



Johannes Bickenbach · Gernot Marx  
Michael Dreher · Bernd Schönhofer *Hrsg.*

# Weaning

Grundlagen – Strategien –  
klinische Umsetzung – Besonderheiten

**EBOOK INSIDE**

 Springer

Weaning

Johannes Bickenbach  
Gernot Marx  
Michael Dreher  
Bernd Schönhofer  
*Hrsg.*

# Weaning

Grundlagen – Strategien – klinische Umsetzung – Besonderheiten

Mit 25 Abbildungen

*Hrsg.*

**Johannes Bickenbach**

Klinik für Operative Intensivmedizin  
und Intermediate Care  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Aachen  
Deutschland

**Gernot Marx**

Klinik für Operative Intensivmedizin  
und Intermediate Care  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Aachen  
Deutschland

**Michael Dreher**

Klinik für Kardiologie, Pneumologie,  
Angiologie und Internistische  
Intensivmedizin  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Aachen  
Deutschland

**Bernd Schönhofer**

Klinik für Pneumologie, Intensiv- und  
Schlafmedizin  
KRH Klinikum Siloah  
Hannover  
Deutschland

ISBN 978-3-662-49794-4      ISBN 978-3-662-49795-1 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-49795-1>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Fotonachweis Umschlag: © K.-H. Krauskopf, Wuppertal  
Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

# Vorwort zur 1. Auflage

---

Immer häufiger werden wir auf Intensivstationen mit alternden Patienten und ihren diversen Komorbiditäten (chronische Herzinsuffizienz, schwere chronische respiratorische Insuffizienz) konfrontiert. Zunehmend zeigt sich, dass es nicht nur Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen sind, für die eine aufwendige Entwöhnung von der Beatmung erforderlich wird. Die Entwöhnung von der Beatmung, das Weaning, wird zunehmend äußerst komplex und stellt eine Anforderung an viele Professionen dar. Es sind zahlreiche Berufsgruppen, die den Behandlungserfolg dieser Patienten lenken. Nur durch die Zusammenarbeit im Team, mit kompetentem Pflegepersonal, Physiotherapeuten, Logopäden, Atmungstherapeuten, Psychologen und Case-Managern lässt sich ein positiver Behandlungserfolg in dieser besonderen Patientengruppe erzielen. Weaning ist sehr viel mehr als „nur“ die Entwöhnung von Beatmung. Patienten müssen, nach Überwindung einer komplexen Akutphase, wieder schrittweise aufgebaut werden, benötigen muskuläres Training sowie eine systematische Balance zwischen Belastung und Entlastung der Atemmuskulatur. Die umfassende Betreuung geht oftmals weit über die Krankenhausversorgung hinaus.

Es sind behandelnde Ärzte vor allem zweier großer Fachgebiete, nämlich der Pneumologie und der Anästhesiologie,

die gemeinsam und im interdisziplinären Schulterschluss in der Behandlung von Patienten im Weaning involviert sein sollten. Mit unterschiedlich gelagerten Behandlungsschwerpunkten haben beide Fachgebiete entscheidende klinische Aufgaben in der ganzheitlichen Versorgung dieser Patienten wahrzunehmen, begonnen mit der Akutphase im Rahmen einer respiratorischen Insuffizienz bis hin zur außerklinischen Überleitung bei beispielsweise chronisch ventilatorischer Insuffizienz.

Diese Haltung wurde in der Vorbereitung unserer 1. Auflage aufgegriffen, sodass in enger Partnerschaft Kapitel entstanden sind, die gemeinsam von Internisten und Anästhesiologen erstellt wurden. Komplementär zur bestehenden S2k-Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ bietet dieses Buch dem Leser den für das Weaning essentiellen und aktuellen Kenntnisstand. Hiermit möchten wir motivieren, die Komplexität des Weanings in Ihrem klinischen Alltag aufzugreifen, und frühzeitig wichtige Behandlungspfade zu initiieren.

Wir danken für die Erstellung der 1. Auflage zahlreichen Kollegen, die uns in Themenauswahl und Zusammenstellung unterstützt haben sowie dem Springer-Verlag für die unermüdliche Unterstützung und der stets reibungslosen, angenehmen Zusammenarbeit.

**Johannes Bickenbach**

**Gernot Marx**

**Michael Dreher**

**Bernd Schönhofer**

Aachen, 2018

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b> .....	<b>1</b>
	<i>Johannes Bickenbach und Michael Dreher</i>	
1.1	<b>Das respiratorische System</b> .....	<b>2</b>
1.1.1	Atempumpe .....	2
1.1.2	Lunge .....	3
1.2	<b>Weaning-Kategorien</b> .....	<b>5</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Ursachen und Pathophysiologie des Weaningversagens</b> .....	<b>9</b>
	<i>Hans-Joachim Kabitz und Rolf Dembinski</i>	
2.1	<b>Akute respiratorische Insuffizienz (ARI)</b> .....	<b>10</b>
2.2	<b>Maschinelle Beatmung/Atemmuskuläre Dysfunktion als Ursache des Weaningversagens</b> .....	<b>11</b>
2.2.1	Diagnostik der atemmuskulären Dysfunktion im Weaning .....	13
2.2.2	Co-Faktoren/Differenzialdiagnosen der atemmuskulären Dysfunktion .....	15
2.2.3	Therapieoptionen bei atemmuskulärer Dysfunktion als Ursache des Weaningversagens .....	15
2.3	<b>Metabolische Ursachen</b> .....	<b>16</b>
2.4	<b>Pharmakologische Ursachen</b> .....	<b>18</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>Strategien in der Respiratorentwöhnung</b> .....	<b>21</b>
	<i>Bernd Schönhofer und Steffen Weber-Carstens</i>	
3.1	<b>Präventive und therapeutische Strategien im Weaning</b> .....	<b>22</b>
3.1.1	Erhalt von Neuro- und neuromuskulärer Kapazität .....	22
3.1.2	Protokolle zur Entwöhnung von der Beatmung .....	24
3.2	<b>Prädiktion und Risikostratifizierung prolongierter Entwöhnung</b> .....	<b>25</b>
3.2.1	Verhältnis von Atemfrequenz zu Tidalvolumen .....	25
3.2.2	Maximaler inspiratorischer Druck .....	26
3.3	<b>Beatmungsverfahren im Weaning</b> .....	<b>26</b>
3.4	<b>Beatmungszugang</b> .....	<b>28</b>
3.4.1	NIV bei schwierigem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase .....	28
3.5	<b>Frühmobilisation</b> .....	<b>28</b>
3.6	<b>Bildgebung</b> .....	<b>29</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>30</b>
<b>4</b>	<b>Supportive und adjunktive Maßnahmen</b> .....	<b>33</b>
	<i>Jens Geiseler und Johannes Bickenbach</i>	
4.1	<b>Trachealkanülen-Management</b> .....	<b>35</b>
4.1.1	Kanülenmodelle .....	35
4.1.2	Cuff .....	35
4.1.3	Subglottische Absaugmöglichkeit .....	35

4.1.4	Wie sollte man das geeignete Kanülenmodell aussuchen? .....	36
4.1.5	Sprechventile .....	37
4.1.6	Kanülenwechsel im Weaning-Prozess .....	37
4.1.7	Dekanülierung .....	38
4.1.8	Verwendung von Platzhalter/Buttons nach Dekanülierung .....	38
4.1.9	Bronchoskopische Kontrolle nach Dekanülierung .....	38
4.1.10	Verschluss Tracheostoma spontan versus chirurgisch .....	40
4.2	<b>Sekretmanagement</b> .....	40
4.2.1	Allgemeine Prinzipien des Sekretmanagements .....	41
4.2.2	Maßnahmen zur Sekretmobilisation und Sekretelimination durch Absaugen und Physiotherapie .....	41
4.2.3	Maßnahmen zur Sekretolyse .....	43
4.3	<b>Stellenwert der Physiotherapie</b> .....	43
4.4	<b>Atmungstherapeut</b> .....	44
4.5	<b>Logopädie</b> .....	45
4.5.1	Frühzeitige Diagnostik der Dysphagie .....	46
4.5.2	Schluckassessment .....	46
4.5.3	Therapie der Dysphagie .....	47
4.6	<b>Psychologische Begleitung</b> .....	48
4.6.1	Delir .....	48
4.6.2	Depression .....	50
4.6.3	Angststörungen und PTBS .....	50
4.7	<b>Transfusion im prolongierten Weaning</b> .....	52
4.7.1	Risiken von Bluttransfusionen .....	52
4.7.2	Fazit für die Bluttransfusion im Weaning .....	53
4.8	<b>Besonderheiten der Ernährung</b> .....	54
4.8.1	Strategien zur Ernährungszufuhr .....	55
4.8.2	Zusammensetzung der Ernährung .....	55
	<b>Literatur</b> .....	56
<b>5</b>	<b>Weaningversagen</b> .....	61
	<i>Jan Hendrik Storre und Christian Brülls</i>	
5.1	<b>Überleitmanagement</b> .....	62
5.2	<b>Außerklinische Beatmung</b> .....	65
5.3	<b>Medizinische Hilfsmittel</b> .....	68
5.4	<b>Medizinische Nachsorge</b> .....	69
5.5	<b>Leben mit und nach Langzeitbeatmung</b> .....	71
	<b>Literatur</b> .....	73
<b>6</b>	<b>End of life – Ethische Aspekte beim terminalen Weaning</b> .....	75
	<i>Thomas Bein und Bernd Schönhofer</i>	
6.1	<b>Prinzipien ethischen Handelns in der Intensiv- und Beatmungsmedizin</b> .....	76
6.1.1	Ethische Modelle .....	76
6.1.2	Notwendige Begriffsklärungen .....	78
6.1.3	Palliativmedizin in der Intensivmedizin .....	78
6.2	<b>Ethische Grundlagen für Entscheidungen am Lebensende</b> .....	79
6.2.1	Therapieziel: Therapiebegrenzung, Therapierückzug und Therapiezieländerung .....	79
6.2.2	Patientenwille .....	80

6.3	<b>Prozesse der Entscheidungsfindung</b> .....	81
6.3.1	Teamorientierte ethische Entscheidungen .....	81
6.3.2	Die Rolle des klinischen Ethik-Komitees (KEK) .....	81
6.4	<b>Ethik in der Praxis – Umsetzung ethischen Handelns beim terminalen Weaning</b> .....	82
6.4.1	Praktische Umsetzung der Therapieeinschränkung .....	82
6.4.2	Palliative Aspekte beim terminalen Weaning .....	83
6.4.3	Symptomkontrolle .....	83
6.4.4	Begleitung der Angehörigen .....	84
6.4.5	Begleitung der Mitarbeiter .....	85
6.5	<b>Implementation palliativmedizinischer Aspekte in aktuelle Leitlinien</b> .....	85
6.6	<b>Fallbeispiel</b> .....	85
	<b>Literatur</b> .....	86
<b>7</b>	<b>Besondere Patientengruppen</b> .....	89
	<i>Sebastian Lemmen, Hans Jürgen Heppner und Georg Nilius</i>	
7.1	<b>Prävention der Übertragung von multiresistenten Erregern</b> .....	90
7.1.1	Einleitung .....	90
7.1.2	Multiresistente gramnegative Erreger (MRGN) .....	90
7.1.3	Risikofaktoren für multiresistente Erreger .....	90
7.1.4	Präventionsmaßnahmen .....	91
7.1.5	Sonderfall Acinetobacter-baumannii-Komplex .....	96
7.1.6	Zusammenfassung .....	97
7.2	<b>Demographische Entwicklung und Besonderheiten beim geriatrischen Patienten</b> .....	97
7.2.1	Demographie .....	97
7.2.2	Geriatrischer Patient .....	97
7.2.3	Heimbeatmung .....	99
7.3	<b>Bedeutung von Komorbiditäten im Weaning</b> .....	99
7.3.1	Einleitung .....	99
7.3.2	Atemwege und Lunge .....	100
7.3.3	Zwerchfelldysfunktion, primäre Muskel- und Nervensystemerkrankung .....	103
7.3.4	Herz-Kreislauf-Erkrankung .....	104
7.3.5	Endokrinologie .....	105
7.3.6	Elektrolytstörung .....	106
7.3.7	Zusammenfassung .....	107
	<b>Literatur zu Abschnitt 7.1</b> .....	107
	<b>Literatur zu Abschnitt 7.2</b> .....	109
	<b>Literatur zu Abschnitt 7.3</b> .....	110
<b>8</b>	<b>Zukunftsvisionen</b> .....	113
	<i>Gernot Marx, Dominic Dellweg und Johannes Bickenbach</i>	
8.1	<b>Telemedizinische Aspekte</b> .....	114
8.1.1	Situation der außerklinischen Versorgung .....	114
8.1.2	Möglichkeiten und Grenzen in der Telemedizin .....	116
8.1.3	Fazit .....	118
8.2	<b>Entwicklungsperspektiven in der außerklinischen Beatmung</b> .....	118
	<b>Literatur zu Abschnitt 8.1</b> .....	122
	<b>Literatur zu Abschnitt 8.2</b> .....	122

<b>9</b>	<b>Qualitätsmanagement, Zertifizierung, Leitlinien</b> .....	125
	<i>Tobias M. Bingold und Wolfram Windisch</i>	
9.1	<b>Qualitätsmanagement</b> .....	126
9.1.1	Grundlage und Definition .....	126
9.1.2	Qualitätsdimensionen nach Donabedian .....	126
9.1.3	Kennzahlen, Qualitätsindikatoren .....	127
9.1.4	Effizienz .....	128
9.1.5	Interne Qualitätsmessung und Benchmark .....	128
9.1.6	Qualitätsindikatoren .....	128
9.2	<b>Thema: Zertifizierung</b> .....	129
9.2.1	Generelle Anforderungen an das Weaningzentrum .....	129
9.2.2	Personalausstattung .....	129
9.2.3	Prozessqualität .....	130
9.2.4	Ergebnisqualität .....	130
9.3	<b>Aufbau und Ausbau von Weaningstationen</b> .....	131
9.4	<b>Thema: Leitlinienorientierte Empfehlung</b> .....	131
	<b>Literatur</b> .....	132
	<b>Serviceteil</b>	
	Stichwortverzeichnis .....	136

# Autorenverzeichnis

---

**Prof. Dr. med. Thomas Bein**

Klinik und Poliklinik für Chirurgie  
Universitätsklinikum Regensburg  
Franz-Josef-Strauß-Allee 11  
93053 Regensburg

**PD Dr. med. Johannes Bickenbach**

Klinik für Operative Intensivmedizin  
und Intermediate Care  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

**PD Dr. med. Dr. med. habil. Tobias  
M. Bingold**

Klinik für Interdisziplinäre Intensivmedizin  
und Intermediate Care  
Weaningzentrum Wiesbaden  
Ludwig-Erhard-Straße 100  
65199 Wiesbaden

**PD Dr. med. Christian Brülls**

Klinik für Operative Intensivmedizin und  
Intermediate Care  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

**PD. Dr. med. Dominic Dellweg**

Fachkrankenhaus  
Kloster Grafschaft GmbH  
Annostr. 1  
57392 Schmallenberg

**Prof. Dr. med. Rolf Dembinski**

Klinik für Intensiv- und Notfallmedizin  
Klinikum Bremen-Mitte  
St.-Jürgen-Str. 1  
28205 Bremen

**Univ.-Prof. Dr. med. Michael Dreher**

Klinik für Kardiologie, Pneumologie, Angiologie  
und Internistische Intensivmedizin  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

**Dr. med. Jens Geiseler**

Klinik für Pneumologie,  
Beatmungs- und Schlafmedizin  
Klinikum Vest  
Lipper Weg 11  
45770 Marl

**Prof. Dr. med. Hans Jürgen Heppner**

Helios Klinikum Schwelm  
Geriatrische Klinik  
Dr.-Moeller-Str. 15  
58332 Schwelm

**Prof. Dr. med. Hans-Joachim Kabitz**

Klinikum Konstanz  
Mainaustraße 35  
78464 Konstanz

**Prof. Dr. med. Sebastian Lemmen**

Zentralbereich für Krankenhaushygiene  
und Infektiologie  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

**Univ.-Prof. Dr. med. Gernot Marx**

Klinik für Operative Intensivmedizin  
und Intermediate Care  
Universitätsklinikum RWTH Aachen  
Pauwelsstr. 30  
52074 Aachen

**PD Dr. med. Georg Nilius**

Kliniken Essen-Mitte Huysens-Stiftung/  
Knappschaft gGmbH  
Klinik für Pneumologie, Allergologie, Schlaf-  
und Beatmungsmedizinmedizin  
Am Deimelsberg 34a  
45276 Essen

**Prof. Dr. med. Bernd Schönhofer**

Klinik für Pneumologie, Intensiv- und  
Schlafmedizin  
KRH Klinikum Siloah  
Stadionbrücke 4  
30459 Hannover

**Prof. Dr. med. Jan Hendrik Storre**

Klinik für Intensiv-, Schlaf- und  
Beatmungsmedizin  
Asklepios Fachkliniken München-Gauting  
Robert-Koch-Allee 2  
82131 Gauting

**Prof. Dr. med. Wolfram Windisch**

Lungenklinik Köln Merheim  
Ostmerheimer Str. 200  
51109 Köln

**Prof. Dr. med. Steffen Weber-Carstens**

Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt  
operative Intensivmedizin  
Charité-Universitätsmedizin Berlin  
Augustenburger Platz 1  
13353 Berlin



# Grundlagen

*Johannes Bickenbach und Michael Dreher*

## **1.1 Das respiratorische System – 2**

### **1.1.1 Atempumpe – 2**

### **1.1.2 Lunge – 3**

## **1.2 Weaning-Kategorien – 5**

### **Literatur – 7**

Um Weaning erfolgreich anwenden zu können, muss als Grundlage das respiratorische System verstanden worden sein. Das respiratorische System hat die Aufgabe, für den zellulären Stoffwechsel Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aus der Umwelt aufzunehmen und das anfallende Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in die Umwelt abzugeben. Es besteht aus zwei Teilen, dem gasaustauschenden System (Lunge) und dem die Lunge belüftenden Organsystem (Atempumpe).

International werden mittlerweile drei Weaninggruppen anhand einer 2007 veröffentlichten Übersichtsarbeit definiert.

### 1.1 Das respiratorische System

Das respiratorische System hat die Aufgabe, für den zellulären Stoffwechsel Sauerstoff (O<sub>2</sub>) aus der Umwelt aufzunehmen und das anfallende Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in die Umwelt abzugeben. Es besteht aus zwei Teilen:

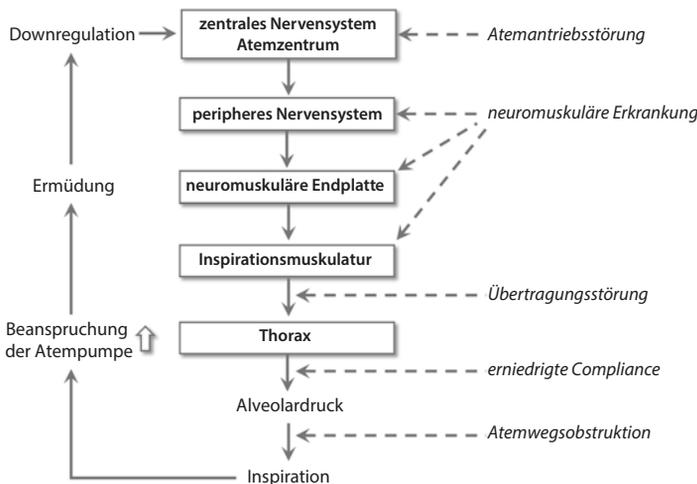
- dem gasaustauschenden System (**Lunge**) und
- dem die Lunge belüftenden Organsystem (**Atempumpe**).

Beide Systeme können unabhängig voneinander gestört sein und müssen aus diesem Grund pathophysiologisch voneinander getrennt betrachtet werden.

#### 1.1.1 Atempumpe

Die Atempumpe hat die Aufgabe die Lungen zu belüften. Sie ist ein komplexes Organsystem bestehend aus dem zentralen Nervensystem, dem peripheren Nervensystem, der neuromuskulären Endplatte, der Inspirationsmuskulatur und dem knöchernen Thorax (■ Abb. 1.1).

Der wichtigste Atemmuskel ist das Diaphragma, welches über den N. phrenicus (C3–C5) innerviert wird. Das Diaphragma liegt kolbenförmig im Thorax und hat aufgrund seiner speziellen Anordnung eine sog. „zone of apposition“, in welcher das Zwerchfell parallel zu den Rippen verläuft. Eine Kontraktion des Zwerchfells bedingt aufgrund dieser speziellen Anordnung ein Anheben der Rippen bei gleichzeitiger Absenkung des Zwerchfells. Hierdurch entsteht u. a. der negative intraalveoläre Druck, welcher die Inspiration begünstigt. Somit ist verständlich, dass der Lagerung bei Patienten im prolongierten Weaning während Spontanatmungsphasen eine große Bedeutung zukommt. Durch Erhöhung des Oberkörpers fällt es u. a. aufgrund der Erdanziehungskraft dem Zwerchfell leichter, seine Bewegung nach kaudal zu vollziehen. Die Wichtigkeit der Körperposition für die Funktion der Atemmuskulatur lässt sich an gesunden Probanden sehr gut beschreiben. Die Veränderung der Körperposition vom Liegen



■ **Abb. 1.1** Die Atempumpe, ihr Regelmechanismus und mögliche Funktionsstörungen auf unterschiedlichen anatomischen Ebenen. (Modifiziert nach Windisch [1])

zum Sitzen führt z. B. zu einer Zunahme der Lungencompliance und des expiratorischen Reservevolumens; die Veränderung der Körperposition vom Liegen in die sitzende Position führt zu einem Anstieg der funktionellen Residualkapazität um ca. 20 %. Die aufrechte Körperposition verursacht weiterhin eine erhöhte Aktivierung der Atemhilfsmuskulatur aufgrund eines gesteigerten Muskeltonus. Diese Phänomene in Kombination mit der bereits oben erwähnten simplen Tatsache, dass die Veränderung der Körperposition vom Liegen in die sitzende Position zu einer erleichterten Absenkung des Zwerchfells nach kaudal führt, macht deutlich, dass eine **sitzende Position** bei respiratorisch beeinträchtigten Patienten im Spontanattemptsversuch günstige Effekte mit sich bringt.

- ▶ **Die Oberkörperhochlagerung begünstigt die kaudale Bewegung des Zwerchfells bei der Einatmung und sollte diesbezüglich bei Patienten im Weaningprozess mit bestehender oder drohender Atempumpensuffizienz vor allem während der beatmungsfreien Spontanattemptsintervalle bevorzugt angewendet werden.**

Die Atempumpe kann durch unterschiedliche Erkrankungen auf unterschiedlichen (anatomischen) Ebenen gestört sein (■ [Abb. 1.1](#)). Das Ergebnis ist immer eine Atempumpensuffizienz, also eine Belüftungsstörung der Lunge. Um eine völlige Ermüdung der beanspruchten und erschöpften Atempumpe zu verhindern, kommt es im Rahmen eines Schutzmechanismus des Körpers zu einer „Downregulation“ des Atemantriebes (■ [Abb. 1.1](#)), was neben einer Abnahme der  $O_2$ -Konzentration auch zu einer Zunahme der  $CO_2$ -Konzentration in den Alveolen führt; hieraus entsteht eine respiratorische Insuffizienz Typ II (hyperkapnisch) mit einer Verminderung von  $PaO_2$  und einer Erhöhung von  $PaCO_2$  im Blut.

Die Entwicklung einer Atempumpensuffizienz hängt ab vom Grad der Beanspruchung der Atemmuskulatur, wobei ein Anstieg der Beanspruchung nicht gleich zu einer Ermüdung

führt, da die maximale Kapazität der Atempumpe hier noch nicht ausgeschöpft ist, sodass zunächst Reserven mobilisiert werden können. Das Verhältnis der aktuellen Last zur maximalen Kraft (Kapazität) der Atemmuskulatur bedingt die momentane Beanspruchung der Atemmuskulatur. Je höher sie ist, umso früher tritt eine Ermüdung auf. Im Rahmen eines prolongierten Weaningprozesses kommt es häufig zu einer Imbalance zwischen Last und Kapazität der Atempumpe durch unterschiedliche Ursachen (■ [Tab. 1.1](#)).

Therapeutische Strategien bei vorliegender Atempumpensuffizienz beinhalten somit eine Reduzierung der Last und eine Verbesserung der Kapazität der Atempumpe, was u. a. sehr erfolgreich durch eine mechanische Ventilation der Lungen über eine invasive oder nicht-invasive Beatmung erfolgen kann. Die alleinige Sauerstoffgabe ist bei einer Atempumpensuffizienz als therapeutische Maßnahme nicht ausreichend und sollte mit Bedacht erfolgen, da bei chronischer Hyperkapnie der zentrale Atemantrieb nicht mehr primär durch  $CO_2$ , sondern durch  $O_2$  erfolgt. Durch die Gabe von Sauerstoff in hohen Dosen kann somit bei chronischer Hyperkapnie eine Atemdepression mit Aggravierung der Hyperkapnie auftreten.

- ▶ **Die richtige Anwendung, sowohl der nicht-invasiven als auch der invasiven Beatmung, führt durch die verbesserte mechanische Belüftung der Lungen zu einer Reduzierung der Last und somit im Rahmen der Erholung auch zu einer Verbesserung der Kapazität der Atempumpe.**

## 1.1.2 Lunge

Die Lungen bilden das gasaustauschende System (■ [Abb. 1.2](#)). Der pulmonale Gasaustausch ist abhängig von der Fläche (F) und der Schichtdicke (d), über die diffundiert wird, von der Differenz des jeweiligen Gaspartialdruckes ( $\Delta p$ ) und von der Diffusionsleitfähigkeit ( $K = \text{Krogh-Diffusionskoeffizient}$ ). Der Diffusionsstrom (M)

**Tab. 1.1** Pathophysiologie und mögliche Ursachen der Atempumpeninsuffizienz bei Patienten im prolongierten Weaning. (Aus Schönhofer et al. [2])

Unmittelbarer Grund für unzureichende Spontanatmung	Pathophysiologischer Bereich	Mögliche Ursachen	Beispiel
Schwäche der Atempumpe	Atemzentrum	Ischämie, Infektion	Enzephalitis
	Nervale Steuerung	Neuritis, Nervenschädigung	Zwerchfellparese, Guillain-Baré-Syndrom, CIP, ALS, Diabetes mellitus
	Atemmuskel	Myositis, Muskeldystrophie, Muskelatrophie	CIM, VIDD, Myastenie, M. Duchenne, Post-Polio-Syndrom
Überlastung der Atempumpe	Atemwege	Obstruktion, Überblähung, Rekurrenzparese	COPD, Mukoviszidose
	Lungenparenchym	Reduzierte Compliance	Lungenödem, Fibrose
		Reduzierte Gasaustauschfläche	Emphysem, Pneumonie
	Thoraxwand	Reduzierte Compliance	Pleuraerguss, Skoliose, Post-TBC-Syndrom
	O <sub>2</sub> -Verbrauch (reduziert)	Anämie, Methämoglobin	Blutabnahme, Blutung Infektanämie, Medikamente
		Perfusionsminderung	Herzinsuffizienz, PAH, Lungenembolie
	O <sub>2</sub> -Verbrauch (erhöht)	Erhöhter Umsatz	Katecholamine, Unruhe/Agitation, Infektion
Metabolische Versorgung	Stoffwechselstörung	Hypothyreose, Mangelernährung, Elektrolytimbalance	

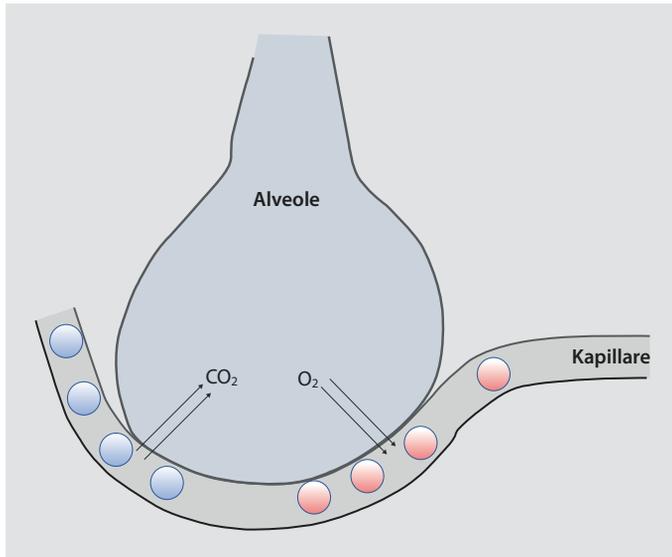
bezeichnet die Substanzmenge, die pro Zeit durch eine Schicht der Fläche F und der Dicke d hindurchtritt. Er wird wie folgt berechnet:

$$M = K \times F / d \times \Delta p \tag{Gl. 1.1}$$

In der gesunden Lunge liegen mit einer Gasaustauschfläche von bis zu 100 m<sup>2</sup> und einer Schichtdicke der Alveolarmembran von 0,3 µm ideale Diffusionsbedingungen vor.

CO<sub>2</sub> hat im Vergleich zu O<sub>2</sub> eine etwa 23 x größere Diffusionsleitfähigkeit, weshalb trotz der geringeren CO<sub>2</sub>-Partialdruckdifferenzen zwischen den Alveolen und dem Blut im

Vergleich zum O<sub>2</sub> stets eine ausreichende CO<sub>2</sub>-Abgabe durch Diffusion erfolgen kann. Aufgrund der niedrigeren Diffusionsleitfähigkeit von O<sub>2</sub> führen pulmonale Störungen diesbezüglich immer zunächst zu einer Verminderung des Sauerstoffpartialdruckes im Blut (PaO<sub>2</sub>), nicht jedoch zu einer Erhöhung des Kohlendioxidpartialdruckes (PaCO<sub>2</sub>). Eine gleichzeitige Erhöhung des PaCO<sub>2</sub> erfolgt nur bei gleichzeitiger Atempumpeninsuffizienz. Bei intakter Atempumpe kann es jedoch bei einer pulmonalen Insuffizienz (PaO<sub>2</sub>↓) zu einer kompensatorischen Hyperventilation kommen, was sich in einer gleichzeitigen Verminderung des PaCO<sub>2</sub>



■ **Abb. 1.2** Der alveoläre Gasaustausch. CO<sub>2</sub>, Kohlendioxid; O<sub>2</sub>, Sauerstoff

widerspiegelt. Bei alleiniger Verminderung des PaO<sub>2</sub> im Rahmen einer pulmonalen Insuffizienz sprechen wir von einer respiratorischen Insuffizienz Typ I (hypoxisch), deren therapeutische Konsequenz primär eine Erhöhung der Partialdruckdifferenz ( $\Delta p$ ) darstellt; dies wird durch eine supplementäre Sauerstoffgabe bei spontan atmenden Patienten oder durch eine Erhöhung der Sauerstoffkonzentration in der Einatemluft (FiO<sub>2</sub>) bei beatmeten Patienten erreicht. Zusätzlich kann die Diffusionsfläche positiv beeinflusst werden, wenn z. B. im Rahmen einer Sekretverlegung eine Atelektase entsteht und hierdurch die Diffusionsfläche verringert wurde. Bei beatmeten Patienten ist dies z. B. durch eine Erhöhung des positiven endexpiratorischen Druckes (PEEP) möglich. Eine weitere therapeutische Option bei rein pulmonaler Insuffizienz stellen diuretische Maßnahmen dar, da häufig eine kardiale Funktionsstörung als relevante Ko-Morbidität das Weaning erschwert. Durch eine adäquate diuretische Therapie wird die stauungsassoziierte Zunahme der Membrandicke, über die diffundiert wird, positiv beeinflusst. Liegt eine kardiale Insuffizienz vor, muss neben der diuretischen Therapie auch eine suffiziente kardiale Therapie ( $\beta$ -Blocker, ACE-Hemmer, etc.) bedacht werden.

Somit können pathophysiologische Ursachen und deren therapeutische Konsequenzen anschaulich durch die einzelnen Komponenten der Diffusionsstrommessung erläutert werden.

- **Die der hypoxischen Insuffizienz zugrundeliegende Diffusionsstörung kann durch verschiedene Maßnahmen wie z. B. Erhöhung der Sauerstoffkonzentration, Eröffnung von Atelektasen bei beatmeten Patienten durch PEEP-Erhöhung und nicht zuletzt durch diuretische Maßnahmen positiv beeinflusst werden.**

## 1.2 Weaning-Kategorien

International werden mittlerweile drei Weaninggruppen anhand einer 2007 veröffentlichten Übersichtsarbeit definiert [3] (■ **Tab. 1.2**).

Der größte Teil der Patienten im Rahmen einer intensiv-medizinischen Behandlung fällt in die Kategorie 1 (einfaches Weaning). Patienten mit schwierigem Weaning (Gruppe 2) und Patienten im prolongierten Weaning (Gruppe 3) spiegeln diesbezüglich einen geringeren Teil von intensiv-medizinisch behandelten Patienten

■ **Tab. 1.2** Einteilung von Patienten im Weaning nach Boles et al. [3]. (Modifiziert nach Schönhofer et al. [2])

Gruppe	Kategorie	Definition
1	Einfaches Weaning	Erfolgreiches Weaning nach dem ersten SBT und der ersten Extubation
2	Schwieriges Weaning	Erfolgreiches Weaning nach initial erfolglosem Weaning spätestens beim 3. SBT oder innerhalb von 7 Tagen nach dem ersten erfolglosen SBT
3	Prolongiertes Weaning	Erfolgreiches Weaning erst nach mindestens 3 erfolglosen SBT oder Beatmung länger als 7 Tage nach dem ersten erfolglosen SBT

wider. Wichtig ist an dieser Stelle zu erwähnen, dass die Verteilung von Patienten in die Kategorie einfaches Weaning, schwieriges Weaning oder prolongiertes Weaning u. a. von der Struktur eines Krankenhauses und der Komplexität der behandelten Patienten abhängt. Dennoch ist diese Einteilung aus vielen Gesichtspunkten sinnvoll: zum einen erlaubt sie eine international einheitliche Einteilung von Patienten im Hinblick auf die Entwöhnung vom Respirator und lässt somit eine gewisse Vergleichbarkeit auf internationaler Ebene zu. Im klinischen Alltag hat sich jedoch herauskristallisiert, dass gerade die Gruppe 3 (prolongiertes Weaning) eine sehr heterogene Patientengruppe darstellt. Um dieser heterogenen Gruppe gerechter zu werden, hat man auf nationaler Ebene in der S2-Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ eine weitere Unterteilung in die Gruppen 3a–c vorgenommen. Diese neue Einteilung unterstreicht die Wichtigkeit der nicht-invasiven Beatmung im Weaningprozess, so gibt es die Gruppe 3a, prolongiertes Weaning ohne nicht-invasive Beatmung, und die Gruppe 3b, prolongiertes Weaning mit nicht-invasiver Beatmung (■ [Tab. 1.3](#)).

➤ **Die nicht-invasive Beatmung hat einen wichtigen Stellenwert im Management von Patienten im prolongierten Weaning; diesbezüglich erfolgte eine Unterteilung der Gruppe 3, prolongiertes Weaning, in die Untergruppen 3a, ohne NIV, und 3b, mit NIV.**

Ein wichtiger Punkt wird in der Gruppe 3c, erfolgloses Weaning, kommuniziert. Diese

Gruppe beinhaltet Patienten, die im Rahmen des Weaningprozesses verstorben sind oder nicht von der invasiven Beatmung entwöhnt werden konnten, und folglich mit einer invasiven Beatmung entlassen werden mussten.

Bereits nach Einleitung der maschinellen Beatmung und Behebung der Ursachen, die zur akuten respiratorischen Insuffizienz beigetragen haben, muss ein besonderer Fokus auf die Entwöhnung von der maschinellen Beatmung gelenkt werden. Vor allem bei Patienten mit prolongiertem Weaning ist diese Behandlungsphase sehr viel aufwendiger, als „nur“ die maschinelle Beatmung zu beenden und das respiratorische Gleichgewicht wiederherzustellen. Oftmals müssen diverse pathophysiologische Veränderungen nach einer intensivmedizinischen Akutphase adressiert werden.

Der eigentliche Weaningprozess beginnt mit dem ersten Spontanattemptsversuch. Wenn gleich durch die Weaningkategorien klare klinische Definitionen vorliegen, sind Analysen zur Epidemiologie und zum Outcome dennoch schwierig, weil beispielsweise die Begriffe „Langzeitbeatmung“ und „prolongiertes Weaning“ nicht ganz klar voneinander abgegrenzt sind, gleichzeitig aber auch in der Gruppe 3 eine bereits erwähnte, sehr heterogene Patientengruppe subsummiert wird, die in Hinblick auf die Prognoseabschätzung von diversen Einflussfaktoren abhängig ist.

Durch das Weaning-Netzwerk der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP) ist es gelungen, das Patientenkollektiv im prolongierten Weaning

■ **Tab. 1.3** Neue Unterteilung der Gruppe „prolongiertes Weaning“ nach S2-Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ [2]

Gruppe	Kategorie	Definition
3a	Prolongiertes Weaning ohne NIV	Erfolgreiches Weaning mit Extubation/ Dekanülierung nach mind. 3 erfolglosen SBT oder Beatmung länger als 7 Tage nach dem ersten erfolglosen SBT ohne Zuhilfenahme der NIV
3b	Prolongiertes Weaning mit NIV	Erfolgreiches Weaning mit Extubation/ Dekanülierung erst nach mind. 3 erfolglosen SBT oder Beatmung länger als 7 Tage nach dem ersten erfolglosen SBT und nur mittels Einsatz der NIV, ggf. mit Fortsetzung der NIV als außerklinische Beatmung
3c	Erfolgles Weaning	Tod oder Entlassung mit invasiver Beatmung via Tracheostoma

zu beschreiben [4]. Im Rahmen einer Registerabfrage wurden fast 7000 Patienten eingeschlossen und charakterisiert, u. a. in Hinblick auf Komorbiditäten und Ursachen für die primäre Beatmungspflichtigkeit. 62,2 % dieser Patienten im prolongierten Weaning konnten ohne invasive außerklinische Beatmung behandelt werden, während bei 22,9 % die Notwendigkeit der invasiven Beatmung gegeben war und 14,9 % der Patienten nach langer Behandlungsdauer auf einer Weaningstation (Median 33 Tage) verstarben. In der multizentrischen WIND-Studie wurden prospektiv knapp 3000 Patienten aller drei Weaningkategorien eingeschlossen. Hier konnte insbesondere die Zunahme der Sterblichkeit mit der Zunahme der Weaningdauer sehr gut gezeitigt werden [5].

➤ **Epidemiologische Daten sind aufgrund der Komplexität insbesondere der Weaningkategorie 3 schwer zu erheben. Die Sterblichkeitsrate der Patienten in Gruppe 3 liegt je nach Studien zwischen 15 und 30 %.**

## Literatur

- [1] Windisch W, Criée CP (2002) Nicht-invasive Beatmung-Therapie der Atempumpinsuffizienz. In: Matthys H, Seeger W (Hrsg) Klinische Pneumologie. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, S 641–653
- [2] Schönhofer B, Geiseler J, Dellweg D, Moerer O, Barchfeld T, Fuchs H, Karg O, Rosseau S, Sitter H, Weber-Carstens S, Westhoff M, Windisch W (2014) Prolonged weaning: S2k-guideline published by the German Respiratory Society. *Pneumologie* 68(1):19–75
- [3] Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, Pearl R, Silverman H, Stanchina M, Vieillard-Baron A, Welte T (2007) Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 29(5):1033–1056
- [4] WeanNet Study Group (2016) WeanNet: The network of weaning units of the DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin) – results to epidemiology an outcome in patients with prolonged weaning. *Dtsch Med Wochenschr* 141(18):e166–e172
- [5] Béduneau G, Pham T, Schortgen F, Piquilloud L, Zogheib E, Jonas M, Grelon F, Runge I, Terzi N, Grangé S, Barberet G, Guitard PG, Frat JP, Constan A, Chretien JM, Mancebo J, Mercat A, Richard JM, Brochard L; Weaning according New Definition (WIND) study group on behalf of Réseau Européen de recherche en Ventilation Artificielle (REVA) network (2017) Epidemiology of weaning outcome according to a new definition. The WIND Study. *Am J Respir Crit Care Med* 195(6):772–783



# Ursachen und Pathophysiologie des Weaningversagens

*Hans-Joachim Kabitz und Rolf Dembinski*

- 2.1 Akute respiratorische Insuffizienz (ARI) – 10**
- 2.2 Maschinelle Beatmung/Atemmuskuläre Dysfunktion als Ursache des Weaningversagens – 11**
  - 2.2.1 Diagnostik der atemmuskulären Dysfunktion im Weaning – 13
  - 2.2.2 Co-Faktoren/Differenzialdiagnosen der atemmuskulären Dysfunktion – 15
  - 2.2.3 Therapieoptionen bei atemmuskulärer Dysfunktion als Ursache des Weaningversagens – 15
- 2.3 Metabolische Ursachen – 16**
- 2.4 Pharmakologische Ursachen – 18**
- Literatur – 19**

Das Verständnis der Ursachen und der Pathophysiologie des Weaningversagens sind für den Intensivmediziner essentiell. Die akute respiratorische Insuffizienz (ARI) stellt den Beginn einer Kausalkette dar, an deren Ende häufig das Weaningversagen steht. Grundsätzlich muss die hypoxische von der hyperkapnischen respiratorischen Insuffizienz sowohl in Bezug auf Ätiologie (z. B. ARDS, COPD) als auch Therapie (z. B. Beatmungsmodalitäten) und Outcome sowie langfristiger Behandlungsoptionen (z. B. nicht-invasive Heimbeatmung) unterschieden werden.

Die Beatmung ist für Patienten mit ARI Segen und Fluch zugleich: lebensrettend und doch mit erheblichen Risiken behaftet. Die schädlichen Einflüsse der (invasiven) Beatmungstherapie auf die Atemmuskulatur stehen im Zentrum. Neben dem überraschend frühzeitigen Ventilator-induzierten Zwerchfellschaden (VIDD), ist der Intensivpatient weiteren Risiken ausgesetzt, welche in der Summe häufig das Vollbild der „ICU acquired weakness“ auslösen. Auch metabolische (z. B. Substratmangel) und medikamentöse (z. B. Kortikosteroide, Sedativa, u. a.) Ursachen müssen berücksichtigt und wo möglich vermieden bzw. therapiert werden.

Therapieoptionen der atemmuskulären Dysfunktion bestehen vor allem in deren Abmilderung/Vermeidung durch ausreichende diaphragmale Eigenleistung – diametral entgegengesetzter Pol des Therapieziels der (invasiven) Beatmung und hierdurch eines der großen Paradoxa der modernen Intensivmedizin.

## 2.1 Akute respiratorische Insuffizienz (ARI)

Die akute respiratorische Insuffizienz (ARI) bezeichnet die rasch auftretende Unfähigkeit, einen suffizienten pulmonalen Gasaustausch zu generieren. Entsprechend der führenden Gasaustauschstörung wird zwischen einer primär hypoxischen und einer primär hyperkapnischen ARI unterschieden.

Pathophysiologisch ist die akute Hypoxämie meist Folge eines erhöhten intrapulmonalen

Rechts-Links-Shunts durch Atelektasenbildung im Rahmen eines akuten Lungenversagens (Acute Respiratory Distress Syndrome, ARDS): Kollabierte Lungenareale werden nicht mehr ventilert, jedoch weiterhin perfundiert, sodass nicht-oxygeniertes Blut aus der Lunge in den systemischen Blutkreislauf gelangt und dort den arteriellen Sauerstoffgehalt reduziert.

➤ **Häufigste Ursache der akuten Hypoxämie ist die Pneumonie, insbesondere bei hospitalisierten Patienten muss bei akuter Hypoxämie aber auch immer an die Möglichkeit einer akuten Lungenembolie gedacht werden.**

Hyperkapnie hingegen ist im Rahmen der ARI i. d. R. Ausdruck eines reduzierten Atemminutenvolumens als Folge eines protrahierten Ungleichgewichtes zwischen der erforderlichen und der dem Patienten möglichen Atemarbeit. Die daraus resultierende dauerhafte Überlastung der Atemmuskulatur führt, wie die Überlastung jeder anderen quergestreiften Skelettmuskulatur, zu einer muskulären Erschöpfung, die als respiratorische Insuffizienz mit typischen klinischen Zeichen wie einer Tachypnoe mit niedrigen Atemzugvolumina („rapid shallow breathing“) und ausgeprägter Stressreaktion imponiert. Bei akuter Hyperkapnie findet sich in der Blutgasanalyse meist eine respiratorische Azidose, die bei chronischer Hyperkapnie häufig metabolische kompensiert ist.

➤ **Die akute respiratorische Erschöpfung ist klinisch durch eine flache, schnelle Atmung („rapid shallow breathing“) mit Einsatz der Atemhilfsmuskulatur und paradoxer Atmung mit interkostalen und suprasternalen Einziehungen sowie einer ausgeprägten Stressreaktion mit Tachykardie und Transpiration gekennzeichnet. In der Blutgasanalyse findet sich eine respiratorische Azidose.**

Experimentelle Untersuchungen belegen, dass eine derartige respiratorische Erschöpfung vergleichbar mit dem „Muskelkater“ der

Skelettmuskulatur nach körperlicher Überanstrengung zu einer strukturellen Zellschädigung im Zwerchfell führt [1]. Diese Befunde bieten eine plausible Erklärung für die lange Regenerationsphase nach respiratorischer Erschöpfung: So konnten selbst junge gesunde Probanden in einer entsprechenden klinischen Studie noch 24 Stunden nach experimentell induzierter respiratorischer Erschöpfung nicht dieselbe Atemarbeit aufbringen wie zuvor [2].

