	30
3	Einstellparameter des Beatmungsgeräts	31
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
3.1	O₂-Konzentration	32
3.2	Atemhubvolumen	32
3.3	Atemminutenvolumen	33
3.4	Atemfrequenz	34
3.5	Positiver endexpiratorischer Druck (PEEP)	34
3.5.1	Extrinsischer und intrinsischer PEEP	35
3.5.2	Wirkungen auf das intrapulmonale Gasvolumen und den intrathorakalen Druck	35
3.5.3	Auswirkungen des PEEP auf die Lungenfunktion . . .	36
3.5.4	Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System	36
3.5.5	Indikationen für PEEP	37
3.5.6	Zeitpunkt der PEEP-Anwendung	38
3.5.7	Wie hoch soll der PEEP gewählt werden?	38
3.6	Maximaler Inspirationsdruck (p_{max})	39
3.6.1	Druckkontrollierte Beatmung	40
3.6.2	Volumenkontrollierte Beatmung	40
3.7	Inspiratorische Druckunterstützung	41
3.8	Atemzeitverhältnis, Inspirationszeit und Expirationszeit	42
3.8.1	»Inspiratory hold«	43
3.8.2	Verringerung des I:E-Verhältnisses	43
3.8.3	Erhöhung des I:E-Verhältnisses	44
3.9	Inspiratorische Pause	45
3.9.1	Volumenkontrollierte Beatmung	45
3.9.2	Druckkontrollierte Beatmung	45
3.10	Inspirationsflow bzw. Gasgeschwindigkeit	46
3.10.1	Volumenkontrollierte Beatmung	46
3.10.2	Hoher Inspirationsflow	46

3.10.3	Niedriger Inspirationsflow	46
3.10.4	Druckkontrollierte Beatmung	47
3.11	Inspirationsflow (Profil)	47
3.11.1	Volumenkontrollierte Beatmung	47
3.11.2	Druckkontrollierte Beatmung	48
3.12	Trigger und Triggerempfindlichkeit	48
3.13	Seufzer	49
3.14	Alarme	49
	Literatur	50
4	CMV – kontrollierte Beatmung	51
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
4.1	Prinzip der CMV	52
4.2	Volumenkontrollierte CMV	53
4.2.1	Grundeinstellung bei volumenkontrollierter Beatmung (VC-CMV)	53
4.2.2	Vorteile gegenüber PC-CMV	53
4.2.3	Nachteile gegenüber PC-CMV	54
4.3	Druckkontrollierte CMV	54
4.3.1	Grundeinstellung bei druckkontrollierter Beatmung (PC-CMV)	55
4.3.2	Vorteile gegenüber VCV	55
4.3.3	Nachteile gegenüber VCV	55
4.4	Druck- oder volumenkontrollierte Beatmung bei schwerer Lungenschädigung?	56
4.5	Indikationen für die kontrollierte Beatmung . . .	56
4.6	»Dual-control modes«: PRVC und VAPS	56
4.7	Druckbegrenzte Beatmung (PL-VCV)	57
	Literatur	58
5	IMV und MMV – partielle mandatorische Beatmung	59
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
5.1	Intermittierende kontrollierte Beatmung (IMV) . .	60
5.1.1	Grundeinstellung der SIMV	61
5.1.2	Vorteile der IMV im Vergleich mit CMV und A/C	61
5.1.3	Nachteile der IMV im Vergleich mit CMV und A/C . . .	62
5.1.4	Klinische Bewertung der SIMV	62
5.2	Mandatorische Minutenbeatmung (MMV)	62