➤ **Die respiratorische Erschöpfung geht mit einer langandauernden Schwäche der Atemmuskulatur einher.**

Eine solche hyperkapnische respiratorische Insuffizienz kann im Rahmen einer ARI als Folge einer primären hypoxischen Insuffizienz z. B. auf dem Boden einer Pneumonie entstehen, wenn die kompensatorische Hyperventilation zu einer respiratorischen Erschöpfung führt. Eine akute hyperkapnische Insuffizienz kann sich jedoch auch primär auf dem Boden eines chronischen Ungleichgewichts zwischen erforderlicher und möglicher Atemarbeit entwickeln: Ein solches Atempumpenversagen liegt z. B. typischerweise bei der exazerbierten chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) vor, bei der die erforderliche Atemarbeit aufgrund des erhöhten Atemwegswiderstandes kontinuierlich erhöht und die mögliche Atemarbeit oft durch Kachexie und Begleiterkrankungen wie eine Herzinsuffizienz reduziert sind. Insbesondere Infekt-Exazerbationen sind bei diesen Patienten ein häufiger Auslöser für eine Dekompensation der bereits chronisch überlasteten Atemmuskulatur. Aber auch andere akute Ereignisse, wie eine Lungenembolie oder eine akute Herzinsuffizienz bei Myokardinfarkt, sowie metabolische Störungen oder pharmakologische Ursachen, können Auslöser einer solchen Dekompensation sein.

➤ **Neben akuten pulmonalen Ursachen, wie einer Infektion oder einer Lungenembolie, müssen auch extrapulmonale Faktoren, wie eine Herzinsuffizienz, metabolische**

**Störungen und pharmakologische Nebenwirkungen, als mögliche Ursache einer respiratorischen Insuffizienz in Erwägung gezogen werden.**

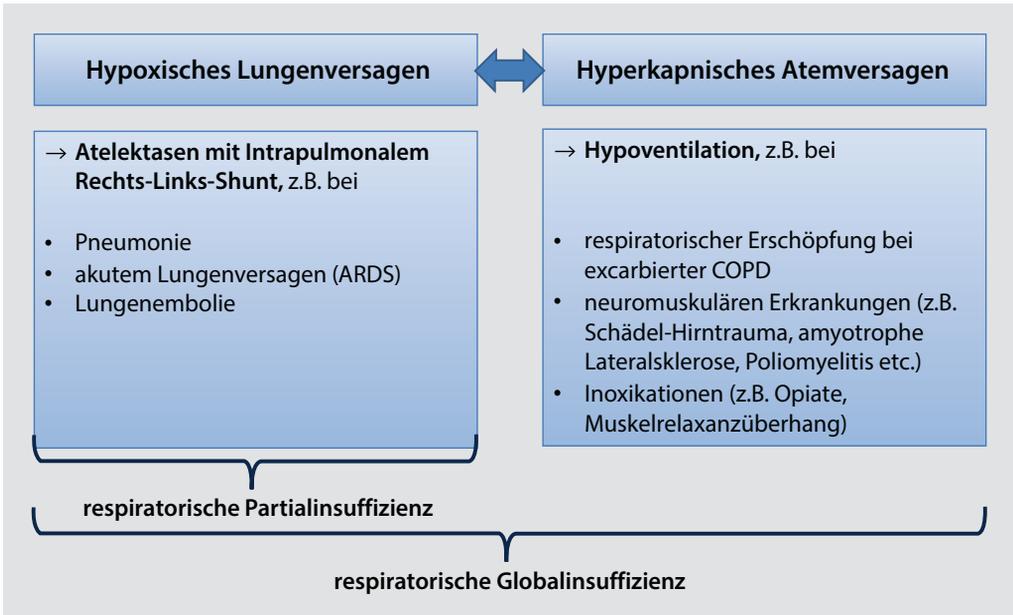
Neben obstruktiven Lungenerkrankungen können natürlich auch neuromuskuläre Erkrankungen durch zentrale Beeinflussung des Atemzentrums oder Schwächung des Atemapparates zu einer respiratorischen Erschöpfung führen (▣ Abb. 2.1).

In der Klinik finden sich häufig verschiedene Ursachen einer ARI, die eine eindeutige Zuordnung in eine primär hypoxische oder hyperkapnische Insuffizienz schwierig machen. So entwickelt sich bei protrahiertem Krankheitsverlauf immer sowohl eine Hypoxämie als auch eine Hyperkapnie. Meist überwiegt jedoch ein Aspekt, der für die weitere Therapie bestimmend sein sollte. So ist die maschinelle Beatmung zwar grundsätzlich die Therapie der Wahl, sowohl bei primär hypoxischer als auch bei primär hyperkapnischer Insuffizienz, die Entscheidung zwischen nicht-invasiver und invasiver Beatmung sowie die Auswahl des Beatmungsmodus und die Adjustierung der Beatmungsparameter sind jedoch z. B. wesentlich von der Genese der ARI abhängig.

## 2.2 Maschinelle Beatmung/ Atemmuskuläre Dysfunktion als Ursache des Weaningversagens

Die maschinelle Beatmung ist ein Standardwerkzeug in der Intensivmedizin und repräsentiert die Therapiemaßnahme der ersten Wahl bei Vorliegen einer (hyperkapnischen) respiratorischen Insuffizienz [1, 2].

➤ **Nahezu jeder 2. Patient auf der Intensivstation benötigt eine maschinelle Beatmung; bei rund ¼ dieser Patienten treten Weaningprobleme auf; 50 % der Verweildauer auf der Intensivstation entfallen auf das Weaning.**



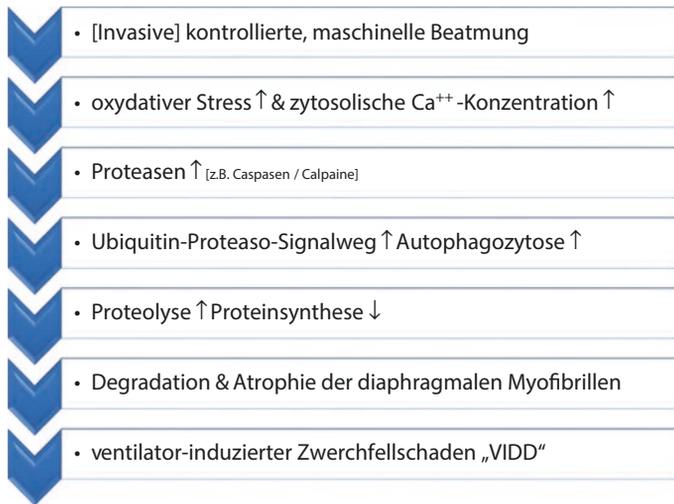
■ **Abb. 2.1** Pathophysiologie der akuten respiratorischen Insuffizienz (ARI)

Nicht selten ist die Beatmungstherapie für den Patienten lebensrettend – gleichwohl ist sie mit teils erheblichen Risiken und schädlichen Effekten assoziiert. In Bezug auf das Weaningversagen stehen die negativen Auswirkungen auf die Atemmuskulatur (insbesondere auf das Zwerchfell als Hauptatemmuskel) im Fokus. Unter dem aus tierexperimentellen Beobachtungen abgeleiteten Begriff „Ventilator induzierter Zwerchfellschaden“, englisch: ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD) ging dieser Sachverhalt in die Literatur ein [1, 2]. Die Landmark-Studie zum Nachweis der VIDD beim Menschen aus dem Jahre 2008 zeigte bei kontrolliert invasiv beatmeten Patienten nach bereits 1–3 Tagen einen nahezu 50 %igen Verlust an Muskelfaserquerschnitt des inaktivierten Zwerchfells – dies unter Ausschluss einer entzündlichen Genese oder einer generellen Muskelatrophie zu diesem Zeitpunkt [3]. Zwischenzeitlich wurde bekannt, dass selbst Beatmungszeiten (invasiv, kontrolliert) von lediglich 2 Stunden ausreichen, um die Kraftgenerierung der Muskelfasern des Zwerchfells (und nur des Zwerchfells) um nahezu 1/3 zu

reduzieren [4]. Diese zunächst histologischen Nachweise konnten auch in vivo reproduziert werden: bereits 1 Tag kontrollierter invasiver Beatmung reduziert die Zwerchfellkontraktilität und verläuft bis zu 1 Woche asymptotisch progredient [5].

➤ **Kontrollierte invasive Beatmung führt beim Menschen zu einer raschen (Stunden bis wenige Tage!) Abnahme der Zwerchfellkontraktilität – diese Schädigung ist unter dem Begriff „VIDD“ (ventilator-induced diaphragmatic dysfunction) in die Literatur eingegangen.**

Wie kommt es zur VIDD (■ **Abb. 2.2**)? Die „Ruhigstellung“ des Zwerchfells erhöht den oxidativen Stress und aktiviert Proteasen (Proteindegradierende Enzyme) und leitet die Proteolyse bis hin zum vollständigen Abbau der Muskelproteine via Proteasom ein [1, 6, 7]. Zudem resultiert kontrollierte invasive Beatmung in einer Autophagozytose des Zwerchfells, reduziert dessen Blutversorgung und drosselt die Proteinsynthese [1].



■ **Abb. 2.2** Die Kausalkette des Ventilator-induzierten Zwerchfellschadens (VIDD)

### 2.2.1 Diagnostik der atemuskulären Dysfunktion im Weaning

Zwerchfellbiopsien scheiden im intensivmedizinischen Alltag aufgrund der Invasivität und Komplexität als diagnostisches Werkzeug aus. Über die kontinuierliche Aufzeichnung transdiaphragmaler Druckveränderungen bzw. elektrischer Signale via (Ballon-) Katheter im Ösophagus (und Magen) – ein Verfahren welches zwischenzeitlich in Intensivrespiatoren Anwendung findet – lässt sich die diaphragmale Atemarbeit abschätzen [1, 2]. Die wenigsten Patienten auf der Intensivstation sind in der Lage, uneingeschränkt zu kooperieren und komplexe diagnostische Verfahren durchzuführen; daher bedarf es mitarbeitersunabhängiger Diagnostik [1]. Der flächendeckende Einsatz der elektro-magnetischen Nervenstimulation des N. phrenicus mit Aufzeichnung der Druckgenerierung bzw. der Elektromyographie des Zwerchfells, scheidet zumeist an der hohen technischen Komplexität und des personellen wie monetären Aufwandes [1].

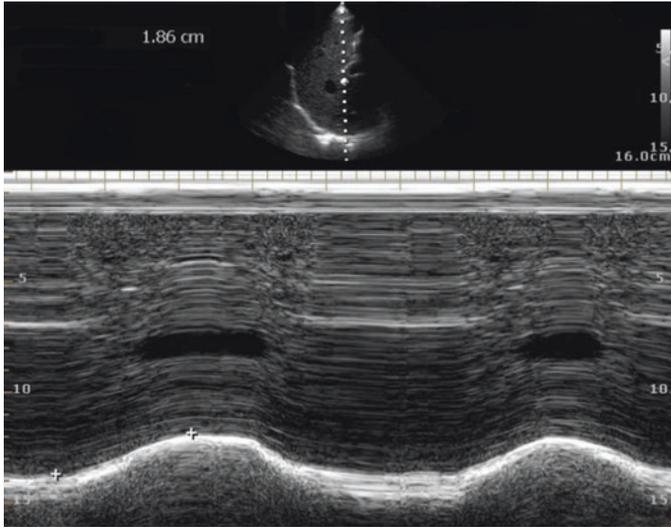
➤ **Die Ultraschalluntersuchung des Zwerchfells stellt für den Intensivmediziner eine wenig komplexe,**

**kosten- und zeiteffiziente und zudem nicht-invasive Möglichkeit der bettseitigen Beurteilung der Zwerchfelfunktion dar.**

Zum einen lässt sich die kraniokaudale Auslenkung des Zwerchfells beurteilen (■ **Abb. 2.3**): Werte <10 mm deuten auf eine Zwerchfelldysfunktion hin und besitzen vergleichbare prädiktive Wertigkeit im Hinblick auf ein mögliches Weaning-Versagen wie der intensivmedizinisch fest etablierte „Rapid-Shallow-Breathing-Index“ (RSBI; Atemfrequenz/ Atemzugvolumen) [1, 8]. Ferner kann die Dicke und Kontraktilität (Differenz In-/ Expiration) des Zwerchfells ermittelt werden (■ **Abb. 2.4**); bei kontrollierter invasiver Beatmung resultiert die VIDD in einer initialen Abnahme der Zwerchfelldicke von rund 6 % pro Tag [9].

So führen Sie auf der Intensivstation Zwerchfellsonographie durch:

- Den Patienten in flachliegende Körperposition bringen.
- Auslenkung des Hemidiaphragma rechts und links:
  - Zeit-Bewegungs-Modus („(T) M-Mode“) wählen
  - unterhalb des Rippenbogens
  - Medioklavikularlinie bzw. unterhalb des



■ **Abb. 2.3** Zwerchfellsonographie: Beweglichkeit Hemidiaphragma rechts. Liegender Patient, Ruheatmung, M-Mode. Die Zwerchfellexkursion (weiße Linie: diaphragmale Pleura) beträgt zwischen In- und Expiration  $\geq 10$  mm und gibt daher keine Hinweise auf das Vorliegen einer diaphragmalen Dysfunktion. Anschallwinkel  $\geq 70^\circ$  unmittelbar unterhalb des Rippenbogens rechts, Medioklavikularlinie unter Nutzung der Leber als Schallfenster



■ **Abb. 2.4** Zwerchfellsonographie: Dicke Hemidiaphragma rechts. Liegender Patient, Ruheatmung, End-Inspiration, zweidimensionalen Echtzeitmodus. Schallfenster: mittlere Axillarlinie auf Höhe der Appositions-Zone. Von kranial schiebt sich die Lunge ins Schallfenster

- Xiphoids messen (Angabe in mm, Schallfenster: Leber/Milz)
- Schallwinkel  $\geq 70^\circ$  beachten
- Zwerchfelldicke:
  - Helligkeits-modulierenden Modus („B-Mode“) bzw. zweidimensionalen Echtzeitmodus wählen
  - Einstellung der Appositions-Zone des Zwerchfells in der mittleren Axillarlinie
  - Messung am Ende der In-/Expiration an der dicksten Stelle zwischen pleuraler und peritonealer Zwerchfellbegrenzung (helle Linie)
  - Schallwinkel  $90^\circ$  beachten

### 2.2.2 Co-Faktoren/ Differenzialdiagnosen der atemmuskulären Dysfunktion

Bei beatmeten Patienten existieren neben der VIDD diverse Co-Faktoren bzw. Differenzialdiagnosen, welche zu einer atemmuskulären Dysfunktion beitragen können (■ Abb. 2.5): die Grunderkrankung selbst (z. B. COPD, interstitielle Lungenerkrankungen, Diabetes Mellitus, Herzinsuffizienz, Pulmonale Hypertonie, u. a.), Medikamente (siehe 2.5.), Sepsis, Malnutrition, aber auch die Polyneuropathie sowie Myopathie des kritisch Kranken (engl. „critical illness polyneuropathy / myopathy“ CIP/CIM) was zum Begriff der „Intensivstation erworbenen (Muskel)Schwäche“ (engl. „ICU acquired weakness“) geführt hat [1, 2].

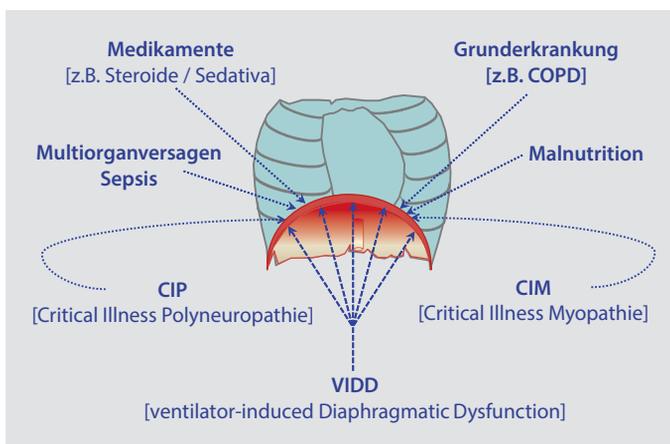
- Die atemmuskuläre Dysfunktion auf der Intensivstation ist zumeist ein Mischbild unterschiedlicher pathologischer Einflussfaktoren auf die Zwerchfellfunktion und geht häufig mit einer generalisierten Schwäche des Intensivpatienten einher – die VIDD als monokausale Ursache ist eine Ausschlussdiagnose.

### 2.2.3 Therapieoptionen bei atemmuskulärer Dysfunktion als Ursache des Weaningversagens

Dieser Abschnitt beschreibt potentielle, teils vielversprechende therapeutische Ansätze bei Weaningversagen auf dem Boden einer atemmuskulären Dysfunktion – weder werden hier generelle Strategien zur Beatmungsentwöhnung genannt (► Kap. 3) noch existiert bis dato ein etablierter Therapiestandard.

**Beatmungsstrategien:** invasiv beatmete Patienten profitieren hinsichtlich Klinikverweildauer und Mortalität auch ohne Vorliegen eines akuten Atemnot-Syndroms (ARDS) von einer Beatmung mit niedrigen Tidalvolumina (i.e. ca. 6 ml/kg Körpergewicht) [10]. Hierbei resultiert eine milde permissive Hyperkapnie, welche möglicherweise das Auftreten einer VIDD abmildern kann [11].

- Invasive Beatmungsstrategien mit niedrigen Tidalvolumina sind möglicherweise nicht nur „lungenprotektiv“, sondern auch „VIDD-protektiv“.



■ Abb. 2.5 Mögliche Ursachen/Co-Faktoren der Zwerchfelldysfunktion

Sowohl assistierte als auch kontrollierte invasive Beatmungsverfahren induzieren eine VIDD – inwieweit deren Ausprägung durch die Anwendung von (intermittierend) assistierten anstelle von kontrollierten Beatmungsstrategien abgemildert werden kann, bleibt anhand der Datenlage aktuell kontrovers [1, 2]. Da (intermittierend) assistierte Beatmungsstrategien jedoch in keiner Studie eine stärkere VIDD verursacht haben als die kontrollierten und teils einen relevanten Benefit aufzeigen konnten, sollte der Intensivmediziner diese Strategien mit in seine Überlegungen einbeziehen.

**Medikamentöse Therapieansätze:** Da oxidativer Stress wesentlicher Bestandteil der VIDD-Entstehung ist, könnten Antioxidantien deren Ausprägung abmildern: tierexperimentell konnte dies sowohl für das mitochondriale Antioxidans SS-31 als auch hochdosiertes N-Acetylcystein gezeigt werden [1, 12]. Aktuell wird jedoch der Einsatz dieser Substanzen bei Patienten nicht empfohlen [13]. Für den Calcium-Sensitizer Levosimendan wurde gezeigt, dass dieser die neuro-mechanische Kopplung sowie die kontraktilen Eigenschaften des humanen Zwerchfells verbessern und so eine Zwerchfellermüdung abmildern kann; dies eröffnet daher eine interessante Möglichkeit in der medikamentösen Therapie der atemmuskulären Dysfunktion [1, 14].

**Nicht-medikamentöse Therapieansätze:** die nicht-invasive (repetitive) elektromagnetische Stimulation des N. phrenicus antizipiert kausal die Zwerchfellinaktivität als Ursache der VIDD: tatsächlich gelangen hier Erfolge bei Patienten mit Querschnittslähmung und es existieren Geräte und Protokolle für die Routineanwendung; allerdings fehlen auch hier bislang belastbare klinische Daten [1, 15]. Für ausgewählte Weaningpatienten ergibt sich die Möglichkeit eines spezifischen inspiratorischen Atemmuskeltrainings mit Verbesserung der Atemmuskelfunktion sowie Erhöhung des Weaning-Erfolges [16, 17]. Ob hierdurch jedoch das Auftreten einer VIDD abgemildert

werden kann, ist bis dato nicht konklusiv untersucht worden. Mehrwöchiges Ganzkörper-Ausdauertraining verbessert die antioxidative Kapazität des Zwerchfells und mildert eine VIDD bei nachfolgender Beatmungstherapie ab [18]. Dies stellt allerdings bestenfalls für (Hoch-)Risiko-Patienten im Rahmen von elektiven operativen Eingriffen eine realistische Therapieoption zur möglichen Abmilderung einer VIDD dar.

### 2.3 Metabolische Ursachen

Als im weitesten Sinne metabolische Ursachen eines Weaningversagens sind hier patienten-abhängige nicht-pulmonale Faktoren aufgeführt, welche die erforderliche Atemarbeit erhöhen oder die mögliche Atemarbeit reduzieren. Patienten-unabhängige Faktoren, wie die durch das Beatmungsgerät selbst oder durch Synchronisationsstörungen verursachte zusätzliche Atemarbeit, bleiben hier unberücksichtigt.

Patienten-abhängige Faktoren, welche die erforderliche Atemarbeit erhöhen, sind meist pulmonal bedingt und umfassen z. B. pathologische Veränderungen von Compliance und Resistance der Lunge. Allerdings können auch einige extrapulmonale Faktoren, wie ein erhöhter Sauerstoffverbrauch oder eine erhöhte Kohlendioxidproduktion, die erforderliche Atemarbeit relevant steigern: Für die klinische Praxis sind in diesem Zusammenhang z. B. Schmerzen und Stress des Patienten, Fieber, postoperatives Shivering, eine Hyperthyreose, aber auch eine inadäquate Katecholamintherapie als Ursachen eines erhöhten Sauerstoffverbrauchs und einer erhöhten Kohlendioxidproduktion relevant. Fieber, aber auch eine Azidose können zudem durch Rechtsverschiebung der Sauerstoffbindungskurve und der damit verbundenen langsameren Sauerstoffaufnahme in der Lunge die erforderliche Atemarbeit im Rahmen einer kompensatorischen Steigerung der Ventilation erhöhen [3].

Eine Abnahme der möglichen Atemarbeit ist bei Intensivpatienten meist die Folge einer Insuffizienz der Atemmuskulatur. Mögliche metabolische Ursachen hierfür sind eine Reduktion des globalen Sauerstoffangebotes und ein vermindertes Substratangebot an die Atemmuskulatur.

Ein suffizientes **globales Sauerstoffangebot** ist die Voraussetzung für eine ausreichende Versorgung des Zwerchfells mit Sauerstoff. Im Gegensatz zu anderen Organen ist die Sauerstoffextraktionsrate des Zwerchfells bereits unter Normalbedingungen hoch, sodass ein höherer Bedarf nur durch eine Steigerung des Sauerstoffangebotes gedeckt werden kann. Da das globale Sauerstoffangebot dem Produkt aus Herzzeitvolumen und Sauerstoffgehalt entspricht, ergeben sich somit zwei wichtige Limitationen bei der Sauerstoffversorgung des Zwerchfells.

➤ **Die Sauerstoffversorgung des Zwerchfells ist direkt vom Sauerstoffangebot als Produkt aus Herz-Zeit-Volumen und arteriellem Sauerstoffgehalt abhängig.**

So ist die Herzinsuffizienz eine wichtige Differenzialdiagnose beim Weaningversagen und kann zudem durch Verursachung eines kardiogenen Lungenödems neben der muskulären Leistungsfähigkeit auch die Gasaustauschfunktion direkt beeinflussen. Da die maschinelle Beatmung zu einer Reduktion der linksventrikulären Nachlast führt, wird ihr Einsatz bei Herzinsuffizienz allgemein empfohlen. Umgekehrt ist eine oft bis dahin nicht diagnostizierte Herzinsuffizienz nicht selten die entscheidende Ursache für ein anderweitig nicht erklärbares Weaningversagen [4]. Daher ist bei schwierigem Weaning eine regelmäßige Kontrolle der Herzfunktion mittels Echokardiographie zu empfehlen.

Neben der Herzfunktion stellen der Sauerstoffgehalt und damit die Hämoglobinkonzentration im Blut eine wichtige Limitation im Hinblick auf ein suffizientes Sauerstoffangebot

dar. So ist pathophysiologisch leicht nachzuvollziehen, dass eine Erhöhung der Hämoglobinkonzentration mit einer Steigerung des Sauerstoffangebotes einhergeht. In klinischen Studien konnte zudem belegt werden, dass dies zu einer Reduktion der Atemarbeit beitragen kann [5, 6].

Allerdings liegen bislang keine verlässlichen Daten randomisierter Studien vor, die eine bestimmte Hämoglobinkonzentration als Voraussetzung für einen erfolgreichen Weaningprozess identifizieren konnten [7]. In Anbetracht der vielfältigen Transfusionsrisiken kann daher in dieser Hinsicht keine allgemeingültige Empfehlung gegeben werden. So werden in der aktuell gültigen S2k-Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ sowohl ein konservatives als auch ein liberales Transfusionsregime als mögliche Strategie beschrieben. Beide Strategien unterscheiden sich im Wesentlichen in der Bewertung der aktuellen Evidenz und damit in der Abwägung möglicher Komplikationen und dem Vorteil eines verbesserten globalen Sauerstoffangebotes im Blut. Letztlich lässt die konservative Strategie eine Anhebung der Hämoglobinkonzentration auf über 10 g/dl nur in Ausnahmefällen und unter Berücksichtigung physiologischer Transfusionstrigger wie z. B. kardialer Ischämiezeichen zu, während das liberale Regime bei schwierigen Fällen prolongierter Entwöhnung eine Anhebung sogar bis in den Normbereich vorsieht.

➤ **Die Hämoglobinkonzentration hat maßgeblichen Einfluss auf das globale Sauerstoffangebot und beeinflusst daher auch die mögliche Atemarbeit. Ein optimaler Zielwert im Weaning-Prozess ist jedoch nicht festgelegt.**

Eine adäquate Stoffwechselfunktion und suffiziente Ernährung sind die Grundlagen einer suffizienten Funktion der Atemmuskulatur. Dementsprechend ist eine unzureichende Kalorien- und Substratzufuhr ein möglicher Co-Faktor beim Weaningversagen [8]. Z. B. haben

Elektrolytstörungen wie eine Hypokalziämie oder eine Hyphosphatämie einen deutlichen Einfluss auf die Kontraktilität der Atemmuskulatur. Während sich derartige Elektrolytstörungen leicht erkennen und beheben lassen, ist eine adäquate Ernährung meist sehr viel schwieriger sicherzustellen.

Bei chronisch lungenkranken Patienten findet sich häufig eine Kachexie, deren Ausgleich durch entsprechende Kalorien- und Proteinzufuhr für eine Steigerung der möglichen Atemarbeit zwingend erforderlich ist [9]. Auch bei einer länger dauernden intensivmedizinischen Behandlung kommt es im Rahmen des Postaggressionsstoffwechsels regelhaft zu einer Kachexie mit einem massiven Abbau der Muskelmasse [10]. Dieser Mangelzustand lässt sich allerdings nur schwer durch Anpassung der Ernährung beheben, solange der Patient immobilisiert ist und im Rahmen des Stressstoffwechsels die Zufuhr von Kalorien und Proteinen nicht adäquat verwerten kann [11]. Daher orientiert sich die Ernährungstherapie auch im Hinblick auf die Optimierung der möglichen Atemarbeit an den allgemeingültigen Empfehlungen zur Ernährung von Intensivpatienten [12].

➤ **Mangelernährung ist eine wichtige Ursache des Weaningversagens bei Intensivpatienten.**

Bei der Zusammensetzung der Ernährungslösungen sollte aufgrund des unterschiedlichen respiratorischen Quotienten auf einen erhöhten Fettanteil bei reduzierter Kohlenhydratzufuhr geachtet werden: So beträgt der respiratorische Quotient, also das Verhältnis von Kohlendioxidproduktion und Sauerstoffverbrauch, für Fett bei 0,7 während der für Kohlenhydrate bei 1,0 liegt. Bei der Energiegewinnung durch Kohlenhydrate entsteht also mehr Kohlendioxid, das durch eine vermehrte Ventilation abgeatmet werden muss und damit die erforderliche Atemarbeit erhöht [13]. Entsprechend war eine fettreiche kalorienarme Ernährung in klinischen Studien mit einer

Reduktion der Kohlendioxidproduktion und Verkürzung der Beatmungsdauer verbunden [14, 15].

## 2.4 Pharmakologische Ursachen

Natürlich muss bei der Suche nach Ursachen eines Weaningversagens immer nach möglichen unerwünschten Überhängen von Sedativa und Muskelrelaxantien gefahndet werden. Neben diesen offensichtlichen Interaktionen mit der Atemfunktion mehren sich allerdings inzwischen auch die Hinweise darauf, dass einige, insbesondere in der Intensivmedizin häufig eingesetzte Medikamente Co-Faktoren für die Entstehung einer VIDD sein und damit die mögliche Atemarbeit reduzieren könnten.

Insbesondere der komplexe Einfluss von Kortikoiden ist in diversen meist tierexperimentellen Studien untersucht worden. Hier finden sich allerdings dosisabhängig sowohl eine Induktion einer Zwerchfellatrophie mit entsprechender Reduktion der Muskelkraft als auch protektive Effekte durch die antiinflammatorische Wirkung der Kortikoide [16].

Die durch Rocuronium hervorgerufene Zunahme der Zwerchfelldysfunktion ist möglicherweise ebenfalls der Steroidstruktur dieses Muskelrelaxans geschuldet [17]: So konnte ein vergleichbarer Effekt nach Gabe von Cis-Atracurium nicht beobachtet werden [18].

Neuere Studien lassen auch für das Propofol einen dezidierten Effekt auf die Zwerchfellfunktion vermuten. So war in einem Tierversuch die erhaltene Spontanatmungsaktivität unter Propofol nicht mit einer Reduktion der VIDD verbunden, was einen negativen Effekt der Substanz vermuten lässt [19].

Auch wenn sich aus dieser Datenlage keine hochgradige Evidenz hinsichtlich der Vermeidung bestimmter Medikamente zur Unterbindung einer VIDD ergibt, sollten der unkritische Einsatz insbesondere von Kortikoiden, Muskelrelaxantien und Propofol vermieden werden.

## Literatur

- [1] Kabitz H-J, Windisch W, Schönhofer B (2013) Understanding ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD): progress and advances. *Pneumol Stuttg Ger* 67:435–441
- [2] Schild K, Neusch C, Schönhofer B (2008) Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD). *Pneumol Stuttg Ger* 62:33–39
- [3] Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, Zhu J, Sachdeva R, Sonnad S, Kaiser LR, Rubinstein NA, Powers SK, Shrager JB (2008) Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 358:1327–1335
- [4] Welvaart WN, Paul MA, Stienen GJM, van Hees HWH, Loer SA, Bouwman R, Niessen H, de Man FS, Witt CC, Granzier H, Vonk-Noordegraaf A, Ottenheijm CAC (2011) Selective diaphragm muscle weakness after contractile inactivity during thoracic surgery. *Ann Surg* 254:1044–1049
- [5] Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet J-P, Rabuel C, Bouyabrine H, Courouble P, Koechlin-Ramonatxo C, Sebbane M, Similowski T, Scheuermann V, Mebazaa A, Capdevila X, Mornet D, Mercier J, Lacampagne A, Philips A, Matecki S (2011) Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *Am J Respir Crit Care Med* 183:364–371
- [6] Du J, Wang X, Miereles C, Bailey JL, Debigare R, Zheng B, Price SR, Mitch WE (2004) Activation of caspase-3 is an initial step triggering accelerated muscle proteolysis in catabolic conditions. *J Clin Invest* 113:115–123
- [7] Powers SK, Kavazis AN, DeRuisseau KC (2005) Mechanisms of disuse muscle atrophy: role of oxidative stress. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 288:R337–R344
- [8] Kim WY, Suh HJ, Hong S-B, Koh Y, Lim C-M (2011) Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 39:2627–2630
- [9] Grosu HB, Lee YI, Lee J, Eden E, Eikermann M, Rose KM (2012) Diaphragm muscle thinning in patients who are mechanically ventilated. *Chest* 142:1455–1460
- [10] Serpa Neto A, Cardoso SO, Manetta JA, Pereira VGM, Espósito DC, Pasqualucci M de OP, Damasceno MCT, Schultz MJ (2012) Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *JAMA* 308:1651–1659
- [11] Jung B, Sebbane M, Goff CL, Rossel N, Chanques G, Futier E, Constantin J-M, Matecki S, Jaber S (2013) Moderate and prolonged hypercapnic acidosis may protect against ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in healthy piglet: an in vivo study. *Crit Care Lond Engl* 17:R15
- [12] Agten A, Maes K, Smuder A, Powers SK, Decramer M, Gayan-Ramirez G (2011) N-Acetylcysteine protects the rat diaphragm from the decreased contractility associated with controlled mechanical ventilation. *Crit Care Med* 39:777–782
- [13] Laghi F (2011) Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: is there a dim light at the end of the tunnel? *Crit Care Med* 39:903–905
- [14] Doorduyn J, Sinderby CA, Beck J, Stegeman DF, van Hees HWH, van der Hoeven JG, Heunks LMA (2012) The calcium sensitizer levosimendan improves human diaphragm function. *Am J Respir Crit Care Med* 185:90–95
- [15] Adler D, Gottfried SB, Bautin N, Mirkovic T, Schmidt M, Raux M, Pavlovic D, Similowski T, Demoule A (2011) Repetitive magnetic stimulation of the phrenic nerves for diaphragm conditioning: a normative study of feasibility and optimal settings. *Appl Physiol Nutr Metab Physiol Appliquée Nutr Métabolisme* 36:1001–1008
- [16] Martin AD, Smith BK, Davenport PD, Harman E, Gonzalez-Rothi RJ, Baz M, Layon AJ, Banner MJ, Caruso LJ, Deoghare H, Huang T-T, Gabrielli A (2011) Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care Lond Engl* 15:R84
- [17] Moodie L, Reeve J, Elkins M (2011) Inspiratory muscle training increases inspiratory muscle strength in patients weaning from mechanical ventilation: a systematic review. *J Physiother* 57:213–221
- [18] Smuder AJ, Min K, Hudson MB, Kavazis AN, Kwon O-S, Nelson WB, Powers SK (2012) Endurance exercise attenuates ventilator-induced diaphragm dysfunction. *J Appl Physiol* (1985) 112:501–510
- [19] Hermans G, Agten A, Testelmans D, Decramer M, Gayan-Ramirez G (2010) Increased duration of mechanical ventilation is associated with decreased diaphragmatic force: a prospective observational study. *Crit Care Lond Engl* 14:R127
- [20] Tobin MJ, Laghi F, Jubran A (2010) Narrative review: ventilator-induced respiratory muscle weakness. *Ann Intern Med* 153:240–245
- [21] WD, Huang J, Bryson S, Walker DC, Belcastro AN (1994) Diaphragm injury and myofibrillar structure induced by resistive loading. *J Appl Physiol* 76:176–184
- [22] Laghi F, D'Alfonso N, Tobin MJ (1995) Pattern of recovery from diaphragmatic fatigue over 24 hours. *J Appl Physiol* 79:539–546
- [23] Pinsky MR (2005) Cardiovascular issues in respiratory care. *Chest* 128:592S–597S
- [24] Dres M, Teboul JL, Monnet X (2014) Weaning the cardiac patient from mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care* 20:493–498

- 2
- [25] Schonhofer B, Wenzel M, Geibel M, Kohler D (1998) Blood transfusion and lung function in chronically anemic patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Crit Care Med* 26:1824–1828
- [26] Silver MR (2005) Anemia in the long-term ventilator-dependent patient with respiratory failure. *Chest* 128:568S–575S
- [27] Schonhofer B, Geiseler J, Dellweg D, Moerer O, Barchfeld T, Fuchs H, Karg O, Rosseau S, Sitter H, Weber-Carstens S, Westhoff M, Windisch W (2014) Prolonged weaning: S2k-guideline published by the German Respiratory Society. *Pneumologie* 68:19–75
- [28] Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C, Pearl R, Silverman H, Stanchina M, Vieillard-Baron A, Welte T (2007) Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 29:1033–1056
- [29] Hill GL (1994) Impact of nutritional support on the clinical outcome of the surgical patient. *Clin Nutr* 13:331–340
- [30] Cahill NE, Dhaliwal R, Day AG, Jiang X, Heyland DK (2010) Nutrition therapy in the critical care setting: what is "best achievable" practice? An international multicenter observational study. *Crit Care Med* 38:395–401
- [31] Plank LD, Hill GL (2003) Energy balance in critical illness. *Proc Nutr Soc* 62:545–552
- [32] Casaer MP (2015) Muscle weakness and nutrition therapy in ICU. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 18:162–168
- [33] Herve P, Simonneau G, Girard P, Cerrina J, Mathieu M, Duroux P (1985) Hypercapnic acidosis induced by nutrition in mechanically ventilated patients: glucose versus fat. *Crit Care Med* 13:537–540
- [34] al-Saady NM, Blackmore CM, Bennett ED (1989) High fat, low carbohydrate, enteral feeding lowers PaCO<sub>2</sub> and reduces the period of ventilation in artificially ventilated patients. *Intensive Care Med* 15:290–295
- [35] van den Berg B, Bogaard JM, Hop WC (1994) High fat, low carbohydrate, enteral feeding in patients weaning from the ventilator. *Intensive Care Med* 20:470–475
- [36] Maes K, Agten A, Smuder A, Powers SK, Decramer M, Gayan-Ramirez G (2010) Corticosteroid effects on ventilator-induced diaphragm dysfunction in anesthetized rats depend on the dose administered. *Respir Res* 11:178
- [37] Maes K, Testelmans D, Thomas D, Decramer M, Gayan-Ramirez G (2011) High dose methylprednisolone counteracts the negative effects of rocuronium on diaphragm function. *Intensive Care Med* 37:1865–1872
- [38] Testelmans D, Maes K, Wouters P, Powers SK, Decramer M, Gayan-Ramirez G (2007) Infusions of rocuronium and cisatracurium exert different effects on rat diaphragm function. *Intensive Care Med* 33:872–879
- [39] Bruells CS, Maes K, Rossaint R, Thomas D, Cielien N, Bergs I, Bleilevens C, Weis J, Gayan-Ramirez G (2014) Sedation using propofol induces similar diaphragm dysfunction and atrophy during spontaneous breathing and mechanical ventilation in rats. *Anesthesiology* 120:665–672



# Strategien in der Respiratorentwöhnung

*Bernd Schönhofer und Steffen Weber-Carstens*

- 3.1 Präventive und therapeutische Strategien im Weaning – 22**
  - 3.1.1 Erhalt von Neuro- und neuromuskulärer Kapazität – 22
  - 3.1.2 Protokolle zur Entwöhnung von der Beatmung – 24
- 3.2 Prädiktion und Risikostratifizierung prolongierter Entwöhnung – 25**
  - 3.2.1 Verhältnis von Atemfrequenz zu Tidalvolumen – 25
  - 3.2.2 Maximaler inspiratorischer Druck – 26
- 3.3 Beatmungsverfahren im Weaning – 26**
- 3.4 Beatmungszugang – 28**
  - 3.4.1 NIV bei schwierigem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase – 28
- 3.5 Frühmobilisation – 28**
- 3.6 Bildgebung – 29**
- Literatur – 30**

Nicht selten resultieren aus einer komplexen, intensivmedizinischen Behandlung mit Beatmung immer älter werdender Patienten eine Langzeitabhängigkeit von Beatmungsmedizin. Nur etwa die Hälfte langzeitbeatmeter Patienten (>14 Tage) ist vor Entlassung aus dem Krankenhaus vom Respirator entwöhnt. Und nur etwa 41 % der Patienten nach Langzeitbeatmung leben noch ein Jahr nach Entlassung aus dem Krankenhaus [1].

Der Erhalt von Patientenautonomie, gesundheitsbezogener Lebensqualität sowie funktioneller Unabhängigkeit, die ein Patient nach einer intensivmedizinischen Behandlung erlangt, sind essentielle Größen für eine erfolgreiche Respiratortherapie geworden. Ein übergeordnetes Ziel ist daher die Entwicklung multimodaler Therapiekonzepte, die zum Erhalt von Patientenautonomie, körperlicher Integrität und Unabhängigkeit von Beatmungsmedizin nach intensivmedizinischer Behandlung führen [2].

Die Ursachen für eine Langzeitbeatmung und ein Scheitern der Respiratorentwöhnung sind vielfältig und reichen von iatrogenen Verursachungen, wie z. B. Übersiedierung, Fehlen eines protokollbasierten Managements zur Erfassung des Weaningpotentials, einer unzureichenden Adaption der Beatmungsunterstützung an die klinische Situation des Patienten, über Folgezustände einer protrahierten Intensivtherapie mit Entwicklung z. B. eines Delirs oder Ausbildung eines schwerwiegenden neuromuskulären Organversagens, bis hin zu Problemen, die durch die respiratorische Grunderkrankung begründet sind [3].

➤ **Die nach internationaler Klassifikation benannte „Gruppe 3“ mit prolongiertem Weaning [4] weist im Vergleich von den beiden Gruppen 1 und 2 eine schlechtere Prognose auf [5].**

In einer aktuellen Studie bestätigt sich das o. g. Ergebnis tendenziell: 57 % der Patienten gehören zur Gruppe 1, 10 % zu Gruppe 2 und 9 % zu Gruppe 3. Die Outcomedaten bzgl. Dauer der Beatmung, Aufenthaltsdauer in der ICU und

Mortalitätsrate sind im prolongierten Weaning am ungünstigsten [6].

Strategien im Sinne einer Prävention von Langzeitbeatmung und Weaningversagen beginnen in der Initialphase der Beatmungsmedizin und sind weiter zu fassen als die alleinige Betrachtung der eigentlichen Beatmungsverfahren zur Entwöhnung von der Beatmung.

### 3.1 Präventive und therapeutische Strategien im Weaning

#### 3.1.1 Erhalt von Neuro- und neuromuskulärer Kapazität

Das Delir, definiert als akute Aufmerksamkeitsstörung mit fluktuierendem Verlauf, ist die häufigste neurokognitive Funktionseinschränkung, einhergehend mit Gedächtnisstörung, Desorientiertheit, Sprachstörung, die im Rahmen einer intensivmedizinischen Therapie sekundär erworben wird [7]. Das Delir hat einen erheblichen Einfluss auf das Behandlungsergebnis der Patienten. Je nach untersuchtem Patientenkollektiv sind zwischen 20 % und 80 % der Patienten während der intensivstationären Behandlung betroffen. Postoperative Patienten haben in Abhängigkeit vom Eingriff ein etwas geringeres Risiko als Patienten mit Sepsis oder ARDS [8–10].

Ein Delir ist neben einer erhöhten Mortalität mit einer verlängerten Beatmungsdauer, einer verlängerten Verweildauer auf der Intensivstation sowie einem verschlechterten kognitiven Langzeitergebnis assoziiert [11–15]. Mehrere prospektive Untersuchungen stellten einen statistischen Zusammenhang mit der Beatmungsdauer und der Delirinzidenz her. In einer aktuellen retrospektiven Analyse von 393 beatmeten Patienten konnte erstmals gezeigt werden, dass delirante Patienten ein doppelt so hohes Risiko für ein erschwertes Weaning hatten, verglichen mit Patienten ohne Delir am Tag des ersten Spontanatmungsversuchs [16].

Somit scheinen die Prävention sowie auch die zeitgerechte Behandlung des Delirs für ein erfolgreiches Weaning relevant zu sein. Die multimodale Behandlung des Delirs umfasst in einem ersten Schritt die Identifikation und wenn möglich Elimination potentiell auslösender Faktoren wie Elektrolytstörungen, Infektionen, klinisch manifeste Hypoxämie (z. B. durch Anämie), Entzugssyndrome und medikamenteninduzierte Delirien (z. B. durch Substanzen mit zentralem anticholinergen Effekt). In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass eine Übersiedierung ein wesentlicher Risikofaktor für die Entstehung eines Delirs ist [17]. Die symptomorientierte Therapie eines Delirs folgt aktuellen Leitlinienempfehlungen (siehe DAS-Leitlinie 2015 [18]) unter Berücksichtigung psychotischer Symptome/Halluzinationen, Angst, Agitation/Stress und Schmerzen. Für die Entwöhnung von der Beatmung sind nicht-pharmakologische Therapiestrategien zur Behandlung des Delirs, wie Hilfen zur Reorientierung, der Restitution und Stabilisierung eines Tag-Nacht-Rhythmus sowie physiotherapeutische Maßnahmen besonders relevant.

Der Atmungsmuskulatur mit dem wichtigsten Inspirationsmuskel, dem Diaphragma, kommt bei der Beatmung und der Entwöhnung von der Beatmung eine zentrale Bedeutung zu. Sie funktioniert im Sinne einer „Atempumpe“ und ist in ein komplexes Organ- und Regulationssystem integriert. Eine insuffiziente Atemmuskulatur führt zum Ungleichgewicht zwischen erhöhter Belastung und verminderter Kapazität der Atemmuskulatur und konsekutiv zum ventilatorischen Versagen mit dem Leitwert Hyperkapnie und – bei akutem Auftreten – respiratorische Azidose. Ein myogenes Versagen der Atemmuskulatur im Sinne einer „ventilator induced diaphragmatic dysfunction (VIDD)“ kann durch eine inadäquate Entlastung mit Überlastung der Atemmuskulatur wie auch eine vollständige Inaktivität bei kontinuierlich kontrollierter Beatmung induziert werden [19–21]. Pathophysiologische Prozesse, die zu einem myogenen Versagen des Zwerchfells führen, treten nicht erst als Spätfolge einer Langzeitbeatmung auf, sondern lassen sich schon sehr früh im Verlauf einer kritischen Erkrankung mit Beatmung nachweisen

und bedingen die Entwicklung einer Langzeitbeatmung [22–24].

In den letzten Jahren ist eindrücklich gezeigt worden, dass eine durchgehend kontrollierte Beatmung sehr schnell zu einer Aktivierung des Ubiquitin-Proteasom-Systems mit Induktion von Proteindegradation, Muskelatrophie und Reduktion der Kontraktilität im Zwerchfell führt (siehe auch ► Kap. 2, ■ Abb. 2.2. Levine et al. [22] zeigten an beatmeten Organspendern bereits nach einer wenige Tage dauernden Beatmungszeit eine Hochregulierung muskelspezifischer, Atrophie-vermittelnder E3-Ligasen (MuRF-I, Atrogin) mit Abnahme des Muskelfaserquerschnitts. Dieser Befund konnte aktuell in einer größeren Kohorte kritisch kranker Patienten bestätigt und darüber hinaus tierexperimentell gezeigt werden, dass die beatmungsinduzierte Schwächung der Zwerchfellkontraktilität bei MuRF-I-Knockout-Mäusen nicht nachzuweisen war [24].

Dies wirft die Frage auf, in welchem Ausmaß Spontanatmung respektive Zwerchfellaktivität mithilfe assistierter oder assistiert/kontrollierter Beatmungsmodi in der initialen Beatmungsphase erhalten werden muss und ob eine überschießende Entlastung der Atemmuskelpumpe während der Entwöhnung von der Beatmung ggfs. Pathomechanismen in Gang setzt, die sich negativ auf die Zwerchfellfunktion auswirken [25].

Therapeutische Maßnahmen zur Prävention eines myogenen Atempumpenversagens müssen demnach in der Frühphase einer kritischen Erkrankung ansetzen.

Das Zwerchfell als Ausdauermuskel weist bei einer Dauerbelastung bis etwa 40 % der möglichen Maximalkraft eine hohe Resistenz gegen Erschöpfung auf. Eine Belastung während maschineller Beatmung oberhalb dieser Grenze führt aber in Abhängigkeit vom Ausmaß der Überlastung zur schnellen Ermüdung bis hin zu strukturellen Schädigung des Zwerchfellmuskels [26]. Beim Menschen führt eine maximale inspiratorische Belastung des Zwerchfells über eine Minute sowohl bei gesunden Probanden als auch in stärkerer Ausprägung bei Patienten mit COPD schon zu einer signifikanten Verletzung der Sarkomerstruktur [27]. Funktionell lässt sich

eine Störung der Zwerchfellkontraktilität proportional zur Belastung nachweisen, bevor es zu einem sichtbaren Versagen der Zwerchfellfunktion kommt [28]. Dabei führt eine exzessive Belastung der Zwerchfelmuskulatur von wenigen Minuten schon zu einem messbaren Kraftverlust sowie einer protrahierten Erholung, die bis zu 24 Stunden andauern kann [29].

Somit stellt in der respiratorischen Insuffizienz eine frühzeitige und adäquate Entlastung der Atemmuskulatur unter dem Einsatz nicht-invasiver oder invasiver Beatmung neben der Sicherung vitaler Funktionen eine unverzichtbare Maßnahme zur Prävention von Langzeitbeatmung und Weaningversagen dar.

Prävention von Langzeitbeatmung und Weaningversagen ist die Einschätzung der atemmuskulären Kapazität und die Einschätzung des Ausmaßes einer erforderlichen Unterstützung und Entlastung der Atemmuskulatur eine der großen Herausforderungen für den Kliniker in der Beurteilung der Beatmungsentwöhnung im klinischen Alltag.

### 3.1.2 Protokolle zur Entwöhnung von der Beatmung

In den letzten Jahren sind als Interventionen, die zu einer schnelleren und erfolgreichen Entwöhnung führten, Maßnahmen identifiziert worden, die nicht unmittelbar auf den Beatmungsmodus zurückzuführen sind. Als solche gelten die Anwendung von Protokollen zur Erfassung der Spontanatmungsaktivität, Protokolle zum Management von Schmerz, Agitation und Delir sowie Protokolle zur Frühmobilisation.

Protokolle zur Erfassung der Spontanatmungskapazität sind erwiesenermaßen sinnvoll bei Patienten der Weaningkategorie 1 und 2 nach Boles et al. [4], um die Spontanatmungskapazität und Entwöhnungsbereitschaft (Readiness to Wean) eines Patienten frühzeitig zu erkennen und eine rasche und sichere Beendigung der maschinellen Beatmung und Extubation/Dekannülierung herbei zu führen. Schon früh wurde erkannt [30, 31], dass im Vergleich zu einer Beatmungsentwöhnung nach rein ärztlicher Einschätzung, die Anwendung solcher Protokolle

durch Pflegepersonal oder Atmungstherapeuten zu einer Verkürzung der Beatmungsentwöhnung führen kann. Seither wurde die protokollbasierte Beatmungsentwöhnung in einer Vielzahl von Studien untersucht. Allerdings unterscheiden sich diese Studien hinsichtlich Art, Umfang und Umsetzung der Protokolle erheblich. Dennoch zeigt eine aktuelle Meta-Analyse [32], dass die Anwendung standardisierter Protokolle zu einer Verkürzung der Beatmungs- und Entwöhnungszeit führt, ohne dass es zu einer erhöhten Rate von Extubationsversagen kommt.

Allerdings konnte nur in einer einzigen Studie neben einer verkürzten Beatmungsdauer auch eine Reduktion der 1-Jahres-Mortalität im Zusammenhang mit der Anwendung eines Beatmungsentwöhnungsprotokolls gezeigt werden [33]. Diese Studie zeigte, dass die Anwendung eines Weaning-Protokolls in Verbindung mit protokollbasierten Aufwachversuchen im Vergleich zur alleinigen Anwendung des Weaning-Protokolls die Beatmungsdauer, die beatmungsassoziierte Komplikationsrate (z. B. Pneumonien) sowie die Krankenhaus- und 1-Jahres-Letalität reduzieren konnten (zum protokollbasierten Management von Delir, Agitation und Sedierung vergleiche S3-LL [18]). Auch wenn Einzelmaßnahmen, wie die protokollbasierte Durchführung von Spontanatmungsversuchen, ein protokollbasiertes Management von Sedierung und Delir oder die tägliche Physiotherapie einen Behandlungsvorteil hinsichtlich Beatmungszeit, Mobilität oder Morbidität gezeigt haben [18, 33, 34], so ist eine der wesentlichen Erkenntnisse der letzten Jahre, dass die Verknüpfung dieser Maßnahmen zu einem multimodalen Gesamtkonzept der Schlüssel zur optimierten Entwöhnung von der Beatmung ist.

In den Studien wurden Einzelinterventionen bei Patienten evaluiert, für die darüber hinaus weitere Maßnahmen erforderlich waren. Damit sind Biomöglichkeiten und fehlende Attribuierbarkeit eines positiven Effektes verbunden. Im klinischen Alltag ist jedoch die Verknüpfung einzelner Inhalte insbesondere in Hinblick auf die Implementierung als „ein Gesamtkonzept“ erforderlich und es bleibt hierbei offen, welchen Stellenwert die Studienergebnisse zu einzelnen Interventionen haben.

Eine Vorreiterrolle für ein Behandlungsbündel nimmt das „ABCDE-Bundle of Critical Care“ ein [35]. Hier werden protokollbasierte Aufwachversuche mit Spontanatmungsversuchen gekoppelt (A,B-**Coordinated Awakening- and Breathing-Protocol**) und eine Auswahl von Pharmaka mit günstiger, situationsangepasster Pharmakokinetik und Pharmakodynamik (**C-Choice of Drugs**) sowie das tägliche Monitoring auf ein Delir (**Delirium-Monitoring**) und die Frühmobilisierung (**E-Early Mobilization and Physiotherapy**) empfohlen.

Auch, wenn die aktuelle Evidenz zeigt, dass die protokollbasierte Sedierung einem täglichen Spontanatmungsversuch nicht überlegen ist [36], so orientieren sich Nachfolgekonzepte wie das „PADs-Management (Pain Agitation and Delirium Management)“, die DAS-Leitlinie 2015 (Delir, Analgesie, Sedierung in der Intensivmedizin) und das „eCASH“-Konzept (Comfort using Analgesia, minimal Sedatives and maximal Humane care) an der Idee des implementierbaren Maßnahmenbündels zur evidenzbasierten Therapie [37]. Dies gilt auch bei Patienten mit prolongierter Beatmung [38].

Im Hinblick auf die Gültigkeit der oben aufgeführten Erkenntnisse zur Anwendung und Verknüpfung der verschiedenen Protokolle auch bei Patienten im prolongierten Weaning, liegen keine eindeutigen Erkenntnisse vor [39]. Neben oder auch alternativ zum Protokoll-geführten Weaning haben im prolongierten Weaning das Niveau der klinischen Erfahrung im Behandlungsteam, die Entwicklung individualisierter Behandlungskonzepte, strukturierte Visiten und gute Personalausstattung einen hohen Stellenwert.

### 3.2 Prädiktion und Risikostratifizierung prolongierter Entwöhnung

Die Patienten mit prolongiertem Weaning verbrauchen hohe personelle wie finanzielle Ressourcen in der Intensivmedizin. Der Anteil der Patienten, die definitiv nicht vom Respirator entwöhnt werden können, ist in der Gruppe

mit prolongiertem Weaning mit 20–50 % deutlich erhöht [40]. Aus der Studie von Schönhofer et al. wird deutlich, dass nach einer im Median 33 Tage dauernden Invasivbeatmung und anschließender Verlegung in ein spezialisiertes Weaningzentrum, im weiteren Verlauf ca. 32 % der Patienten definitiv nicht entwöhnbar waren und etwa jeder vierte Patient noch im Weaningzentrum verstarb; zudem waren ca. 30 % der Patienten im Sinne der chronisch-ventilatorischen Insuffizienz weiterhin hyperkapnisch, sodass eine außerklinische Beatmung erforderlich war [40].

Für die Einschätzung der Prognose und das Outcome der Patienten im Weaning sind die Risikostratifizierung und Prädiktion von Entwöhnungsversagen und Spontanatmungskapazität möglicherweise Instrumente für die Therapieplanung während der prolongierten Entwöhnung.

Grundsätzlich zeichnet sich hierbei ein adäquater Test zur Prädiktion (Screeningtest) dadurch aus, dass er mit klinisch relevanter Treffsicherheit vorhersagt, ob ein Patient vom Respirator entwöhnbar bzw. nicht entwöhnbar ist. Direkt oder indirekt lassen die im folgenden aufgeführten Prädiktoren Rückschlüsse auf die Funktion des Diaphragmas zu, obwohl jeder von ihnen methodische Grenzen aufweist.

#### 3.2.1 Verhältnis von Atemfrequenz zu Tidalvolumen

Die Ratio „Respiratory-Frequency-to-Tidal-Volume“ (auch „Rapid-Shallow-Breathing-Index“ genannt) ist das Verhältnis von Atemfrequenz und Tidalvolumen ( $f/VT$ ) im Spontanatmungsversuch (spontaneous breathing trial, SBT). Es wird während 1 Minute spontaner Atmung gemessen [41]. Je höher das  $f/VT$ -Verhältnis ist, desto schneller und flacher ist die Atmung (sog. „rapid shallow breathing“, RSB) und desto höher die Wahrscheinlichkeit für ein Weaningversagen. Der Schwellenwert des RSB-Index liegt bei 105 Atemzüge/min/L und unterscheidet am besten zwischen erfolgreichem und erfolglosem Weaning [41].

Eine Task-Force kam nach Bewertung der Studienlage zum Ergebnis, dass  $f/VT$  nur unter ganz bestimmten Bedingungen (d. h. Erfassung von  $f/VT$  schon nach wenigen Minuten der Messung) als Screenigtest für eine erfolgreiche Beatmungsentwöhnung tauglich ist [42].

Savi und Mitarbeiter zeigten, dass etablierte Prädiktoren wie  $f/VT$  eher schlechte Prädiktoren für eine erfolgreiche Beatmungsentwöhnung sind [43].

Eine randomisierte kontrollierte Studie mit insgesamt 304 Patienten zur Bedeutung des RSBI wurde von Tanios durchgeführt [44]. Bei 153 Patienten wurde  $f/VT$  gemessen und mit einem Grenzwert von 105 Atemzüge/min/L berücksichtigt. In der Kontrollgruppe ( $n=151$ ) wurde  $f/VT$  (geblindet) gemessen, aber nicht berücksichtigt. Am Ende des Screenings erfolgte ein SBT über 2 Stunden. Die mittlere Weaningdauer war kürzer in der Kontrollgruppe als in der Interventionsgruppe (2,0 vs. 3,0 Tage,  $p<0,04$ ). Es gab keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Extubationsversagen, Krankenhaussterblichkeit, Tracheotomie und der Zahl ungeplanter Extubationen.

### 3.2.2 Maximaler inspiratorischer Druck

Der maximale inspiratorische Druck (P<sub>imax</sub>) wurde erstmals als Prädiktor der Entwöhnbarkeit von Sahn und Lakshminarayan untersucht [45]. Sie fanden in ihrer Studie, dass alle Patienten mit einem P<sub>imax</sub> Wert negativer als -30 cm H<sub>2</sub>O erfolgreich entwöhnt wurden, während alle Patienten mit einer P<sub>imax</sub> geringer -20 cm H<sub>2</sub>O nicht vom Respirator entwöhnbar waren. Nachfolgende Studien konnten diese Trennschärfe nicht reproduzieren.

Zusammenfassend muss festgehalten werden, dass der Stellenwert hinsichtlich des Nutzens einer der genannten Methoden für eine erfolgreiche Beatmungsentwöhnung der Patienten der Weaningkategorie 3 nicht geklärt ist.

### 3.3 Beatmungsverfahren im Weaning

Vereinfacht dargestellt erfolgt die Respiratorentwöhnung entweder mit sukzessiver Reduktion der vom Respirator übernommenen Atemarbeit in Form von Reduktion der Druckunterstützung bis hin zur endgültigen Extubation/Dekanülierung (kontinuierliches Weaning) oder einer Verkürzung der Phasen einer kontrollierten Beatmung assoziiert mit der Verlängerung von nicht assistierten Spontanatmungsphasen (diskontinuierliches Weaning) oder einer Mischung von beidem [39]. Eine eindeutige Empfehlung zu diesem Thema ergibt sich nicht aus der vorhandenen Literatur. Allerdings zeigt eine Studie von Jubran et al. [46] in einer größeren Kohorte für Patienten im prolongierten Weaning nach Langzeitbeatmung, dass Patienten mit weniger stark eingeschränkter Spontanatemkapazität bei Initiierung eines Entwöhnungskonzeptes von einem diskontinuierlichen Entwöhnungskonzept hinsichtlich der Dauer der Entwöhnung profitieren, nicht aber hinsichtlich des Überlebens nach 6 und 12 Monaten. Für Patienten mit stark eingeschränkter Spontanatemkapazität ergab sich dieser Vorteil nicht.

Im Hinblick auf die adäquate Ent- und Belastung der Atemmuskulatur, wie auch auf die Interaktion von Patient und Beatmungsgerät, ist die Wahl eines geeigneten Beatmungsmodus für die assistierte Spontanatmung von Bedeutung. Das am weitesten verbreitete Verfahren stellt in diesem Zusammenhang derzeit die druckunterstützte Spontanatmung im „Pressure-support“-Modus dar. In einer Studie aus dem Jahr 1994 [47] war dieser Modus hinsichtlich der Dauer bis zur erfolgreichen Entwöhnung einer Entwöhnung im SIMV-Modus oder der intermittierenden Spontanatmung („Feuchte Nase“) überlegen. Unter dem Eindruck weiterführender Studien und Entwicklungen sind die Limitationen dieses Verfahrens in den letzten Jahren allerdings immer mehr evident geworden. Durch die gleichförmig eingestellte Druckunterstützung sind dies vor allen Dingen die fehlende Adaption

und verzögerte Antwort der Beatmungsunterstützung an die variablen In- und Expirationsbemühungen des Patienten mit der Folge einer phasenweisen Überkompensation oder aber unzureichenden Unterstützung der Atembemühung schon innerhalb eines Atemzuges. Klinisch wird dies evident als asynchrone Interaktion zwischen Beatmungsgerät und Patient, die mit dynamischer Überblähung einzelner Lungenareale, erhöhter Atemarbeit, ineffektiver Beatmung und Patientendiskomfort assoziiert ist.

Aktuellere Verfahren zur assistierten Spontanatmung zielen auf eine verbesserte Adaption des Beatmungsgerätes an Atembemühungen des Patienten sowie eine effektivere atemabhängige („breath by breath“) Entlastung der Atemmuskulatur ab. Die Beatmungsgeräte folgen in diesem Fall nicht einer statischen Zieleinstellung, sondern einem aus geräteseitig gemessenem Fluss- und Druckänderung pro Zeit ermitteltem dynamischen Signal. Im Fall der „automatischen Tubuskompensation“ führt dies durch eine flussabhängige, proportionale Druckunterstützung zu einer quasi atem-synchronen Kompensation der Widerstände, die während der Inspiration über den Tubus wirksam werden. Im Falle der Proportional-Assist-Ventilation (PAV) ist ein an die „Servolenkung“ angelehntes Prinzip umgesetzt. Mittels ständiger „Breath-by-breath“-Messungen der aktuellen Compliance und Resistance wird die Atemungsunterstützung angepasst und eine geringe Atemanstrengung des Patienten mit geringer Unterstützung beantwortet, eine ausgeprägte Anstrengung mit höherer Druck- und Flussunterstützung. Auf diesem Wege einer elektronisch gestützten „Individualisierung“ der Spontanatmung soll sowohl eine Überbeatmung (overflow: zu hohe Unterstützung bei geringer Patientenaktivität) als auch eine Unterbeatmung (underflow: zu niedrige Unterstützung bei großer Patientenaktivität) vermieden werden, wobei erstere Fehlbeatmung (overflow) klinisch von höherer Relevanz erscheint. Darüber hinaus dient PAV der Reduktion der generellen Dyssynchronie zwischen Gerät und Patient.

Andere Verfahren nutzen wissensbasierte Algorithmen oder mathematische Modelle, die auf der Grundlage teils vorgegebener Variablen, wie z. B. dem Körpergewicht, und teils abgeleiteter Variablen aus dem Beatmungsgerät im Sinne eines „Closed-loop“-Modells über die Zeit eine automatisierte Anpassung der Beatmungsunterstützung vornehmen.

„Neuronal adjusted ventilatory assist“ (NAVA<sup>®</sup>) nutzt als innovative Entwicklung als einziges Verfahren zur Erfassung von Atemlast und Bedürftigkeit des Patienten eine Methode, die nicht allein auf der Erfassung oder Messung atemmechanischer Parameter beruht. Über eine ösophageal liegende Sonde wird das Muskelsummenaktionspotential des Zwerchfells als Surrogat-Parameter für die Atembemühungen des Patienten ermittelt und proportional zur gemessenen Amplitude des Zwerchfellmuskelsaktionspotentials atem-synchron eine Druckunterstützung appliziert. Dabei richtet sich die Höhe der Druckunterstützung nach einem Proportionalitätsfaktor aus  $\text{cmH}_2\text{O}/\mu\text{V}$  der hinsichtlich der Atemunterstützung als einzige Größe adjustierbar ist.

Die hier aufgeführten neueren assistierenden Spontanatmungsverfahren stellen in der Entwöhnung vom Respirator sicherlich eine Weiterentwicklung der klassischen „pressure support“ Beatmung dar. In verschiedenen Studien konnten Vorteile wie eine verbesserte Synchronisierung zwischen Patientenbemühung und geräteseitiger Unterstützung, Ent- und Belastung der Atemmuskulatur sowie eine verbesserte Schlafqualität und insgesamt damit eine Verbesserung des Patientenkomforts gezeigt werden [48, 49]. Aktuelle Beobachtungen zeigen, dass z. B. die Anwendung von NAVA<sup>®</sup> nach einer Phase kontrollierter Beatmung innerhalb von 24 Stunden zu einer signifikant verbesserten Erholung der Zwerchfellfunktion im Vergleich zur „Pressure-support“-Ventilation führt [50].

In der Summe aber fehlen aktuell Ergebnisse aus randomisiert prospektiven Studien, die einen Vorteil eines der genannten Beatmungsmodi im Hinblick auf Krankenhaussterblichkeit und Langzeitüberleben darstellen.

Insbesondere bezogen auf den Stellenwert im prolongierten Weaning können trotz der in Beobachtungsstudien beschriebenen Vorteile keine allgemeingültige Empfehlung hinsichtlich der Anwendung eines dieser Verfahren in der Entwöhnung von der Beatmung gegeben werden.

### 3.4 Beatmungszugang

Die invasive Beatmung mit Trachealtubus bzw. Trachealkanüle und die NIV mit verschiedenen Masken haben ihre eigenen Indikationsbereiche und weisen spezifische Vor- und Nachteile auf [51]. Bei intubierten Patienten mit vorhersehbarem prolongiertem Weaning sollte nach 4–7 Tagen invasiver Beatmung nur dann eine frühzeitige Tracheotomie erwogen werden, wenn keine Option für eine frühzeitige Extubation mit anschließender NIV besteht. Eine Punktionstracheotomie ist wegen der Schrumpfungstendenz vor allem in den Fällen der chirurgischen Tracheotomie vorzuziehen, in denen eine definitive Respiratorentwöhnung oder NIV nach prolongiertem Weaning wahrscheinlich sind [39].

#### 3.4.1 NIV bei schwierigem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase

Die NIV als Alternative zur invasiven Beatmung hat bei schwierigem und prolongiertem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase, vor allem bei der hyperkapnischen Atmungsinsuffizienz eine wichtige Bedeutung. NIV ist die Therapie der Wahl bei vielen Patienten mit akuter sowie chronischer hyperkapnischer respiratorischer Insuffizienz [52] und hat bei prolongiertem Weaning drei Indikationsbereiche:

1. Im Rahmen des noch laufenden Weaningprozesses, um die invasive Beatmung mit den bekannten Komplikationen möglichst frühzeitig zu beenden
2. Nach Extubation bei Risikopatienten, um die Raten an Post-Extubationsversagen und Re-Intubationen zu reduzieren

3. Bei fortbestehender ventilatorischer Insuffizienz nach Extubation/Dekannülierung profitieren Patienten mit COPD, Obesitas-Hypoventilations-Syndrom, thorakal-restriktiven Erkrankungen und neuromuskulären Erkrankungen auch nach formell erfolgreich abgeschlossenem Weaning von außerklinischer Beatmung

Im aktuell publizierten Cochrane Review „NIV als Strategie im Weaning“ wurden in 16 hochwertigen Studien mit insgesamt 994 Patienten (die meisten mit der Diagnose „chronic obstructive pulmonary disease, COPD“) die invasive Beatmung mit der NIV bzgl. unterschiedlicher Parameter verglichen [53, 54].

Im Vergleich zum Kollektiv mit ausschließlich invasiver Beatmung kam es bei beatmeten Patienten durch Extubation und Fortsetzung der Beatmung mit NIV zur Reduktion der Mortalitätsrate, des Weaningversagens, der Ventilatorassoziierten Pneumonie, der Beatmungszeit, der Dauer des Aufenthaltes auf Intensivstation und im Krankenhaus. Zusätzlich führte die Weaningstrategie mit NIV zur Reduktion der Tracheotomie- und Reintubationsrate.

Der Effekt auf die Überlebensrate war bei den Patienten mit COPD im Vergleich zur untersuchten Gesamtpopulation am größten.

Die guten Ergebnisse zum Einsatz von NIV im Weaningprozess bei Patienten mit im Vordergrund stehender hyperkapnischer Atmungsinsuffizienz (z. B. COPD, Obesitas oder neuromuskuläre Erkrankungen) sind nicht ohne Weiteres übertragbar auf den Entwöhnungsprozess bei invasiver Beatmung infolge hypoxämischer Insuffizienz. Vor allem bei Patienten mit schwergradiger Pneumonie und/oder ARDS stellt die NIV als Strategie im Weaningprozess keine allgemein empfehlenswerte Option dar [52].

### 3.5 Frühmobilisation

Die Rückführung des Patienten in die eigene Atmung bis hin zur endgültigen Entwöhnung von der maschinellen Beatmung wird durch Maßnahmen zur Frühmobilisation unterstützt. Leitliniengerecht soll bei intensivmedizinisch

behandelten Patienten mit und ohne künstlicher Beatmung mit einer Frühmobilisation innerhalb von 72 Stunden nach Aufnahme auf eine Intensivstation begonnen werden. Ziel der Frühmobilisation ist es, einer „Dekonditionierung“ mit der Entwicklung einer Schwäche, einer schnellen Ermüdbarkeit und Atrophie der muskulären Atempumpe und der Skelettmuskeln, der Entwicklung psycho-kognitiver Defizite sowie der Entstehung von lagerungsbedingten Haut- und Weichteilschäden entgegenzuwirken [55]. Der Begriff „Frühmobilisation“ umfasst Maßnahmen von passiven Dehnungs- und Bewegungsübungen, passiver vertikaler Mobilisation (z. B. Stehbrett) über aktiv-assistierte Maßnahmen, wie z. B. aktive Bewegungsübungen oder Balancetraining, bis hin zur aktiven Mobilisation beispielsweise mit Sitzen an der Bettkante, aktiver Mobilisation in den Stand und Gehübungen.

Die Effekte der Frühmobilisation werden in den verschiedenen Studien mithilfe von Parametern erfasst, die körperlich-funktionelle Unabhängigkeit, periphere Muskelkraft, Funktion der muskulären Atempumpe wie auch neuro-kognitive Kompetenz beurteilen. Die wegweisende Studie von Schweickert et al. [34] beschreibt eine signifikant größere Gehstrecke nach Intensivbehandlung, einen signifikant höheren Barthel-Index, eine signifikant verbesserte funktionelle Unabhängigkeit gemessen anhand des SF-36, eine kürzere Beatmungsdauer während Intensivbehandlung und einen Trend zur höheren Entlassungswahrscheinlichkeit nach Hause in der Frühmobilisations-Gruppe.

Obwohl die Frühmobilisation allgemein als ein wichtiger Baustein in der Rekonvaleszenz von einer intensivmedizinischen Behandlung und der Entwöhnung von der Beatmung angesehen wird und sich dies auch in den Empfehlungen; wiederfindet, ist die Zahl der in prospektiven Studien untersuchten Patienten klein und die wissenschaftliche Evidenz bislang nicht durch große multizentrische Studien gestützt. Auch bleibt der Umsetzungsgrad von Frühmobilisation bei beatmeten Patienten weit hinter dem zurück, was allgemein angenommen wurde [56, 57]. Zur sicheren Durchführung der Frühmobilisation beatmeter Patienten

gehört einerseits die angepasste, Score-gesteuerte Symptomkontrolle von Schmerz, Angst, Agitation und Delir, andererseits die Überwachung der respiratorischen und kardiovaskulären Reserve sowie die Definition von Abbruchkriterien einer Frühmobilisation bei kardiopulmonaler Instabilität. Klar definierte Ausschlusskriterien zur Frühmobilisation sind in der Literatur nicht benannt. So werden das Fehlen solcher Standards zur sicheren, symptomadaptierten Durchführung der Frühmobilisation als Gründe für die fehlende breite Umsetzung der Frühmobilisation im klinischen Alltag gesehen [56–58].

Allerdings wird das Konzept der Frühmobilisation durch eine aktuelle multizentrische Studie in einem chirurgischen Patientenkollektiv mit immerhin 200 eingeschlossenen Patienten unterstützt, in der der interprofessionelle Austausch mit direktem Feedback über die Möglichkeiten zur Frühmobilisation während einer täglichen Visite im Zentrum des Behandlungsprotokolls stand [59]. Als Ergebnis dieser interprofessionellen Visite wurden Tagesziele hinsichtlich der Mobilisation entlang eines definierten Scores festgelegt. Die Patienten der Interventionsgruppe, die entsprechend der Visitenfestlegung physiotherapeutisch behandelt wurden, hatten eine signifikant kürzere Liegedauer auf der Intensivstation und zeigten eine signifikant besser erhaltene funktionelle Unabhängigkeit bei Krankenhausentlassung, als die Patienten der Kontrollgruppe, die in Summe die gleiche Zeit einer Standardphysiotherapie erhalten hatten.

Weitere wissenschaftliche Studien sind notwendig, um Konzepte zur Frühmobilisation an die individuellen Bedürfnisse unterschiedlicher Patientengruppen anzupassen.

### 3.6 Bildgebung

#### ■ Visualisierung des Zwerchfells – Ultraschall und Durchleuchtung

Physiologischerweise tritt das Diaphragma bei Inspiration deutlich nach kaudal und nimmt am Ende der Expiration wieder die

Ausgangsstellung ein. Sowohl mithilfe der Thorax-Durchleuchtung als auch der Thoraxsonographie wird dieser Bewegungsablauf visualisiert, wobei die Abwärtsbewegung des Zwerchfells und seiner benachbarten Organe, d. h. Leber und Milz, besonders gut im Rahmen des Sniff-Manövers nachweisbar ist. Die optimale Position des Schallkopfes ist der 8.–9. Interkostalraum (ICR) in der mittleren Axillarlinie. Die besagte Bewegung lässt sich bei unilateraler oder bilateraler Schwäche bzw. kompletter Parese des Zwerchfells nicht mehr zeigen. Bei unilateraler Parese kommt es zur paradoxen Kranialisierung der betroffenen Seite (sog. „Waagebalkenphänomen“). Gut auflösende 7,5-MHz-Ultraschallköpfen zeigen die typische 3-Schichtung des Zwerchfellmuskels. Dabei kann zunächst die Auslenkung des Zwerchfells quantifiziert werden: Werte <10 mm sind mit einer Zwerchfelldysfunktion vereinbar [60]. Diese Untersuchung kann insbesondere bei langzeitbeatmeten Patienten auch bettseitig angewendet werden [61]. Sie besitzt einen prädiktiven Wert bezüglich der Wahrscheinlichkeit, vom Respirator entwöhnt zu werden, der mit dem „Rapid-Shallow-Breathing-Index“ vergleichbar ist. Zusätzlich kann sonographisch die Zwerchfelldicke ermittelt werden. Im Langzeitverlauf einer invasiven Beatmung kann somit eine Kontrolle erfolgen, da eine Abnahme der Zwerchfelldicke im Verlauf einer invasiven Beatmung nachzuweisen ist [60, 62]. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass die Zwerchfelldicke prädiktiv für das Extubationsversagen oder das Scheitern des Spontanatmungsversuches sein kann [63].

Im direkten Vergleich der „Thickening fraction“ des Diaphragmas (Verhältnis mit Ultraschall gemessenen Dicke des Zwerchfells endexpiratorisch und nach Inspiration) unterscheiden sich die untersuchten Kollektive signifikant [64]. In aufsteigender Reihenfolge nimmt die Thickening fraction zu bei Patienten unter neuromuskulärer Blockade, mit Beatmung im kontrollierten Modus, mit Beatmung im partiell assistierten Modus und einer gesunden Kontrollgruppe; d. h. neuromuskuläre Blockade und kontrollierte Beatmung führen am häufigsten zur Dysfunktion des Zwerchfells.

Weitere wissenschaftliche Studien sind aber notwendig, um der Stellenwert der Zwerchfellsonographie im Weaningprozess weiter zu evaluieren.

## Literatur

- [1] Damuth E, Mitchell JA, Bartock JL, Roberts BW, Trzeciak S (2015) Long-term survival of critically ill patients treated with prolonged mechanical ventilation: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med* 3(7):544–553
- [2] Fried TR, Bradley EH, Towle VR, Allore H (2002) Understanding the treatment preferences of seriously ill patients. *N Engl J Med* 346(14):1061–1066
- [3] Geiseler J, Kelbel C (2016) Weaning from mechanical ventilation: weaning categories and weaning concepts. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 111(3):208–214
- [4] Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C et al (2007) Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 29(5):1033–1056
- [5] Funk GC, Anders S, Breyer MK, Burghuber OC, Edelmann G, Heindl W et al (2010) Incidence and outcome of weaning from mechanical ventilation according to new categories. *Eur Respir J* 35(1):88–94
- [6] Béduneau G, Pham T, Schortgen F, Piquilloud L, Zogheib E, Jonas M et al (2017) Epidemiology of weaning outcome according to a new definition. The WIND study. *Am J Respir Crit Care Med* 195(6):772–783
- [7] American Psychiatric Association (1980) Diagnostic and statistical manual of mental disorders
- [8] Brummel NE, Jackson JC, Pandharipande PP, Thompson JL, Shintani AK, Dittus RS et al (2014) Delirium in the ICU and subsequent long-term disability among survivors of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 42(2):369–377
- [9] Luetz A, Heymann A, Radtke FM, Chenitir C, Neuhäus U, Nachtigall I et al (2010) Different assessment tools for intensive care unit delirium: which score to use? *Crit Care Med* 38(2):409–418
- [10] Veiga D, Luis C, Parente D, Fernandes V, Botelho M, Santos P, Abelha F (2012) Postoperative delirium in intensive care patients: risk factors and outcome. *Rev Bras Anestesiol* 62(4):469–483
- [11] Ely EW, Shintani A, Truman B, Speroff T, Gordon SM, Harrell FE et al (2004) Delirium as a predictor of mortality in mechanically ventilated patients in the intensive care unit. *JAMA* 291(14):1753–1762
- [12] Ely EW, Gautam S, Margolin R, Francis J, May L, Speroff T et al (2001) The impact of delirium in the intensive care unit on hospital length of stay. *Intensive Care Med* 27(12):1892–1900

- [13] Zhang Z, Pan L, Ni H (2013) Impact of delirium on clinical outcome in critically ill patients: a meta-analysis. *Gen Hosp Psychiatry* 35(2):105–111
- [14] Lat I, McMillian W, Taylor S, Janzen JM, Papadopoulos S, Korth L et al (2009) The impact of delirium on clinical outcomes in mechanically ventilated surgical and trauma patients. *Crit Care Med* 37(6): 1898–1905
- [15] Pandharipande PP, Girard TD, Jackson JC, Morandi A, Thompson JL, Pun BT et al (2013) Long-term cognitive impairment after critical illness. *N Engl J Med* 369(14):1306–1316
- [16] Jeon K, Jeong BH, Ko MG, Nam J, Yoo H, Chung CR, Suh GY (2016) Impact of delirium on weaning from mechanical ventilation in medical patients. *Respirology* 21(2):313–320
- [17] Jackson DL, Proudfoot CW, Cann KF, Tim Walsh T (2010) A systematic review of the impact of sedation practice in the ICU on resource use, costs and patient safety. *Crit Care* 14:R59
- [18] DAS-Taskforce 2015; Baron R, Binder A, Biniek R, Braune S, Buerkle H, Dall P, Demirakca S, Eckardt R, Eggers V, Eichler I, Fietze I, Freys S, Fründ A, Garten L, Gohrbandt B, Harth I, Hartl W, Heppner HJ, Horter J, Huth R, Janssens U, Jungk C, Kaeuper KM, Kessler P, Kleinschmidt S, Kochanek M, Kumpf M, Meiser A, Mueller A, Orth M, Putensen C, Roth B, Schaefer M, Schaefers R, Schellongowski P, Schindler M, Schmitt R, Scholz J, Schroeder S, Schwarzmann G, Spies C, Stinglele R, Tonner P, Trieschmann U, Tryba M, Wappler F, Waydhas C, Weiss B, Weishaar G (2015) Evidence and consensus based guideline for the management of delirium, analgesia, and sedation in intensive care medicine. Revision 2015 (DAS-Guideline 2015) – short version. *Ger Med Sci* 13:Doc19
- [19] Windisch W (2008) Pathophysiology of respiratory muscle weakness. *Pneumologie* 62(Suppl 1):S18–S22
- [20] Jaber S, Petrof BJ, Jung B, Chanques G, Berthet JP, Rabuel C et al (2011) Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *Am J Respir Crit Care Med* 183(3):364–371
- [21] Jaber S, Jung B, Matecki S, Petrof BJ (2011) Clinical review: ventilator-induced diaphragmatic dysfunction—human studies confirm animal model findings! *Crit Care* 15(2):206
- [22] Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P et al (2008) Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 358(13):1327–1335
- [23] Wollersheim T, Woehlecke J, Krebs M, Hamati J, Lodka D, Luther-Schroeder A et al (2014) Dynamics of myosin degradation in intensive care unit-acquired weakness during severe critical illness. *Intensive Care Med* 40(4):528–538
- [24] Hooijman PE, Beishuizen A, Witt CC, de Waard MC, Girbes AR, Spoelstra-de Man AM et al (2015) Diaphragm muscle fiber weakness and ubiquitin-proteasome activation in critically ill patients. *Am J Respir Crit Care Med* 91(10):1126–1138
- [25] Powers SK, Kavazis AN, Levine S (2009) Prolonged mechanical ventilation alters diaphragmatic structure and function. *Crit Care Med* 37(10):S347
- [26] Pickerodt PA, Francis RC, Weber-Carstens S (2013) Monitoring of the respiratory muscle function during weaning from mechanical ventilation. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 48(10):634–639
- [27] Orozco-Levi M, Lloreta J, Minguella J, Serrano S, Broquetas JM, Gea J (2001) Injury of the human diaphragm associated with exertion and chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 164(9):1734–1739
- [28] Laghi F, Topeli A, Tobin MJ (1998) Does resistive loading decrease diaphragmatic contractility before task failure? *J Appl Physiol* (1985) 85(3):1103–1112
- [29] Laghi F, D'Alfonso N, Tobin MJ (1995) Pattern of recovery from diaphragmatic fatigue over 24 hours. *J Appl Physiol* (1985) 79(2):539–546
- [30] Kollef MH, Shapiro SD, Silver P, St John RE, Prentice D, Sauer S et al (1997) A randomized, controlled trial of protocol-directed versus physician-directed weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 25(4):567–574
- [31] Ely EW, Bennett PA, Bowton DL, Murphy SM, Florence AM, Haponik EF (1999) Large scale implementation of a respiratory therapist-driven protocol for ventilator weaning. *Am J Respir Crit Care Med* 159:439–446
- [32] Blackwood B, Burns KE, Cardwell CR, O'Halloran P (2014) Protocolized versus non-protocolized weaning for reducing the duration of mechanical ventilation in critically ill adult patients. *Cochrane Database Syst Rev* 6(11):CD006904
- [33] Girard TD, Kress JP, Fuchs BD, Thomason JW, Schweickert WD, Pun BT et al (2008) Efficacy and safety of a paired sedation and ventilator weaning protocol for mechanically ventilated patients in intensive care (awakening and breathing controlled trial): a randomized controlled trial. *Lancet* 371(9607):126–134
- [34] Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS, Nigos C, Pawlik AJ, Esbrook CL et al (2009) Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomized controlled trial. *Lancet* 373(9678):1874–1882
- [35] Morandi A, Brummel NE, Ely EW (2011) Sedation, delirium and mechanical ventilation: the 'ABCDE' approach. *Curr Opin Crit Care* 17(1):43–49
- [36] Burry L, Rose L, McCullagh JJ, Fergusson DA, Ferguson ND, Mehta S (2014) Daily sedation interruption versus no daily sedation interruption for critically ill adult patients requiring invasive mechanical ventilation. *Cochrane Database Syst Rev* 7:CD009176

- 3
- [37] Vincent JL, Shehabi Y, Walsh TS, Pandharipande PP, Ball JA, Spronk P et al (2016) Comfort and patient-centred care without excessive sedation: the ecash concept. *Intensive Care Med* 42(6):962–971
- [38] Balas MC, Devlin JW, Verceles AC, Morris P, Ely EW (2016) Adapting the ABCDEF bundle to meet the needs of patients requiring prolonged mechanical ventilation in the long-term acute care hospital setting: historical perspectives and practical implications. *Semin Respir Crit Care Med* 37(1):119–135
- [39] Schönhofer B, Dellweg D, Geiseler J, Moerer O, Weber-Carstens S, Sitter H (2014) S2k-Leitlinie Prolongiertes Weaning. *Pneumologie* 68:19–75
- [40] Schönhofer B, Euteneuer S, Nava S, Suchi S, Köhler D (2002) Survival of mechanically ventilated patients admitted to a specialised weaning centre. *Intensive Care Med* 28(7):908–916
- [41] Yang KL, Tobin MJ (1991) A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 324(21):1445–1450
- [42] MacIntyre NR, Cook DJ, Ely, W. E, Jr., Epstein SK et al (2001) Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support: a collective task force facilitated by the american college of chest physicians; the american association for respiratory care; and the american college of critical care medicine. *Chest* 120(6 Suppl):375S–95S
- [43] Savi A, Teixeira C, Silva JM, Borges LG, Pereira PA, Pinto KB et al (2012) Weaning predictors do not predict extubation failure in simple-to-wean patients. *J Crit Care* 27(2):221.e1–e8
- [44] Tanios MA, Nevins ML, Hendra KP, Cardinal P, Allan JE, Naumova EN, Epstein SK (2006) A randomized, controlled trial of the role of weaning predictors in clinical decision making. *Crit Care Med* 34(10):2530–2535
- [45] Sahn SA, Lakshminarayan S (1973) Bedside criteria for discontinuation of mechanical ventilation. *Chest* 63(6):1002–1005
- [46] Jubran A, Grant BJ, Duffner LA, Collins EG, Lanuza DM, Hoffman LA, Tobin MJ (2013) Effect of pressure support vs unassisted breathing through a tracheostomy collar on weaning duration in patients requiring prolonged mechanical ventilation: a randomized trial. *JAMA* 309(7):671–677
- [47] Brochard L, Rauss A, Benito S, Conti G, Mancebo J, Rekik N et al (1994) Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 150(4):896–903
- [48] Moerer O (2012) Effort-adapted modes of assisted breathing. *Curr Opin Crit Care* 18(1):61–69
- [49] Bein T (2014) Current concepts of augmented spontaneous breathing: new modes of effort-adapted weaning. *Anaesthesist* 63(4):279–286
- [50] Di Mussi R, Spadaro S, Mirabella L, Volta CA, Serio G, Staffieri F et al (2016) Impact of prolonged assisted ventilation on diaphragmatic efficiency: NAVA versus PSV. *Crit Care* 20:1
- [51] Schönhofer B, Kuhlen R (2004) Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. *Dtsch med Wschr* 129:517–522
- [52] Westhoff M, Schönhofer B, Neumann P, Bickenbach J, Barchfeld T, Becker H et al (2015) Noninvasive mechanical ventilation in acute respiratory failure. *Pneumologie* 69(12):719–756
- [53] Burns KE, Meade MO, Premji A, Adhikari NK (2014) Noninvasive ventilation as a weaning strategy for mechanical ventilation in adults with respiratory failure: a cochrane systematic review. *CMAJ* 186(3):E112–E122
- [54] Burns KE, Lellouche F, Lessard MR, Friedrich JO (2014) Automated weaning and spontaneous breathing trial systems versus non-automated weaning strategies for discontinuation time in invasively ventilated postoperative adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2:CD008639
- [55] Brower RG (2009) Consequences of bed rest. *Crit Care Med* 37(10):S422
- [56] TEAM Study Investigators (2015) Early mobilization and recovery in mechanically ventilated patients in the ICU: a bi-national, multi-centre, prospective cohort study. *Crit Care* 19(1):81
- [57] Nydahl P, Ewers A, Brodda D (2014) Complications related to early mobilization of mechanically ventilated patients on intensive care units. *Nurs Crit Care*. <https://doi.org/10.1111/nicc.12134>
- [58] Nydahl P, Ruhl AP, Bartoszek G, Dubb R, Filipovic S, Flohr HJ et al (2014) Early mobilization of mechanically ventilated patients: a 1-day point-prevalence study in Germany. *Crit Care Med* 42(5):1178–1186
- [59] Schaller SJ, Anstey M, Blobner M, Edrich T, Grabitz SD, Gradwohl-Matis I et al (2016) Early, goal-directed mobilisation in the surgical intensive care unit: a randomised controlled trial. *Lancet* 388(10052):1377–1388
- [60] Kim WY, Suh HJ, Hong SB, Koh Y, Lim CM (2011) Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 39(12):2627–2630
- [61] Kabitz HJ, Windisch W, Schönhofer B (2013) Understanding ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD): progress and advances. *Pneumologie* 67(8):435–441
- [62] Grosu HB, Lee YI, Lee J, Eden E, Eikermann M, Rose KM (2012) Diaphragm muscle thinning in patients who are mechanically ventilated. *Chest* 142(6):1455–1460
- [63] DiNino E, Gartman EJ, Sethi JM, McCool FD (2014) Diaphragm ultrasound as a predictor of successful extubation from mechanical ventilation. *Thorax* 69(5):423–427
- [64] Goligher EC, Fan E, Herridge MS, Murray A, Vorona S, Brace D et al (2015) Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation. Impact of inspiratory effort. *Am J Respir Crit Care Med* 192(9):1080–1088



# Supportive und adjunktive Maßnahmen

*Jens Geiseler und Johannes Bickenbach*

## **4.1 Trachealkanülen-Management – 35**

- 4.1.1 Kanülenmodelle – 35
- 4.1.2 Cuff – 35
- 4.1.3 Subglottische Absaugmöglichkeit – 35
- 4.1.4 Wie sollte man das geeignete Kanülenmodell aussuchen? – 36
- 4.1.5 Sprechventile – 37
- 4.1.6 Kanülenwechsel im Weaning-Prozess – 37
- 4.1.7 Dekanülierung – 38
- 4.1.8 Verwendung von Platzhalter/Buttons nach Dekanülierung – 38
- 4.1.9 Bronchoskopische Kontrolle nach Dekanülierung – 38
- 4.1.10 Verschluss Tracheostoma spontan versus chirurgisch – 40

## **4.2 Sekretmanagement – 40**

- 4.2.1 Allgemeine Prinzipien des Sekretmanagements – 41
- 4.2.2 Maßnahmen zur Sekretmobilisation und Sekretelimination durch Absaugen und Physiotherapie – 41
- 4.2.3 Maßnahmen zur Sekretolyse – 43

## **4.3 Stellenwert der Physiotherapie – 43**

## **4.4 Atmungstherapeut – 44**

## **4.5 Logopädie – 45**

- 4.5.1 Frühzeitige Diagnostik der Dysphagie – 46
- 4.5.2 Schluckassessment – 46
- 4.5.3 Therapie der Dysphagie – 47

## **4.6 Psychologische Begleitung – 48**

- 4.6.1 Delir – 48
- 4.6.2 Depression – 50

4.6.3	Angststörungen und PTBS – 50
<b>4.7</b>	<b>Transfusion im prolongierten Weaning – 52</b>
4.7.1	Risiken von Bluttransfusionen – 52
4.7.2	Fazit für die Bluttransfusion im Weaning – 53
<b>4.8</b>	<b>Besonderheiten der Ernährung – 54</b>
4.8.1	Strategien zur Ernährungszufuhr – 55
4.8.2	Zusammensetzung der Ernährung – 55
	<b>Literatur – 56</b>

Die Versorgung des Atemwegs nimmt eine essentielle Position im prolongierten Weaning ein, bei dem die Majorität der Patienten über ein Tracheostoma beatmet wird. Zum Management dessen zählen vor allem Sekretmanagement und die Auswahl von für die Patienten geeigneten Trachealkanülen. Unterschiedliche Fachdisziplinen sind im prolongierten Weaning involviert, um beispielsweise die geschwächte Muskulatur der Patienten wiederaufzubauen. Nicht zuletzt müssen psychosoziale Aspekte berücksichtigt werden, da die Patienten oftmals aufgrund der protrahierten Behandlung psychische Belastungsstörungen aufweisen. Prolongiertes Weaning umfasst letztlich eine komplexe Behandlung in einem interdisziplinären Team, um die Körperfunktionen des Patienten wiederherzustellen.