5.2.1	Grundeinstellung bei MMV	63
5.2.2	Nachteile der MMV	64
	Literatur	64
6	PSV/ASB – druckunterstützte Spontanatmung	65
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
6.1	Druckunterstützte Beatmung («pressure support«)	66
6.1.1	Grundeinstellung von PSV/ASB	67
6.1.2	Vorteile der PSV	68
6.1.3	Nachteile der PSV	69
6.1.4	Klinische Bewertung der PSV	69
6.2	Volumenunterstützte Beatmung («volume support«)	70
6.2.1	Klinische Bewertung	70
6.2.2	AutoMode	71
6.2.3	Volume assured pressure support (VAPS)	71
	Literatur	71
7	BIPAP – biphasische positive Druckbeatmung	73
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
7.1	Prinzip des BIPAP	74
7.2	Einstellgrößen des BIPAP	74
7.2.1	Grundeinstellung des BIPAP	75
7.2.2	Bewertung des BIPAP	77
7.3	Beatmungsmodi	77
7.3.1	Kontrollierte Beatmungsmodi	77
7.3.2	Partielle Beatmungsmodi	78
7.3.3	Spontanatmungsmodus (CPAP)	78
	Literatur	79
8	APRV – Beatmung mit Druckentlastung der Atemwege	81
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
8.1	Prinzip der APRV	82
8.2	Einstellung der APRV	83
8.3	Vorteile der APRV	84
8.4	Nachteile der APRV	84
8.5	Klinische Bewertung der APRV	85
	Literatur	85

9	PAV/PPS – proportional druckunterstützte Spontanatmung	87
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
9.1	Prinzip der PAV	88
9.2	Funktion der PAV	89
9.3	Einstellung der PAV	89
9.4	Vorteile der PAV	90
9.5	Nachteile der PAV	91
9.6	Bewertung der PAV	91
	Literatur	91
10	ASV und NAVA – komplexe Beatmungsformen	93
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
10.1	ASV – angepasste unterstützende Beatmung . . .	94
10.1.1	Grundeinstellung der ASV	94
10.1.2	Regeln für Lungenschutz	95
10.1.3	Klinische Bewertung der ASV	96
10.2	NAVA – proportional druckunterstützter Spontanatmungsmodus	96
	Literatur	96
11	CPAP – Spontanatmung bei kontinuierlichem positivem Atemwegdruck	97
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
11.1	Prinzip des CPAP	98
11.2	Continuous-Flow-CPAP	98
11.2.1	Nachteile	98
11.3	Demand-Flow-CPAP	99
11.3.1	Vorteile gegenüber Continuous-Flow-CPAP	99
11.4	Wirkungen des CPAP	99
11.5	Einsatz des CPAP	100
	Literatur	101
12	ATC – automatische Tubuskompensation	103
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
12.1	Wirkung der ATC	104
12.1.1	Wirkungen während der Inspiration	104
12.1.2	Wirkungen während der Expiration	105

12.2	Einstellung von ATC	106
12.3	Probleme mit ATC	107
12.4	Klinische Bewertung von ATC	107
	Literatur	107
13	IRV – Beatmung mit umgekehrtem Atemzeitverhältnis	109
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
13.1	Einfluss der IRV auf den pulmonalen Gasaustausch	110
13.2	Einstellung der IRV	110
13.3	Volumenkontrollierte IRV (VC-IRV)	111
13.4	Druckkontrollierte IRV (PC-IRV)	111
13.5	IRV und PEEP	111
13.6	Vorteile der IRV	113
13.7	Nachteile der IRV	113
13.8	Anwendung der IRV	114
	Literatur	115
14	Permissive Hyperkapnie	117
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
14.1	Auswirkungen der Hyperkapnie	118
14.1.1	Ungünstige Auswirkungen und Gefahren	118
14.1.2	Günstige Auswirkungen	119
14.2	Indikationen der permissiven Hyperkapnie	119
14.3	Kontraindikationen der permissiven Hyperkapnie	119
14.3.1	Begrenzung des Atemwegdrucks	120
14.4	Begleitende Maßnahmen	120
14.5	Klinische Bewertung der permissiven Hyperkapnie	120
	Literatur	121
15	Lung-Recruitment-Manöver und Open-Lung-Konzept	123
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
15.1	Durchführung der Recruitmentmanöver	124
15.2	Open-Lung-Konzept	125
15.3	Klinische Bewertung der Recruitmentmanöver	126
	Literatur	127