## 4.1 Trachealkanülen-Management

Im prolongierten Weaning erfolgt die Beatmung meist über Trachealkanülen, nach chirurgischem oder durch Dilatation angelegtem Tracheostoma.

Über die Trachealkanülen erfolgt die Positivdruckbeatmung, sie sichern den Atemweg vor Aspirationen und erleichtern das Sekretmanagement während der Phase der invasiven Beatmung. Dem Trachealkanülen-Management kommt im Weaning eine entscheidende Bedeutung zu: die korrekte Auswahl der Kanüle ist wichtig, um Komplikationen in der Trachea wie Druckstellen zu verhindern und um die Möglichkeit des Sprechens und Schluckens zu gewährleisten. Ebenso stellt die Dekanülierung mit ggf. Umstellung auf eine nicht-invasive Beatmung besondere Anforderungen an das Behandlungsteam.

### 4.1.1 Kanülenmodelle

Trachealkanülen werden in verschiedenen Größen, Krümmungen, mit und ohne Cuff, mit und ohne Innenkanüle, mit oder ohne Fenestrierung, mit und ohne subglottische Absaugmöglichkeit, aus verschiedenen Materialien

(Polyvinylchlorid, Silikon, Polyurethan), in verschiedenen Längen, mit variabler oder fester Abstands-Halteplatte von vielen unterschiedlichen Herstellern angeboten.

- **Eine auf die Beatmungsentwöhnung spezialisierte Abteilung sollte Kanülen verschiedener Hersteller in verschiedenen Größen vorhalten, um für möglichst jeden Patienten eine optimal passende Kanüle zu finden [1].**

### 4.1.2 Cuff

Im Falle einer invasiven Beatmung im Weaning-Prozess ist einer blockbaren Kanüle wegen der fehlenden Leckage bei der Beatmung praktisch immer der Vorzug zu geben, wenn auch eine Cuff-lose Kanüle ein Abhusten von Sekret ermöglichen kann und v. a. bei neuromuskulär Erkrankten für die dauerhafte außerklinische Beatmung Anwendung findet. Ein Nachteil der fehlenden Blockung ist die Möglichkeit von Makro-Aspirationen. Mikro-Aspirationen können hingegen auch durch einen Cuff nicht gänzlich verhindert werden. Der Cuff-Druck sollte genauso wie beim Endotrachealtubus regelmäßig, ideal einmal pro Schicht kontrolliert werden und die Grenze von 25 cmH<sub>2</sub>O nach der Leitlinie „Neurogene Dysphagie“ der Deutschen Gesellschaft für Neurologie [2] nicht überschritten werden, um Durchblutungsschäden der Trachealschleimhaut mit dem Risiko der Narben- und Stenosenbildung zu verhindern.

### 4.1.3 Subglottische Absaugmöglichkeit

Einige Kanülenmodelle sind mit der Möglichkeit der subglottischen Absaugung von Speichel und/oder aspirierter Nahrung ausgestattet. Hierfür befindet sich ein zusätzlicher Absaugkanal oberhalb des Cuffs an der Außenfläche der Kanüle. Hierüber ist intermittierendes bzw. kontinuierliches Absaugen möglich.

Das Robert-Koch-Institut [3] empfiehlt bei invasiver Beatmung auf Intensivstationen zur Senkung der Inzidenz von nosokomialen Ventilator-assoziierten Pneumonien die Verwendung von Endotrachealtuben bzw. Trachealkanülen mit subglottischer Absaugung, auch wenn die Datenlage hierzu noch uneinheitlich ist. Deswegen sollte, sofern keine optimal passende Kanüle mit subglottischer Absaugkanüle eingelegt werden kann, der Schwerpunkt eher auf die Vermeidung möglicher trachealer Komplikationen gelegt werden, und somit ggf. eine passende Kanüle ohne subglottische Absaugmöglichkeit platziert werden.

#### 4.1.4 Wie sollte man das geeignete Kanülenmodell aussuchen?

Hinsichtlich der Kanülenauswahl sind im Besonderen

- die Länge des Tracheostoma-Kanals,
- der Krümmungswinkel der Kanüle sowie
- die Länge des intratracheal liegenden Teils der Kanüle entscheidend.

2008 publizierten Mallick und Mitarbeiter, dass die damals verfügbaren Kanülenmodelle sowohl im Bereich des Tracheostoma-Kanals als auch im Bereich des intratracheal gelegenen Parts der Kanüle anhand von Messungen an Modellen und Patienten jeweils um 1 cm zu kurz waren, und dass Krümmungswinkel von 110 bis 120 Grad am günstigsten waren [4]. Insbesondere Trachealkanülen mit Fenestrierung und Innenkanülen – sog. **Sprechkanülen** – weisen bei langem Tracheostoma-Kanal, der aufgrund der Tendenz zu Übergewicht zumindest in den Industrienationen oft vorhanden ist, Fehllagen auf, da die Krümmung bereits im Tracheostoma-Kanal beginnt, was zu einem Verkippen mit dem Risiko des Einstauchens des distalen Endes in die Trachea führen kann. Bei adipösen Patienten können ein routinemäßiges Ausmessen der Länge des Tracheostomakanals beim ersten Trachealkanülenwechsel mit einem Bronchoskop und bei einer Länge von > 4 cm die alleinige Verwendung von Kanülen

mit variabler Abstandsplatte helfen, um dieses Problem zu vermeiden.

Weitere Aspekte in der Kanülenauswahl sind das Fehlen oder Vorhandensein von Schluckstörungen mit Aspirationen – bei Letzterem sind Cuff-tragende Kanülen absolut notwendig, und zumindest theoretisch wären Kanülen mit subglottischer Absaugung vorteilhaft (s. u.). Kanülen mit Innenkanülen erlauben v. a. in der außerklinischen Intensivpflege ein problemloses Reinigen der inneren Kanüle bei in situ verbleibender Außenkanüle, sodass nicht mehrfach am Tag ein Kanülenwechsel bei starker Verblockungsneigung oder Sekretbildung erfolgen muss.

Um eine vorhandene Sprechfunktion zu unterstützen, sind Kanülen mit Fenestrierungen v. a. im Bereich der Krümmung der Kanüle sinnvoll, da sie zusätzlich zur an der Kanüle vorbeiströmenden Luft bei korrekter Lage in der Trachea ein Entweichen von Luft auch durch die Fenestrierungen in Richtung Larynx erlauben – somit wird Sprechen entweder überhaupt ermöglicht oder erleichtert. Eine neu entwickelte Kanüle, die sog. **Blom<sup>®</sup>**-Kanüle, ist fenestriert, mit Cuff ausgerüstet und ermöglicht auch bei geblockter Kanüle durch eine spezielle Anordnung eines Druck- und eines Klapp-Ventils das Sprechen trotz geblockter Kanüle. Eine aktuelle Studie über den Vergleich einer Blom<sup>®</sup>-Kanüle mit einer Kanüle ohne Innenseele und einer nicht geblockten Kanüle mit Verwendung eines Passy-Muir<sup>®</sup>-Ventils zeigte keine Unterschiede bezüglich des Aspirationsrisikos zwischen den drei Varianten [5]. Auch bezüglich des Sprechens zeigten sich in einer Studie keine relevanten Vorteile für diesen Kanülentyp im Vergleich zu einer nicht geblockten Kanüle mit Verwendung eines Passy-Muir<sup>®</sup>-Ventils [6].

- — **Eine korrekte Kanülenlage im Tracheostomakanal und in der Trachea ist nicht vorhersagbar und muss immer bronchoskopisch kontrolliert werden.**
- **Auch nach Wechsel des Kanülenmodells ist eine bronchoskopische Kontrolle unverzichtbar.**

### 4.1.5 Sprechventile

Das Vorhandensein einer Trachealkanüle verringert eine verbale Kommunikation. Bei vielen Patienten mit erhaltener Sprechfunktion und fehlender schwerer Aspiration kann das Sprechen trotz Kanüle mit und ohne Beatmung ermöglicht oder verbessert werden, was auch aus psychologischen Gründen im teilweise lange dauernden Weaningprozess sehr wichtig ist. Eine Reihe von verschiedenen Techniken existiert, um dieses Ziel zu erreichen – sie sind im Folgenden dargestellt:

- **Möglichkeiten der Verbesserung des Sprechvermögens bei tracheotomierten Patienten**
  - a. Während laufender Beatmung
    - Entblockung der Kanüle unter Anpassen der Beatmungsparameter zur Sicherstellung einer ausreichenden Ventilation bei ungeblockter Kanüle
    - Verwendung eines In-line-Sprechventils (z. B. Passy-Muir-Ventil), nur bei entblockter Kanüle
    - Verwendung von Spezialkanülen mit Cuff, Fenestrierung und Sprechinnenkanülen
    - Erhöhung des positiven end-expiratorischen Drucks (PEEP) [7].
  - b. Unter Spontanatmung
    - Verschließen der Kanülenöffnung bei entblockter Kanüle mit einem (handschuhten) Finger
    - Verwendung eines Sprechventils (Ein-Weg-Ventil) bei entblockter Kanüle unter Beachtung der Kontraindikationen (Cave: Überbähung), ggf. mit zusätzlicher Sauerstoff-Insufflation über ein spezielles Inlet an den Sprechventilen
    - Wechsel tagsüber auf Platzhalter (s. u.) bei fehlender schwerer Schluckstörung, nächtlich erneute Einlage einer Trachealkanüle bei Notwendigkeit der Fortführung einer invasiven Beatmungstherapie

Bei der Verwendung von Sprechventilen im Weaning-Prozess müssen die Auswirkungen auf die Atemarbeit bedacht werden, die sich je nach verwendetem Sprechventil um den Faktor 4 unterscheiden kann [8]. Auch eine unter Umständen suboptimale Konditionierung der Inspirationsluft sollte insbesondere bei gleichzeitigen Sekretproblemen mit bedacht werden – hierbei sollte die Zeit der Verwendung des Sprechventils begrenzt werden.

### 4.1.6 Kanülenwechsel im Weaning-Prozess

Der Zeitpunkt des ersten Kanülenwechsels hängt von der Art der Tracheotomie ab: wurde ein epithelialisiertes Tracheostoma angelegt und ist dieses stabil, kann ein Wechsel theoretisch schon am ersten Tag nach Tracheotomie erfolgen – i. d. R. wird man zur besseren Wundheilung 3–5 Tage warten. Bei einer Dilatationstracheotomie ist der Tracheostomakanal lediglich durch Weiten des ursprünglichen Punktionskanals entstanden und damit besteht das Risiko des raschen Zusammenziehens des Gewebes, sodass die Platzierung der neuen Kanüle nach Entfernung der alten erschwert bzw. unmöglich sein kann. Zudem ist der Kanal nicht epithelialisiert, sodass die Gefahr einer Fehllage der neu eingelegten Kanüle z. B. vor die Trachea besteht, mit der Gefahr des Mediastinalemphysems bei der nachfolgenden Beatmung und einer erheblichen Gefährdung des Patienten bis hin zur Asphyxie. Auf die Fixierung der Kanüle in situ muss deshalb oberste Priorität gelegt werden.

Über Risiken und Sicherheitsaspekte des Trachealkanülenwechsels informiert **Tab. 4.1**. Der erste Wechsel unter entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen wird erst nach 5–7 Tagen empfohlen [9]. Weitere feste Wechselintervalle existieren nicht, jedoch müssen die Angaben der Hersteller mit einer maximalen **Standzeit von 30 Tagen** beachtet werden. Ebenso sollten Kanülen bei zu starker Verschmutzung oder Beschädigung z. B. des Cuffs unverzüglich gewechselt werden.

■ **Tab. 4.1** Risiken und Sicherheitsaspekte bei Trachealkanülenwechsel

Risiken	Sicherheitsaspekte
Sekretverlegung	Gründliches Absaugen vor dem Entblocken, Ständige Absaugbereitschaft
Dislokation, Schwierigkeiten beim ersten Wechsel	Intubationsbereitschaft, Bronchoskopie
Platzierungsschwierigkeiten	Vorhandenseiten von Kanülen mit unterschiedlichen Außendurchmessern

4

### 4.1.7 Dekanülierung

Ziel des Weaning-Prozesses bei tracheotomierten Patienten ist die Dekanülierung und ggf. bei Notwendigkeit der weiteren intermittierenden Beatmungstherapie bei persistierender Atempumpschwäche die Einleitung einer nicht-invasiven Beatmung.

Für eine Dekanülierung sind folgende Voraussetzungen notwendig, die im Folgenden gemäß der Leitlinien „Prolongiertes Weaning“ aufgeführt sind [9]:

- **Voraussetzungen für eine erfolgreiche Dekanülierung**
  - klinische Stabilität
  - ausreichende Spontanatemkapazität bzw. Fähigkeit zur NIV
  - Fehlen einer ausgeprägten Schluckstörung/Aspirationsneigung
  - ausreichender Hustenstoß, alternativ nicht-invasives Sekretmanagement
  - Kooperation des Patienten (z. B. kein Delir)
  - Ausschluss Obstruktion im Bereich Glottis/Kehlkopf/Trachea

Über das Vorgehen bei der Dekanülierung existiert kein einheitliches Vorgehen: einige Experten verwenden Platzhalter (s. u.), andere Zentren bevorzugen die Einlage von kleineren Kanülen, die eine graduelle Schrumpfung des Tracheostomas erlauben und gleichzeitig aufgrund des kleineren Durchmessers der Kanüle eine nicht-invasive Beatmung ermöglichen [10].

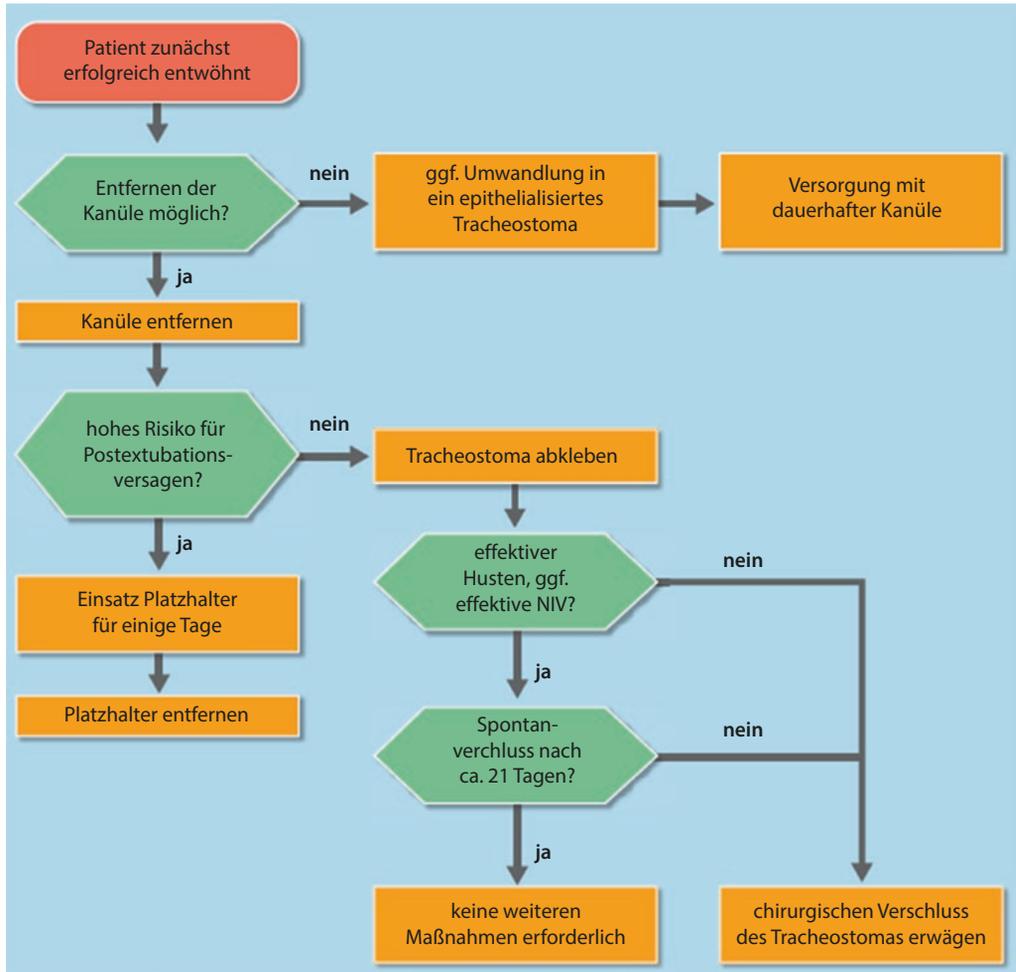
### 4.1.8 Verwendung von Platzhalter/Buttons nach Dekanülierung

Bei Unsicherheit über den Erfolg der Dekanülierung werden von vielen Weaningzentren sog. Platzhalter [11] oder Buttons in das Tracheostoma eingesetzt, die keinen Anschluss des Beatmungsgerätes, aber ein endotracheales Absaugen erlauben und im Falle des Misserfolges eine Rekanülierung des Patienten ermöglichen. Bei früher häufig verwendeten Modellen, die ein individualisiertes Zuschneiden der die Öffnung der Trachea abdichtenden Halteplatte erforderten, war eine bronchoskopische Lagekontrolle unabdingbar, bei Verwendung von neueren Platzhaltern verzichteten viele erfahrene Weaningzentren auf die routinemäßige Durchführung einer Bronchoskopie. Vorteile der Platzhalter sind ein dichter Verschluss des Tracheostomas mit Verringerung der Leckagen bei nicht-invasiver Beatmung sowie eine Erleichterung des Abhustens im Rahmen des Sekretmanagements – hier sind Platzhalter dem Verschluss des Tracheostomas durch einen einfachen Verband überlegen.

Der folgende Algorithmus (■ [Abb. 4.1](#)) zur Dekanülierung im Weaningprozess ist der Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ entnommen [9].

### 4.1.9 Bronchoskopische Kontrolle nach Dekanülierung

Trachealverletzungen nach Tracheotomie sind leider keine Seltenheit – Knorpelspangenbrüche, Entwicklung einer Tracheomalazie oder



■ Abb. 4.1 Algorithmus. (Nach [9])

von Trachealstenosen sowie Schwellungen im Larynxbereich können eine erfolgreiche Dekanülierung und z. B. Umstellung auf eine nicht-invasive Beatmung erschweren bzw. verhindern. Häufig sind zu hoch angelegte Tracheostomata die Ursache, v. a. wenn eine Dilatationstracheotomie ohne bronchoskopische sorgfältige Identifizierung der korrekten Punktionsstelle unterhalb des 1., besser 2. Trachealrings angelegt wird. Ein erster Test auf das Vorliegen einer Trachealstenose nach Kanülenentfernung ist der Verschluss des Tracheostomas mit dem behandschuhten Finger – bei Auftreten eines Stridor

sollte vor definitiver Entfernung der Kanüle eine bronchoskopische Inspektion der Trachea erfolgen. Dabei ist ein translaryngealer Zugang auch zur Beurteilung des laryngotrachealen Übergangs einem Zugang zur Trachea ausschließlich über das Tracheostoma überlegen. Bei Feststellen einer entsprechenden Pathologie muss das weitere Vorgehen gemeinsam zwischen Intensivmediziner, Thoraxchirurg und interventionellem Pneumologen individuell unter Berücksichtigung der Grund- und Begleiterkrankungen und der Prognose des Patienten abgesprochen werden.

Ob eine Routine-Bronchoskopie in jedem Fall notwendig ist vor/unmittelbar nach Dekanülierung, wird zwischen Weaning-Experten kontrovers diskutiert. Auch Kontroll-Intervalle bei Diagnose einer mäßigen, akut nicht interventionspflichtigen Trachealstenose – ein nicht seltener Befund – sind nicht standardisiert.

In jedem Fall ist eine Kontroll-Bronchoskopie dann indiziert, wenn es im Laufe der Zeit nach Dekanülierung nicht zu einem vollständigen spontanen Verschluss des Tracheostomas kommt: hier kann sich eine oberhalb des Tracheostomas gelegene Trachealstenose entwickeln, die durch Druckerhöhung in den distalen Atemwegen mit konsekutivem Luftentweichen über das Tracheostoma den spontanen Verschluss des Tracheostomas verhindert.

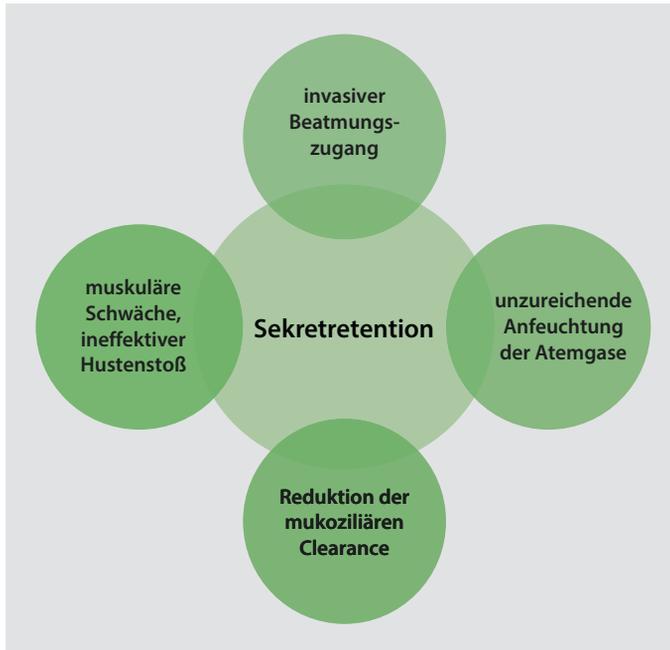
#### 4.1.10 Verschluss Tracheostoma spontan versus chirurgisch

Dilatationstracheostomata verschließen sich nach Dekanülierung und Fehlen einer oberhalb des Tracheostomas befindlichen Trachealstenose i. d. R. innerhalb weniger Tage spontan. Bei epithelialisierten Tracheostomata, insbesondere bei Re-Tracheotomien oder fortgeführter Kortikosteroid-Therapie, können die Wundheilung und der Schrumpfungsvorgang des Tracheostomas verzögert sein. In diesem Fall sollte nach Ausschluss einer Trachealstenose (s. o.) nach 14–21 Tagen ein Verschluss des Tracheostomas evaluiert werden. Ob in den ersten Tagen nach chirurgischem Verschluss eine notwendige nicht-invasive Beatmung ggf. mit niedrigeren Drücken zur Vermeidung einer neuerlichen Nahtdehiszenz durchgeführt werden sollte, ist unter Experten umstritten – auf alle Fälle muss eine engmaschige Analyse der Blutgase erfolgen, um eine schleichende Verschlechterung der respiratorischen Situation mit Entwicklung einer akuten respiratorischen Insuffizienz nicht zu übersehen.

## 4.2 Sekretmanagement

Die Sekretretention ist aus unterschiedlichen Gründen ein zentrales Problem bei invasiv beatmeten Patienten. Bei endotracheal intubierten Patienten ist für die Tubustoleranz i. d. R. eine tiefe Sedierung erforderlich, unter der die mukoziliäre Clearance reduziert ist und folglich vermehrt Sekret in den Atemwegen retiniert. Um im Atemweg besser Sekret absaugen zu können und bei zu erwartender Langzeitbeatmung eine komfortable Spontanatmung zu ermöglichen, werden Patienten im Verlauf tracheotomiert. Dennoch lässt sich damit eine Ansammlung von Sekret nicht verhindern, weil die mukoziliäre Clearance zudem auch krankheitsbedingt gestört sein kann (z. B. bei chronischen Lungenerkrankungen), die einliegende Trachealkanüle als Fremdkörper evtl. zur vermehrten Sekretion führt und zusätzlich die Atemgase nur unzureichend angefeuchtet sein können (▣ Abb. 4.2). Gleichzeitig ist der Hustenreflex bei Patienten mit neuromuskulärer Grunderkrankung oder nach längerer Beatmungsdauer muskulär geschwächt, oftmals aber auch durch den invasiven Atemwegszugang als Hindernis ineffektiv, sodass die physiologisch bestehende Sekretentfernung durch Husten nicht ausreichend ist.

Als Folge der vermehrten Sekretretention ist insbesondere das erhöhte Infektionsrisiko zu sehen. Mikroorganismen gelangen über den invasiven Atemwegszugang als Leitschiene in die Atemwege und vorhandenes Sekret liefert eine Brutstätte zur Vermehrung. Des Weiteren führt das Sekret zu Verlegungen der Atemwege, sodass der pulmonale Gasaustausch beeinträchtigt wird. Bei kompletter Verlegung des Atemwegs können Atelektasen auftreten. Nicht zuletzt kann bei Patienten im Weaningprozess die Atemarbeit durch Sekretretention deutlich erhöht sein. Hierdurch kann eine Extubation [12] bzw. eine Dekanülierung scheitern, ebenso eine Fortführung der Beatmungsunterstützung in Form einer NIV erschwert werden.



■ Abb. 4.2 Pathomechanismen der Sekretretention

#### 4.2.1 Allgemeine Prinzipien des Sekretmanagements

Es existieren zwei unterschiedliche Ansatzpunkte für eine Verbesserung der Sekretclearance: Maßnahmen zur Sekretolyse bzw. Sekretmobilisierung und Maßnahmen zur Verbesserung der Sekretentfernung aus den Atemwegen. Eine klare Identifizierung der Ursachen der Sekretakkumulation – vermehrte Sekretbildung, spezifische Eigenschaften des Sekrets wie hohe Viskosität oder Schwäche beim Abhusten – ist für einen effizienten Einsatz differenter Techniken des Sekretmanagements wichtig.

Physiologisch existieren zusätzlich zur Pharmakotherapie 5 Prinzipien (s. u.), mit denen eine Sekreteliminierung aus den Atemwegen erreicht bzw. gefördert werden kann.

##### ■ Physiologische Mechanismen zur Behandlung der Sekretretention

- Vergrößerung des intrathorakalen Volumens
- Verstärkung des maximalen expiratorischen Flusses

- Sekretolyse, z. B. durch Oszillationstherapie
- Vergrößerung des expirierten Volumens
- Endotracheales Absaugen

#### 4.2.2 Maßnahmen zur Sekretmobilisation und Sekretelimination durch Absaugen und Physiotherapie

■ Tab. 4.2 stellt mögliche physiotherapeutische bzw. atmungstherapeutische und ärztliche Maßnahmen zur Sekretmobilisation und zur Sekretelimination im Weaning dar.

Im Sekretmanagement spielt das Absaugen von Sekret (konventionell oder bronchoskopisch) eine wichtige Rolle. Wichtig ist das korrekte endotracheale Absaugen über Katheter. Die Guidelines der American Association for Respiratory Care empfehlen in Analogie zu den bei pädiatrischen Patienten gewonnenen Daten über Risiken des blinden endobronchialen Absaugens ein strikt endotracheales Absaugen, d. h. Einführen des Absaugkatheters nur 1–2 cm

■ Tab. 4.2 Maßnahmen zur Verbesserung der Sekretolyse bzw. der Sekretexpektoration

Maßnahme	Strategie
Förderung der Sekretmobilisation	<p>Medikamentöse Maßnahmen</p> <p>Hochosmolare Kochsalz-Inhalationen (3 %-6 % NaCl-Inhalationen), v. a. bei zystischer Fibrose [13]</p> <p>Inhalation von rekombinanter humaner DNase (Pulmozyme™) bei Cystischer Fibrose</p> <p>Nichtmedikamentöse Maßnahmen</p> <p>Mobilisation</p> <p>Lagerung</p> <p>Oszillationstherapien</p> <p>– Endobronchial appliziert: Flutter™, Acapella™, RC-Cornet™, Pegaso Cough Perc™, intrapulmonary percussive ventilation</p> <p>– Transthorakal appliziert: high frequency chest wall oscillation</p> <p>Effektive Konditionierung der Inspirationsluft (Anfeuchtung und Erwärmung) durch Wechsel von HME-Filtern auf aktive Befeuchtung</p> <p>Verwendung von High-Flow-nasal-cannula-Sauerstoff nach Extubation</p>
Sekret-Expektoration	<p>Vergrößerung des intrathorakalen Volumens (Air stacking, LIAM™, CPAP, IPPB)</p> <p>Verstärkung des maximalen expiratorischen Flusses</p> <p>Lagerung</p> <p>Husten</p> <p>Manuell assistiertes Husten</p> <p>Mechanische In-/Exsufflatoren</p> <p>Zunahme des expiratorischen Volumens</p> <p>CPAP</p> <p>PEP-Systeme</p> <p>Endotracheales Absaugen</p> <p>Nasotracheales Absaugen</p> <p>Blindes Absaugen durch die Kanüle</p> <p>Bronchoskopische Sekretabsaugung</p>

über die Spitze von Tubus/Trachealkanüle hinaus [14]. Mit dieser Technik kann zwar weiter peripher gelegenes Sekret nicht erreicht werden, aber mögliche Komplikationen wie Blutungen und Entzündungen der Bronchialschleimhaut durch wiederholte Verletzungen mit der Folge einer vermehrten Sekretlast können vermieden werden. In diesem Zusammenhang sei auf die Empfehlung des Robert-Koch-Institutes zur Prävention der nosokomialen, beatmungsassoziierten Pneumonie hingewiesen, in der für langzeitbeatmete Patienten und für Patienten mit multiresistenten Erregern zur Vermeidung einer zusätzlichen

Umgebungscontamination und Exposition des Personals beim Absaugen der Einsatz geschlossener Absaugssysteme beschrieben wird [3]. Beim offenen endotrachealen Absaugen müssen sterile Katheter und sterile Handschuhe benutzt werden, ebenso ein Mundschutz.

Mechanische Insufflatoren-Exsufflatoren (MI-E) simulieren einen normalen Hustenstoß durch Applikation eines ausreichend hohen Überdrucks, der eine ausreichende Vordehnung der Lunge generiert, gefolgt von einem Unterdruck, der einen hohen Fluss aus den Luftwegen erzeugt, durch den Sekret in den Atemwegen

mitgerissen wird [15]. Ihr Einsatz sollte auf Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen – hierzu gehört auch die große Gruppe von Patienten mit ICU-acquired weakness – beschränkt bleiben.

Sekret- und Expektorationsfördernde physiotherapeutische Maßnahmen werden im ► **Abschn. 4.3** abgehandelt.

### 4.2.3 Maßnahmen zur Sekretolyse

Als eine weitere Maßnahme sollte für die Sekretverflüssigung (Sekretolyse) immer eine Anfeuchtung der Atemgase erfolgen. Neben der möglichen aktiven Befeuchtung (Verdampfer, Warmbefeuchter) wird in der modernen Beatmungsmedizin vor allem die passive Befeuchtung eingesetzt, bei der durch HME (Heat and Moisture Exchanger)-Filter dem Expirationsgas Wärme und Feuchte entzogen und dieses in der darauffolgenden Inspiration dem Atemgas wieder zugeführt wird. Relative Kontraindikationen für HME-Filter sind eine massive Sekretproduktion oder die schwere Blutung, durch die der Filter verlegt werden kann.

Es besteht die Möglichkeit, die Atemwege anzufeuchten und so eingedicktes Sekret zu verflüssigen, welches dann besser abgehustet oder abgesaugt werden kann. Als Flüssigkeit sollte NaCl verwendet werden, da es das physiologische Gleichgewicht der Schleimhaut stabilisiert. Auch hochosmolare NaCl-Lösungen können mit Erfolg eingesetzt werden, sind aber mit dem Risiko der Auslösung eines Bronchospasmus behaftet. Andere Mukolytika wie N-Acetylcystein sind weniger effektiv und werden in der Praxis-Leitlinie der American Association for Respiratory Care negativ beurteilt [16].

- **Hochosmolare Kochsalzlösungen (3–7 %) sind mit Vorsicht bei Patienten mit COPD anzuwenden, weil sie eine bronchiale Schleimhaut irritieren und somit einen Bronchospasmus induzieren können.**

## 4.3 Stellenwert der Physiotherapie

Die Physiotherapie nimmt ebenfalls eine zentrale Stellung in der Behandlung von Patienten im Weaning ein. Aktivierende Mobilisation und Sekretmanagement als tägliche Hauptbestandteile der Behandlung sind essentielle Faktoren für den Erfolg der Entwöhnung von einer maschinellen Beatmung, einer Dekanülierung sowie in vielen Fällen einer Verlegung in eine Rehabilitationseinrichtung („Erzielen rehabilitativen Potentials“). Für Patienten ohne rehabilitatives Potential muss in Hinblick auf die Überleitung ggf. eine physiotherapeutische Strategie für die ambulante Versorgung festgelegt werden. Physiotherapie sollte täglich, im Bedarfsfall zweimal täglich durchgeführt werden.

Die oftmals ausgeprägte muskuläre Dystrophie stellt gerade bei Patienten im schwierigen oder prolongierten Weaning eine wesentliche Herausforderung in Hinblick auf die Mobilisation der Patienten dar. Pathomechanistisch ist in diesem Zusammenhang die bereits nach einigen Stunden maschineller Beatmung auftretende, diaphragmale Dysfunktion (ventilator induced diaphragmatic dysfunction, VIDD) zu nennen (► **Kap. 2**). Dieser Effekt ließ sich in klinischen Studien bestätigen, in denen Zwerchfellbiopsien bereits nach wenigen Stunden maschineller Beatmung Atrophien aufwiesen [17, 18].

Auch die periphere Muskulatur von Intensivpatienten kann schwer geschwächt werden: So kommt es infolge inflammatorischer Mechanismen beispielsweise bei einer Sepsis zu schweren neuromuskulären Komplikationen (sog. „ICU-acquired weakness“), die erheblichen Einfluss auf die Beatmungsentwöhnung haben und ein nachhaltiges Problem darstellen, weil sie auch im Langzeitverlauf die Rehabilitationsmaßnahmen und die Lebensqualität der Patienten beeinträchtigen können.

Durch eine frühzeitige und gezielte Einbindung physiotherapeutischer Maßnahmen soll diesen Komplikationen eines intensivmedizinischen Langzeitverlaufs entgegengewirkt werden.

4 Dies erfordert regelmäßige Assessments des physiotherapeutischen Behandlungsteams gemeinsam mit dem Pflegepersonal, damit die Balance zwischen möglicher Belastung und unnötiger, unphysiologischer Überlastung (Beachtung der kardialen und respiratorischen Reserve) der Patienten gefunden werden kann. Mobilisation umfasst dabei alle Aktivitäten (passiv und aktiv), die der Verbesserung von pulmonaler Ventilation, zentraler und peripherer Durchblutung und dem Muskelstoffwechsel dienen. Das Ziel dabei ist, Muskulatur aufzubauen, Kontrakturen vorzubeugen oder sie zu reduzieren und negativen Effekten der Immobilisierung (z. B. erhöhtes Thromboserisiko, progrediente Muskelatrophie, erhöhtes Pneumonierisiko) entgegenzuwirken. Zudem sollen Lagerungsmaßnahmen – neben ihrer therapeutischen Bedeutung in der Beatmungstherapie – zur Vermeidung von Dekubiti und zum Erhalt des Körpertonus durchgeführt werden. Passive Mobilisation muss möglichst frühzeitig, auch unter noch stattfindender Beatmungstherapie, begonnen werden, sofern keine kritische Akutphase mehr vorliegt. Neuere Daten zeigen auch positive Effekte einer neuromuskulären Elektrostimulation in den Phasen, in denen aktive Physiotherapie (noch) nicht durchgeführt werden kann [19].

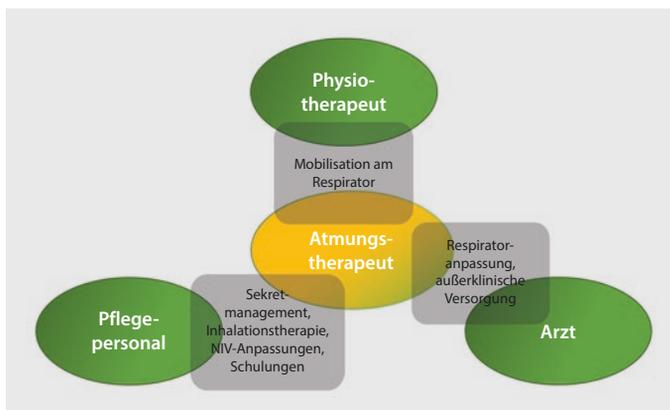
Aktive Physiotherapie hingegen erfordert Patientenkooperation. Sobald diese vorliegt, können auch individualisierte Maßnahmen, adaptiert an die Leistungsfähigkeit des

Patienten, (z. B. „Bettfahrrad“, Therabänder zur statischen und dynamischen konzentrischen Muskelübung), abgestimmt werden. Die Dauer physiotherapeutischer Vorgänge wird von Tag zu Tag, entsprechend dem Patientenzustand, geplant. Physiotherapeutische Tagesziele werden in der multiprofessionellen Visite festgelegt, damit ein ineinandergreifendes Konzept mit physiotherapeutischer, logopädischer und pflegerischer Behandlung durchgeführt werden kann.

#### 4.4 Atmungstherapeut

In Zeiten zunehmender Arbeitsverdichtung, vor allem in der Intensivpflege, stellt die Tätigkeit des Atmungstherapeuten in der Beatmungsmedizin ein essentielles Bindeglied zwischen den Arbeitsbereichen der Ärzte, Pflegekräfte, Logopäden und Physiotherapeuten dar. Er arbeitet weitgehend selbständig unter Supervision eines Facharztes.

Der Aufgabenbereich eines Atmungstherapeuten ist vielschichtig (■ Abb. 4.3). Im Hinblick auf die Beatmungsentwöhnung führt der Atmungstherapeut gemeinsam mit Ärzten relevante Einstellungen am Respirator durch und kontrolliert die klinischen Konsequenzen. Unter anderem erhebt und beurteilt er Blutgasanalysen und begleitet Spontanatmungsversuche. Insbesondere agitierte oder ängstliche



■ Abb. 4.3 Darstellung möglicher Schnittstellen zwischen Atmungstherapeut und anderen Berufsgruppen

Patienten können während der ersten Spontanattempts in enger Betreuung durch den Atmungstherapeuten begleitet werden.

Die Durchführung des Atemwegsmanagements, speziell die Auswahl einer geeigneten Trachealkanüle (nach Rücksprache mit dem ärztlichen Team und dem Logopäden), der Kanülenwechsel sowie die Dekanülierung eines erfolgreich entwöhnten Patienten sind weitere Tätigkeitsfelder des Atmungstherapeuten. Er ist an der Planung von kurz- und langfristigen Therapiezielen im Rahmen des Weaning beteiligt und überprüft die Einhaltung klinischer Weaning-Protokolle.

Gemeinsam mit dem Pflegepersonal arbeitet der Atmungstherapeut am Sekretmanagement und führt inhalative Anwendungen durch. Bei Patienten, die dauerhaft auf Inhalationen angewiesen sind, klärt er beispielsweise Patienten und Angehörige über Anwendungen auf und übt diese mit den Betroffenen ein (z. B. Dosieraerosole mit Spacer, Autohaler, etc.).

Wird ein Patient außerklinisch nicht-invasiv oder invasiv beatmet, ist der Atmungstherapeut in Absprache mit dem ärztlichen Team verantwortlich für die Auswahl eines geeigneten Beatmungsgerätes, eines geeigneten Beatmungszugangs (entsprechende Interface-Anpassung bei nicht-invasiver Beatmung sowie Auswahl und Bestellung einer geeigneten Trachealkanüle bei invasiver Beatmung) und des entsprechenden Zubehörs.

In enger Absprache mit dem Fallmanagement begleitet der Atmungstherapeut das Überleitungsmanagement von Patienten, die eine außerklinische Versorgung benötigen. Hierzu können die Abklärung von Kostenübernahmen, die Interaktionen mit ambulanten Pflegediensten, die Auswahl und Verordnung von Hilfsmitteln, Organisation von Wiederaufnahmetermi- und Kontrolluntersuchungen zählen.

Die Anleitung und Schulung von Mitarbeitern ist eine weitere, wichtige Aufgabe des Atmungstherapeuten. Hierzu gehören z. B. Geräteeinweisungen nach MPG und regelmäßige, stationsinterne Fortbildungen. Er ist auch immer ein Ansprechpartner bei Problemsituationen mit Beatmungspatienten auf der Station.

Außerdem liegt die Schulung und Anleitung von Patienten und Angehörigen in Bezug auf außerklinische Beatmung in der Verantwortung des Atmungstherapeuten.

Abschließend sind vor allem die multiprofessionelle Zusammenarbeit und die verantwortungsvolle Stellung eines Atmungstherapeuten in der Krankenversorgung zu nennen. Wichtige berufsgruppenübergreifende Funktionen und vor allem die Verbesserung der Schnittstelleninteraktion können dazu führen, Beatmungszeiten zu verkürzen [20] und Patienten im Weaning klinisch optimal zu versorgen.

## 4.5 Logopädie

Gerade Patienten nach Langzeitbeatmung mit schwierigem oder prolongiertem Weaning haben ein deutlich erhöhtes Risiko, auf dem Boden einer ICUAW auch eine Dysphagie zu entwickeln [21]. Ebenso können Schluckstörungen z. B. bei erblichen neuromuskulären Erkrankungen bereits a priori vorhanden sein.

Mögliche Folgen sind:

- Aspiration (in bis zu 50 % der Fälle) von Speichel oder Nahrungsmitteln [22],
- Pneumonierezidive und protrahierte Beatmung,
- erhöhte Mortalität dieser Patienten [23].

Viele weitere Patientengruppen im Weaning-Prozess weisen Dysphagien auf: Grunderkrankungen wie neurologische Erkrankungen, neuromuskuläre Erkrankungen auf der einen Seite, aber auch die Tatsache der oralen Intubation [24] bzw. Tracheotomie können mechanisch, aber auch über eine gestörte Propriozeption [25] eine Dysphagie verursachen bzw. verstärken. Ebenso können lange liegende nasogastrale Ernährungssonden durch Schwellungen im Hypopharynx-/Larynx-Bereich die Symptomatik aggravieren.

- **Mögliche Ursachen von Schluckstörungen bei Patienten im Weaning-prozess**
- Vorbestehende Schluckstörungen vor der Beatmungs-/Weaning-Phase (Demenz, M. Parkinson, neuromuskuläre Erkrankungen)

- Schluckstörung im Rahmen der Grunderkrankung (neurologisch)
- ICU-acquired weakness
- Bewusstseinstörung (Grunderkrankung, Nebenwirkung von Sedativa)
- Endotracheale Intubation
- Trachealkanüle – Verhinderung der Elevation des Kehlkopfs im Rahmen des Schluckaktes
- Schwellungen/Verletzungen im Hypopharynx-/Larynx-Bereich, z. B. durch nasogastrale Sonden
- Deprivation des Schluck-/Hustenreflexes des Larynx durch mangelnde Stimulation von sensiblen Rezeptoren aufgrund eines dauerhaft geblockten künstlichen Atemweges

#### 4.5.1 Frühzeitige Diagnostik der Dysphagie

Eine frühzeitige Diagnostik und auch Therapie einer möglichen Dysphagie gehört aus den oben genannten Ausführungen unabdingbar zu einem multiprofessionellen ganzheitlichen Weaning-Ansatz – dementsprechend wurde die Diagnostik der Schluckstörung in der aktuellen Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ [9] zu Beginn des Weaning-Prozesses als einer von 4 Qualitätsindikatoren benannt.

#### 4.5.2 Schluckassessment

Aufgrund der hohen Prävalenz des Vorliegens einer Dysphagie sollte im Weaning-Prozess routinemäßig eine Evaluation der oberen Atemwege mittel flexibler Endoskopie bei liegender Trachealkanüle stattfinden. Hierbei können Verletzungen wie Ary-Knorpel-Dislokationen, Schleimhautschwellungen und als Ausdruck einer Schluckstörung auch ein Speichelsee am Larynxeingang gesehen werden. Gleichzeitig kann beim wachen Patienten die Sensibilität des Larynx überprüft werden – ein fehlendes Würgen nach vorsichtigem Berühren der Larynx-Schleimhaut kann ein Hinweis auf eine schwere Störung

der Propriozeption sein, die wiederum für einen funktionierenden Schluckakt Voraussetzung ist.

Die Tätigkeit eines Logopäden beginnt, sobald der Patient wach, kooperativ und in einem stabilen Zeitintervall (>30 Minuten) spontanatmend ist. Die Trachealkanüle wird entblockt und der Atemweg mittels eines Sprechventils normalisiert. Hierbei muss insbesondere bei Patienten mit COPD auf eine mögliche Überblähung geachtet werden. Bei normaler Phonation und der Abwesenheit von respiratorischem Stress wird intensiv mit dem Sprechventil geübt, um die Resensibilisierung des Larynx anzuregen und effektives Phonieren und Husten zu unterstützen.

In Hinblick auf diagnostische Strategien stehen neben diesem klinischen Assessment zwei Verfahren zur Verfügung:

- **Modifizierter Evan´s-Blue-Dye-Test** [26]: Nahrungsmittel oder Speichel werden angefärbt. Bei geblockter Kanüle zeigt ein Austritt von Farbe um die Kanüle aus dem Tracheostoma sicher eine Aspiration an, bei entblockter Kanüle kann zusätzlich farbiges Aspirat abgesaugt werden. Obwohl keine direkte Inspektion des Schluckaktes stattfindet, ist der prädiktive Wert für eine Aspiration hoch [27]. Es kann hiermit keine exakte Quantifizierung des Grades der Schluckstörung erfolgen.
- **Endoskopische transnasale Evaluation des Schluckaktes** (FEES, fiberendoscopic evaluation of swallowing). Einführung eines dünnen Bronchoskops, Inspektion auf Vorliegen z. B. eines Speichelsees bei wachen Patienten und Untersuchung des Schluckens von Speisen verschiedener Konsistenzen (flüssig, breiig, fest, bröselig). Die Speise sollte zur Erleichterung der Diagnostik ebenfalls mit Lebensmittelfarbe gefärbt sein. Wenn auch der eigentliche Schluckakt durch den hochklappenden weichen Gaumen/Uvula nicht sichtbar ist, kann doch ein Übertritt der Speise in den Eingangsbereich des Kehlkopfes (Penetration) und Durchtritt durch die Stimmbänder (Aspiration) sicher nachgewiesen werden. Auch Residuen im

■ **Tab. 4.3** Penetrations-Aspirations-Skala (PAS) von Rosenbek et al. [28]

Grad	Charakteristika
1	Keine Penetration
2	Laryngeale Penetration oberhalb der Stimmlippen mit vollständiger Reinigung
3	Laryngeale Penetration oberhalb der Stimmlippen, keine Reinigung
4	Laryngeale Penetration bis zu den Stimmlippen mit vollständiger Reinigung
5	Laryngeale Penetration bis zu den Stimmlippen, keine Reinigung
6	Aspiration mit Reinigung der Trachea (Abhusten in Aditus laryngis und außerhalb)
7	Aspiration, keine Reinigung der Trachea bei zu schwachem Hustenstoß
8	Aspiration, kein Husten

Hypopharynxbereich, die häufig Ausdruck einer gestörten Sensibilität sind, und bei Lagewechsel sekundär aspiriert werden können, sind hiermit sichtbar.

Für die Graduierung der Schwere der Schluckstörung hat sich die Penetrations-Aspirations-Skala nach Rosenbek (■ [Tab. 4.3](#)) [28] durchgesetzt.

Als alternative Diagnostik einer Schluckstörung wurden auch nuklearmedizinische Verfahren beschrieben [29].

### 4.5.3 Therapie der Dysphagie

Für eine qualifizierte Therapie ist eine genaue Diagnostik der Ursache der Schluckstörung sowie des Ausmaßes derselben Voraussetzung: bei großen Speichelseen oberhalb des Larynx können erfolgreich Anticholinergika zur Hemmung der Speichelproduktion eingesetzt werden. Damit wird auch das passagere Entblocken des künstlichen Atemwegs ermöglicht, um die Wiederherstellung der Sensibilität der Schleimhäute der oberen Atemwege zu fördern und gleichzeitig ein gewisses Abhusten von Sekret an der Kanüle vorbei zu ermöglichen.

Schluckübungen durch Logopäden werden, so verfügbar, eingesetzt, um wieder die

üblichen motorischen Abläufe des Schluckaktes zu üben. Eine orale Nahrungsaufnahme kann begonnen werden, wenn keine Aspirationen, sondern allenfalls Penetrationen während des Schluckaktes auftreten. Hierbei ist ein Entblocken der Kanüle, unter Umständen bei Spontanatmung in Kombination mit einem Sprechventil, zur Förderung des Hustenstoßes hilfreich [30]. Durch wiederholte FEES-Untersuchungen empfiehlt der Logopäde, ob die Kost weiter aufgebaut und die künstliche Ernährung reduziert werden kann. Patienten ohne kognitive Einschränkungen können aktive Übungen machen, um die Schluckphysiologie zu verbessern oder kompensatorische Strategien nutzen, um die Gefahr von Aspiration zu reduzieren.

Bei Patienten, die nur langsame Fortschritte im Weaning machen, ist die Phonation auch unter Beatmung mit entblocktem Cuff möglich [31]. Der Gebrauch von einem Inline-Sprechventil kann die Phonation sowie das Husten und Schlucken verbessern [32]. Im Fall einer unklaren Dekanülierbarkeit wird vom Logopäden eine „diagnostische Dekanülierung“ durchgeführt, wobei die Kanüle kurzzeitig entfernt, eine FEES ausgeführt wird und, je nach Befund, die Kanüle neu gelegt oder der Patient unter engem klinischen Monitoring dekanüliert belassen wird.

Eine definitive Dekanülierung sollte erst durchgeführt werden, wenn sicher eine Aspiration z. B. über FEES ausgeschlossen ist bzw. das Risiko vor Aspirationen mit ggf. Entwicklung von Infektionen der tiefen Atemwege bzw. Lunge aus Gründen der Lebensqualität und Verbesserung der Kommunikation in Absprache mit Angehörigen oder Betreuern in Kauf genommen wird.

In Fällen, in denen keine baldige Besserung der Dysphagie zu erwarten ist, kann auch eine PEG-Sonde angelegt werden, sodass eine Verlegung in eine Rehabilitation ermöglicht wird. Eine PEG-Anlage ist ebenfalls indiziert, sobald eine laryngeale Schwellung durch die Magensonde verursacht wird. Negative prognostische Faktoren für die Besserung der Dysphagie sind: eine persistierende muskuläre Schwäche, eine progressive neurologische Erkrankung, ein fortgeschrittenes Alter, Larynxpathologien oder eine weiterhin bestehende Trachealkanüle.

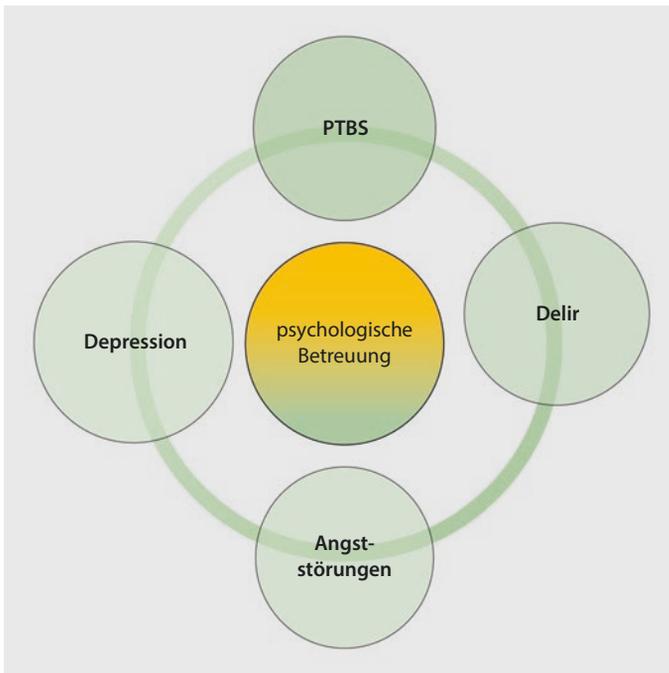
## 4.6 Psychologische Begleitung

Zu den oft auftretenden Belastungsreaktionen (■ **Abb. 4.4**) von Patienten auf der Weaningstation zählen am häufigsten das Delir, die depressive Episode, die Angststörung und im weiteren Verlauf die Posttraumatische Belastungsstörung (PTBS) [33, 34], sodass eine psychologische Mitbetreuung sinnvoll sein kann.

Die wichtigsten Belastungsreaktionen sollen hier im Folgenden dargestellt werden.

### 4.6.1 Delir

Die Inzidenz für das Delir ist hoch, Daten hierzu zeigen allerdings auch, je nach Patientengruppe und Behandlung, eine ausgeprägte Heterogenität (5–78 %) [35]. Es ist damit eine häufige intensivmedizinische Komplikation, die mit Komplikationen wie verlängertem Intensivstationsaufenthalt sowie erhöhter Morbidität und



■ **Abb. 4.4** Wesentliche Belastungsreaktionen langzeitbehandelter Patienten im Weaning. PTBS: Posttraumatische Belastungsstörung

Mortalität vergesellschaftet ist [36]. Die Ursachen für ein Delir sind für Intensivpatienten vielfältig, pathogenetisch werden eine Imbalance von Neurotransmittern und Inflammationsreaktionen vermutet und derzeit fokussiert beforscht. Alle relevanten Ursachen lassen sich im folgenden Akronym zusammenfassen (■ Abb. 4.5).

Das Delir hat bei der Behandlung von Patienten im Weaning eine besondere Bedeutung, nicht nur, weil ein Delir die Intensivbehandlung und folglich auch die Zeit maschineller Beatmung protrahiert [37], sondern weil insbesondere länger bestehende kognitive Einschränkungen für den Patienten zunehmend bewusster wahrgenommen werden und daraus eine psychische Belastungsreaktion resultieren kann.

Ein persistierendes Delir ist gerade bei Langzeitbeatmeten ein häufig auftretendes Problem. Mit dem sog. CAM-ICU liegt ein validierter Screening-Test vor, mithilfe dessen das Delir erfasst werden kann [38]. In der aktuellen DAS-Leitlinie 2015 wird empfohlen, ein Delir-Screening einmal pro Schicht (i. d. R.

alle 8 Stunden) vorzunehmen, um insbesondere die hypoaktive Verlaufsform des Delirs zu erkennen [39]. Der frühen Diagnose wird selbstverständlich eine besondere Rolle zugeschrieben, damit eine effektive oder gar präventive Behandlung durchgeführt werden kann.

Während des frühen Weaningprozesses kann gerade bei ersten Spontanattemptsversuchen die Atempumpe des Patienten so überlastet sein, dass die vom Patienten empfundene Dyspnoe wiederum in Form von Angst und zunehmende Agitation Ausdruck findet. Die zugrundeliegende Ursache für die Unruhe muss als solche identifiziert werden, um eine unnötige Analgosedierung, aber vor allem eine unnötig lange Überlastung der Atempumpe zu vermeiden; in dieser kritischen Phase des Entwöhnungsprozesses muss das behandelnde Team umso mehr äußerst systematisch solche Symptome des Patienten erfassen. Pharmakologische Maßnahmen zur Anxiolyse können helfen, sollten aber nicht völlig unkritisch und ohne vorherige Identifikation der Ursachen einer Agitation verabreicht werden.

Akronym	Ursache (englisch)	Klinische Beispiele
<b>I</b>	Infection	Pneumonie, Sepsis
<b>W</b>	Withdrawal	Nikotin-, Alkohol-, Medikamentenentzug
<b>A</b>	Acute metabolic	Akute Azidosen, Alkalosen, Elektrolytentgleisungen
<b>T</b>	Trauma	Schädel-Hirn-Trauma, Operationen
<b>C</b>	CNS pathology	Hirnblutungen, Epilepsie, Entzündungen
<b>H</b>	Hypoxia	Anämie, kardiale u./o. respiratorische Insuffizienz
<b>D</b>	Defencies	Mangel von Vitamin B1, 6, 12
<b>E</b>	Endocrinopathies	Hyper-, Hypoglycämie, Hyper- u. Hypothyreose, Cushingsyndrom, Addisonkrise
<b>A</b>	Acute vascular	Schlaganfall, hypertensive Enzephalopathie, Schock, Herzrhythmusstörungen
<b>T</b>	Toxins	Lösungsmittel, Pestizide, Medikamente
<b>H</b>	Heavy metals	Blei, Mangan

■ Abb. 4.5 Akronym „I watch death“

Darüber hinaus sollten zur Behandlung von Agitation und Delir vor allem symptomorientierende, protokoll-basierte Maßnahmen eingesetzt werden, um den Patienten eine zügige Re-Orientierung zu ermöglichen (■ Abb. 4.6).

### 4.6.2 Depression

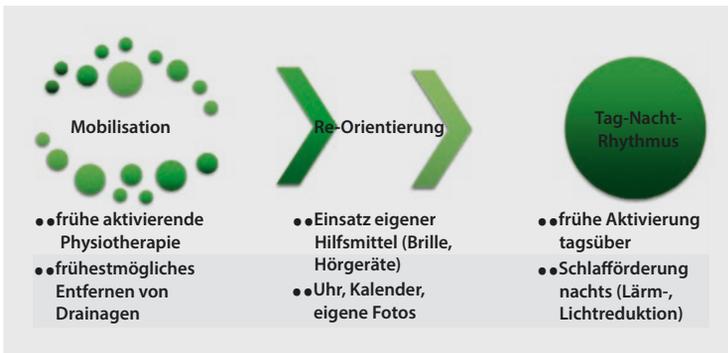
Eine der häufigsten psychischen Syndrome bei Menschen mit schweren kritischen und akuten körperlichen Erkrankungen sind depressive Störungsbilder. Die Prävalenz für behandlungspflichtige depressive Störungen bei Intensivpatienten liegt bei nahezu 30 % [40]. Bemerkenswerterweise haben insbesondere präexistente depressive Syndrome Auswirkungen auf das Outcome von Intensivpatienten [41].

Als ursächlich für depressive Symptome werden u. a. sowohl die akuten Belastungen und das akut Erlebte, als auch die langanhaltenden körperlichen Einschränkungen, Wunden und die fehlende Ablenkung sowie das fehlende Wahrnehmen klinischer Fortschritte gesehen. Auftretende Symptome können bei einer Depression sehr unterschiedlich sein, auch das Ausmaß kann von leicht gedrückter Stimmung bis zu einer schweren Denkstörung reichen. Zentrale Symptome einer Depression sind die depressive Verstimmung, eine Hemmung von Antrieb und Denken sowie Schlafstörungen. Die klinische Bewertung einer depressiven Störung kann schwierig sein, wenn aufgrund der Schwere der noch bestehenden somatischen Erkrankung vegetative Begleitsymptome

auftreten. Langanhaltende depressive Symptome können nachhaltig die Lebensqualität beeinflussen und haben somit deutliche Auswirkung auf das Outcome. Eine klinisch-psychologische, psychotherapeutische und interprofessionelle, re-orientierende Behandlung zur Reduktion einer früh sich manifestierenden Depression sind hilfreich, um Langzeitfolgen zu vermeiden. Hierfür können mit den Patienten Entlastungsgespräche geführt werden. Diese unterstützen den Patienten bei der Krankheitsverarbeitung und bieten die Möglichkeit der Psychoedukation. Bei Bedarf kann zusätzlich eine supportive Kurzzeittherapie angeboten werden.

### 4.6.3 Angststörungen und PTBS

Angstreaktionen von Patienten auf Intensivstation sind häufig und vor allem bei Patienten unter maschineller Beatmungsunterstützung besonders ausgeprägt [42]. Die Ursachen sind aufgrund der Akutsituation und der kritischen Erkrankung vielschichtig und stehen oftmals in Zusammenhang mit zwar erlebten, aber nicht klar einzuordnenden Situationen auf der Intensivstation, und der an der eigenen Person vorgenommenen intensivmedizinischen Interventionen. Zudem können die im Rahmen vom Delir wahrgenommenen Erlebnisse in Angstreaktionen münden. Angst ist eine normale Reaktion auf angsterzeugende und bedrohliche Situationen, die mit psychischen und vegetativen Auswirkungen verbunden sein kann.



■ Abb. 4.6 Symptomorientierende und präventive Maßnahmen zur Behandlung des postoperativen Delirs

Angst wird zu einem eigenständigen klinischen Problem, wenn sie hinsichtlich Situation, Ausprägung und Dauer unangemessen stark ausgeprägt ist. Ausgeprägte Angststörungen (v. a. generalisierte Angststörungen oder Panikattacken) können den Prozess der Beatmungsentwöhnung negativ beeinflussen. Bei ersten Spontanatmungsversuchen am T-Stück kann Angst auf körperlicher Ebene zu Anspannung und Hyperventilation führen. Dabei erhöht sich der Sauerstoffverbrauch des Körpers, unter der sich die Atemmuskulatur rascher erschöpft. Die Hyperventilation wird als Luftnot erlebt, sodass einige Patienten frühzeitig ein Weaningversagen zeigen, Abbruchkriterien erfüllen und rasch wieder maschinelle Unterstützung vom Beatmungsgerät benötigen. Durch solche negativ belegten Erfahrungen glauben Patienten nun, ohne das Gerät ersticken zu müssen, sodass die Angst bei nächsten Spontanatmungsversuchen aggraviert ist.

In ausgeprägten Fällen kann eine psychologische Unterstützung helfen, um die Angst vor der Beatmungsentwöhnung abzubauen oder optimaler an ein Beatmungsgerät adaptiert zu sein. Als effektiv haben sich die Anwendung von Entspannungstechniken, wie der progressiven Muskelrelaxation nach Jacobson, Atementspannung oder auch diverse Imaginationsverfahren herausgestellt (■ Tab. 4.4). Musikinterventionen können ebenfalls zu Stressabbau beitragen und den Weaningprozess unterstützend verbessern [43, 44].

Posttraumatische Belastungsstörungen treten infolge von Extrembelastungen auf. Somit können sie auch als Reaktion auf

lebensbedrohliche Zustände oder entsprechend eingreifende Therapiemaßnahmen vorkommen. Bei Intensivpatienten konnten Inzidenzen zwischen 15 % und 35 % gefunden werden und bemerkenswerterweise können bei etwa 20 % der Intensivpatienten diese Symptome noch im 1-Jahres-Follow-up festgestellt werden [45]. Dieser Aspekt macht deutlich, wie ausgeprägt posttraumatische Belastungsstörungen die weitere Lebensqualität der Patienten auch noch im Langzeitverlauf beeinträchtigen können.

Unterschiedliche Untersuchungen zeigen, dass bei Patienten im prolongierten Weaning hohe Prävalenzen von Belastungsreaktionen wie Depression, Angststörung oder posttraumatischer Belastungsstörung auftreten [46, 47] und wiederum negative Einfluss auf die weitere Behandlung haben.

Die posttraumatische Belastungsreaktion kann unterschiedlich ausgeprägte Symptome haben:

- Wiedererleben des Traumas: erneutes Durchleben: Flashbacks, Alpträume
- Vermeidung: Patienten vermeiden/verdrängen die Erinnerung an das Trauma
- Erhöhtes Erregungsniveau/Arousal: Ein- und Durchschlafstörungen, Reizbarkeit, Wutausbrüche, Konzentrationsschwierigkeiten, Hypervigilanz, Übertriebene Schreckreaktion

Erinnerungen an definierte, faktisch-traumatische Ereignisse im Zusammenhang mit der Behandlung auf der Intensivstation (z. B. unzureichend kontrollierter Schmerz, respiratorischer Distress) können mit Symptomen der posttraumatischen

■ Tab. 4.4 Möglichkeiten der psychologisch begleiteten Intervention zur Verbesserung der Beatmungsentwöhnung

Mögliche Intervention	Ziel
Muskelrelaxation n. Jacobson	Reduktion von Angst
Atementspannung	Stressabbau
Imagination	Entspannung
Musik	Verringerung des Sauerstoffverbrauchs und damit Reduktion der kardialen und der respiratorischen Last
	Verbesserung der Schlafqualität

Belastungsreaktion korrelieren. Deswegen kann eine frühe psychologische Mitbetreuung auf der Intensiv- oder auch auf der Weaningstation entsprechend der Bedürfnisse des Patienten sinnvoll sein. Die häufig zur Anwendung kommende Psychoedukation (erklären, wie es zu der Erkrankung kommt, wie sich diese manifestiert, etc.) kann bereits auf der Intensivstation erfolgen und entlastet die Betroffenen.

Da zahlreiche Patienten zudem begleitend kognitive Defizite aufweisen, gehört auch die neuropsychologische Diagnostik zu den Aufgaben des Psychologen. Vor allem bei Beeinträchtigung der mnestischen Fähigkeiten kann mithilfe einer abgestimmten neuropsychologischen Therapie eine Verbesserung erreicht werden [48]. Auch das Erstellen eines Intensivstationstagebuchs, das zwar nicht vom Patienten selbst, sondern hauptsächlich von Intensivpflegepersonal und Angehörigen geführt wird, kann als eine mögliche Intervention genutzt werden, Ereignisse und Erlebtes zeitlich einzuordnen und zu verarbeiten.

Neben den Patienten werden auf der Intensiv- oder Weaningstation bei Bedarf auch wie bereits erwähnt Angehörige psychologisch mitbetreut. Es werden in Gesprächen zunächst Hilfestellungen zur Stressbewältigung gegeben. Zudem können sowohl Unsicherheiten im Umgang mit den Patienten abgebaut werden als auch die Familienressourcen gestärkt werden. Zusätzlich kann die Kommunikation zwischen den Angehörigen und dem Team vor allem bei einem komplikationsreichen Verlauf oder bei schwierigen Therapieentscheidungen mit psychologischer Unterstützung im gemeinsamen Gespräch verbessert werden. Letztlich kann zudem versucht werden, sofern erforderlich, erste Kontakte zu wichtigen außerklinische Anlaufadressen und Ansprechpartnern herzustellen.

## 4.7 Transfusion im prolongierten Weaning

Im Rahmen einer kritischen, intensivpflichtigen Erkrankung herrscht oftmals eine Dysbalance zwischen Sauerstoffangebot und -ausschöpfung. Gleichzeitig ist eine sekundäre Anämie

nicht nur bei postoperativen Intensivpatienten häufig, auch nach längeren Intensivaufenthalten zeigen sich bei vielen Patienten aufgrund häufiger Blutentnahmen Hämoglobinwerte deutlich unterhalb des Normbereichs, und insbesondere bei langzeitbehandelten Patienten im schwierigen oder im prolongierten Weaning ist die Anämie mit einem schlechteren Outcome verbunden [49].

Bei insuffizienter Atempumpe und möglicherweise begleitend vorliegender Herzinsuffizienz kann die Aufrechterhaltung des Sauerstoffangebotes während einer Anämie kritisch sein. Es wird seit Jahren kontrovers diskutiert, welcher Hb-Wert angestrebt werden sollte, um eine kompensatorische anämiebedingte Belastung der Atem- und Herzpumpe zu vermeiden. In einer retrospektiven Analyse schwierig zu entwöhnender Patienten wurden diese in Hinblick auf Ihre Hb-Werte miteinander verglichen (< 8 g/dL, 8–10 g/dL und > 10 g/dL) und es konnte demonstriert werden, dass Patienten mit Hämoglobinwerten von 8–10 g/dL eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für den Weaning-erfolg hatten als Patienten mit Hb-Werte < 8 g/dL [50]. Dieses Patientenkollektiv könnte folglich von einem höheren Hb-Wert profitieren, weil durch Ausgleich einer Anämie der Sauerstoffverbrauch reduziert wird und damit Atem- und Herzpumpe entlastet werden. Im Vergleich zu lungengesunden Patienten mit Anämie konnte für anämische Patienten mit schwergradiger COPD gezeigt werden, dass die Atemarbeit nach Gabe von Transfusion (mit dem Anheben des Sauerstoffgehaltes) signifikant abnahm [51].

### 4.7.1 Risiken von Bluttransfusionen

Eine akute hämolytische Transfusionsreaktion ist ein seltenes Risiko, tritt aber dann auf, wenn eine meist im ABO-Blutgruppensystem inkompatible Transfusion (aufgrund von Verwechslung oder organisatorischem Mismanagement) stattgefunden hat. Sie wird hervorgerufen durch Serum-Antikörper des Patienten, die nach Reaktion mit den transfundierten Erythrozyten zu

einer meist intravasalen Hämolyse beim Patienten führen. Zu den akuten Symptomen zählen:

- Temperaturerhöhung,
- hämodynamische Reaktionen bis zum möglichen Schock
- Dyspnoe, Tachypnoe
- Hämolysezeichen (Labor, Urin)
- akutes Nierenversagen

Die Bluttransfusion muss umgehend beendet und eine serologische Diagnostik in der zuständigen Blutbank eingeleitet werden.

Protrahierte, also deutlich verzögerte hämolytische Transfusionsreaktion können bei Patienten auftreten, die zu einem früheren Zeitpunkt einen irregulären erythrozytären Antikörper gebildet hatten, der später nicht mehr sicher nachweisbar war. Ausgelöst werden kann diese Reaktion dann, wenn ein Erythrozytenkonzentrat eines Spenders transfundiert wird, dessen Erythrozyten das von dem zuvor gebildeten Antikörper erkannte Antigen tragen. Diese Transfusion führt dann zu einer verzögerten Immunreaktion. Fast alle verzögerten hämolytischen Transfusionsreaktionen sind somit Folge einer sekundären Immunantwort.

Hämolysereaktionen ohne Hinweis auf eine immunologische Unverträglichkeit (negativer direkter Antiglobulintest beim Transfusionsempfänger, kompatible ABO-Blutgruppenkonstellation, nicht feststellbare irreguläre erythrozytäre Antikörper beim Empfänger) sind auch im Einzelfall möglich. Dann sollte der Rest des Blutpräparats in Hinblick auf Hämolyse untersucht werden (falsche Lagerung, massive Überwärmung, unzulässig beigemengte Medikamente, mechanische Schädigung von Erythrozyten).

**Anaphylaktische Transfusionsreaktionen** treten bereits nach Verabreichung kleiner Blutvolumina auf. Die meisten durch Anti-IgA-bedingten anaphylaktischen Reaktionen ereignen sich bei Patienten, die IgA-defizient sind (Mangel aller IgA-Subklassen).

Als mögliche klinische Symptome zeigen sich:

- Urtikaria,
- Atemwegsobstruktion,
- Blutdruckabfall, Kreislaufschock.

Die therapeutischen Sofortmaßnahmen entsprechen denen bei anaphylaktischen Reaktionen anderer Trigger.

Nach Transfusion von Blutprodukten, die (im Plasma) Alloantikörper gegen granulozytäre Antigene enthalten, kann ein akutes Lungenversagen (transfusion-related acute lung injury, TRALI) auftreten. In Form eines nicht-immunogenen TRALI können auch biologisch aktive Lipide aus der Gruppe der Phosphatidylcholine, welche in gelagerten Erythrozytenkonzentraten oder Thrombozytenkonzentraten gebildet werden, der Auslöser der gleichen Entität sein. Dabei ist die Menge der transfundierten Einheiten völlig unerheblich.

Das TRALI ist die führende Ursache einer transfusions-assoziierten erhöhten Letalität [52, 53]. Es ist vor allem charakterisiert durch einen rasch progredienten Verlauf (innerhalb von 6 Stunden nach Transfusion). Vor allem die primär pulmonal entstehende Inflammationsreaktion mit Alveoarkollaps und konsekutivem Ventilations-Perfusions-Missverhältnis in der Lunge mündet in einer schwersten, akuten Hypoxie und einem ausgeprägten, nicht-kardio-genen Lungenödem, sodass häufig die endotracheale Intubation mit maschineller Beatmung erforderlich werden.

Als weitere Komplikation sei auf die Übertragung von bakteriellen und insbesondere viralen Erregern hingewiesen. Transfundierende Ärzte müssen daher über die Risiken einer Übertragung von Infektionskrankheiten angemessen aufklären.

#### 4.7.2 Fazit für die Bluttransfusion im Weaning

Die Betrachtung rigider, numerischer Transfusionskriterien wie die Hämoglobinkonzentration ist nicht sinnvoll, weil Patienten interindividuell über unterschiedliche Reserven und Kompensationsmechanismen verfügen, ehe eine kritische Schwelle des Sauerstoffgehaltes und eine daraus resultierende Gewebhypoxie auftreten. Vor allem Patienten nach Langzeitbehandlung auf der Intensivstation im

schwierigen oder prolongierten Weaning haben häufig Hämoglobinwerte unterhalb des Normbereichs. Zwar ist eine Anämie bei Intensivpatienten mit einem schlechteren Outcome assoziiert, potentielle Transfusionsrisiken erfordern allerdings ebenfalls eine sehr genaue Abwägung.

In Hinblick auf die vorhandene Evidenz und einer Risiko-Nutzen-Analyse zwischen den möglichen Komplikationen von Bluttransfusionen und dem Benefit, den die Gabe von Erythrozytenkonzentraten mit sich bringen kann, ergibt sich zunächst für die Gesamtgruppe der Patienten im prolongierten Weaning eine konservative Transfusionsstrategie. Eine Anhebung des Hämoglobins sollte klinisch gut begründet sein – drohendes Weaning-Versagen mit dem Risiko der außerklinischen invasiven Beatmung bei konsequent durchgeführtem Leitlinien-gerechten Weaning –, und sollte damit insbesondere bei den Patienten mit einer eingeschränkten kardiorespiratorischen Kompensation erfolgen. Ob es eine ideale Schwelle gibt, ab der eine Transfusion erfolgen sollte und wann Patienten trotz möglicher Risiken von einer Fremdbluttransfusion profitieren, ist oftmals eine Einzelfallentscheidung. Klinische Symptome auf eine anämische Hypoxie (■ Tab. 4.5, Transfusionstrigger) können somit in einer Untergruppe der Patienten im prolongierten Weaning einen Hb-Zielkorridor von

> 8–10 g/dl erlauben. Durch einen höheren arteriellen Sauerstoffgehalt im Blut sowie höherem Hämoglobin-Wert, kann die Ventilation reduziert werden, die für eine ausreichende Oxygenierung benötigt wird. Mit der reduzierten Ventilation geht in dieser Konstellation eine Reduktion der Atemarbeit einher [51].

Für diese Abwägung und der möglicherweise daraus resultierenden Individualentscheidung für die Transfusion bei Patienten im Weaning sollten die physiologischen Transfusionstrigger eingesetzt werden [54].

## 4.8 Besonderheiten der Ernährung

Generell entsteht oftmals während einer kritischen Krankheit durch die in Relation zur schweren Katabolie inadäquate Kalorien- und Proteinzufuhr eine ausgeprägte Mangelernährung. Gerade bei Patienten im schwierigen und prolongierten Weaning wird der komplexe Prozess der Beatmungsentwöhnung durch einen ausgeprägten Muskelschwund noch zusätzlich verschlechtert. Eine bereits vor einem Intensivaufenthalt bestehende Mangelernährung von Patienten wird durch einen längerfristigen Intensivaufenthalt oftmals aggraviert.

■ Tab. 4.5 Physiologische Transfusionstrigger nach [54]

Symptome	Ausprägung
Klinische Symptome	Tachykardie Hypotension Blutdruckabfall unklarer Genese Dyspnoe Neu aufgetretene neurologische Symptomatik, Erschöpfung, kognitive Defizite
Ischämietypische EKG-Veränderungen	Neu auftretende ST-Senkungen oder -Hebungen Neu auftretende Rhythmusstörungen
Veränderungen in der Echokardiographie und Indices einer unzureichenden Sauerstoffversorgung des Gewebes	Anstieg der globalen O <sub>2</sub> -Extraktion > 50 % Abfall der O <sub>2</sub> -Aufnahme > 10 % vom Ausgangswert Abfall der gemischtvenösen O <sub>2</sub> -Sättigung < 50 % Abfall des gemischtvenösen pO <sub>2</sub> < 32 mmHg Abfall der zentralvenösen O <sub>2</sub> -Sättigung < 60 % Laktazidose (Laktat > 2 mmol/l + Azidose)

Für den Weaningerfolg ist somit eine systematisierte Ernährungstherapie ein zentraler Bestandteil der Gesamtstrategie.

#### 4.8.1 Strategien zur Ernährungszufuhr

Die iatrogene Malnutrition ist insbesondere auf die späte Initiierung der Ernährungstherapie, als auch auf die zu geringen Zufuhr von Kalorien und Protein zurückzuführen. Während die Guideline der European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) als Ziel eine Initiierung der enteralen Ernährung innerhalb der ersten 24 Stunden empfiehlt [55], erhalten auf Intensivstationen tatsächlich etwa nur zwei Drittel aller Patienten eine Ernährungstherapie in den ersten 48 Stunden, oftmals auch zu einem weitaus späteren Zeitpunkt.

Laut aktueller Empfehlungen sollten Patienten auf der Intensivstation etwa 25–30 kcal/kg/d Kalorien und 1,5–2,5 g/kg/d Protein erhalten [55], allerdings zeigten Studien bei kritisch kranken, herzchirurgischen Patienten, dass die im Mittel tatsächlich ermittelte Kalorienzufuhr innerhalb der ersten 3 Tagen nur etwa 3 kcal/kg/d betrug, was auf ein dramatisches Defizit hinweist [56]. Der weitere Aufbau der Ernährungstherapie gestaltet sich auf Intensivstationen ebenfalls oft nur sehr protrahiert. Bis zum dritten Behandlungstag erhalten nur rund 30 %, bis zum 12. Tag nur etwa 70 % aller Patienten eine kalorisch adäquate Ernährung im Vergleich zu den internationalen Empfehlungen [57, 58].

Generell ist eine enterale Ernährungszufuhr immer vorzuziehen, sofern keine Kontraindikationen vorliegen (intestinale Obstruktion oder Ileus, schwerer Schock/hämodynamische Instabilität, intestinale Ischämie und schwere gastrointestinale Blutung) [59]. Enterale Ernährung wird besser toleriert, wenn keine Überwässerung (nach akuter Schockbehandlung) oder Ödembildung vorliegt, welche der Hauptrisikofaktor für die Entwicklung eines postoperativen Ileus und einer Magenatonie ist. Mobilisation und die Verabreichung von Prokinetika führen ebenfalls zur besseren propulsiven Funktion des

Gastrointestinaltraktes [60]. Durch Anlage einer postpylorischen Sonde bei pylorischer Dysfunktion kann mehr Ernährung appliziert und absorbiert und das Aspirationsrisiko gastraler Restmengen minimiert werden.

Bei Patienten mit vorliegender Tracheotomie und/oder vorliegender Dysphagie besteht zusätzlich eine hohe Gefahr der Aspiration. Wird eine anhaltende enterale Ernährung von mehr als 3–6 Wochen erwartet, kann frühzeitig die Indikation zur PEG- bzw. PEJ-Anlage gestellt werden.

Besteht bereits eine schwere Malnutrition und kann mittels enteraler Ernährung nicht adäquat eine Kalorienaufnahme erzielt werden, sollte bereits innerhalb von 24 Stunden eine parenterale Ernährung begonnen werden [61]. Die potentiellen Vor- und Nachteile der enteralen und parenteralen Ernährung sind in **Tab. 4.6** zusammengefasst.

#### 4.8.2 Zusammensetzung der Ernährung

Aktuell werden zwischen 25 und 30 kcal/kg Energie und 1,5 g Protein pro Kilogramm Idealgewicht für alle kritisch kranken Patienten unabhängig vom präoperativen Ernährungsstatus und der Applikationsform der Ernährung empfohlen [54, 60]. Die ASPEN hingegen empfiehlt für Patienten mit BMI > 30 eine geringere Supplementierung von Energie (22–25 kcal/kg) und höhere Verabreichung von über 2 g/kg Idealgewicht Protein [61].

In der Ernährungstherapie von Intensivpatienten hat die adäquate Proteinzufuhr zunehmenden Stellenwert, um die sonst katabole Stoffwechsellage zu verhindern und gar im Gegenzug eine anabole Phase zu ermöglichen [60]. Bestenfalls sollten also Energie- und Proteinbedarf gedeckt sein.

Die Rolle von immunwirksamen Nährstoffen bei Patienten in der Weaning-Phase ist bisher nicht untersucht. Verschiedene Nährstoffe, wie Aminosäuren, Glutamin, Arginin, oder Lipide wie Omega-3-Fettsäuren, Mikronährstoffe wie Selen und Zink sowie die Vitamine A, C, D und

■ **Tab. 4.6** Vor- und Nachteile der enteralen und parenteralen Ernährung

Vorteile Enterale Ernährung	Vorteile Parenterale Ernährung
„via naturalis“ Erhalt von Struktur und Funktion des GI-Traktes Verhinderung bakterieller Translokation Verbesserung enteraler Perfusion Enterale Vasodilatation	Weniger Hypoglykämien Weniger gastrointestinale Komplikationen Schnelleres Erreichen des Ernährungszieles Schnellere Bioverfügbarkeit
Nachteile Enterale Ernährung	Nachteile Parenterale Ernährung
Meist hypokalorisch Häufig Unterbrechungen (Interventionen, Operationen) Gesteigerter enteraler Sauerstoffverbrauch Magendarmatonie: Erbrechen, gastrales Restvolumen, Obstipation, Aspiration Gastrointestinale Ischämie: bakterielle Translokation	Unphysiologisch Überernährung mit möglichen Komplikationen Blutstrominfektionen Leberwerterhöhung Hyperglykämie

E sind Beispiele für solche Schlüsselnährstoffe. Bei Applikation von Fischöl konnte eine signifikant reduzierte biologische und klinische Inflammationsreaktion beobachtet werden geringere Infektionsraten, kürzere Beatmungsdauer und kürzere Krankenhausverweildauer gezeigt werden [62]. Große klinische Studien fehlen aber noch in diesem Kontext.

In der klinischen Praxis sind Häufig genutzte Parameter für die Beurteilung des Ernährungszustandes das Gewicht, die Stickstoffbalance, die Bestimmung des Serum-Albumins, aber auch die Untersuchung der Stärke des Händedrucks, und Messung des Extremitäten-Umfangs. Zudem sollten zur metabolischen Kontrolle die Erhaltung der Normoglykämie, der zielgerichtete Ersatz von Elektrolyten nach Laborwerten und die Anpassung der oralen Ernährung an die individuelle Toleranz des Patienten beachtet werden.

## Literatur

- [1] Hess DR, Altobelli NR (2014) Tracheostomy tubes. *Respir Care* 59:956–973
- [2] Prosielg M (2012) Neurogene Dysphagien. In: Diener H, Weimar C (Hrsg) Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie – Herausgegeben von der Kommission „Leitlinien“ der Deutschen Gesellschaft für Neurologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- [3] Bekanntmachungen – Amtliche Mitteilungen (2013) Prävention der nosokomialen beatmungsassoziierten Pneumonie Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut. *Bundesgesundheitsbl* 56:1578–1590
- [4] Mallick A, Bodenham A, Elliot S et al (2008) An investigation into the length of standard tracheostomy tubes in critical care patients. *Anaesthesia* 63:302–306
- [5] Srinet P, Van Daele DJ, Adam SI et al (2015) A biomechanical study of hyoid bone and laryngeal movements during swallowing comparing the Blom low profile voice inner cannula and Passy-Muir one way tracheotomy tube speaking valves. *Dysphagia* 6:723–729
- [6] Adam SI, Srinet P, Aronberg RM et al (2015) Verbal communication with the Blom low profile and Passy-Muir one-way tracheotomy tube speaking valves. *J Commun Disord* 56:40–46
- [7] Garguilo M, Leroux K, Lejaille M et al (2013) Patient-controlled positive end-expiratory pressure with neuromuscular disease: effect on speech in patients with tracheostomy and mechanical ventilation support. *Chest* 143:1243–1251
- [8] Prigent H, Orlikowski D, Blumen MB et al (2006) Characteristics of tracheostomy phonation valves. *Eur Respir J* 27:992–996
- [9] Schönhofer B, Geiseler J, Dellweg D et al (2014) Prolongiertes Weaning. S2k-Leitlinie herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. *Pneumologie* 68:19–75

- [10] Marchese S, Corrado A, Scala R et al (2010) Tracheostomy in patients with long-term mechanical ventilation: a survey. *Respir Med* 104:749–753
- [11] Dellweg D, Barchfeld T, Haidl P et al (2007) Tracheostomy decannulation: implication on respiratory mechanics. *Head Neck* 29:1121–1127
- [12] Epstein SK, Ciubotaru RL (1998) Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am J Respir Crit Care Med* 158:489–493
- [13] Donaldson SH, Bennett W, Zeman KL et al (2006) Mucus clearance and lung function in cystic fibrosis with hypertonic saline. *N Engl J Med* 354: 241–250
- [14] American Association for Respiratory Care; Restrepo RD, Brown JM 2nd, Hughes JM (2010) AARC Clinical Practice Guidelines. Endotracheal suctioning of mechanically ventilated patients with artificial airways 2010. *Respir Care* 55:758–764
- [15] Finder JD, Birnkrant D, Carl J, Farber HJ, Gozal D, Iannaccone ST, Kovesi T, Kravitz RM, Panitch H, Schramm C, Schroth M, Sharma G, Sievers L, Silvestri JM, Sterni L; American Thoracic Society (2004) Respiratory care of the patient with Duchenne muscular dystrophy. *Am J Respir Crit Care Med* Vol 170:456–465
- [16] Strickland SL, Rubin BK, Haas CF et al (2015) AARC clinical practice guideline: effectiveness of pharmacologic airway clearance therapies in hospitalized patients. *Respir Care* 60:1071–1077
- [17] Levine S, Nguyen T, Taylor N, et al (2008) Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 358:1327–1335
- [18] Hudson MB, Smuder AJ, Nelson WB, et al (2012) Both high level pressure support ventilation and controlled mechanical ventilation induce diaphragm dysfunction and atrophy. *Crit Care Med* 40:1254–1260
- [19] Jones S, Man WDC, Gao W, Higginson IJ, Wilcock A, Maddocks M (2016) Neuromuscular electrical stimulation for muscle weakness in adults with advanced disease. *Cochrane Database Syst Rev* 10:CD009419
- [20] Koch RL (2007) Therapist driven protocols: a look back and moving into the future. *Crit Care Clin* 23(2):149–159
- [21] Zielske J, Bohne S, Brunkhorst FM, Axer H, Guntinas-Lichius O (2014) Acute and long-term dysphagia in critically ill patients with severe sepsis: results of a prospective controlled observational study. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 271(11):3085–3093
- [22] El Solh A, Okada M, Bhat A, Pietrantonio C (2003) Swallowing disorders post orotracheal intubation in the elderly. *Intensive Care Med* 29(9):1451–1455
- [23] Macht M, Wimbish T, Clark BJ, et al (2011) Postextubation dysphagia is persistent and associated with poor outcomes in survivors of critical illness. *Critical Care* 15(5):R231
- [24] Skoretz SA, Flowers HL, Martino R (2010) The incidence of dysphagia following endotracheal intubation: a systematic review. *Chest* 137:665–673
- [25] Dasgupta A, Rice R, Mascha E et al (1999) Four-year experience with a unit for long-term ventilation (respiratory special care unit) at the Cleveland Clinic Foundation. *Chest* 116:447–455
- [26] Donzelli J, Brady S, Wesling M et al (2001) Simultaneous modified Evans blue dye procedure and video nasal endoscopic evaluation of the swallow. *Laryngoscope* 111:1746–1750
- [27] Belafsky PC, Blumenfeld L, Lepage A et al (2003) The accuracy of the modified Evan's blue dye test in predicting aspiration. *Laryngoscope* 113:1969–1972
- [28] Rosenbek JC, Robbins JA, Roecker EB, Coyle JL, Wood JL (1996)(1996) A penetration-aspiration scale. *Dysphagia* 11:93–98
- [29] Schönhofer B, Barchfeld T, Haidl P et al (1999) Scintigraphy for evaluating early aspiration after enteral feeding in patients receiving prolonged ventilation via tracheostomy. *Intensive Care Med* 25:311–314
- [30] Suiter DM, Mccullough GH, Powell PW (2003) Effects of cuff deflation and one-way tracheostomy speaking valve placement on swallow physiology. *Dysphagia* 18:284–292
- [31] Conway DH, Mackie C (2004) The effects of tracheostomy cuff deflation during continuous positive airway pressure. *Anaesthesia* 59(7):652–657
- [32] Morris L, Bedon A, McIntosh E, Whitmer A (2015) Restoring speech to tracheostomy patients. *Critical Care Nurse* 35(6):13–28
- [33] Davydow DS, Zatzick D, Hough CL, Katon WJ (2013) A Longitudinal Investigation of Posttraumatic Stress and Depressive Symptoms over the Course of the Year Following Medical-Surgical Intensive Care Unit Admission. *General Hospital Psychiatry* 35:226–232
- [34] Kapfhammer HP, Rothenhäusler HB, Krauseneck T, Stoll C, Schelling G (2004) Posttraumatic stress disorder and health-related quality of life in long-term survivors of acute respiratory distress syndrome. *Am J Psychiatry* 161:45–52
- [35] DELIRIUM-CS Investigators\*; Canadian Cardiovascular Critical Care Society Investigator Group and the Canadian Critical Care Trials Group (2017) Incidence of delirium after cardiac surgery: protocol for the DELIRIUM-CS Canada cross-sectional cohort study. *CMAJ Open* 5(3):E565–E569
- [36] Höchster D, Tomasi R, Von Dossow V (2016) Das Delir – Prophylaxe und Behandlung. *Anästhesiologie Intensivmed* 57:24–30
- [37] Ely EW, Shintani A, Truman B, Speroff T, Gordon SM, Harrell FE, Inouye SK, Bernard GR, Dittus RS (2004)

- Delirium as a predictor of mortality in mechanically ventilated patients in the intensive care unit. *JAMA* 291:1753–1762
- [38] Ely EW, Margolin R, Francis et al (2001) Evaluation of delirium in critically ill patients: validation of the Confusion Assessment Method for the Intensive Care Unit (CAM-ICU). *Crit Care Med* 29:1370–1379
- [39] DAS-Taskforce 2015; Baron R, Binder A, Biniek R, Braune S, Buerkle H, Dall P, Demirakca S, Eckardt R, Eggers V, Eichler I, Fietze I, Freys S, Fründ A, Garten L, Gohrbandt B, Harth I, Hartl W, Heppner HJ, Horter J, Huth R, Janssens U, Jungk C, Kaeuper KM, Kessler P, Kleinschmidt S, Kochanek M, Kumpf M, Meiser A, Mueller A, Orth M, Putensen C, Roth B, Schaefer M, Schaefer S, Schellongowski P, Schindler M, Schmitt R, Scholz J, Schroeder S, Schwarzmann G, Spies C, Stingele R, Tonner P, Trieschmann U, Tryba M, Wappler F, Waydhas C, Weiss B, Weishaar G (2015) Evidence and consensus based guideline for the management of delirium, analgesia, and sedation in intensive care medicine. Revision 2015 (DAS-Guideline 2015) – short version. *Ger Med Sci* 13:Doc19
- [40] Weinert C, Meller W (2006) Epidemiology of depression and antidepressant therapy after acute respiratory failure. *Psychosomatics*. 47(5):399–407
- [41] Wewalka M, Warszawska J, Strunz V, Kitzberger R, Holzinger U, Fuhrmann V, Zauner C, Miehsler W, Moser G (2015) Depression as an independent risk factor for mortality in critically ill patients. *Psychosom Med* 77(2):106–113
- [42] Chlan L, Savik K (2011) Patterns of anxiety in critically ill patients receiving mechanical ventilator support. *Nurs Res* 60(3 Suppl):S50–S57
- [43] Hetland B, Lindquist R, Weinert CR, Peden-McAlpine C, Savik K, Chlan L (2017) Predictive associations of music, anxiety, and sedative exposure on mechanical ventilation weaning trials. *Am J Crit Care* 26(3):210–220
- [44] Liang Z, Ren D, Choi J, Happ MB, Hravnak M, Hoffman LA (2016) Music intervention during daily weaning trials-A 6 day prospective randomized crossover trial. *Complement Ther Med* 29:72–77
- [45] Parker AM, Sricharoenchai T, Raparla S, Schneck KW, Bienvenu OJ, Needham DM (2015) Posttraumatic stress disorder in critical illness survivors: a metaanalysis. *Crit Care Med* 43(5):1121–1129
- [46] Jubran A, Lawm G, Kelly J, Duffner LA, Gungor G, Collins EG, Lanuza DM, Hoffman LA, Tobin MJ (2010) Depressive disorders during weaning from prolonged mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 36(5):828–835
- [47] Jubran A, Lawm G, Duffner LA, Collins EG, Lanuza DM, Hoffman LA, Tobin MJ Post-traumatic stress disorder after weaning from prolonged mechanical ventilation. *Intensive Care Med*. 36(12):2030–2037
- [48] Baumbach P, Meissner W, Guenther A, Witte OW, Götz T (2016) Perceived cognitive impairments after critical illness: a longitudinal study in survivors and family member controls. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica* 60:1121–1130
- [49] Wu WC, Schiffner TL, Henderson WG et al (2007) Preoperative hematocrit levels and postoperative outcomes in older patients undergoing noncardiac surgery. *JAMA* 297:2481–2488
- [50] Lai YC, Ruan SY, Huang CT, Kuo PH, Yu CJ (2013) Hemoglobin levels and weaning outcome of mechanical ventilation in difficult-to-wean patients: a retrospective cohort study. *PLoS One* 8(8):e73743
- [51] Schönhofer B, Wenzel M, Geibel M, Köhler D (1998) Blood transfusion and lung function in chronically anemic patients with obstructive pulmonary disease. *Crit Care Med* 28:1824–1828
- [52] Toy P, Popovsky MA, Abraham E, Ambruso DR, Honness LG, Kopko PM, et al (2005) Transfusion-related acute lung injury: definition and review. *Crit Care Med* 33:721–726
- [53] Glück D, Kubanek B, Maurer C, Petersen P (1998) Seroconversion of HIV, HCV, and HBV in blood donors in 1996 – risk of virus transmission by blood products in Germany. A multicenter study of the Berufsverband Deutscher Transfusionsmediziner e. V. *Infusionstherapie und Transfusionsmedizin* 25:82–84
- [54] Müller MM, Geisen C, Zacharowski K, Tonn T, Seifried E (2015) Transfusion of packed red cells—indications, triggers and adverse events. *Dtsch Arztebl Int* 112(29–30):507–18
- [55] Weimann A, Braga M, Carli F, Higashiguchi T, Häbner M, Klek S, Laviano A, Ljungqvist O, Lobo DN, Martindale R, Waitzberg DL, Bischoff SC, Singer P (2017) Espen guideline: clinical nutrition in surgery. *Clin Nutr* 36:623–650
- [56] Berger MM, Revelly JP, Cayeux MC, Chioloro RL (2005) Enteral nutrition in critically ill patients with severe hemodynamic failure after cardiopulmonary bypass. *Clin Nutr* 24(1):124–32
- [57] Cahill NE, Dhaliwal R, Day AG, Jiang X, Heyland DK (2010) Nutrition therapy in the critical care setting: what is „best achievable“ practice? An international multicenter observational study. *Crit Care Med* 38:395–401
- [58] Rahman A, Agarwala R, Martin C, Nagpal D, Teitelbaum M, Heyland DK (2016) Nutrition therapy in critically ill patients following cardiac surgery: defining and improving practice. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 41(7):1188–1194
- [59] Cresci G, Hummel AC, Raheem SA, Cole D (2012) Nutrition intervention in the critically ill cardiothoracic patient. *Nutr Clin Pract* 27:323–334
- [60] Chelsia Gillis C, Carli F (2015) Promoting perioperative metabolic and nutritional care. *Anesthesiology* 123:1455–1472
- [61] McClave SA, Martindale RG, Vanek VW, McCarthy M, Roberts P, Taylor B, Ochoa JB, Napolitano L,

- Cresci G, A.S.P.E.N. Board of Directors, American College of Critical Care Medicine, and Society of Critical Care Medicine (2009) Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of critical care medicine (SCCM) and american society for parenteral and enteral nutrition (A.S.P.E.N.). *J Parenter Enteral Nutr* 33:277–316
- [62] Landis RC, Brown JR, Fitzgerald D, Likosky DS, Shore-Lesserson L, Baker RA, Hammon JW (2014) Attenuating the systemic inflammatory response to adult cardiopulmonary bypass: a critical review of the evidence base. *J Extra Corpor Technol* 46:197–211



# Weaningversagen

*Jan Hendrik Storre und Christian Brülls*

- 5.1 **Überleitmanagement – 62**
- 5.2 **Außerklinische Beatmung – 65**
- 5.3 **Medizinische Hilfsmittel – 68**
- 5.4 **Medizinische Nachsorge – 69**
- 5.5 **Leben mit und nach Langzeitbeatmung – 71**
- Literatur – 73**

Ist ein erfolgreiches Weaning nicht möglich, besteht die Notwendigkeit, dass Therapieziel mit Fortführung einer außerklinischen Beatmung mit dem betreffenden Patienten abzustimmen. Um eine weitere sichere Versorgung auch außerhalb eines Krankenhauses sicherzustellen, ist die Einleitung eines Überleitprozesses, die Organisation einer geeigneten Unterstützung ggf. mit einem Pflegedienst sowie die Bereitstellung der benötigten Hilfsmittel und Schulungen zwingende Voraussetzungen. Ebenso ist eine Anbindung an ein Beatmungszentrum oder geeignete Fachärzte sinnvoll, um die medizinische Versorgung bei Problemen oder klinischer Verschlechterung mit erneutem Behandlungsbedarf abzusichern.