16	Beatmung in Bauchlage	129
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
16.1	Wirkung der Bauchlagerung	130
16.2	Indikationen der Bauchlagerung nach der DGA/BDA-Leitlinie	130
16.3	Kontraindikationen der Bauchlagerung	131
16.4	Risiken der Bauchlagerung	131
16.5	Sicherheitsmaßnahmen bei Bauchlagerung	131
16.6	Klinische Bewertung der Bauchlagerung	132
	Literatur	133
17	HFV – Hochfrequenzbeatmung	135
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
17.1	Prinzip der HFV	136
17.2	Indikationen der HFV	136
17.3	Beatmungsformen der HFV	136
17.3.1	HFV mit positivem Druck (»high frequency positive pressure ventilation«, HFPPV)	137
17.3.2	Hochfrequenzjetbeatmung (»high frequency jet ventilation«, HFJV)	137
17.3.3	Hochfrequenzoszillationsbeatmung (»high frequency oscillation«, HFO)	138
17.4	Vorteile der HFV	139
17.5	Nachteile der HFV	140
	Literatur	140
18	ECMO – extrakorporale Lungenunterstützung	143
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
18.1	Prinzip der ECMO (extrakorporale Membran- oxygenierung)	144
18.2	Formen der ECMO	144
18.2.1	Venovenöse ECMO	144
18.2.2	Arteriovenöse ECMO	146
18.3	Verfahrensaspekte der ECMO	148
18.4	Beatmung unter ECMO	148
18.5	Indikationen der ECMO	148
18.6	Kontraindikationen der ECMO	149
18.7	Komplikationen der ECMO	149

18.8	Klinische Bewertung der ECMO	150
	Literatur	150
19	NIV – nichtinvasive Beatmung	151
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
19.1	Heimbeatmung	152
19.1.1	Indikationen	152
19.2	NIV in der Intensivmedizin	153
19.2.1	Indikationen der NIV	153
19.2.2	Kontraindikationen der NIV	154
19.2.3	Unterschiede zwischen NIV und invasiver Beatmung	154
19.3	NIV mit positivem Druck: NIPPV	156
19.3.1	Voraussetzungen für NIPPV	157
19.3.2	Beatmungsformen für die NIPPV	157
19.3.3	Erfolgsbeurteilung der NIPPV	158
19.4	Misserfolg, Abbruchkriterien und Gefahren	158
19.4.1	Abbruch der NIV	159
19.4.2	Gefahren der NIV	160
19.5	NIV beim akuten Atemversagen	161
19.5.1	Klinische Bewertung der NIV bei akutem Atemversagen	161
	Literatur	162
20	Beatmungsindikationen und	
	Wahl der Atemunterstützung	163
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
20.1	Ziele der Atemtherapie	164
20.1.1	Physiologische Ziele der Beatmung	164
20.1.2	Klinische Ziele der Beatmung	165
20.1.3	Kurzzeit- und Langzeitbeatmung	166
20.2	Indikationen für die maschinelle Beatmung	166
20.2.1	Grunderkrankung	166
20.2.2	Schwere der Gasaustauschstörung	167
20.2.3	Klinische Zeichen der respiratorischen Insuffizienz . .	168
20.2.4	Wann soll mit der Beatmung begonnen werden? . . .	168
20.3	Durchführung der Beatmung	169
20.3.1	Wahl der Beatmungsmodi und Beatmungsmuster . .	170
20.3.2	Differenziertes Vorgehen bei Störungen der Oxygenierung und Ventilation	171

20.4	Störungen der Oxygenierung	172
20.4.1	Ursachen	172
20.4.2	Behandlung	173
20.5	Störungen der Ventilation	174
20.5.1	Behandlung	174
20.6	Akzidentelle Hyperventilation	175
	Literatur	175
 21	 Überwachung der Beatmung	 177
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
21.1	Respiratorisches Monitoring	178
21.2	Monitoring am Beatmungsgerät	179
21.2.1	Maschinenmonitoring	179
21.2.2	Inspiratorische O ₂ -Konzentration	180
21.2.3	Atemwegdrücke	180
21.3	Pulmonaler Gasaustausch	185
21.3.1	Arterielle Blutgasanalyse	186
21.3.2	Pulsoxymetrie	191
21.3.3	Kapnometrie	191
21.4	Überwachung von Lunge und Thorax	193
21.4.1	Klinische Untersuchung	193
21.4.2	Röntgenbild des Thorax	196
21.4.3	Computertomografie	198
21.4.4	Messung des extravasalen Lungenwassers	198
21.4.5	Mikrobiologische Untersuchungen	198
21.4.6	Cuffdruckmessung	199
21.5	Überwachung der Herz-Kreislauf-Funktion	199
	Literatur	200
 22	 Auswirkungen und Komplikationen	
	der Beatmung	201
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
22.1	Auswirkungen und Komplikationen	
	der maschinellen Beatmung	202
22.2	Herz-Kreislauf-Funktion	202
22.3	Nierenfunktion und Flüssigkeitsgleichgewicht	203
22.4	Gehirn	204
22.5	Beatmungsassoziierte Lungenschädigung (VALI)	205

22.5.1	Klinische Manifestationen des pulmonalen Barotraumas (»Makrotrauma«)	205
22.5.2	Barotrauma mit Luftaustritt: Herkunft der extraalveolären Luft	206
22.5.3	Mechanismen des pulmonalen Barotraumas	206
22.5.4	Behandlung des pulmonalen Barotraumas	208
22.5.5	Prävention des pulmonalen Barotraumas	211
22.6	Pulmonale O ₂ -Toxizität	212
22.7	Verschlechterung des pulmonalen Gasaustausches	213
22.8	Beatmungsgerätassoziierte Pneumonie	215
22.8.1	Häufigkeit und Letalität	216
22.8.2	Erreger und Risikofaktoren	216
22.8.3	Pathogenese	217
22.8.4	Diagnose	217
22.8.5	Behandlung	218
22.8.6	Prophylaxe der beatmungsgerätassoziierten Pneumonie Literatur	220 225
23	Weaning – Entwöhnung von der Beatmung . . <i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	227
23.1	Wann soll mit der Entwöhnung begonnen werden?	228
23.2	Welche Kriterien sollten erfüllt sein?	228
23.2.1	Entwöhnungsindizes	229
23.3	Einfache Entwöhnung: Spontanatmungsversuch	230
23.3.1	Maßnahmen nach der Extubation	231
23.4	Schwierige und prolongierte Entwöhnung	232
23.4.1	Prolongiertes Weaning (Gruppe 3)	233
23.4.2	Kontinuierliches Weaning	233
23.4.3	Diskontinuierliches (intermittierendes) Weaning	234
23.4.4	Nichtinvasive Beatmung	234
23.4.5	Begleitende Therapiemaßnahmen bei schwieriger und prolongierter Entwöhnung	235
	Literatur	236
24	Akutes Lungenversagen (ARDS) <i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	237
24.1	Begriffsbestimmung	238
24.2	Häufigkeit	239

24.3	Schweregrad	239
24.4	Ätiologie	239
24.5	Pathogenese und pathologische Anatomie	241
24.6	Pathophysiologie	242
24.6.1	Hypoxämie	242
24.6.2	Pulmonale Hypertonie	244
24.7	Klinische Stadien	244
24.8	Diagnose	245
24.8.1	Klinische Stadien	245
24.8.2	Blutgasanalyse	246
24.8.3	Röntgenbild des Thorax	246
24.8.4	CT der Lunge	246
24.8.5	Pulmonalarteriendruck und Wedge-Druck	247
24.8.6	Extravasales Lungenwasser	247
24.8.7	Lungencompliance	247
24.8.8	Differenzialdiagnose	248
24.9	Therapie	248
24.9.1	Beatmungstherapie	248
24.9.2	Lungenprotektive Beatmung	251
24.9.3	Positiver endexpiratorischer Atemwegdruck (PEEP) .	253
24.9.4	Beatmungsverfahren	254
24.9.5	Muskelrelaxanzien	256
24.9.6	Beatmung in Bauchlage	256
24.9.7	Inhalation von Vasodilatoren	257
24.9.8	Unkonventionelle Atemunterstützung	258
24.9.9	Medikamente	258
24.9.10	Flüssigkeitstherapie	259
24.9.11	Prognose des ARDS	260
	Literatur	261
 25	 Akute respiratorische Insuffizienz bei chronisch-	
	obstruktiver Lungenerkrankung (COPD)	263
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
25.1	Begriffsbestimmung	264
25.2	Pathophysiologie	265
25.3	Akute respiratorische Insuffizienz bei COPD	266
25.3.1	Auslöser	266
25.3.2	Klinisches Bild	266