5

## 5.1 Überleitmanagement

Das Überleitmanagement erhält insbesondere bei Patienten mit Weaningversagen (Kategorie 3C, erfolgloses Weaning) einen sehr großen Stellenwert. Bevor dieser Prozess initiiert wird, sollten alle Möglichkeiten des Weanings ausgeschöpft worden sein. Die Klassifizierung eines Weaningversagens bedeutet für den Patienten und seine Angehörigen einen massiven Einschnitt in seine Lebensführung und eine Abhängigkeit von Hilfsmitteln und Betreuung durch Pflegedienste. Zum anderen ist die Etablierung einer außerklinischen invasiven Beatmung mit erheblichen Kosten für das Gesundheitssystem verbunden. Die Entscheidung, dass ein Weaningversagen vorliegt, sollte deshalb im Idealfall durch ein Weaningzentrum festgelegt oder konsiliarisch durch dieses bestätigt werden. Bei dem Überleitmanagement in die außerklinische Beatmung ist i. d. R. dann ein Team aus verschiedenen Personen (Ärzte, Fachpfleger, Mitarbeitern des Sozialdienstes, Atmungstherapeut, Physiotherapeut, Logopäde oder auch Psychologe) beteiligt, wobei die Hauptverantwortung der Organisation beim betreuenden Arzt liegt.

Das Überleitteam ist ebenso bei Patienten mit prolongiertem Weaning und der Notwendigkeit einer Fortführung einer außerklinischen nicht-invasiven Beatmung (Kategorie

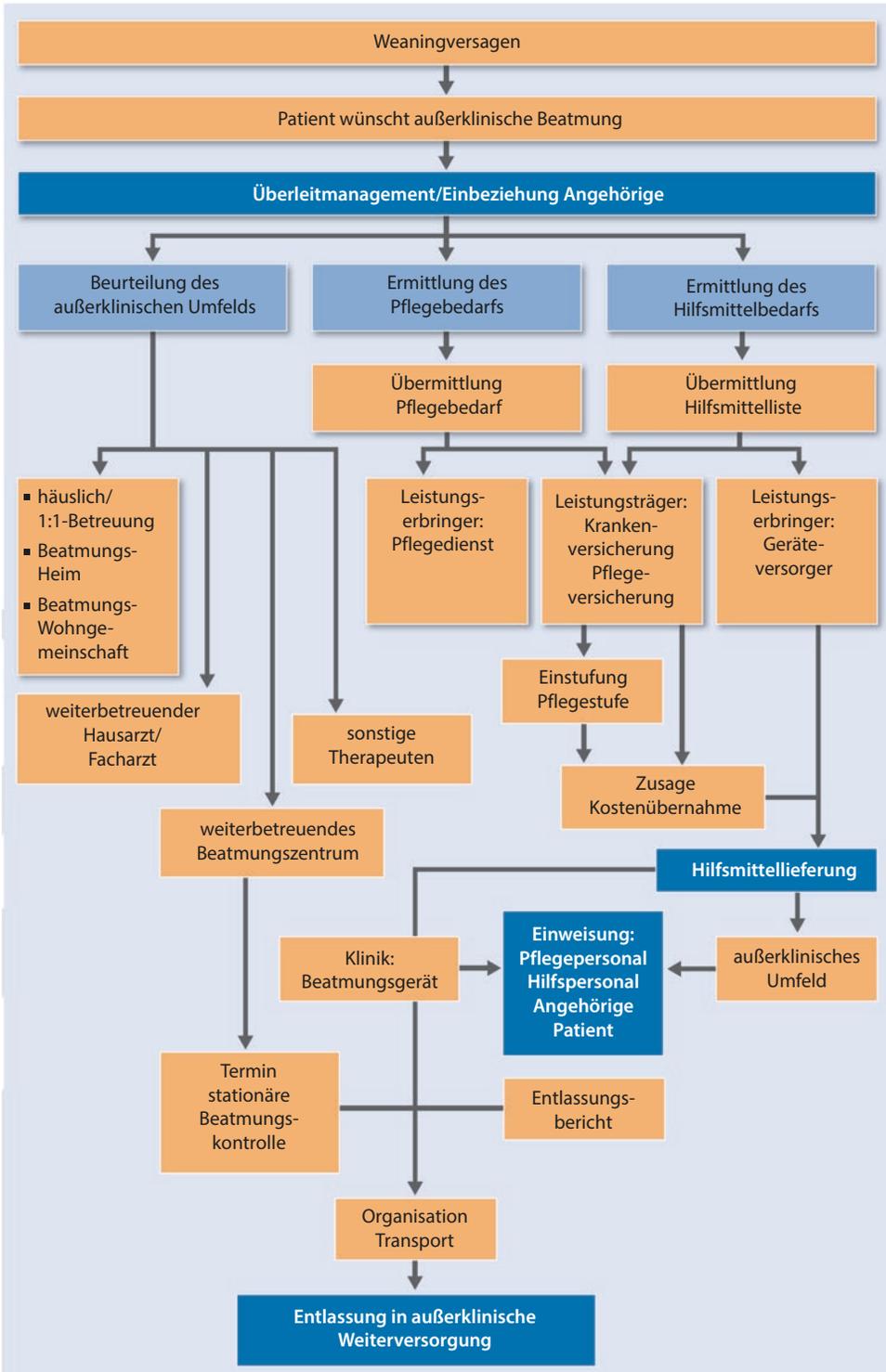
3B, prolongiertes Weaning mit NIV) gefordert, bei denen i. d. R. kein Pflegedienst außerklinisch tätig wird. Es muss hier beachtet werden, dass die Patienten und ggf. Angehörige an den außerklinisch notwendigen Hilfsmitteln, wie die Beatmungsgeräte oder Sauerstoffgeräte, gut geschult werden, damit die Therapie effektiv und mit guter Compliance auch nach Verlassen des Krankenhauses fortgeführt werden kann.

### ■ Voraussetzungen für die Etablierung einer außerklinischen Beatmung

Das Überleitmanagement sollte erst eingeleitet werden, wenn verschiedene Voraussetzungen erfüllt sind, welche sowohl medizinische als auch organisatorische oder technische Aspekte berücksichtigen (▣ [Abb. 5.1](#)).

- **Vor einer Entlassung in die invasive außerklinische Beatmung müssen medizinische, technische und organisatorische Voraussetzungen erfüllt sein. Für die Organisation dieser Voraussetzungen ist der betreuende Arzt zuständig. Der Überleitprozess ist zeit- und arbeitsintensiv und sollte bei invasiv-beatmeten Patienten mindestens 2 Wochen vor der geplanten Entlassung initiiert werden.**

Zu den medizinischen Voraussetzungen gehört, dass in den kommenden Wochen keine Fortschritte im Weaning zu erwarten sind und der Weaningprozess vorerst abgeschlossen werden muss. Dies schließt ein, dass alle Möglichkeiten der Beatmungsentwöhnung ausgeschöpft wurden, wie z. B. Durchführung einer Rehabilitationsmaßnahme oder auch die Umstellung auf eine nicht-invasive Beatmung evaluiert wurden. Bevor die Patienten entlassen werden, sollte eine stabile Situation der Beatmung von mindestens einer Woche bestehen. Die Grund- und Begleiterkrankungen des Patienten, die zur aktuellen Gesamtsituation geführt haben, müssen ausreichend behandelt und stabilisiert sein. Die Patienten dürfen nur in hämodynamisch stabilen Zustand in die außerklinische Versorgung entlassen werden. Die Nierenfunktion



■ **Abb. 5.1** Ablauf der Überleitung in die außerklinische Beatmung. (Aus Callegari [1]. Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Thieme Verlages)

muss stabil oder bei dialysepflichtigen Patienten die außerklinische Anbindung an ein Dialysezentrum organisiert sein. Ebenso muss die Ernährung oral oder enteral über (perkutane) Ernährungs sonden sichergestellt sein. Ein stabiler Beatmungszugang über ein Tracheostoma muss bei der Überleitung vorliegen, weshalb für die außerklinische Beatmung ein epithelialisiertes und operativ angelegtes Tracheostoma indiziert ist.

Bei der außerklinischen Versorgung invasiv-beatmeter Patienten müssen zudem einige technische Voraussetzungen beachtet werden. Die erforderlichen Hilfsmittel und Materialien (► **Abschn. 5.3.**) müssen von Seiten des Kostenträgers genehmigt und am zukünftigen Aufenthaltsort bereitgestellt werden. Die Patienten, deren Angehörige sowie der beteiligte Pflegedienst muss in der Anwendung und Bedienung der notwendigen Hilfsmittel geschult sein und diese sicher bedienen können.

Gerade bei einer Fortführung einer NIV ohne Beteiligung eines Pflegedienstes müssen diese technischen Voraussetzungen besondere Berücksichtigung finden, um die sicherere Anwendung durch die Patienten und/oder den Angehörigen zu gewährleisten.

Zu den organisatorischen Voraussetzungen gehört, dass die Patienten und Angehörige vom Überleitteam (z. B. zuständige Sozialdienst oder Pflegeberatung) über die verschiedenen Optionen einer außerklinischen Versorgung informiert wurden. Die Patienten sollten bei Bedarf einer außerklinisch invasiven Beatmung objektiv über die Vor-, aber auch Nachteile einer Unterbringung im häuslichen Umfeld, einer Wohngemeinschaft oder auch einem Beatmungsheim aufgeklärt werden. Darüber hinaus muss ein ausführlicher Arztbericht und Überleitbogen erstellt werden, aus dem die weiterbetreuenden außerklinischen Ärzte und Pflegeinstitutionen über den medizinischen Verlauf und über den Bedarf an Hilfsmitteln und außerklinischer Pflege genau informiert werden. Um den Patienten sicher in seine neue Umgebung zu verlegen, muss zudem ein geeigneter Transfer (ggf. ein Intensivtransport mit Arztbegleitung) organisiert sein.

Der Prozess einer qualitativen Überleitung ist aufgrund der verschiedenen Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, sehr zeitaufwendig (■ **Abb. 5.1**). Aus diesem Grund wird empfohlen, den Überleitprozess bei außerklinisch invasiv-beatmeten Patienten mindestens 14 Tage vor einer geplanten Entlassung zu beginnen. Je nach lokalen Gegebenheiten kann dies auch deutlich mehr Zeit beanspruchen, wenn z. B. ein geeignetes Pflgeteam nicht zeitnah zu organisieren ist. Dies kann gerade in ländlicheren Regionen zu einer speziellen Herausforderung werden. Ebenso benötigt der verantwortliche Kostenträger Zeit, die verschiedenen Anträge für den Pflege- oder auch Hilfsmittelbedarf zu prüfen und eine Kostenzusage auszustellen.

Die vom Patienten benötigten Pflege- und Hilfsmittel sowie die Behandlungspflege und notwendigen medizinischen Maßnahmen müssen für die außerklinische Versorgung genau definiert und dokumentiert werden. Hierfür wird die Durchführung einer Überleitkonferenz durch das Überleitteam empfohlen, welche den Bedarf interdisziplinär festlegt. Die für die außerklinische Versorgung notwendigen Mittel sowie durchzuführende Maßnahmen müssen dann gemeinsam mit einer zusätzlichen Stellungnahme des verantwortlichen Arztes in Form eines Überleitbogens an den Kostenträger übermittelt werden. Eine Empfehlung für einen Überleitbogen wurde im Jahr 2013 durch den Koordinationskreis außerklinische Beatmung publiziert (Anhang, ► **Abschn. 5.1**). Einige Kostenträger stellen zu diesem Zweck auch eigene Überleitbögen zur Verfügung. Ein ausführlicher Arztbericht inklusive Angaben über den Beatmungsbedarf und Einsatz der Hilfsmittel muss diese Dokumente ergänzen. Patienten bzw. seine Angehörigen, das künftig betreuenden Pflgeteam und auch Lieferanten für die Hilfsmittel müssen über die genannten notwendigen Maßnahmen informiert bzw. aufgeklärt werden (■ **Abb. 5.1**). Dadurch wird sichergestellt, dass die komplexe medizinische außerklinische Versorgung der Patienten qualitativ hochwertig vorbereitet ist und die Versorgung dort entsprechend übernommen werden kann. Ein wichtiger Aspekt ist, dass ein ausführlicher

Entlassungsbericht erstellt wird, aus dem der Hintergrund hervorgeht, warum der Patient nicht erfolgreich entwöhnt werden konnte und ob nicht im weiteren Verlauf mit einem erneuten Weaningpotenzial gerechnet werden kann. Für diese Patientengruppe ist ein regelmäßiger Kontakt zu einem Weaningzentrum entscheidend, um den Weaningprozess ggf. im Verlauf wiederaufzunehmen (► [Abschn. 5.4](#), medizinische Nachsorge). Ein Kontrolltermin der außerklinischen Beatmung ist i. d. R. in den ersten 3 Monaten nach der Entlassung notwendig und sollte bereits im Rahmen der Überleitung vereinbart werden. Eine Empfehlung für einen Überleitungsbogen findet sich unter Randerath et al. [2].

## 5.2 Außerklinische Beatmung

Ein Patient, der aus einem Beatmungszentrum in eine häusliche Umgebung verlegt wird, benötigt eine kombinierte Hilfe aus qualifizierter Pflege, ärztlicher Mitbetreuung, ein angepasstes Beatmungsgerät und eine ausreichende Menge an Hilfsmitteln wie z. B. ein Sauerstoffgerät oder eine Absaugvorrichtung (► [Abschn. 5.3](#)). Diese kurze Aufzählung verdeutlicht bereits die Komplexität einer außerklinischen Beatmungssituation. Es entsteht mit der Entlassung die Herausforderung, dass die im Krankenhaus intensivmedizinisch überwachten Patienten in eine häusliche Umgebung oder Pflegeheimumgebung ohne dauernde Anwesenheit eines Arztes entlassen werden.

Pflege mit Beatmung im außerklinischen Umfeld des Patienten ist im Sozialgesetzbuch V geregelt: „Nicht im Leistungsverzeichnis aufgeführte Maßnahmen der häuslichen Krankenpflege im Sinne von § 37 SGB V sind in medizinisch zu begründenden Ausnahmefällen verordnungs- und genehmigungsfähig, wenn sie Bestandteil des ärztlichen Behandlungsplans sind, im Einzelfall erforderlich und wirtschaftlich sind und von geeigneten Pflegekräften erbracht werden sollen.“ Wichtig in diesem Zusammenhang ist, dass eine ärztliche Therapie

nicht genehmigungsfähig ist, ein „Weaning zu Hause“ daher nicht verordnet werden kann, die Pflege eines beatmeten Patienten jedoch in Ausnahmefällen.

Ein zentraler Punkt ist die Anpassung und die Versorgung des Patienten mit einem Beatmungsgerät, zur nicht-invasiven Beatmung über eine Maske oder invasiven Beatmung über ein Tracheostoma mit Trachealkanüle.

Alle Geräte müssen in einem Weaningzentrum/Beatmungszentrum an den Patienten angepasst werden und die behandelnden Ärzte sowohl im Krankenhaus als auch in der häuslichen Versorgung benötigen dazu eine ausreichende Erfahrung mit diesem besonderen Patientengut. Eine geeignete Beatmungseinstellung benötigt oftmals eine Modifikation über einige Tage, bis sowohl physiologische Parameter erreicht und eine Anpassung an den individuellen Patienten erfolgt sind. Modifikationen der Beatmungsparameter, Beatmungsmodi oder ein Gerätewechsel sind in der ärztlichen Verantwortung und dürfen diesbezüglich nur durch einen im Umgang mit der Beatmung erfahrenen Arzt, im besten Fall innerhalb eines Krankenhauses durchgeführt werden. Ambulant versorgende Ärzte, die aufgrund ihrer klinischen Erfahrung und Ausbildung diese Patienten betreuen können, sind jedoch in Deutschland selten, da die außerklinische Beatmung in der Breite erst etabliert wird. Gegebenenfalls sollten über das Weaningzentrum eine Schulung und Anbindung der Kollegen/innen und Einweisung in die verordneten Geräte erfolgen. I. d. R. sind zum aktuellen Zeitpunkt in Deutschland Rückverlegungen in das Krankenhaus für die Adjustierung der Therapie oder bei akuten Problemen notwendig. Alle mit dem Gerät arbeitenden Personen (Pfleger, Ärzte) müssen nach Medizinproduktegesetz in diese eingewiesen sein.

### ■ Beatmungsgeräte

Beatmungsgeräte, die im häuslichen oder pflegerischen Umfeld Verwendung finden, müssen trotz der Ähnlichkeit zu Intensivrespiratoren und ihren Modi einige Besonderheiten

aufweisen, die sie von einer zentralen Gasversorgung und Notfallstromversorgung unabhängig machen. Patienten, die mehr als 16 h pro Tag beatmet werden, benötigen immer 2 Beatmungsgeräte, um im Falle einer Dysfunktion sofortigen Ersatz vor Ort zu haben.

Im Gegensatz zu Intensivrespiratoren, die ein Zweischlauchsystem zur Beatmung nutzen, sind Geräte zu außerklinischen Beatmung meist mit einem Einschlauchsystem versehen. Dadurch wird die Trennung zwischen Inspirations- und Expirationsluft aufgehoben. Dies macht zwar die Nutzung einfacher (insbesondere, wenn nachts eine NIV appliziert wird), jedoch ist ein suffizienter Frischgasfluss und Atemwegsdruck unabdingbar, um eine Rückatmung von  $\text{CO}_2$  zu vermeiden. Dazu wird eine berechnete und definierte Undichtigkeit (definierte Leckage) im Schlauchsystem oder Gerät genutzt, um eine Clearance der Ausatemluft („Auswaschung“) zu erreichen. Die Geräte arbeiten über eine Turbine, die den nötigen Druck herstellen kann, die Nutzung von Gasanschlüssen oder einer Gasflasche entfällt dadurch und lediglich eine Stromquelle wird benötigt. Die Geräte verfügen über eine gewisse Akkulaufzeit, sodass auch ein Transport/Mobilisation am Gerät möglich ist. Die Applikation von Sauerstoff ist bei allen Geräten möglich, meist mit einem maximalen Fluss/Minute, die ins Atemgas eingespeist werden kann. Nicht regelmäßig ist eine Messung der inspiratorischen Sauerstofffraktion im Gerät vorhanden. Die Nomenklaturen unterscheiden sich dabei von Hersteller zu Hersteller.

### ■ Monitoring der Beatmung

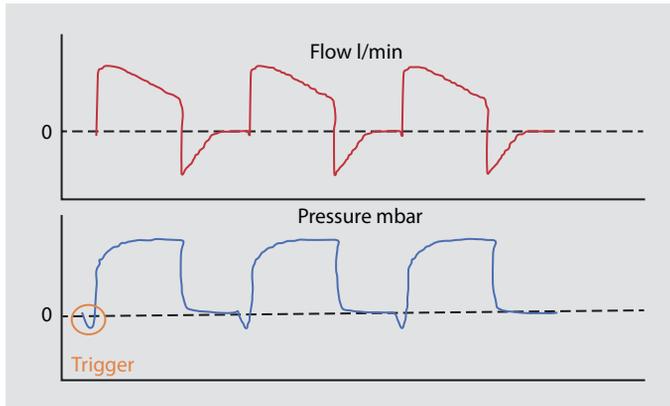
Das Verständnis des Monitorings einer Beatmung ist essentiell für die Erkenntnis etwaiger Systemfehler, die die Sicherheit des Patienten gefährden können. Beatmungsgeräte nutzen Drucksensoren und/oder Flowsensoren, um Tidalvolumina und applizierte inspiratorische und expiratorische Atemwegsdrücke zu messen und zu generieren. Verschiedene Varianten der Messung stehen zur Verfügung. Entweder wird über 2 Drucksensoren ein Druckgefälle gemessen, um über Integration den Flow zu berechnen.

Dagegen nutzen Intensivrespiratoren im Krankenhaus häufig ein Hitzeanemometer, welches mit 2 Heizdrähten funktioniert. Die Energie, die benötigt wird, um diese in einen fest definierten Abstand angebrachten Drähte wieder aufzuwärmen, nachdem das Atemgas diese unterschiedlich gekühlt hat, wird genutzt, um einen Flow zu berechnen. Diese Messungen finden am Gerät, ggf. am expiratorischen Schenkel statt, können demzufolge nur begrenzt eine Aussage über die tatsächlich vorhandenen Drücke in der Lunge oder abhängigen Lungenpartien liefern. Im Falle einer nicht-invasiven Beatmung ist zusätzlich der Verlust des Beatmungsdrucks durch Leckagen zu berücksichtigen. Die eingestellten und gemessenen Werte sind daher regelmäßig klinisch zu bewerten (suffiziente Decarboxylierung, Oxygenierung etc.) und sind Teil der ärztlichen Entlassprozedur und Überleitung.

Neben der Messung der durch das Gerät aufgebauten Drücke im Falle einer druckkontrollierten/druckunterstützten Beatmung und der applizierten Tidalvolumina (entweder als Steuergröße oder als Resultat einer Druckänderung) werden auch Druckveränderungen, die der Patient generiert, sowie die eigene Atemfrequenz des Patienten detektiert. Eine Messung der inspiratorischen Sauerstoffkonzentration kann über eine Sauerstoff-Zelle erfolgen.

### ■ Einstellung

Unabhängig von der Herstellernomenklatur sind die Geräte für die außerklinische Beatmung in der Lage, druck- und volumenkontrollierte Modi sowie eine assistierte Spontanatmung zu ermöglichen. Hybridmodi ermöglichen eine sog. Volumengarantie trotz einer primär druckkontrollierten Beatmung. Beide Modi (Druck-/Volumenkontrolle) sind als gleichwertig zu betrachten. Zusätzlich wird häufig eine Hintergrundfrequenz in assistierten Modi eingestellt, um eine Hypoventilation zu vermeiden. Dabei wird nomenklatorisch der positive end-expiratorische Druck als „expiratory positive airway pressure“ (EPAP) und der Inspirationsdruck als „inspiratory positive airway pressure“ (IPAP) bezeichnet. Die aus der Differenz beider Werte resultierende Druckunterschiede führen zur



■ **Abb. 5.2** Aufgetragen sind die Druck- und Flusskurven einer Druck-unterstützten Beatmung. Das Absinken des Druckes unter einen eingestellten Grenzwert führt zur Auslösung eines Atemhubes, im Falle eines Drucktriggers

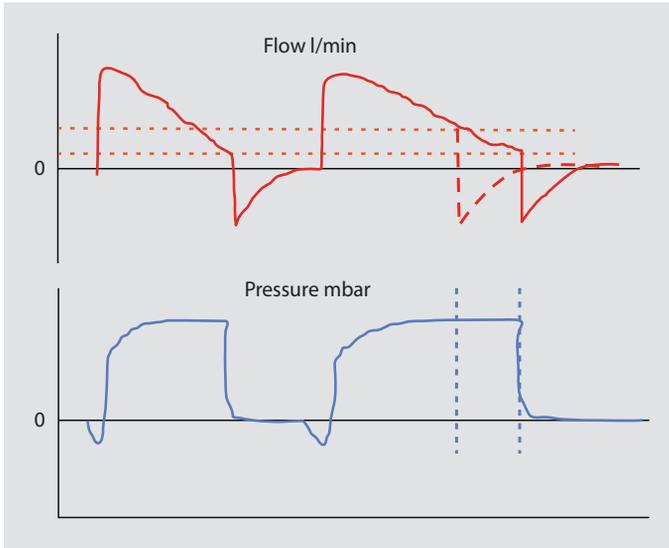
Applikation eines Tidalvolumens. Dabei muss bedacht werden, dass die Höhe des Tidalvolumens abhängig ist von der Compliance des respiratorischen Systems und daher Schwankungen unterliegen kann. Eine Verminderung der Compliance kann zur Hypoventilation führen, da mit einem identisch eingestellten Druckunterschied weniger Volumen appliziert wird. Dies kann z. B. bei einem Bronchospasmus, einer Atemwegsverlegung, einem erhöhten intraabdominellen Druck oder nach Lagerungsmanövern der Fall sein. Die Einstellung eines garantierten Zielvolumens über die Modulation des IPAP, bis das gemessene Tidalvolumen einen eingestellten Grenzwert überschreitet, kann eine Hypoventilation verhindern. Zusätzlich bieten alle Geräte einen Modus an, in dem ein rein kontinuierlicher Atemwegsdruck (continuous positive airway pressure, CPAP) appliziert wird, dieser wird meist bei Schlafapnoe mit intermittierender Verlegung der oberen Atemwege zur Offenhaltung eingesetzt.

Weitere entscheidende Stellgrößen sind die Einstellung expiratorischer und inspiratorischer Trigger. Inspirationstrigger ermöglichen die Einstellung, ab welcher Atemarbeit der Patient zu Beginn des Atemzuges eine Unterstützung durch das Beatmungsgerät erhält. Diese Trigger können Flow-/- oder Druck-gesteuert sein. Das heißt, dass ein Unterschreiten eines negativen Druckes oder ein Überschreiten

eines Flusses zur Auslösung eines Atemhubes mit dem eingestellten IPAP führt (■ **Abb. 5.2**). Je tiefer der Druck oder je höher der Fluss eingestellt wird, desto mehr Atemarbeit resultiert für den Patienten. Expirationstrigger terminieren den Beatmungshub. Die meisten Geräte bieten für den Expirationstrigger Adaptionen anhand des prozentualen Wertes des Spitzenflusses an. Patienten mit einer Obstruktion weisen einen langsameren Abfall des Spitzenflusses auf. Als Konsequenz hält das Beatmungsgerät den IPAP aufrecht, obwohl der Patient bereits in der Phase der Ausatmung ist (■ **Abb. 5.3**). Dies kann zur Asynchronität, Ventilator-induzierten Lungenschaden und einer verminderten Compliance des Patienten führen.

Zusätzlich kann die Flussgeschwindigkeit eingestellt werden, mit der das Volumen appliziert wird, dies wird von einigen Herstellern als „Rampe“ oder auch „Anstieg“ bezeichnet. Einstellungen können entweder über die Zeit, Zahlenwerte oder Sensitivitätsstufen vorgenommen werden.

Entscheidend für alle letztgenannten Adaptionsmöglichkeiten ist der Patientenkomfort, da nur auf diese Weise eine hohe Compliance der Beatmung und eine Protektion der Lunge vor zu hohen transpulmonalen Drücken und Überblähung erreicht wird. Diese Einstellungen werden vor der externen Verlegung vorgenommen, bedürfen aber gegebenenfalls der Adjustierung



▣ **Abb. 5.3** Flowtrigger als inspiratorische Terminierung eines Atemhubes („Expirationstrigger“): Das Gerät detektiert das Absinken des inspiratorischen Flows auf einen voreingestellten Grenzwert (linke Atemkurve, untere gepunktete orange Linie), die Aufrechterhaltung eines Druckniveaus wird beendet. Im rechten Beispiel würde der Patient ausatmen wollen (gestrichelte rote Linie), da aber nicht der eingestellte Trigger unterschritten wurde (untere gepunktete orange Linie) wird der Atemhub weiter appliziert. Ein Anheben des Expirationstriggers (obere gepunktete Linie) führt zu einer besseren Synchronisation

in der außerklinischen Situation. Die notwendige Ausrüstung für eine außerklinische Beatmung ist in **Tab. 5.1** zu finden.

#### ■ Alarme

Die Einstellung von Alarmen ist insbesondere bei von der Beatmung abhängigen Patienten lebenswichtig. Andererseits können bei nicht-abhängigen Patienten zu fein adjustierte Alarme und damit eine zu häufige Frequenz der Auslösung die Compliance des Patienten deutlich verringern. Bestimmte Alarme sind nach EU-Normen geregelt und alarmieren insbesondere bei Stromausfall. Die Alarmierung bei Hypoventilation, Überschreiten eines Spitzendrucks oder fehlendem Aufbau eines ausreichenden Inspirationsdruckes erhöhen die Patientensicherheit in der häuslichen Umgebung.

- **Die Anwendung außerklinischer Beatmungsgeräte benötigt eine fundierte Kenntnis der Beatmungsphysiologie und der Besonderheiten des einzelnen Gerätes. Eine Einweisung nach Medizinproduktegesetz ist verpflichtend**

**vor der Anwendung. Die Anpassung erfolgt im Zentrum durch den kundigen Arzt und muss eine stabile respiratorische und ventilatorische Funktion gewährleisten. Die klinische Bewertung der Beatmungsqualität ist ebenso entscheidend wie die der Beatmungsparameter, die Ungenauigkeiten unterliegen können.**

## 5.3 Medizinische Hilfsmittel

Die häusliche Versorgung eines beatmeten Patienten benötigt neben einem Beatmungsgerät zusätzliche Hilfsmittel, um eine sichere Versorgung zu gewährleisten. Um eine Versorgung sicherzustellen, muss der Kostenträger frühzeitig über die geplante außerklinische Verlegung informiert werden, damit eine genügende Anzahl der benötigten Materialien als Einmalartikel vor Ort verfügbar sind. Bei der Menge an Artikeln ist zu beachten, dass Beatmungsfilter, Luftanfeuchter etc. vom Hersteller unterschiedliche Wechselintervalle benötigen. Die

■ **Tab. 5.1** Beatmungsgerät-spezifische Basisversorgung zur außerklinischen Beatmung

Hilfsmittel	Anzahl
Beatmungsgerät (mit Zulassung für die invasive oder nicht-invasive außerklinische Beatmung)	Bei einer Beatmungsdauer >16 h sind 2 Geräte bereitzustellen  Allgemein müssen Spontanatemfähigkeit des Patienten, die Verfügbarkeit ärztlicher Hilfe, eines Krankenhauses und Einflüsse durch Infektionen bedacht werden.
Beatmungsschlauch/„Gänsegurgel“	Wechselintervall gem. Medizinproduktegesetz (MPG)
Externer Akku	Im Einzelfall benötigt zur Verbesserung der Mobilität
Filter (Lufteinlass- und Auslass)	Wechselfrequenz nach Herstellerinformation
Inhalationsgerät	Wenn medizinisch notwendig
Atemgasklimatisierung	Eine geeignete Befeuchtung muss individuell sichergestellt sein: – Passive Befeuchtung beim Erwachsenen mit z. B. 1 HME-Filter/Tag – Wechselintervall und Kontraindikationen nach Herstellerangaben – Aktive Befeuchtung nach Herstellerangaben
Testlung	Wechselfrequenz nach Herstellerinformation

benötigte Ausstattung für die Versorgung invasiv-beatmeter Patienten geben die [Tab. 5.1](#) und [Tab. 5.2](#).

Von großer Bedeutung ist die Schulung der Pflegekräfte und Angehörigen in der Versorgung mit einem Tracheostoma, Handhabung von Gesichtsmasken, ggf. einer Absaugeinrichtung, und in der Handhabung der Trachealkanüle ([► Abschn. 5.1](#)).

- **Die Anschaffung einer ausreichenden Menge von Hilfsmitteln ist eine Grundvoraussetzung für eine Verlegung. Die Notwendigkeit wird primär im Zentrum eingeschätzt; manche Hilfsmittel und deren Wechselfrequenz werden durch Hersteller und/oder Gesetze definiert.**

## 5.4 Medizinische Nachsorge

Die Weichen für eine medizinische Nachsorge sollten idealerweise bereits mit der Etablierung einer außerklinischen Beatmung durch das Überleitteam gestellt sein ([► Abschn. 5.1](#)). Die ambulant weiterbetreuenden Ärzte müssen vom in die

außerklinische Umgebung entlassenden Klinikarzt ausführlich informiert werden und die Kompetenzen der Weiterbetreuung müssen geklärt sein. Die Anbindung an einen niedergelassenen Facharzt mit Kompetenzen in Beatmungs- und Intensivmedizin (Anästhesisten, Pneumologen) ist wünschenswert, jedoch flächendeckend aktuell nicht realisierbar. Deshalb ist die Anbindung an das entlassende Krankenhaus (im Idealfall das Weaning- oder Beatmungszentrum) essentiell, um die medizinische Nachsorge sicherzustellen und Ansprechpartner bei Problemen zu sein. Das Weaningzentrum sollte eine telefonische Hotline einrichten oder Kontaktdaten für die Patienten mit außerklinischer Beatmung bereitstellen, die bei ambulant nicht lösbaren Problemen kontaktiert werden kann.

Die Fortführung der außerklinischen Beatmung ist eine technisch anspruchsvolle Therapie und muss außerklinisch kompetent bedient werden. Bei der NIV wird dies häufig vom Patient und deren Angehörigen komplett selbstständig durchgeführt, sodass eine ausführliche Schulung vor Entlassung notwendig ist ([► Abschn. 5.1](#), Überleitmanagement). Bei invasiv-beatmeten Patienten ist das natürlich

■ **Tab. 5.2** Basisversorgung mit Hilfsmitteln zur außerklinischen Beatmung

Hilfsmittel	Anzahl
Absauggerät	2 Absauggeräte: ein netzabhängiges und ein netzunabhängiges
Absaug-, Verbindungsschlauch, Bakterienfilter, Fingertip, Absaugkatheter	Wechselintervall gem. Medizinproduktegesetz MPG
Trachealkanüle (invasive Beatmung) – blockbar – nicht blockbar	Entsprechend der ärztlichen Verordnung Mindestens 2 Kanülen vor Ort als Notfallversorgung/zur Reinigung Unterschiedliche Größen zur Vermeidung von Druckstellen
Sprechaufsatz	Geeignet zur Artikulation Während des Einsatzes kommt es i. d. R. zur Deaktivierung der Atemgasklimatisierung, welches beim Einsatz beachtet werden muss
Gesichtsmasken(nicht- invasive Beatmung)	Nach ärztlicher Verordnung (Ganzgesichtsmaske, Nasenmundmaske, Mundmaske, Nasenmaske) 2 Masken vor Ort zum notfallmäßigen Ersatz ggf. Maß-gefertigte Masken bei hoher Leckage konfektionierter Masken
Pulsoxymeter	Wenn medizinisch notwendig
Beatmungsbeutel	Wenn medizinisch notwendig, durch Autoren empfohlen
Hustenstoß-Hilfen (Cough-assist)	I. d. R. bei neuromuskulären Grunderkrankungen mit Husteninsuffizienz und nach vorheriger ausführlicher Schulung im Zentrum

ebenso wichtig, hier steht jedoch i. d. R. zusätzlich das ambulante Intensivpflegeteam für die Versorgung des Patienten bereit. Das Pflegeteam muss in der Betreuung der beatmeten Patienten ausreichend qualifiziert sein und in die verschiedenen notwendigen Hilfsmittel geschult und nach Medizinproduktegesetz eingewiesen sein. Ebenso muss das Pflegeteam in der Lage sein, mit den zur Verfügung stehenden Überwachungsmöglichkeiten (► [Abschn. 5.2](#), ► [Abschn. 5.3](#)) die Qualität der Beatmung und den klinischen Zustand des Patienten sicher beurteilen zu können, um im Bedarfsfall auf Notfallsituationen oder auch klinische Verschlechterungen des Patienten adäquat reagieren zu können. Die Deutsche interdisziplinäre Gesellschaft für außerklinische Beatmung e. V. (DIGAB) hat entsprechende Standards für

betreuende Pflegedienste definiert. Bei technischen Problemen steht den Anwendern zudem der Hilfsmittellieferant (engl. Provider) zur Seite, der 24 h an 7 Tagen der Woche erreichbar sein und auch einen Vor-Ort-Service anbieten muss.

Außerklinisch können der klinische Allgemeinzustand des Patienten sowie die Compliance der Hilfsmittelanwendung z. B. anhand der dokumentierten Beatmungszeiten oder Analyse der Gerätedaten gut erfasst werden. Ebenso kann durch eine Analyse des Monitorings im Beatmungsgerät die Beatmungsqualität, z. B. anhand der Analyse der Atemfrequenz, des Atemzug- oder auch Atemminutenvolumen, abgeschätzt werden (► [Abschn. 5.2](#), ► [Abschn. 5.3](#)). Bei invasiv-beatmeten Patienten mit einem Intensivpflegedienst steht zudem die Möglichkeit der

Messung einer Sauerstoffsättigung sowie Vitalparameter wie Herzfrequenz oder auch Blutdruck durch das Pflorgeteam zur Verfügung und muss regelmäßig erfolgen, um den Patienten klinisch zu beurteilen. Die Anwender müssen zudem in der Lage sein, die Funktionsfähigkeit der technischen Hilfsmittel oder auch Beatmungszugänge beurteilen zu können bzw. bei V. a. Probleme aufgeklärt sein, welche nächsten Schritte einzuleiten sind.

Die medizinisch notwendigen Nachsorgeuntersuchungen müssen bei Entlassung individuell festgelegt werden. Insbesondere bei Patienten, die im Verlauf ein Weaningpotenzial zeigen können, müssen engmaschig an ein Weaningzentrum angebunden werden, um den Zeitpunkt der Fortführung eines Weaningprozesses nicht zu verpassen. Die medizinischen Voraussetzungen zur Fortführung einer außerklinischen Entwöhnung sind in Deutschland aktuell nicht gegeben, sodass die Fortführung des Weaningprozesses immer in der Klinik unter stationären Bedingungen erfolgen muss.

Bei der lebenserhaltenden Therapie, die eine außerklinische invasive, aber auch nicht-invasive Beatmung i. d. R. darstellt, muss in regelmäßigen Abständen eine fachärztliche Verlaufsbeurteilung der Beatmungsqualität erfolgen, welche ebenso mangels ambulanter Voraussetzungen in Deutschland unter stationären Bedingungen zu erfolgen hat. Hierbei sollte nach Initiierung einer außerklinischen Beatmung nach den aktuellen Leitlinien eine erste Nachuntersuchung spätestens nach 3 Monaten (ggf. bei Bedarf auch bereits nach 4 oder 6 Wochen) erfolgen. Hierbei müssen wesentliche Kenngrößen einer erfolgreichen Therapie wie die Analyse der Sauerstoffversorgung aber auch die Messung der Kohlenstoffdioxidpartialdrücke unter verschiedenen Bedingungen wie Beatmung am Tag und in der Nacht aber auch in möglicherweise bestehenden beatmungsfreien Intervallen genau überprüft werden. Ebenso muss analysiert werden, ob ein sicherer Beatmungszugang vorliegt oder hier Komplikationen auftreten können.

Bei einer invasiven Beatmung muss nicht zuletzt auch ein erneutes Weaningpotenzial überprüft werden. Aus ethischer Sicht ist

es zudem essentiell, dass hinterfragt wird, ob die aktuelle medizinische Therapie den individuellen Therapiezielen des Betroffenen noch entsprechen.

Sollte sich eine stabile Beatmungstherapie bei einer Langzeitbeatmung etabliert haben und/oder ein Weaningpotenzial fehlen, können im Verlauf bei klinisch stabiler Situation die Intervalle einer Nachsorgeuntersuchung auf 6 oder 12 Monate erweitert werden.

- **Die medizinische Nachsorge außerklinisch beatmeter Patienten muss vor Entlassung aus dem Krankenhaus organisiert und in regelmäßigen Abständen im betreuenden Beatmungszentrum (bei invasiver Beatmung idealerweise im Weaningzentrum) durchgeführt werden. Bei Hinweisen für ein erneutes Weaningpotential erfolgt eine stationäre Aufnahme zur Fortführung der Entwöhnung im Weaningzentrum.**

## 5.5 Leben mit und nach Langzeitbeatmung

Das Leben mit einer außerklinischen Beatmung ist i. d. R. geprägt von einer Vielzahl von Veränderungen im Vergleich zu der Lebensführung zuvor. Je nach Schwere der Erkrankung, Einschränkung der pulmonalen oder auch ventilatorischen Funktion oder auch der Mobilität und des Pflegebedarfs, variiert der Unterstützungs- und Hilfsmittelbedarf bzw. schränkt diese Abhängigkeit die Selbstständigkeit der Patienten in unterschiedlichem Masse ein. Es ist durchaus möglich, dass ein Patient nach erfolgreichem Weaning mit Notwendigkeit der Fortführung einer NIV dieses komplett selbstständig durchführt und in sein zuvor geführtes Leben und ggf. auch Berufsleben ohne wesentliche Einschränkungen zurückkehren kann. Auf der anderen Seite ist ein invasiv-beatmeter Patient, der 24 h vom Beatmungsgerät abhängig ist und evtl. bettlägerig ist, in seiner Selbstständigkeit stark eingeschränkt und von einem Pflorgeteam oder den Angehörigen in hohem

Masse abhängig. Unter Umständen ist es dem betroffenen Patienten dann nicht möglich, in sein gewohntes häusliches Umfeld zurückzukehren und er muss in einer Beatmungswohn-gemeinschaft oder auch einem Beatmungsheim untergebracht werden. Grundsätzlich gibt es verschiedene Optionen für eine außer-klinische Weiterversorgung. Für die Weiter-versorgung und Wahl der Unterbringung müssen neben den medizinischen Aspekten auch psychologische, soziale, finanzielle und auch geographische Aspekte berücksichtigt werden. Eine ausführliche Aufklärung zu den verschiedenen Möglichkeiten und Rahmenbe-dingungen sollte während des Überleitprozess durch das Überleitteam (z. B. durch die Mit-arbeiter des Sozialdienstes) gewährleistet sein. Dabei sollte eine individuell passende Weiter-versorgung abgestimmt werden, die auch die finanziellen und sozialen Belastungen für die Patienten und deren Angehörigen berücksich-tigen. Wünschenswert ist es grundsätzlich, eine größtmögliche Autonomie des Patienten und seiner Angehörigen anzustreben und auch die Möglichkeit der Integration der Angehörigen in die Pflege (Laienpflege) zu evaluieren. Die Präsenz eines ambulanten Pflegedienstes, der u. U. rund um die Uhr zur Verfügung stehen muss, stellt insbesondere in der privaten häus-lichen Umgebung eine Herausforderung dar. Die Integration der Pflegenden in das Fami-lienleben stellt zunächst in den meisten Fällen für alle Beteiligten eine Belastung und soziale Herausforderung dar. Neben diesen sozialen und psychologischen Aspekten müssen auch logistische bzw. räumliche Aspekte bedacht werden. Ggf. müssen vor dem Einzug des beat-meten Patienten bauliche oder räumliche Ver-änderungen am Wohneigentum vorgenommen werden, die zeit- und kostenintensiv sind.

➤ **Die Unterbringung eines außerklinisch invasiv-beatmeten Patienten kann im häuslichen Umfeld, Beatmungspflegeheim oder einer Beatmungswohn-gemeinschaft erfolgen.**

- **Die Wahl der Unterbringung hängt vom Patientenwunsch, jedoch auch von medizinischen, sozialen, finanziellen, aber auch geographischen Faktoren ab. Eine entsprechende Beratung muss durch das Überleitteam gewährleistet sein.**
- **Beatmungspflegeheim: vollstationäre Pflegeeinrichtung, spezialisiert auf beatmete Patienten.**
- **Beatmungswohn-gemeinschaft: Patient mietet eigenen Wohnraum in unmittelbarer Nachbarschaft mit anderen Patienten, welche ebenso beatmungs-pflichtig oder pflegebedürftig sind. I. d. R. versorgt ein ambulanter Pflegedienst alle Bewohner der Wohn-gemeinschaft.**

Insgesamt ist bereits die bestehende Indikation zur Durchführung einer außerklinischen Beatmung gleichbedeutend mit einer erheblich ein-geschränkten Prognose. Bei der medizinischen Indikationsstellung und Aufklärung der Patien-ten hinsichtlich der Therapieziele und Etablie-rung einer außerklinischen Beatmung sollten diese Aspekte ausführlich diskutiert werden und Beachtung finden. Auch Patienten, die ein erfolgreiches prolongiertes Weaning erlebt haben und komplett wieder selbstständig sind und keine Pflege-oder Hilfsmittel mehr benö-tigen, besitzen i. d. R. eine Vielzahl verschiede-ner Grunderkrankungen oder sind in einem höheren Lebensalter, welches trotz des erfolg-reichen Weaning die gesundheitsbezogene Prognose einschränkt. Deshalb sollten Patien-ten nach prolongierten Weaning, die damit eine kritisch kranke Phase überlebt haben, über ihre Gesundheit und Prognose im Allgemeinen auf-geklärt werden und wenn möglich sollten die weiterhin gewünschten medizinischen Thera-pieziele erarbeitet und definiert werden.

Die Erforschung und Berücksichtigung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität rückt im Rahmen der medizinischen Behandlung als Therapieziel in den letzten Jahren immer

weiter in den Vordergrund. Obwohl die spezielle Lebensqualität in der außerklinisch invasiven Beatmung oder nach Weaning bisher nur wenig untersucht wurde, gab es in den letzten Jahren einige wissenschaftliche Studien über die Lebensqualität bei Patienten mit respiratorischer Insuffizienz und der Anwendung einer NIV. Die gesundheitsbezogene Lebensqualität berücksichtigt dabei ein multidimensionales Konstrukt, welches das subjektive Empfinden auf psychischer, physischer Ebene und sozialer Ebene beschreibt und durch einen standardisierten Fragebogen („severe respiratory insufficiency questionnaire“) erfasst werden kann. Es konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass nach Einleitung einer außerklinischen nicht-invasiven Beatmung bei Patient mit unterschiedlichen Grunderkrankungen (u. a. Patienten mit COPD, thorakal-restriktiven Lungenfunktionsstörungen, neuromuskulären Erkrankungen oder auch einem Obesitas-Hypoventilationssyndrom) eine deutliche Verbesserung und Stabilisierung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität zu erreichen war. Erste Untersuchungen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei Patienten mit invasiver Beatmung mithilfe dieses standardisierten Fragebogens haben gezeigt, dass die Ergebnisse individuell sehr variieren, aber auch ähnlich ausfallen können wie bei Patienten mit Durchführung einer außerklinischen NIV. Diese Untersuchung bei Patienten nach erfolglosem Weaning und Notwendigkeit der Fortführung einer invasiven außerklinischen Beatmung konnte darüber hinaus zeigen, dass die Lebensqualität vermutlich unabhängig von der o. g. Unterbringungsform (häusliches Umfeld versus Beatmungspflegeheim oder Beatmungswohngemeinschaft) zu sein scheint. Vielmehr sind individuelle Faktoren und vor allen Dingen das soziale Umfeld entscheidend für die individuelle Lebensqualität, welches bei der Planung der Therapie berücksichtigt werden sollte. Dabei konnten die bisherigen Untersuchungen zeigen, dass die subjektive empfundene Lebensqualität auch bei fortgeschrittenen Erkrankungen mit erheblichen Beatmungs- oder auch pflegerischen Bedarf als sehr gut eingeschätzt werden kann und für die Therapiezielgespräche Beachtung finden müssen. Auf

der anderen Seite konnten jedoch auch einige Patienten identifiziert werden, die mit der aktuellen Beatmungs- und Pflegesituation und damit verbundenen Abhängigkeit von anderen Personen sehr unglücklich waren. Vor diesem Hintergrund muss die Therapieentscheidung und Wahl der Therapieziele regelmäßig evaluiert werden, denn das Ziel des medizinischen Handelns sollte immer zu einer Verbesserung der Lebensqualität führen. Diese Aspekte muss Teil der medizinischen Nachsorge sein und regelmäßig individuell überprüft werden (► Abschn. 5.3)

- **Die Erhaltung der Lebensqualität muss bei der Planung einer außerklinischen Beatmung eine zentrale Berücksichtigung finden und im Verlauf im Rahmen der Nachsorge überprüft werden.**

## Literatur

- [1] Callegari J, Windisch W, Storre JH (2015) Überleitung in die außerklinische invasive Beatmung. *Intensivmedizin up2date* 11(04):321–331. <https://doi.org/10.1055/s-0041-103937>
- [2] Randerath WJ, Kamps N, Brambring J et al (2011) Recommendations for invasive home mechanical ventilation. *Pneumologie* 65(2):72–88. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1256121>
- [3] Windisch W, Dreher M, Geiseler J, Siemon K, Brambring J, Dellweg D, Grolle B, Hirschfeld S, Köhnlein T, Mellies U, Rosseau S, Schönhofer B, Schucher B, Schütz A, Sitter H, Stieglitz S, Storre J, Winterholler M, Young P, Waltersbacher S, für die Leitlinien-gruppe „Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz“ (2017) S2k-Leitlinie: Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz – Revision 2017. *Pneumologie* 71(11):722–795. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1243978>
- [4] Schönhofer B, Geiseler J, Dellweg D et al (2014) Prolonged weaning: S2k-guideline published by the German Respiratory Society. *Pneumologie* 68(1):19–75. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1359038>
- [5] Huttman SE, Windisch W, Storre JH (2015) Invasive home mechanical ventilation: living conditions and health-related quality of life. *Respiration* 89:312–321
- [6] Windisch W, Storre JH, Köhnlein T (2015) Nocturnal non-invasive positive pressure ventilation for COPD. *Expert Rev Respir Med* 9:295–308
- [7] Huttman SE, Storre JH, Windisch W (2015) Außer-klinische Beatmung. *Anaesthesist* 64:479–488

- [8] Huttmann SE, Windisch W, Storre JH (2014) Techniques for the measurement and monitoring of carbon dioxide in the blood. *Ann Am Thorac Soc* 11:645–652
- [9] Storre JH, Dellweg D (2014) Monitoring des Beatmungspatienten. *Pneumologie* 68:532–541
- [10] Windisch W (2008) Impact of home mechanical ventilation on health-related quality of life. *Eur Respir J* 32:1328–1336
- [11] Bruells C, Kopp R, Marx G. Beatmung. In: Kochs E (Hrsg) *Zacharowsky Anästhesievorbereitung und Monitoring*. Thieme Verlag, Stuttgart
- [12] Callegari J, Storre JH (2015) Hilfsmittel in der außerklinischen Beatmung. *Atemwegs- und Lungen-krankheiten*. <https://doi.org/10.5414/ATX02093>
- [13] Storre JH, Schönhofer B (2016) Stellenwert der Respiratorentwöhnung in der Pneumologie. *Pneumologie*. <https://doi.org/10.1007/s10405-016-0088-4>
- [14] Windisch W, Freidel K, Schucher B et al (2003) The Severe Respiratory Insufficiency (SRI) Questionnaire: a specific measure of health-related quality of life in patients receiving home mechanical ventilation. *J Clin Epidemiol* 56:752–759



# End of life – Ethische Aspekte beim terminalen Weaning

*Thomas Bein und Bernd Schönhofer*

- 6.1 Prinzipien ethischen Handelns in der Intensiv- und Beatmungsmedizin – 76**
  - 6.1.1 Ethische Modelle – 76
  - 6.1.2 Notwendige Begriffsklärungen – 78
  - 6.1.3 Palliativmedizin in der Intensivmedizin – 78
- 6.2 Ethische Grundlagen für Entscheidungen am Lebensende – 79**
  - 6.2.1 Therapieziel: Therapiebegrenzung, Therapierückzug und Therapiezieländerung – 79
  - 6.2.2 Patientenwille – 80
- 6.3 Prozesse der Entscheidungsfindung – 81**
  - 6.3.1 Teamorientierte ethische Entscheidungen – 81
  - 6.3.2 Die Rolle des klinischen Ethik-Komitees (KEK) – 81
- 6.4 Ethik in der Praxis – Umsetzung ethischen Handelns beim terminalen Weaning – 82**
  - 6.4.1 Praktische Umsetzung der Therapieeinschränkung – 82
  - 6.4.2 Palliative Aspekte beim terminalen Weaning – 83
  - 6.4.3 Symptomkontrolle – 83
  - 6.4.4 Begleitung der Angehörigen – 84
  - 6.4.5 Begleitung der Mitarbeiter – 85
- 6.5 Implementation palliativmedizinischer Aspekte in aktuelle Leitlinien – 85**
- 6.6 Fallbeispiel – 85**
  - Literatur – 86**

Intensivmedizin kann durch apparativen Einsatz viele Menschenleben retten. Auch wenn der medizinische Fortschritt viel ermöglicht, führen diverse klinische Situationen dazu, dass das Sterben unvermeidlich ist. Insbesondere die Beatmungstherapie kann ethische Konflikte bei Patienten, Angehörigen und dem Behandlungsteam auslösen. Relevante ethische Aspekte in sogenannten „End-of-life-Situationen“ werden in diesem Kapitel dargelegt.

## 6

## 6.1 Prinzipien ethischen Handelns in der Intensiv- und Beatmungsmedizin

### 6.1.1 Ethische Modelle

Die Medizin – insbesondere die Intensivmedizin – hat in den letzten Jahrzehnten eine enorme Entwicklung durchgemacht: Infolge der hiermit einhergehenden Ausweitung des Spektrums verfügbarer Behandlungsmöglichkeiten wurde moralisches „Neuland“ betreten, da traditionelle Ansichten über richtiges und angemessenes Handeln für Ärzte und Pflegende nicht mehr ohne Weiteres und ohne Konflikte anwendbar waren. In diesem „Neuland“ wurden nicht nur die bisher gültigen (oder als gültig koinzidierten) Grenzen zwischen Leben und Tod verschoben (z. B. organersetzende Intensivmedizin), sondern es wurden auch die Definitionen des Lebens (vorgeburtliche Medizin) oder des Todes (Hirntod und Organtransplantation) neu bewertet und erheblichen Kontroversen unterworfen. Wenn man Moral als „die Menge von Bewertungen und Vorschriften..., die sich auf den richtigen und den falschen Umgang mit anderen... Menschen beziehen“ betrachtet [1], dann entwickelte sich eine zunehmende Unsicherheit über moralisches Selbstverständliches im Handeln in Bezug auf Krankheit und Gesundheit. Da Ethik nach generellem Verständnis vereinfacht als Theorie der Moral zu definieren ist, verwundert es nicht, dass die Medizinethik in den letzten Jahrzehnten eine zunehmende Aufmerksamkeit erfährt.

**Medizinethik** befasst sich mit Fragen nach dem moralisch Gesollten, Erlaubten und Zulässigen, speziell im Umgang mit menschlicher Krankheit und Gesundheit. Für die Medizinethik ist zum einen die Abstützung auf einer Fundamentelethik (Festlegung eines „Menschenbildes“) erforderlich, welche die Rechtfertigung grundlegender moralischer Normen oder eines Moralprinzips ermöglichen soll – sei es für grundsätzliche Erwägungen oder konkrete Fragestellungen. Zum anderen sind für den Erwerb medizinischer Kompetenz Anleitungen für konkretes praktisches Handeln erforderlich, welche man mit den Kompetenzen Tugend, Urteilskraft oder Sensibilität umschreiben könnte. In diesem Spannungsfeld zwischen philosophisch orientierter Normen-Ethik und der Notwendigkeit praktisch-ethischer Handlungsanweisungen befindet sich derzeit die medizinethische Diskussion und erfährt dabei Reibungsverluste. Von Philosophen und Ethikern werden unterschiedliche „Großtheorien“ vorgetragen, die sich aus traditionellen ethischen Schulen herleiten. Der Pflichten-ethische Ansatz, der auf Immanuel Kant zurückgeht, konkurriert ebenso wie der Ansatz des Utilitarismus und der Tugendethik um die Vorherrschaft als großtheoretische Begründung für den medizinethischen Diskurs. Von Vertretern jener 3 prominentesten ethischen Theorien wird allerdings eingestanden, dass keine dieser normativen Ethiktheorien uneingeschränkt und direkt auf praktische Medizinethik anzuwenden ist, und dass die begründungstheoretischen Ansätze Schwächen für hochkomplexe Fragestellungen aufweisen. Bzgl. weiterführender Reflexion der 3 genannten Modelle sei auf Schöne-Seifert [1] verwiesen.

Die moderne Medizin ist zunehmend mit ethischen Fragestellungen zum „richtigen Handeln“ konfrontiert. Medizinethik versucht auf dem Boden moralischer Begründungen für ethische Probleme Hilfestellung durch die Bereitstellung ethischer Argumentationslinien und medizinethischer Prinzipien zu geben.

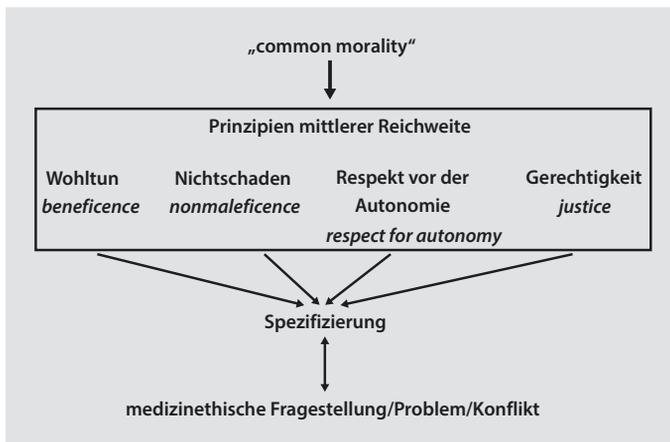
Als besonders praxistauglich zur Anwendung in der Medizin steht ein 4. ethisches Modell, die „**Prinzipienethik**“ von Beauchamp und Childress zur Verfügung. Die beiden amerikanischen Medizinethiker gehen nicht von einer allgemeinen ethischen Theorie aus, sondern gründen auf anerkannte Prinzipien mittlerer Ebene (= die Gültigkeit einer [mehr oder minder] akzeptierten „Alltagsmoral“ zugrunde zu legen, ohne auf eine normative ethische Theorie zurückzugreifen), die im Hinblick auf konkrete Fragestellungen spezifiziert und gegeneinander abgewogen werden können [2].

4 als wesentlich erachtete Prinzipien werden von Beauchamp und Childress in ihrem prinzipienbasierten Paradigma präsentiert:

- **Respekt vor Autonomie:** die Bedeutung dieses Prinzips, das sich gegen den Paternalismus des Arztes als wohlwollenden Entscheidungsträger gegenüber dem Patienten wendet, wird seit längerem unter verschiedenen Gesichtspunkten diskutiert. Beachtenswert ist, dass Beauchamp und Childress diesem Prinzip einen besonders hohen Stellenwert zuordnen.
- **Nichtschaden:** Vermeidung einer Handlung, die anderen Personen einen Schaden zufügt. Auch für dieses Prinzip gibt es in der Medizin eine lange Tradition, die bis auf den *corpus hippocraticum* zurückreicht.

- **Wohltun:** Erbringung von Nutzen sowie Abwägung von Nutzen gegenüber Risiken. Es sollen nicht nur Schäden vermieden, sondern darüber hinaus das Wohlbefinden gesteigert oder der Zustand des Patienten verbessert werden.
- **Gerechtigkeit:** Prinzip der fairen Verteilung von Nutzen, Risiken und Kosten. Ein zunächst weit gefasstes und unscharfes Prinzip (oder besser: der Oberbegriff für eine Prinzipien-Gruppe), das sowohl im individuellen Bereich des klinischen Alltags als auch auf der Ebene gesundheitspolitischer oder gesetzgeberischer Aktivitäten Anwendung findet.

Die Attraktivität und zunehmende Verbreitung der Prinzipienethik von Beauchamp und Childress beruht auf seiner „Anwenderfreundlichkeit“ und Praxisrelevanz. Diese erlaubt es, die Prinzipien ohne Spezialausbildung als Philosoph oder Ethiker „nah am Patienten“ auf dem Boden der „Alltagsmoral“ („common morality“) anzuwenden (▣ Abb. 6.1). Allerdings sollen diese Prinzipien nicht „automatisiert“ und lose nebeneinanderstehend abgearbeitet werden. Ein sinnvoller Einsatz des Prinzipienkonzepts erfordert nicht nur die weitere **Spezifizierung** der 4 Prinzipien („die fortschreitende inhaltliche Darstellung von Prinzipien und Regeln, die sie von ihrer Abstraktheit befreit“ [2]), sondern auch die



▣ Abb. 6.1 Prinzipienethik nach Beauchamp und Childress

Fähigkeit des Anwenders, diese gegeneinander zu gewichten und miteinander in ein **Überlegungsgleichgewicht** zu setzen, was Kreativität erfordert (= kreative Erweiterung des Gehalts zu spezifischeren Normen).

- **Praktisch angewandte Medizinethik stützt sich i. d. R. nicht so sehr auf normative Moraltheorien, sondern auf Prinzipien, die für den klinischen Alltag unmittelbar anwendbar sind: Respekt vor Autonomie, Nicht-Schaden, Wohltun, Gerechtigkeit. Die Aufgabe von Ethikberatern oder Ethik-Komitees ist es, diese 4 Prinzipien bei der Anwendung für ein individuelles ethisches Problem zu spezifizieren.**

### 6.1.2 Notwendige Begriffsklärungen

Ethische Konflikte bei Entscheidungen im Zusammenhang mit Therapiezieländerungen oder Sterbeprozessen entstehen nicht selten durch Begriffsunschärfen oder Missverständnissen über „aktive“ und „passive“ Sterbehilfen. Für fundierte ethische Debatten und Entscheidungen sind daher eindeutige Begriffe als Grundlage einer Verständigung von höchster Bedeutung:

- **Aktive Sterbehilfe** (= Tötung [auf Verlangen]): Die aktive Sterbehilfe ist die Verkürzung eines (verlöschenden) Lebens durch die aktive Einflussnahme auf den Kranken- und Sterbeprozess. **Es entspricht der gezielten Herbeiführung des Todes durch Handeln.** Die aktive Sterbehilfe ist unzulässig und nach dem Strafgesetzbuch (§§ 212,216 StGB) strafbar.
- **Sterben(zu)lassen** (früher: passive Sterbehilfe): Verzicht auf ärztliche und sonstige lebenserhaltende Maßnahmen oder deren Abbruch, wenn das Grundleiden des Patienten einen unumkehrbaren Verlauf zum Tode genommen hat (Fehlen der Indikation) und/oder für diese Maßnahmen keine Zustimmung des Patienten vorliegt (Fehlen des Behandlungsauftrages). Zu den lebenserhaltenden

Maßnahmen zählen im Wesentlichen: Sauerstoffzufuhr, künstliche Ernährung, Beatmung, Medikation, Transfusion, Dialyse. **Sterbenlassen bedeutet das Zulassen des Todes durch Behandlungsverzicht und -abbruch.** Dieses Vorgehen ist unter den unabdingbaren Voraussetzungen des Fehlens von Indikation und Behandlungsauftrag legal.

- **„Indirekte Sterbehilfe“:** In Kauf genommene Beschleunigung des Todeseintrittes als Nebenwirkung gezielter Schmerztherapie. Die Bundesärztekammer schreibt hierzu: „Bei Sterbenden kann die Linderung der Schmerzen so im Vordergrund stehen, dass eine mögliche Lebensverkürzung hingenommen werden kann.“ [3]

- **Aktive Sterbehilfe ist die Verkürzung eines Lebens durch aktive Beeinflussung des Sterbeprozesses. Sie ist unzulässig und strafbar. Im Gegensatz dazu bedeutet „Sterbenlassen“ (früher „passive Sterbehilfe“) den Verzicht auf oder Abbruch von ärztliche(n) Maßnahmen, wenn keine Indikation oder kein Behandlungsauftrag mehr vorliegt. Dieses Vorgehen ist unter den genannten Voraussetzungen legal.**

### 6.1.3 Palliativmedizin in der Intensivmedizin

Intensivmedizin dient der Überwachung von Organfunktionen, Behandlung von schweren Krankheitszuständen mit dem Ziel, durch Wiederherstellung dieser Organfunktionen das Überleben der Patienten zu sichern und wenn möglich die Fortführung eines selbstbestimmten Lebens zu ermöglichen. Trotz aller Fortschritte, insbesondere der sog. „Apparate-Medizin“ mit passagerem oder bleibendem Organersatzverfahren, ist die Sterblichkeit der auf einer Intensivstation behandelten Patienten hoch. Nach einer amerikanischen Studie versterben ca. 20 % aller Einwohner

der USA und 50 % der stationären Krankenhauspatienten auf Intensivstationen [4]. Auch für den speziellen Bereich der Respiratorentwöhnung (Weaning) zeigen Ergebnisse aus einer Umfrage an deutschen pneumologischen Weaningzentren, dass ca. 20 % dieser schwerstkranken Patienten nicht mehr entwöhnbar sind und im Zentrum versterben [5]. Aus diesen Daten ist klar ersichtlich, dass neben reiner organbezogener und technischer Medizin auch „Entscheidungen am Lebensende“ (oft in Englisch „End-of-Life“ genannt) zunehmend zu den ärztlichen Aufgaben in der Intensivmedizin gehören.

Palliativmedizinische Betreuung von Intensivpatienten durch interprofessionelle Teams hat in den letzten Jahren zunehmende Bedeutung erlangt.

Dabei steht im Gegensatz zur Hospiz-Betreuung schwerstkranker Patienten nicht so sehr die Prognose im Vordergrund, sondern die Notwendigkeit einer umfassenden Betreuung kritisch kranker Patienten während des Aufenthaltes auf der Intensivstation, aber auch nach Entlassung aus der Intensivstation.

#### **Spezielle palliativmedizinische Aspekte der Betreuung kritisch kranker Patienten in der Intensivstation**

- effektives Management von Belastungen durch physische und psychologische Symptome
- zeitnahe einfühlsame Kommunikation über erreichbare Ziele in der Behandlung kritisch kranker Patienten mit Patienten und deren Angehörigen
- In-Übereinstimmung-Bringen von Therapiemöglichkeiten mit Patientenwünschen
- Beachtung und Respektierung von Wünschen und Sorgen der Familien
- Ansprache spiritueller Bedürfnisse
- Planung einer außerklinischen Weiterbetreuung
- Unterstützung des medizinischen Personals

Spezielle Aspekte dieser Betreuung sind in der folgenden Übersicht aufgeführt [6].

Durch proaktive palliativmedizinische Betreuungsangebote an Patient und Familie, einerseits konsultativ z. B. als ethische Beratung oder Beratung in Palliative Care, andererseits integrativ durch z. B. strukturierte Familiengespräche oder Teilnahme von Familienangehörigen an Visiten, lässt sich eine Verkürzung des Aufenthalts der Patienten auf der Intensivstation bzw. im Krankenhaus nachweisen, wohingegen keine Effekte auf Mortalität oder Familienzufriedenheit gefunden wurden [6].

## **6.2 Ethische Grundlagen für Entscheidungen am Lebensende**

### **6.2.1 Therapieziel: Therapiebegrenzung, Therapierückzug und Therapiezieländerung**

**Therapiebegrenzung** bedeutet, eine grundsätzlich mögliche Therapie mit lebensverlängernder Wirkung bewusst nicht durchzuführen. **Therapierückzug** meint die Einstellung einer bereits durchgeführten Therapie in der Intensivmedizin, z. B. die Beendigung einer Katecholamintherapie oder einer Beatmungstherapie. Beide Konzepte sind wie oben ausgeführt ethisch grundsätzlich akzeptabel [7]. Im interkulturellen Vergleich werden Therapiebegrenzung und -rückzug auf Intensivstationen unterschiedlich gehandhabt: Eine aktuelle systematische Analyse publizierter Studien aus über 30 Ländern über lebensbegrenzende Maßnahmen in der Intensivmedizin zeigte, dass Therapierückzug bei sterbenden Patienten in 0 bis 84 % und Therapiebegrenzung in 5–67 % stattfindet [8]. Ebenso wurden regionale Unterschiede festgestellt, mit den häufigsten Therapieabbrüchen in Nordamerika und Europa, gefolgt von Australien. In Asien, Afrika, dem Mittleren Osten und Südamerika werden diese Maßnahmen deutlich

seltener umgesetzt. Im Vordergrund steht in Deutschland die medizinische Indikation: fehlt die Indikation, kann es zur Verlängerung des Leidens kommen, dieses muss beendet werden. Eine Beendigung der Beatmung in dieser Situation wurde früher in Deutschland „passive Sterbehilfe“ genannt und sollte nach Meinung der meisten Medizinethiker durch „Sterben(zu)lassen“ ersetzt werden; „Sterben(zu)lassen“ ist juristisch und ethisch zulässig, muss aber durch eindeutige Dokumentation von Entscheidungsfindung und Durchführung der Therapie (z. B. Behandlung der starken Dyspnoe mit Morphin) von einer strafbaren Tötung auf Verlangen klar abgegrenzt werden.

Im Gespräch mit Patient und Angehörigen ist es wichtig, die Begriffe Therapiebegrenzung bzw. -rückzug möglichst zu vermeiden und alternativ von einer „**Therapiezieländerung**“ zu sprechen [9]: bei Therapiezieländerung verschiebt sich das primäre Ziel von den bisherigen Maßnahmen zum Lebenserhalt zu Linderung von belastenden Symptomen wie Schmerz, Atemnot, Mundtrockenheit etc. mit dem Ziel, dem Patienten ein beschwerdefreies, aber auch würdiges Sterben zu ermöglichen.

## 6.2.2 Patientenwille

Ziel der gelungenen Kommunikation ist es, gemeinsam mit dem Patienten und den Angehörigen/Bevollmächtigten eine möglichst einvernehmliche Entscheidung über End-of-Life-Aspekte zu treffen. Ist der Patient wach und einwilligungsfähig, muss mit ihm ein ergebnisoffenes ärztliches Aufklärungsgespräch über Krankheitsstadium, Art der verschiedenen Behandlungsoptionen mit den sich daraus ergebenden Konsequenzen geführt werden.

Die Autonomie des Patienten in der Entscheidung steht nach eingehender Aufklärung an oberster Stelle. Allerdings ist die Entscheidungsfindung häufig durch fehlende oder unkonkrete Patientenverfügungen bzw. Unfähigkeit des Patienten zur Willensäußerung z. B. infolge Narkose oder delirantem Zustand

erschwert. In dieser Situation sind die behandelnden Ärzte gemeinsam mit dem Betreuer und der Familie des Patienten verpflichtet, den mutmaßlichen Willen des Patienten zu eruiieren. Hierbei kann die konkret ausformulierte und aktualisierte Patientenverfügung hilfreich sein [10]. Außerdem muss überprüft werden, ob sich der ursprünglich in der Patientenverfügung formulierte Wille des Patienten in der Zwischenzeit geändert hat. Alternativ kann der Patient mit einer Vorsorgevollmacht eine bevollmächtigte Person bestimmen, die anstelle des nicht mehr entscheidungs- und einwilligungsfähigen Vollmachtgebers in Kenntnis des vorher abgesprochenen Willens des Patienten in medizinischen Angelegenheiten entscheidet. Bei fehlender Patientenverfügung bzw. Fehlen einer Vorsorgevollmacht sollte für den Patienten eine Betreuung, die sich auf Gesundheitsfragen bezieht, eingerichtet werden. Es erweist sich als praktikabel, dass ein Angehöriger diese Aufgabe übernimmt. Bei divergenten Ansichten innerhalb der Familie kann alternativ vom Gericht ein Berufsbetreuer bestellt werden.

Dem Betreuer obliegen dann folgende Entscheidungen für den Patienten [9] (siehe Übersicht unten).

### Aufgaben eines Betreuers bezüglich medizinischer Maßnahmen

- Einwilligung in eine Behandlungsmaßnahme, auch wenn diese risikoreich ist
- Nichteinwilligung in eine Behandlungsmaßnahme, auch wenn hiermit eine Verschlechterung des Krankheitsbildes oder der Tod des Patienten verbunden ist
- bei Nichtübereinstimmung der Ansicht des gesetzlichen Betreuers mit der Ansicht des behandelnden Arztes muss das Betreuungsgericht die Entscheidung fällen
- Widerruf einer zuvor erteilten Zustimmung, auch wenn das den Tod des Patienten zur Folge haben kann

Durch eine frühzeitige Beratung des Patienten zur Patientenverfügung und das Angebot einer palliativmedizinischen Betreuung, das in Deutschland auch ambulant über die sog. SAPV (spezialisierte ambulante palliativmedizinische Versorgung) erbracht werden kann, lassen sich nicht gewünschte Einweisungen auf Intensivstationen am Lebensende verringern und auch Krankenhausaufenthalte verkürzen [11].

### 6.3 Prozesse der Entscheidungsfindung

Es besteht kein Zweifel, dass intensivmedizinisch Tätige zunehmend mit Situationen konfrontiert werden, in denen der (prolongierte) Einsatz von hochspezialisierten, supportiven Methoden nicht mehr erkennen lässt, ob eine echte – sei es noch so geringe – Perspektive auf ein eindeutig qualitativ befriedigendes Überleben besteht oder ob der Sterbeprozess mithilfe von „High-Tech“-Methoden lediglich zeitlich deutlich verzögert wird, was ethisch äußerst bedenklich ist. Ethische Konflikte und grundsätzliche Schwierigkeiten im Bereich der Intensivmedizin bestehen häufig darin, dass inhaltlich ausreichende und tragfähige Kriterien für eine Therapiezieländerung nicht mit allen an diesem Prozess und an der Behandlung beteiligten Personen (d. h. Intensiv-Team, Patienten und Angehörige) deutlich genug erläutert werden. Dies kann zu Verunsicherung und Emotionalität führen und sollte durch klare und strukturierte Gespräche vermieden werden.

#### 6.3.1 Teamorientierte ethische Entscheidungen

Auf Intensivstationen wurden bisher Lösungsstrategien für ethische Konflikte (Bestimmung des Therapieziels, Anwendung ethischer „Prinzipien“, Fragen der Autonomie des [häufig nicht mehr entscheidungsfähigen] Patienten, Beendigung der Therapie, Zulassen des Sterbeprozesses) über häufig einen längeren Zeitraum entweder nicht wahrgenommen bzw. verdrängt

oder schlichtweg der Entscheidung des verantwortlichen Chef- oder Oberarztes überlassen. Darüber hinaus werden wichtige ethische Fragen und/oder hiermit verbundene seelische Belastung nur im kleineren kollegialen ärztlichen und pflegenden Kreis „besprochen“. In den letzten Jahren hat sich hier ein Wandel angedeutet: in größeren Kliniken werden zunehmend Klinische Ethik-Komitees (KEKs) eingerichtet mit der Aufgabe, moderierte ethische Fallberatungen anzubieten, Leitlinien für bestimmte Situationen, z. B. Verzicht auf Wiederbelebung zu erstellen, oder regelmäßige Fortbildungen ethischer Themen zu organisieren. Darüber hinaus sind manche Kliniken motiviert, Medizinethik auf „Mikroebene“ (Ethikcafés, Ethikvisiten) anzubieten.

► **Ethisches Handeln kann auf verschiedenen Ebenen in den Klinikalltag integriert werden. Klinische Ethik-Komitees werden zunehmend zur ethischen Beratung eingerichtet. Wünschenswert ist auch die stärkere Implementierung ethischen Denkens und Handelns auf der unmittelbaren Ebene der Patientenversorgung (z. B. Ethikvisiten).**

#### 6.3.2 Die Rolle des klinischen Ethik-Komitees (KEK)

Während in Deutschland die KEKs mit beratender Funktion in Krankenhäusern oder Pflegeheimen vergleichsweise neu ist, begann man in den USA – beeinflusst durch die öffentliche Diskussion und den gerichtlich ausgetragenen Streit des Falles der Wachkomapatientin Karen Quinlan – seit 1976, sich mit ethischer Beratung in Krankenhäusern zu beschäftigen [12].

Ab 1997 wurde auch in Deutschland die Schaffung von KEKs vorgeschlagen, die Initiative ging zunächst von den konfessionellen Krankenhausverbänden aus. Gegenwärtig steigt die Zahl von Krankenhäusern und Altenheimen, welche KEKs eingerichtet haben [13]. Während man im Jahre 2005 bei etwa 10 % der Krankenhäuser einer Umfrage entsprechend die

Institutionalisierung von KEK's annahm, dürfte dieser Anteil bis heute erheblich gestiegen sein.

Der Stand klinischer Ethikberatung in Deutschland kann derzeit etwa folgendermaßen beschrieben werden: Eine steigende Zahl von Krankenhäusern/Kliniken implementieren KEK's mit der vornehmlichen Aufgabe der Beratung und Unterstützung in Fällen von moralischen Konflikten oder ethischen Unsicherheiten. Diese Fälle reichen von Entscheidungen im Rahmen des Lebensbeginns (Schwangerschaftsabbrüche, Lebensfähigkeit von behinderten Neugeborenen) über Fragen gerechter Verteilung medizinischer „Güter“ (Listung zur Transplantation, Organspende) bis hin zum Umgang mit Patientenverfügungen, Angehörigen oder Therapieentscheidungen am Lebensende. Die Einrichtung von KEK's zielt auf die Verbesserung klinischer Entscheidungsprozesse, die Steigerung der Kommunikation in der Klinik, die Reduktion moralischen Stresses und soll den Zusammenhalt und die Zufriedenheit am Arbeitsplatz Krankenhaus erhöhen. Allerdings ist festzustellen, dass eine gewisse Heterogenität besteht, sowohl in Bezug auf die Institutionalisierungsform von KEK's als auch in Bezug auf Qualifikation und Zusammensetzung der Beratenden. Klinische Ethikberater sind hierbei überwiegend als moralisch sensible, verantwortungsbewusste Moderatoren und Partner für Hilfesuchende, und weniger als moralphilosophische Vertreter einer normativen Ethik tätig. Als Basis für die ethische Fallberatung eignet sich besonders das Prinzipienmodell mittlerer Reichweite von Beauchamp und Childress, indem alle an der Behandlung eines Patienten Beteiligten am „runden Tisch“ unter Moderation der Berater versuchen, die vier Prinzipien konkret anzuwenden und eine abgewogene Lösung zu finden.

Klinische Ethik-Komitees haben die Aufgabe, ethische Fallberatungen anzubieten, Leitlinien für spezielle Situationen (z. B. Verzicht auf Wiederbelebung) für das Klinikum zu entwickeln und zu implementieren sowie regelmäßige Fortbildungen medizinethischer Themen zu organisieren.

## 6.4 Ethik in der Praxis – Umsetzung ethischen Handelns beim terminalen Weaning

### 6.4.1 Praktische Umsetzung der Therapieeinschränkung

Wichtige epidemiologische Erkenntnisse zur Häufigkeit von Therapieabbruch (Withdrawal) und Therapieverzicht (Withholding) in europäischen Intensivstationen wurden in der sog. „ETHICUS“-Studie anhand der Erfassung von 31.417 Patienten gewonnen [14]. Bei einer Mortalitätsrate von 13,5 % der Patienten lag hier die Rate zu Therapieverzicht bzw. -abbruch bei 72,6 %. Erwähnenswert ist, dass es eine regelrechte Dokumentation der Entscheidung des Therapieabbruchs nur bei 69 % der Patienten gab.

In einer aktuell publizierten **Auswertung von 56 Studien** [15] ergab sich eine erhebliche Variabilität mit Therapieabbruchraten von 0 % bis 84,1 % und Therapieverzicht von 5,3 % bis 67,3 %.

Ohne hierzu genaue Angaben machen zu können, liegen unserer Erfahrung nach die Ursachen für die Variabilität vor allem in Unterschieden bzgl. Religion/Religiosität, Kultur und der Gesetzgebung des jeweiligen Landes.

Eine prospektive Beobachtungsstudie aus den Niederlanden [16] untersuchte den Effekt eines Protokolls zur Evaluation der Frage, ob Sterben ohne starke Belastung nach Behandlungsabbruch möglich ist. In die Auswertung gingen 241 Patienten ein; insgesamt 90 % waren vor und nach Behandlungsabbruch adäquat sediert. In weniger als 6 % der Patienten kam es trotz Protokoll-basierter Strategie zu starker Unruhe, Todesrasseln oder Stridor. Das Protokoll beinhaltete die Option der bedarfsweisen Dosissteigerung von Opioiden und Sedativa, die bei den untersuchten Patienten zu keiner Beeinflussung des Todeszeitpunktes führte.

Die Ergebnisse einer Studie zur Auswirkung der Therapiebeendigung auf den Zeitpunkt des Todes wurden aktuell publiziert [17]. Es wurde nachgewiesen, dass die Zeitspanne vom Behandlungsabbruch zum Eintreten des

Todes mit weniger als 1 Stunde bis mehr als 2 Tage sehr variabel war. Der Vergleich mehrerer Studien zu Strategien der Therapiebeendigung (ohne und mit Analgosedierung, sequenziellem oder gleichzeitigem Abbruch mehrerer Therapieverfahren, Extubation versus keine Extubation) blieb ohne signifikante Auswirkung auf die Zeitdauer des Sterbeprozesses.

Der Patientenkomfort im Sterbeprozess war nach Einschätzung Angehöriger unabhängig von der Art des Beatmungsabbruches und nach Einschätzung der Pflegekräfte und Ärzte auch unabhängig vom Konzept der Analgosedierung; 98 % der Patienten wiesen keine klinisch fassbaren Symptome von Stress während des Sterbeprozesses auf.

## 6.4.2 Palliative Aspekte beim terminalen Weaning

### ■ Methoden der Beendigung einer Beatmungstherapie

Eine Beatmungstherapie kann auf verschiedene Weise mit palliativer Zielsetzung beendet werden. Möglich ist die unmittelbare Einstellung der Beatmung, ggf. in Kombination mit terminaler Extubation oder eine kontinuierliche Deeskalation der Invasivität der Beatmung durch Reduktion des Inspirationsdruckes, positiv endexpiratorischen Druckes und der Sauerstoffkonzentration bzw. Sauerstoffflussrate.

Die Durchführung dieser Maßnahmen wird auf Intensivstationen unterschiedlich gehandhabt. Nach einer Umfrage auf europäischen Respiratory-Intermediate-Care-Stationen aus dem Jahr 2005 wurden bei 21,5 % der Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen End-of-Life-Entscheidung gefällt. Die Sterblichkeit betrug 68 % während des stationären Aufenthalts [18]. Ein Therapieabbruch fand bei 11 % der Patienten statt. Bei der Beendigung der Beatmung muss konsequent darauf geachtet werden, dass diese Maßnahme nicht zu Atemnot beim Patienten führt. Meyer et al. berichteten bei 9 Patienten mit amyotropher Lateralsklerose (ALS) über eine elektive Beendigung der Beatmungstherapie, wovon 4 Patienten nicht-invasiv und fünf Patienten

invasiv beatmet waren [19]. Dabei erhielten die Patienten eine Prämedikation bevor bei fehlender oder minimaler Spontanatmung eine tiefe Sedierung eingeleitet wurde, während der die Diskonnektion von der Trachealkanüle bzw. das Entfernen der Beatmungsmaske erfolgte. Die Sterbephase dauerte zwischen 15 und 80 Minuten, dabei wurden 50 bis 220 mg Morphinsulfat fraktioniert oder mit Perfusor appliziert.

## 6.4.3 Symptomkontrolle

### ■ Medikamentöse Therapie

Nach den Grundsätzen der Bundesärztekammer kann bei Sterbenden die Linderung von Leiden so im Vordergrund stehen, dass eine möglicherweise dadurch bedingte unvermeidbare Lebensverkürzung hingenommen werden darf [20]. Eine gezielte Lebensverkürzung durch Maßnahmen, die den Tod herbeiführen oder das Sterben beschleunigen sollen, ist als aktive Sterbehilfe unzulässig und mit Strafe bedroht [21, 22].

O'Mahony et al. haben – entsprechend einer in ihrer Klinik durch ein interdisziplinäres Palliativpflege team erarbeiteten Verfahrensweisung – eine terminale Extubation durchgeführt und retrospektiv die Akten auf Patientenreaktionen analysiert [23]: 16 von 21 Patienten waren auf Normalpflegestation verlegt worden, alle Patienten wurden durch das Palliativpflege team und einen „Respiratory Therapist“ betreut. Patientendyskomfort wie Agitation, Atemnot und Angst wurden kontinuierlich evaluiert und die analgosedierenden Medikamente unter Berücksichtigung dieser Aspekte dosiert: Die Hälfte der Patienten war während der Extubation symptomatisch und benötigte Opioide oder Benzodiazepine, davon bei zwei Drittel in Form von Bolusgabe, bei einem Drittel als kontinuierliche Infusion.

Der Einsatz von Muskelrelaxantien bei der Beendigung der Beatmung ist unzulässig, denn dieser entspricht durch primäre Funktionsschädigung der in Deutschland verbotenen, aber z. B. in den Niederlanden erlaubten sog. aktiven Sterbehilfe. Muskelrelaxantien dürfen daher in Deutschland nie bei oder nach einem Abbruch der Beatmung eingesetzt werden. Die Beatmung

darf erst beendet werden, wenn die neuromuskuläre Funktion wiederhergestellt ist.

#### ■ Nicht-invasive Beatmung (NIV) als Palliativmaßnahme

Auch wenn eine palliative Therapie grundsätzlich apparative und lebensverlängernde Maßnahmen meidet, kann der Einsatz der NIV in diesem Zusammenhang sinnvoll sein. Eine Erhebung ergab, dass ca. 30 % der Patienten, die sich am Lebensende auf einer Intermediärstation befanden, mit NIV behandelt wurden [24]. Der vorübergehende Einsatz von NIV als palliative Maßnahme kann im individuellen Einzelfall die Dyspnoe lindern und die Lebensqualität bessern [25]. Wenn in der Patientenverfügung die Intubation, aber nicht prinzipiell eine Beatmung abgelehnt wird, kann nach ausführlicher Aufklärung mit NIV begonnen werden. Es ist aber streng darauf zu achten, dass eine NIV bei dieser Indikation nicht zur Verlängerung des Leidensweges bzw. des Sterbevorganges führt.

### 6.4.4 Begleitung der Angehörigen

Entscheidungsprozesse bei sterbenden Patienten betreffen nicht nur das Behandlungsteam und den Patienten, sondern auch Familienangehörige und enge Freunde mit ihren eigenen emotionalen, spirituellen oder religiösen Vorstellungen. Um Konflikte zu vermeiden, wird empfohlen, neben den Patienten deren Familienangehörige und ggf. enge Freunde in die Entscheidungsfindung einzubeziehen (**shared decision making**) [26]. Ein mögliches Modell hierfür sind Familienkonferenzen. Neben den bekannten Schwierigkeiten bezüglich der Ermittlung einer Prognose durch Intensivärzte werden Empfehlungen z. B. zu Therapiezieländerungen von den Angehörigen nicht immer als hilfreich angesehen. Einige Angehörige empfinden ärztliche Empfehlungen als unangemessene Einmischung und lehnen sie deshalb ab [27]. Trotzdem ist es wichtig, Familienangehörige in den Prozess der Entscheidungsfindung zu einer Therapiezieländerung miteinzubeziehen, um der Entwicklung von Angstzuständen, posttraumatischer Belastungsstörung und Depression bei den

Angehörigen von Intensivpatienten entgegen zu wirken [29–30].