25.4	Diagnose der akuten Dekompensation	267
25.4.1	Differenzialdiagnose	267
25.4.2	Lungenfunktionsprüfungen und arterielle Blutgasanalyse	268
25.5	Behandlung der akuten Dekompensation	268
25.5.1	Maschinelle Beatmung	270
25.5.2	Indikationen	272
25.5.3	Formen der Beatmung	274
25.5.4	Einstellung des Beatmungsgeräts	275
25.5.5	Entwöhnung von der Beatmung	277
25.5.6	Komplikationen der Beatmungstherapie	279
25.6	Prognose	279
	Literatur	280
26	Status asthmaticus	281
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
26.1	Begriffsbestimmung	282
26.2	Pathophysiologie	282
26.2.1	Atemwegobstruktion	282
26.3	Klinik und Diagnostik	283
26.3.1	Klinisches Bild	283
26.3.2	Diagnostik	284
26.3.3	Stadieneinteilung	285
26.4	Therapie	285
26.5	Atemunterstützung und maschinelle Beatmung	287
26.5.1	Nichtinvasive Beatmung (NIV)	287
26.5.2	Invasive maschinelle Beatmung	288
26.5.3	Praxis der Beatmung	289
26.5.4	Komplikationen der Beatmung	291
26.5.5	Entwöhnung von der Beatmung	292
	Literatur	292
27	Thoraxtrauma	295
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
27.1	Wichtige Thoraxverletzungen in der Intensivmedizin	296
27.2	Klinisches Bild und Diagnose	296
27.2.1	Klinische Untersuchung beim Thoraxtrauma	297
27.2.2	Wichtige diagnostische Maßnahmen bei Verdacht auf ein Thoraxtrauma	298

27.3	Rippenserienfrakturen und instabiler Thorax . . .	298
27.3.1	Instabilitätstypen	299
27.3.2	Pathophysiologie	299
27.3.3	Klinisches Bild und Diagnose	301
27.3.4	Behandlung von Rippenserienfrakturen	301
27.4	Lungenkontusion	303
27.4.1	Pathophysiologie	305
27.4.2	Klinisches Bild und Diagnose	305
27.4.3	Behandlung	306
	Literatur	307
 28	 Schädel-Hirn-Trauma und erhöhter intrakranieller Druck	 309
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
28.1	Erhöhter intrakranieller Druck	310
28.1.1	Atmung und Hirndruck	310
28.1.2	Kontrollierte Hyperventilation	310
28.1.3	Ausreichender zerebraler Perfusionsdruck (CPP) . . .	312
28.2	Beatmungstherapie beim Schädel-Hirn-Trauma .	313
28.2.1	Ziele der Atem- und Beatmungstherapie beim Schädel-Hirn-Trauma	313
28.2.2	Entwöhnung und Extubation	314
	Literatur	315
 29	 Postoperative Beatmung	 317
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
29.1	Atemfunktion in der unmittelbar postoperativen Phase	318
29.2	Postoperative respiratorische Insuffizienz	318
29.2.1	Ursachen	318
29.2.2	Risikofaktoren	319
29.2.3	Therapie	319
	Literatur	321
 30	 Beatmung von Kindern	 323
	<i>Reinhard Larsen, Thomas Ziegenfuß</i>	
30.1	Atemphysiologische Besonderheiten	324
30.2	Indikationen für eine Beatmung	324

30.2.1	Respiratorische Insuffizienz	324
30.2.2	Apnoe	326
30.3	Endotracheale Intubation und Tracheotomie	327
30.4	Wahl des Beatmungsgeräts	327
30.5	Druckgesteuerte oder volumengesteuerte Beatmung?	328
30.5.1	Neugeborene	328
30.5.2	Ältere Kinder	328
30.6	Wahl des Beatmungsmodus	328
30.6.1	Neugeborene	328
30.6.2	Ältere Kinder	332
30.7	Entwöhnung von der Beatmung	334
30.7.1	Vorgehen bei der Entwöhnung	334
30.7.2	Kriterien für die Extubation	334
30.7.3	Nach der Extubation	335
	Literatur	336
	 Serviceteil	337
	 Stichwortverzeichnis	338