Folgende Aspekte einer guten Kommunikation zwischen Behandlungsteam und Familienangehörigen wurden identifiziert: regelmäßige Gespräche über die Prognose während des gesamten Intensivaufenthaltes, ehrliche Aufklärung über die Prognose, emotionale Unterstützung, Anpassen der Gesprächsstrategie an die Bedürfnisse der Familie und Überprüfen des Verständnisses des Gesagten. Auch erweist sich die Demonstration von medizinischen Befunden, wie z. B. von Röntgenbildern, als hilfreich. Hiermit wird das Verständnis der Familie für den Gesundheitszustand verbessert. Aussagen über die Prognose in Zahlenform, z. B. Prozent Überlebenschancen oder Sterberisiko werden (im Gegensatz zur vorherrschenden ärztlichen Einstellung) von Familienangehörigen und Experten zur Gesprächsführung in der Medizin als nützlich beurteilt [30]. Nicht gelungene Kommunikation in der Intensivmedizin ist immer noch relativ häufig: nach einer aktuellen Untersuchung wurden in etwa einem Drittel der Familienkonferenzen für Patienten mit einem hohen Risiko, auf der Intensivstation zu versterben, Patientenwünsche und -wertvorstellungen gar nicht erläutert. Eine intensive Diskussion über für den Patienten bedeutsame Werte wie Autonomie, physische und kognitive Funktionen und soziale Interaktionen fand nur in weniger als 12 % der Konferenzen statt [31].

Für die Zufriedenheit der Familie bei der palliativmedizinischen Betreuung sind nach einer aktuellen Untersuchung folgende Faktoren von besonderer Wichtigkeit [32]:

#### Faktoren für die Zufriedenheit der Familien mit der palliativmedizinischen Betreuung auf Intensivstationen

- Sterben in der bevorzugten Umgebung (d. h. meist nicht in der Intensivstation)
- Beziehung zu und Verhalten des Pflegepersonals
- Krankheitsmanagement
- Kommunikation über und Vorgehen bei der End-of-Life-Entscheidung.

### 6.4.5 Begleitung der Mitarbeiter

Infolge der hohen Belastung im Rahmen der Betreuung von langzeitbeatmeten Patienten besteht die Gefahr, dass es bei Mitarbeitern im Behandlungsteam zu psychischen Belastungssyndromen bis hin zum Burnout kommen kann. Um einer solchen Entwicklung entgegenzuwirken, sollten für das Behandlungsteam Möglichkeiten der psychologischen Unterstützung (Supervision, Fallbesprechungen, „Ethik-Cafés“, Ethik-Fortbildungen) angeboten werden. Darüber hinaus bieten auch die ethischen Fallkonferenzen mit Beteiligung aller involvierten Berufsgruppen die Möglichkeit, die im individuellen Fall bestehenden Belastungssituationen anzusprechen und Lösungsansätze zur Reduktion der psychischen Belastung der Teammitglieder zu erläutern.

## 6.5 Implementation palliativmedizinischer Aspekte in aktuelle Leitlinien

Unter ethischen Aspekten in der Beatmungsmedizin sind in den vergangenen Jahren 2 wichtige Leitlinien, nämlich 1. zur außerklinischen Beatmungstherapie [33] und 2. zum prolongierten Weaning [34] publiziert worden. Der Stellenwert ethischer und palliativmedizinischer Aspekte in der Beatmungsmedizin wird hier in eigenen Kapitel abgehandelt. Zusätzlich wurde von der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) ein Positionspapier der Sektion Ethik zu den Aspekten Therapiezieländerung und Therapiebegrenzung in der Intensivmedizin publiziert [35].

## 6.6 Fallbeispiel

### ■ Falldarstellung

Patient E. S., 63 Jahre, langjähriger Raucher. Ein Larynxkarzinom, im T2-Stadium, wurde vor mehreren Jahren diagnostiziert und operiert (Larynx-Teilresektion, Neck-Dissection bds.). Eine Radiochemotherapie musste 2 Jahre später wegen Rezidiv erfolgen. Es besteht eine schwere

COPD, Dysphagie mit rezidivierenden Aspirationspneumonien sowie Kachexie, zusätzlich eine zerebrale Mikro-Makroangiopathie mit Epilepsieneigung. Die Anlage einer perkutanen Ernährungssonde (PEG) wurde zwischenzeitlich vorgenommen. Herr S. lebt im Pflegeheim und wird regelmäßig von seiner Lebensgefährtin besucht und aufopferungsvoll betreut. Eine gesetzliche Betreuung ist bisher nicht eingerichtet. Der Patient ist eingeschränkt mobil (mit Rollator) und benötigt intermittierend eine Sauerstofftherapie. Er verständigt sich mit seiner Lebensgefährtin mit einfacher Kommunikation und schaut mit ihr viel fern. Eine Patientenverfügung liegt nicht vor, die Lebensgefährtin gibt aber später an, er „sei immer ein Kämpfer gewesen“.

Auf diesem Hintergrund erfolgt die stationäre Aufnahme wegen PEG-Dislokation. Eine endoskopische Neuanlage ist wegen Ösophagusstenosen nicht möglich, daher ist eine operative Neuanlage geplant. Auf der Pflegestation kommt es zur akuten respiratorischen Verschlechterung. Die Röntgen-Diagnostik ergibt eine akute Pneumonie. Eine Antibiotika-Therapie wird unverzüglich begonnen. Nach mehreren Stunden wird der Patient notfallmäßig auf die Intensivstation verlegt. Trotz Sauerstofftherapie liegt die arterielle Sauerstoffsättigung bei 70 %, der Blutdruck ist nicht sicher messbar, die Herzfrequenz liegt bei 30/min. Bei Ankunft auf der Intensivstation liegt eine Reanimations-pflichtige Situation vor, diese wird für 45 Minuten durchgeführt. Es lässt sich ein stabiler Sinusrhythmus und Kreislauf wieder herstellen, der Patient ist intubiert und beatmet.

In den folgenden Tagen nimmt der Schweregrad der Pneumonie zu (Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa* im Bronchialsekret), die auf dem Boden eines schweren chronischen Lungenschadens trotz angepasster Antibiotika keine Tendenz zur Besserung zeigt. Nach Beendigung der Analgosedierung kommt es nur sehr zögerlich zur Vigilanzrückkehr. Im CT-Schädel sind ausgeprägte Allgemeinveränderungen sichtbar, aber es bestehen keine Hinweise auf eine akute hypoxische Gehirnschädigung. Unter druckunterstützter Spontanatmung besteht eine

extrem eingeschränkte Atemmechanik. Nur mit sehr hoher Druckunterstützung ist ein akzeptabler Gasaustausch erreichbar. Eine Kontaktaufnahme (Kopfnicken, Drücken der Hand) ist möglich, allerdings gelingt die Entwöhnung von der Beatmung nicht mehr. Eine Reduktion der hohen inspiratorischen Druckunterstützung führt nach kurzer Zeit zu massiver Hyperkapnie und moderater Hypoxie. Die Beatmung wird für 8 Tage weiter fortgesetzt; während dieser Zeit werden regelmäßig Gespräche mit der Lebensgefährtin zur ernsthaften Situation des Patienten geführt. Eine Tracheotomie und extrakorporale CO<sub>2</sub>-Elimination werden im Team erläutert, aber wegen der fehlenden längerfristigen Perspektive des Patienten verworfen. Die Lebensgefährtin fühlt sich überfordert. Sie kann einen konkreten Willen des Patienten nicht angeben und äußert ihren persönlichen Wunsch, **dass sie ihn nicht verlieren möchte**. Der Patient selbst ist nicht in der Lage, hierzu seinen Willen zu äußern. Um der Partnerin die Situation zu erleichtern und im Team eine Entscheidung vorzubereiten, wird vereinbart, für weitere 3 Tage eine Maximaltherapie (nochmaliger Antibiotikawechsel, Bauchlage, Versuch der Negativ-Bilanzierung) durchzuführen. Sofern sich nach 3 Tagen keine Besserung einstellt, soll die Extubation und palliative Begleitung vorgenommen werden.

Nach Ablauf der 3 Tage wird mit dem behandelnden Team unter Einbeziehung der Lebensgefährtin die aktuelle medizinische Situation besprochen und bewertet. Eine Verbesserung wird übereinstimmend nicht festgestellt. Nach dieser Zeit wird beschlossen, die Extubation unter ausgiebiger Symptomkontrolle (Morphin-Perfusor, Benzodiazepine, gründliches tracheales Absaugen, Mundhygiene, komfortable Lagerung) durchzuführen. Nach der Extubation entwickelt der Patient eine ausgeprägte Unruhe, sodass die Dosierung der Analgosedierung erhöht wird und für 30 Minuten eine unterstützte Maskenbeatmung erfolgt. Anschließend beruhigt sich der Patient und toleriert auch die Entfernung der Maske ohne nennenswerte Dyspnoe. Mithilfe der genannten Maßnahmen ist im Beisein der Lebensgefährtin ein ruhiger Sterbeprozess binnen 2 weiteren Stunden möglich.

Einen Monat nach dem Tod des Patienten bedankt sich die Partnerin des Verstorbenen in einem Brief für die ausführlichen Gespräche und menschliche Sterbebegleitung des Patienten durch das Team. Sie erinnere sich mit einem guten Gefühl an die schwierige Zeit des Abschiedes von ihrem Partner auf der Intensivstation.

## Literatur

- [1] Schöne-Seifert B (2007) Grundlagen der Medizinethik. Kröner Verlag, Stuttgart
- [2] Beauchamp T, Childress J (2001) Principles of biomedical ethics. Oxford University Press, New York/Oxford
- [3] Klinkhammer G (2005) Lexikon: Sterbehilfe. Deutsches Ärzteblatt 102(5):A312
- [4] Byock I (2006) Improving palliative care in intensive care units: identifying strategies and interventions that work. *Crit Care Med* 34:S302–S305
- [5] Schönhofer B, Berndt C, Ahtzeln U et al (2008) Entwöhnung von der Beatmungstherapie – Eine Erhebung zur Situation pneumologischer Beatmungszentren in Deutschland. *Dtsch Med Wochenschr* 133:700–704
- [6] Aslakson R, Cheng J, Galusca D et al (2014) Evidence-based palliative care in the Intensive Care Unit – a systematic review of interventions. *J Pall Med* 17:219–235
- [7] Sprung CL, Paruk F, Da F et al (2014) The Durban World Congress Ethics Round Table Conference Report: I. Differences between withholding and withdrawing life-sustaining treatments. *J Crit Care* 29:890–895
- [8] Mark NM, Rayner SG, Lee NJ et al. (2015) Global variability in withholding and withdrawal of life-sustaining treatment in the intensive care unit: a systematic review. *Intensive Care Med* 41: 1572–1585
- [9] Janssens U, Buchardi H, Duttge G et al (2013) Therapiezieländerung und Therapiebegrenzung in der Intensivmedizin. Positionspapier der Sektion Ethik der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin. *Anaesthesist* 62:47–52
- [10] Schönhofer B, Köhler D (2015) Beatmungsmedizin, Kap. 24. In: May A et al (Hrsg) Patientenverfügungen. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. [http://doi.org/10.1007/978-3-642-10246-2\\_24](http://doi.org/10.1007/978-3-642-10246-2_24).
- [11] Khandelwal N, Curtis JR (2014) Economic implications of end-of-life care in the ICU. *Curr Opin Crit Care* 20:656–661
- [12] White BD, Zaner RM, Bliton MJ, Hickson GB, Sergent JS (1993) An account of the usefulness of a pilot clinical ethics program at a community hospital. *QRB Qual Rev Bull* 19(1):17–24

- [13] Dörries A, Neitzke G, Simon A, Vollmann J (Hrsg) (2008) *Klinische Ethikberatung*. Ein Praxisbuch, 2. erweiterte Auflage 2010. Kohlhammer, Stuttgart
- [14] Sprung CL et al (2008) *Intensive Care Med* 34:271
- [15] Mark NM et al (2015) *Intensive Care Med* 41:1572–1585
- [16] Epker JL et al (2015) An observational study on a protocol for withdrawal of life-sustaining measures. *J Pain Symptom Manage* 50:676
- [17] van Beinum A et al (2015) Variations in the operational process of withdrawal of life-sustaining therapy. *Crit Care Med* 43:e450
- [18] Nava S, Sturani C, Hartl S et al (2007) End-of-life decision-making in respiratory intermediate care units: a European survey. *Eur Respir J* 30:156–164
- [19] Meyer T, Dullinger JS, Münch C et al (2008) Elektive Termination der Beatmungstherapie bei der amyotrophen Lateralsklerose. *Nervenarzt* 79:684–690
- [20] Bundesärztekammer (Hrsg) (2011) Grundsätze der Bundesärztekammer zur ärztlichen Sterbegleitung. *Dtsch Arztebl* 108:A346–A348
- [21] Sprung CL, Ledoux D, Bulow HH et al (2008) Relieving suffering or intentionally hastening death: where do you draw the line? *Crit Care Med* 36:8–13
- [22] Hall RI, Rocker GM (2000) End-of-life care in the ICU: treatments provided when life support was or was not withdrawn. *Chest* 118:1424–1430
- [23] O'Mahony S, McHugh M, Zallman L et al (2003) Ventilator withdrawal: procedures and outcomes. Report of a collaboration between a critical care division and a palliative care service. *J Pain Symptom Manage* 26:954–961
- [24] Nava S, Sturani C, Hartl S et al (2007) End-of-life decision-making in respiratory intermediate care units: a European survey. *Eur Respir J* 30:156–164
- [25] Shee CD, Green M (2003) Non-invasive ventilation and palliation: experience in a district general hospital and a review. *Palliat Med* 17:21–26
- [26] Epstein RM, Alper BS, Quill TE (2004) Communicating evidence for participatory decision making. *JAMA* 291:2359–2366
- [27] White DB, Evans LR, Bautista CA et al (2009) Are physicians recommendations to limit life support beneficial or burdensome? Bringing empirical data to the debate. *Am J Respir Crit Care Med* 180:320–325
- [28] Lautrette A, Darmon M, Megarbane B et al (2007) A communication strategy and brochure for relatives of patients dying in the ICU. *N Engl J Med* 356:469–478
- [29] Pochard F, Azoulay E, Chevret S et al (2001) Symptoms of anxiety and depression in family members of intensive care unit patients: ethical hypothesis regarding decision-making capacity. *Crit Care Med* 29:1893–1897
- [30] Anderson WG, Cimino JW, Ernecoff NC et al (2015) A multicenter study of key stakeholders' perspectives on communicating with surrogates about prognosis in intensive care units. *Ann Am Thorac Soc* 12:142–152
- [31] Scheunemann LP, Cunningham TV, Arnold RM et al (2015) How clinicians discuss critically ill patients' preferences and values with surrogates: an empirical analysis. *Crit Care Med* 43:757–764
- [32] Sadler E, Hales B, Xiong W et al (2014) Factors affecting family satisfaction with inpatient end-of-life care. *PLoS One* 9:e11860
- [33] Windisch W, Brambring J, Budweiser S et al (2010) Nichtinvasive und invasive Beatmung zur Therapie der chronisch respiratorischen Insuffizienz. *Pneumologie* 64:207–240
- [34] Schönhofer B, Geiseler J, Dellweg D et al (2014) Prolongiertes Weaning. S2k-Leitlinie herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. *Pneumologie* 68:19–75
- [35] Janssens U, Buchardi H, Duttge G et al (2013) Therapiezieländerung und Therapiebegrenzung in der Intensivmedizin. Positionspapier der Sektion Ethik der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin. *Anaesthesist* 62:47–526



# Besondere Patientengruppen

*Sebastian Lemmen, Hans Jürgen Heppner und Georg Nilius*

## **7.1 Prävention der Übertragung von multiresistenten Erregern – 90**

- 7.1.1 Einleitung – 90
- 7.1.2 Multiresistente gramnegative Erreger (MRGN) – 90
- 7.1.3 Risikofaktoren für multiresistente Erreger – 90
- 7.1.4 Präventionsmaßnahmen – 91
- 7.1.5 Sonderfall *Acinetobacter-baumannii*-Komplex – 96
- 7.1.6 Zusammenfassung – 97

## **7.2 Demographische Entwicklung und Besonderheiten beim geriatrischen Patienten – 97**

- 7.2.1 Demographie – 97
- 7.2.2 Geriatrischer Patient – 97
- 7.2.3 Heimbeatmung – 99

## **7.3 Bedeutung von Komorbiditäten im Weaning – 99**

- 7.3.1 Einleitung – 99
- 7.3.2 Atemwege und Lunge – 100
- 7.3.3 Zwerchfelldysfunktion, primäre Muskel- und Nervensystemerkrankung – 103
- 7.3.4 Herz-Kreislauf-Erkrankung – 104
- 7.3.5 Endokrinologie – 105
- 7.3.6 Elektrolytstörung – 106
- 7.3.7 Zusammenfassung – 107

**Literatur zu Abschnitt 7.1 – 107**

**Literatur zu Abschnitt 7.2 – 109**

**Literatur zu Abschnitt 7.3 – 110**

Insbesondere Patienten im schwierigen und prolongierten Weaning stellen eine äußerst komplexe und heterogene Patientengruppe dar, weil der protrahierte Prozess von der Ursache selbst (z. B. komplexe Infektionen, septischer Schock, komplexe Operationen), aber auch von diversen Komorbiditäten der Patienten abhängig sein kann. In diesem Kapitel sollen relevante Ursachen, die den Progress der Beatmungsentwöhnung mitbeeinflussen können, dargelegt werden.

## 7.1 Prävention der Übertragung von multiresistenten Erregern

### 7.1.1 Einleitung

Unter multiresistenten Erregern (MRE) versteht man i. d. R. Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus*-Stämme (MRSA), Vancomycin-resistente *Enterococcus faecium/faecalis*-Stämme (VRE) und multiresistente gramnegative Bakterien (MRGN). In den letzten Jahren kam es weltweit zu einer Zunahme multiresistenter Erreger und konsekutiven Infektionen. In Deutschland wurden 2013 schätzungsweise 30.000 Krankenhausinfektionen durch MRE verursacht, deren Anteil an allen nosokomialen Infektionen somit etwa 6 % betrug [1]. Im klinischen Alltag bedeutet dies, dass, mit Ausnahme von MRSA, die therapeutischen Optionen bei Infektionen mit diesen Erregern extrem limitiert sind. Die Forschungsergebnisse der pharmazeutischen Industrie lassen – abgesehen von neuen Beta-laktamaseinhibitoren mit deutlich erweitertem Wirkspektrum (z. B. Avibactam) – nicht wirklich einen innovativen und neuen therapeutischen Ansatz erkennen. So ist man teilweise gezwungen auf ältere Antibiotika, wie z. B. Colistin oder Fosfomycin zurückzugreifen – zumal es durchschnittlich ca. 10 Jahre dauert, bis es zur Zulassung eines marktreifen neuen Produktes kommt. Die Evidenz, auf der die Therapieempfehlungen mit diesen „alten“ Antibiotika beruhen, ist jedoch mangels randomisierter kontrollierter klinischer Studien äußerst gering. Aufgrund dieser Problematik kommt der Transmissions- und Infektionsprävention eine besonders wichtige Rolle zu.

### 7.1.2 Multiresistente gramnegative Erreger (MRGN)

Aufgrund limitierter Therapiealternativen stellen die MRGN heute ein größeres Problem dar als MRSA. Die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert-Koch-Institut (KRINKO) hat im Jahr 2012 ein neues Klassifizierungssystem für multiresistente gramnegative Erreger auf der Basis phänotypischer Resistenzeigenschaften eingeführt (■ Tab. 7.1).

Dieses neue Klassifizierungssystem dient der Vereinfachung der Identifizierung von gramnegativen Problemkeimen anhand des Antibiogramms, macht allerdings den Vergleich mit internationalen Daten schwierig, da dieses System bisher nur in Deutschland Anwendung findet.

Die Infectious Disease Society of America (IDSA) hat unter der Abkürzung **ESKAPE** besonders problematische Erreger nosokomialer Infektionen zusammengefasst [3]:

- **E** – Enterokokken, *E. faecium* mit und ohne Vancomycinresistenz (VRE)
- **S** – *Staphylococcus aureus*, Methicillin-resistent (MRSA)
- **K** – *Klebsiella pneumoniae* und *Escherichia coli* mit Bildung von Extended-Spektrum  $\beta$ -Laktamasen (ESBL) oder Carbapenemasen
- **A** – *Acinetobacter* spp., multiresistent
- **E** – *Enterobacter* spp. mit Bildung von Extended-Spektrum  $\beta$ -Laktamasen (ESBL) oder Carbapenemasen

### 7.1.3 Risikofaktoren für multiresistente Erreger

Insbesondere bei Patienten auf einer Weaningstation, die im Rahmen Ihres langen stationären Aufenthaltes – oft auch auf einer Intensivstation – mit mehreren unterschiedlichen Antibiotika-Substanzklassen therapiert wurden, ist der Selektionsdruck auf die endogene Bakterienflora groß und damit auch das Risiko einer Kolonisation und Infektion mit MRE.

**Tab. 7.1** Klassifizierung multiresistenter gramnegativer Stäbchen auf der Basis ihrer phänotypischen Resistenzeigenschaften (R = resistent oder intermediär empfindlich, S = sensibel) [2]

Antibiotika- gruppe	Leitsubstanz	Enterobakterien		Pseudomonas aeruginosa		Acinetobacter baumanii	
		3 <sup>1</sup> MRGN	4 <sup>2</sup> MRGN	3 <sup>1</sup> MRGN	4 <sup>2</sup> MRGN	3 <sup>1</sup> MRGN	4 <sup>2</sup> MRGN
Acylureidopenicilline	Piperacillin	R	R	Nur eine der 4 Antibiotika- gruppen wirksam (sensibel)	R	R	R
3./4. Generations-Cephalosporine	Cefotaxim und/oder Cef- tazidim	R	R		R	R	R
Carbapeneme	Imipenem und/oder Me- ropenem	S	R		R	S	R
Fluochinolone	Ciprofloxacin	R	R		R	R	R

<sup>1</sup> 3-MRGN (Multiresistente gramnegative Stäbchen mit Resistenz gegen 3 der 4 Antibiotikagruppen)

<sup>2</sup> 4-MRGN (Multiresistente gramnegative Stäbchen mit Resistenz gegen 4 der 4 Antibiotikagruppen)

Weaning-Patienten erfüllen dabei gleichzeitig mehrere Risikofaktoren für eine Besiedlung/Infektion mit MRE (s. u.). Besonders problematisch sind in diesem Zusammenhang Erreger mit einer bereits hohen intrinsischen Antibiotika- oder Umweltpersistenz, wie z. B. Acinetobacter baumannii, Pseudomonas aeruginosa oder Klebsiella pneumoniae.

#### Risikofaktoren für multiresistente Erreger

- Antibiotika-Vortherapie innerhalb der letzten 3 Monate
- Lange Antibiotikatherapie
- Invasive devices, wie z. B. Katheter, Sonden usw.
- Langer Aufenthalt im Krankenhaus oder auf der Intensivstation
- Krankenhausaufenthalt in den letzten 3 Monaten
- Unterbringung in einem Pflegeheim
- Immundefizienz
- Mangelernährung
- Dialyse, chronische Wunden, Diabetes, Multimorbidität

#### 7.1.4 Präventionsmaßnahmen

Um die Ausbreitung von MRE im Krankenhaus zu reduzieren, stehen unterschiedliche Ansätze zur Verfügung. Einerseits kann durch die Reduktion des Selektionsdruckes die Entstehung von Multiresistenzen begrenzt werden („Antibiotic Stewardship“), andererseits kann durch krankenhaushygienische Maßnahmen die Übertragung von MRE von Patient zu Patient reduziert werden [4].

#### Krankenhaushygienische Maßnahmen

Zum Umgang mit MRSA und MRGN existieren nationale und internationale Empfehlungen. Leider beruhen diese Empfehlungen auf einer schlechten Evidenzlage [2, 5–7]. Zum Umgang mit VRE existieren derzeit keine offiziellen Empfehlungen für Deutschland, sondern lediglich Expertenmeinungen [8].

Die Maßnahmen zur Reduktion/Vermeidung einer Transmission beruhen hierbei auf den Prinzipien:

- frühzeitige Detektion durch Screening,

- Einleitung von Barrieremaßnahmen (Isolierung) mit konsequenter Einhaltung der Händehygiene,
- Desinfektion der patientennahen Umgebung und
- Eradikation des Erregers durch Dekolonisierung.

## ■ Mikrobiologisches Screening

### ■ ■ MRSA

Die Transmissions- und Infektionsprävention durch ein mikrobiologisches Screening auf MRE wird aktuell kontrovers diskutiert. Für MRSA existieren hierzu Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert-Koch-Institut (KRINKO) [5]. Nach ärztlicher einrichtungsspezifischer Risikoanalyse sollen Krankenhäuser im Hygieneplan die Indikation eines MRSA-Screenings definieren. Diese sollte zumindest die Risikopopulation für MRSA mit einbeziehen. Als Alternative zu einem organisatorisch schwer umsetzbaren Screening von Risikopatienten bzw. einem kostenintensiven generellen Screening aller Krankenhausneuaufnahmen, ist ein Hotspot-Screening aus Nutzen-Effektivitätsgründen eine sinnvolle und praktikable Alternative. Man versteht hierunter die Durchführung von Screeninguntersuchungen in Risikobereichen mit bekannt hoher MRSA-Prävalenz bzw. -Transmission, wie z. B. auf einer Intensiv- oder Weaningstation. Dies bedeutet, dass z. B. jede Neuaufnahme auf diese Station, sowie jeder Patient zusätzlich routinemäßig, z. B. einmal wöchentlich auf MRSA gescreent wird. Die Empfehlung der KRINKO kann nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Evidenz für ein mikrobiologisches Screening auf MRSA im Sinne der Transmissions- und Infektionsprävention gering ist. Die meisten Studien untersuchten die Effektivität von Screeninguntersuchungen im Rahmen sog. Maßnahmenbündel. Hier wurde die gleichzeitige Anwendung mehrerer Präventionsmaßnahmen auf die Transmissions- und Infektionsrate untersucht. In diesen Untersuchungen konnte teilweise

MRSA-Transmissionen reduziert werden, teilweise beeinflussten diese Maßnahmen jedoch nicht die Übertragungsraten [9–12]. An dieser Stelle kann nur – entsprechend der KRINKO-Empfehlung – ein für eine Weaningstation spezifisches Vorgehen empfohlen werden, welches sich nach MRSA-Last und MRSA-Transmission orientieren sollte; ein solches sollte zwischen dem Krankenhaushygieniker und dem verantwortlichen Kliniker abgestimmt werden.

### ■ ■ Multiresistente gramnegative Stäbchenbakterien

Für den Umgang mit kolonisierten bzw. infizierten Patienten mit MRGN-Erregern existiert ebenfalls eine Empfehlung der KRINKO.

- Patienten, die in Gesundheitseinrichtungen in Risikoländern innerhalb der letzten 12 Monate behandelt wurden und
- Patienten, die im selben Zimmer, wie ein 4-MRGN-positiver Patient gepflegt wurden sowie
- Patienten mit einem stationären Krankenhausaufenthalt (> 3 Tage) in den zurückliegenden 12 Monaten in einer Region mit erhöhter 4-MRGN-Prävalenz,

sollen bei Aufnahme ins Krankenhaus auf 4MRGN-Erreger gescreent werden (Rektalabstriche ggf. zusätzlich chronische Wunden und Urin) [2, 13]. Unter Risikoländern für MRGN versteht man z. B. Mittelmeeranrainerstaaten, Russland und Indien.

Aufgrund der insgesamt unzureichenden Daten bzgl. der 4-MRGN-Prävalenz in unterschiedlichen Ländern oder Regionen empfiehlt sich als pragmatisches Vorgehen ein Screening bei entsprechender (Auslands-) Anamnese mit Krankenhausaufenthalt unabhängig vom Ort des Aufenthaltes. Die Evidenz auch für dieses Vorgehen ist gering. Informationen über die 4-MRGN-Prävalenz innerhalb Deutschlands kann man über die Homepage des Robert-Koch-Institutes erhalten ([www.rki.de](http://www.rki.de)).

Auf einer Weaningstation wird es solche Patienten aber nur sehr selten geben. Bei dieser

Klientel wird es jedoch häufiger vorkommen, dass Patienten mit bekanntem 4MRGN wieder stationär aufgenommen werden müssen. Hier empfiehlt sich – analog zu MRSA – die Patienten zunächst im Einzelzimmer zu isolieren und je nach Ergebnis des Screenings (insbesondere respiratorisches Sekret) das weitere krankenhaushygienische Vorgehen festzulegen.

Ein Screening auf 3MRGN-Erreger wird derzeit ohne Häufung, bzw. Verdacht auf einen Ausbruch nicht empfohlen.

Vergleichbares gilt auch für VRE, auch Experten empfehlen, keine Screening-Untersuchungen auf VRE durchzuführen [8].

#### ■ ■ Generelle Aussage

Hinzu kommt generell, dass aufgrund fehlender Standardisierung die Sensitivität und Spezifität der Screeninguntersuchungen sehr unterschiedlich ist. So fehlt es z. B. an Vorgaben, wie viele Tupfer, welches Tupfermaterial oder welche Abstrichlokalisationen verwendet werden sollen. Auch die Labormethoden (kultureller vs. molekularbiologischer Nachweis, Standard- vs. Selektivagar) sind nicht standardisiert. All dies hat jedoch einen signifikanten Einfluss auf die Detektionsrate [29].

#### ■ Barrieremaßnahmen und Isolierung im Einzelzimmer

Unter Barrieremaßnahmen versteht man das Tragen von Schutzkitteln, Handschuhen und ggf. das Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes bei direktem Patientenkontakt. Hiervon abzugrenzen ist die Isolierung im Einzelzimmer, die aber je nach Literaturstelle häufig auch als Bestandteil der Barrieremaßnahmen verstanden wird.

Die KRINKO empfiehlt bei MRSA vor ärztlichen, therapeutischen, physiotherapeutischen und sonstigen medizinischen Interventionen sowie vor Reinigungsmaßnahmen einen Schutzkittel und einen Mund-Nasen-Schutz anzulegen, der nur in diesem räumlichen Trennungsbereich eingesetzt wird [5]. Für diese Empfehlung ist die Evidenz gering und widersprüchlich. Eine Reduktion der MRSA-Akquisition durch das

Tragen von Kitteln und Handschuhen konnte beobachtet werden [14], zudem ließ sich die Effektivität als Bestandteil von Bündelmaßnahmen nachweisen [10]. Andererseits gibt es Studien, die keine Reduktion der Transmission durch das Tragen von Schutzkitteln belegen [15]. Aktuelle Metaanalysen und Reviews zeigen, dass die Isolierung (Einzelzimmer mit Barriemaßnahmen) weder die Transmissions- noch die Infektionsrate von MRSA oder VRE reduziert; durch Implementierung erregerunabhängiger Maßnahmen – sogenannter horizontaler Maßnahmen, wie Händehygiene, antiseptische Körperwaschung und Antibiotic Stewardship – konnten diese reduziert werden, bei VRE war dieser Effekt sogar signifikant [30, 31].

Dennoch empfiehlt die KRINKO für Risikobereiche, zu denen man durchaus auch eine Weaningstation zählen kann, die Isolierung im Einzelzimmer von MRSA-, 3- und 4-MRGN-positiven Patienten [2, 5].

Andererseits zeigen Studien, dass die medizinische Versorgungsqualität bei Isolierung im Einzelzimmer deutlich abnimmt. So kam es bei isolierten Patienten im Vergleich zu nicht-isolierten Patienten signifikant häufiger zu einer Hypo- bzw. Hyperglykämie sowie zu Medikationsfehlern mit Antikoagulanzen [16, 32]. Andere Arbeiten konnten wiederum nachweisen, dass insbesondere bei länger andauernden Isolierungen Patienten signifikant häufiger Angstgefühle und Depressionen entwickeln und Mitarbeiter deutlich seltener das Patientenzimmer betreten [17]. Konträr zu diesen Arbeiten konnte in einer kürzlich erschienenen prospektiven Kohortenstudie gezeigt werden, dass bei Patienten unter Isolierungsmaßnahmen die Rate an unerwünschten Ereignissen niedriger war, als bei Patienten, die nicht isoliert waren [18].

Zusammenfassend zeigen zunehmend mehr Interventionsstudien, dass eine Patientenisolierung im Einzelzimmer kein adäquates Mittel zur Reduktion der Erregertransmission oder Infektion ist; um diese Fragestellung abschließend wissenschaftlich beantworten zu können, fehlt eine prospektive randomisierte klinische

Studie. Dennoch muss unter Berücksichtigung der nachgewiesenen häufig schlechteren medizinischen Versorgung aktuell diese noch gängige Praxis hinterfragt werden, zumal alternative horizontale Optionen zur Verfügung stehen [33]

#### ■ Dekolonisierungsmaßnahmen

Für MRSA bestehen Empfehlungen zur gezielten Dekolonisierung bei entsprechendem Nachweis. Hierbei kommen antiseptische Körperwaschungen in Kombination mit antiseptischen Mundspülungen und der Applikation von Nasensalbe zur Anwendung. Dieses Regime wird meist über 5 bis 7 Tage angewendet und führt in der Mehrzahl der Fälle zumindest zu einer intermittierenden MRSA-Eradikation. Wir befürchten, dass die Erfolgsaussichten derartiger Maßnahmen bei Weaningpatienten deutlich geringer sind, da diese chronisch krank sind, wiederholt Antibiotika benötigen; hinzu kommt, dass ein Fremdkörper, wie z. B. eine Trachealkanüle oder ein Tubus eine Erregerpersistenz begünstigt.

Empfehlungen zur gezielten Eradikation von MRGN und VRE existieren nicht. Da das Reservoir für die meisten dieser Erreger i. d. R. der Darm des Patienten ist, scheint eine Eradikation auch nur schwer durchführbar zu sein.

Ergänzend können ungezielte Dekolonisierungsmaßnahmen mit Antiseptika, ungeachtet des Kolonisierungsstatus des Patienten, durchgeführt werden. Hierbei wird z. B. jeder Patient einer Intensiv- oder Weaningstation täglich mit einer antiseptischen Waschlösung, mit z. B. **Chlorhexidin** oder **Octenidin**, gewaschen. Das Ziel dieses Vorgehens ist nicht die Eradikation von MRE beim Patienten, sondern der Bakterienlast auf der Haut soweit zu reduzieren, dass das Risiko einer Erregertransmission deutlich vermindert wird. Die Senkung der Transmissionsrate von MRSA bei Intensivpatienten konnte durch dieses Vorgehen in 4 prospektiven, randomisierten klinischen Studien unter Einschluss von insgesamt etwa 100.000 Patienten gezeigt werden [12, 19–21]. Es existieren ebenfalls Hinweise, dass ungezielte Dekolonisierungsmaßnahmen die Transmissionsraten von VRE senken können [19]. Ob diese Maßnahme auch zur Reduktion der Transmission

von MRGN beitragen kann, ist nach der derzeitigen Datenlage unklar, erscheint aber eher unwahrscheinlich, da für die meisten Erreger das gesamte Kolon als Reservoir angenommen werden muss [6]. Es gibt jedoch Hinweise, dass eine tägliche Waschung mit Chlorhexidin bei Intensivpatienten den Erwerb von Carbapenem-resistenten *Acinetobacter baumannii* signifikant senken kann [22].

Natürlich müssen die potentiellen Nachteile einer täglichen Ganzkörperwaschung mit einem Antiseptikum, wie z. B. allergische Reaktionen, Hautmazerationen, Resistenzzunahme gegen die Vorteile abgewogen werden, obwohl all diese Nachteile in den Studien – soweit sie untersucht wurden – extrem selten auftraten. Wir wenden dieses Konzept der täglichen ungezielten Dekolonisation mit einem Antiseptikum bei Patienten auf Intensiv-Intermediate-Care- und -Weaningstation seit nun mehr als 2 Jahren an. Bei Intensivpatienten konnten wir seitdem eine signifikante Reduktion der MRSA-Transmission beobachten, entsprechende Daten für unser Weaningstation stehen noch aus.

#### ■ Basishygiene (Händedesinfektion, Flächendesinfektion)

Ergänzend zu den bereits aufgeführten Maßnahmen ist die Händehygiene die wichtigste Einzelmaßnahme zur generellen Vermeidung der Transmission von sensiblen und multiresistenten Erregern. So konnte z. B. durch die Verbesserung der Compliance mit der Händehygiene eine signifikante Senkung der MRSA-Transmissionsrate und der Inzidenz nosokomialer MRSA-Infektionen erreicht werden [23, 24]. Barrieremaßnahmen bzw. die Isolierung von Patienten können eine mangelhafte Compliance mit der Händehygiene nicht ersetzen oder kompensieren. Daher müssen innovative Wege gefunden und in der Klinik implementiert werden, mit denen sich das Bewusstsein für die Händehygiene und damit verbunden die Compliance mit der Händedesinfektion steigern lassen. Dies könnten beispielsweise neben der Beobachtung der Händehygiene mit zeitnahe Feedback weitere motivationsfördernde Maßnahmen sein. Aktuell wird die Verwendung von

Apps für das Smartphone oder von Bildschirm-schonern mit Informationen zur Händehygiene diskutiert und untersucht. Auch die Teilnahme eines Krankenhauses an einer Kampagne zur Verbesserung der Compliance der Händehygiene, wie z. B. die Aktion „Saubere Hände“ in der die Leitungsebene einer Einrichtung aktiv mit-einbezogen wird, kann zu diesem Ziel beitragen. Die teilnehmenden Einrichtungen verpflichten sich, bestimmte Mindestmaßnahmen zur **Steigerung der Händehygiene-compliance** umzusetzen [25].

Auch die unbelebte Patientenumgebung kann zur indirekten Übertragung von MRE beitragen. Dies liegt darin begründet, dass manche Erreger in der unbelebten Umgebung Tage bis

Wochen überleben und dann sekundär über die Hände des Personals weiter verbreitet werden können. Vor allem bei besonders umweltresistenten Erregern, wie z. B. *Acinetobacter baumannii*, MRSA und z. T. auch bei *Klebsiella pneumoniae* kommt der Flächendesinfektion eine gewisse Bedeutung zu. Der Stellenwert der Flächendesinfektion spiegelt sich auch in den aktuellen Empfehlungen der European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ESCMID) zur Vermeidung der Verbreitung von MRGN wider [6].

Aufgrund der aktuellen Empfehlungen und Literatur scheinen die in **Tab. 7.2** zusammengefassten krankenhaushygienischen Maßnahmen im Umgang mit MRE aus unserer Sicht sinnvoll.

**Tab. 7.2** Praktikable krankenhaushygienische Maßnahmen bei multiresistenten Erregern auf einer Weaningstation

	MRSA	VRE	MRGN		
			3-MRGN	4-MRGN	4-MRGN <i>A. baumannii</i>
Screening	+ <sup>1</sup>	∅	∅	+ <sup>2</sup>	+ <sup>2</sup>
Einzelzimmer	∅	∅	∅ <sup>4</sup>	+	+
Mund-Nasen-Schutz	+ <sup>3</sup>	∅	∅	+ <sup>3</sup>	+ <sup>3</sup>
Schutzkittel (nur bei direktem Patientenkontakt) nur bei direktem Patientenkontakt	+	+	+	+	+ <sup>5</sup>
Händehygiene	+	+	+	+	+
Flächendesinfektion	+	+	+	+	+ <sup>6</sup>
Handschuhe	Die Besiedlung mit MRE stellt generell keine Indikation zum Tragen von Handschuhen dar. Sie sollten nur bei Patientenkontakt und Kontakt mit potentiell infektiösem Material getragen werden.				

<sup>1</sup> nur Hotspot Screening (alternativ: risikoadaptiertes Screening)

<sup>2</sup> nur Screening bei Patienten aus Risikoregionen und Nachbarpatienten von Kolonisierten

<sup>3</sup> nur bei Entstehung von Aerosolen (z. B. endotracheales Absaugen)

<sup>4</sup> nach KRINKO: im Risikobereich Einzelzimmer empfohlen, nach ESCMID keine ausdrückliche Empfehlung für das Einzelzimmer

<sup>5</sup> Anlegen vor Betreten des Zimmers

<sup>6</sup> zweimal täglich

## Antibiotic Stewardship

Unter Antibiotic Stewardship (ABS) versteht man die Begleitung der Antibiotikatherapie im Rahmen eines konzeptionellen Ansatzes durch ein multidisziplinäres Team idealerweise bestehend aus einem Infektiologen, Apotheker, Mikrobiologen und Krankenhaushygieniker. Um eine leitliniengerechten Antibiotikatherapie zu unterstützen, hat die Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) unter Federführung der Deutschen Gesellschaft für Infektiologie ABS-Maßnahmen in einer S3-Leitlinie zusammengefasst [26]. Zu den Aufgaben eines solchen ABS-Teams gehören u. a. die Durchführungen regelmäßiger Fortbildungen bzw. Schulungen zu rationaler Antibiotikatherapie, Erstellung hausinterner Antibiotikaleitlinien/-pfade und einer Antiinfektivhausliste sowie die Durchführung von Antiinfektivverordnungsanalysen bzw. -visiten unter der Verwendung von Qualitätsindikatoren, wie Antibiotikaverbrauchsangaben und einer Resistenzstatistik. Auch wenn ein solches Programm im engeren Sinne nicht direkt zur Transmissionsreduktion von Erregern beiträgt, so kann es über eine Reduktion des Selektionsdruckes zur Reduktion der MRE-Prävalenz beitragen [27]. In einer aktuellen Metaanalyse konnte durch Implementierung von ABS-Strukturen bei unveränderten Präventionsmaßnahmen MRSA-positive Patienten um ca. 30 % und MRGN-positive Patienten um ca. 50 % jeweils signifikant reduziert werden [34].

### 7.1.5 Sonderfall Acinetobacter baumannii-Komplex

*Acinetobacter baumannii* ist charakterisiert durch sein ubiquitäres Vorkommen in der Umwelt (Boden, Wasser, Tieren, Pflanzen und Menschen) und seine extreme Umweltresistenz, in Kombination mit einer außerordentlichen Fähigkeit, Resistenzmechanismen gegen

Antibiotika zu entwickeln. Der Erreger weist eine intrinsische Resistenz gegenüber Penicillinen und Cephalosporinen auf. Zunehmend werden auch Carbapenemresistenzen durch Carbapenemasenbildung, wie z. B. Oxa-23 beobachtet. Diese Eigenschaften machen ihn gerade auf Stationen mit einer hohen Antibiotikaanwendungsrate, wie z. B. einer Intensiv- oder Weaningstation, zu einem häufigen Erreger, der immer wieder zu Ausbrüchen führt und mit einer hohen Letalität assoziiert ist. Man unterscheidet die *A. baumannii*-Gruppe (*A. baumannii*, *A. calcoaceticus*, *A. pittii*, *A. nosocomialis*) und *Acinetobacter species* außerhalb der *A. baumannii*-Gruppe, die nur selten Erreger von Infektionen sind.

Um den Besonderheiten dieses Erregers besser gerecht zu werden, hat die European Society of Intensive Care Medicine (ESICM) Empfehlungen zum Umgang mit *A. baumannii* publiziert [28]. Leider beruhen diese Empfehlungen mangels randomisierter kontrollierter Studien größtenteils nur auf Beobachtungsstudien und Expertenmeinungen. Bei sporadischem Vorkommen von *A. baumannii* sollte folgendes Maßnahmenbündel entsprechend den ESICM-Empfehlungen zur Anwendung kommen:

- Schulungen des Personals mit dem Fokus auf Händehygiene,
- Isolierung des Patienten im Einzelzimmer,
- Anwendung weiterer Barrieremaßnahmen (z. B. Kittel, Mund-Nasen-Schutz, Handschuhe),
- intensivierete Flächendesinfektion und Implementierung eines Antibiotic-Stewardship-Programmes.

In der Ausbruchssituation sollten zusätzlich Screeningkulturen aus pharyngealen und rektalen Abstrichen und respiratorischen Materialien bei allen Patienten der betroffenen Einheit wöchentlich gewonnen werden. Die empfohlenen Maßnahmen sind in [Tab. 7.2](#) zusammengefasst.

### 7.1.6 Zusammenfassung

Die Evidenz offizieller Empfehlungen und Leitlinien zur Vermeidung einer Erregertransmission bei MRE, sofern überhaupt existent, ist mangels kontrollierter randomisierter Studien gering. Es mehren sich Reviews und Metaanalysen, die zeigen, dass eine Isolierung MRE-positiver Patienten die Transmissionsraten nicht reduzieren, jedoch mit einer schlechteren medizinischen Versorgung assoziiert sind – Zeit also zum Umdenken. Alternative erregerunabhängige Maßnahmen, wie Händehygiene, Ganzkörperwaschung mit Antiseptika und Antibiotic Stewardship sind gut untersucht und bessere Optionen Transmissionen und Infektionen zu reduzieren.

## 7.2 Demographische Entwicklung und Besonderheiten beim geriatrischen Patienten

Aufgrund der demographischen Entwicklung steigt der Anteil geriatrischer Patienten in allen Versorgungseinrichtungen und -stufen an. Die Veränderungen des Alterns stellen neue Herausforderungen an die medizinische Versorgung und das Management von Beatmungs- und Entwöhnungskomplikationen bei geriatrischen Patienten in Bezug auf deren Multimorbidität, drohender Behinderungen und Funktionseinschränkungen durch das prolongierte Weaning.

### 7.2.1 Demographie

Altern der Bevölkerung bedeutet, dass sich die Zusammensetzung der Bevölkerung immer mehr in Richtung älterer Menschen verschiebt. Im Jahr 2050 wird der Anteil der über 65-Jährigen auf 30 bis 40 % geschätzt. Es ist die Rede von der Altersgesellschaft, der alternden Gesellschaft oder der Überalterung; die Alterspyramide stehe

Kopf. Wie aktuelle Modellrechnungen zur Bevölkerungsentwicklung zeigen, wird der Anteil der 65-Jährigen und Älteren von heute 19,8 % auf 31,8 % bis 33,2 % im Jahre 2050 – je nach Wanderungsannahme – steigen; zugleich wird sich der Anteil der Hochbetagten (80 Jahre und älter) auf etwa 14 bis 15 % erhöhen und damit fast verdreifachen [35]. Diese Verschiebung der Altersstruktur zugunsten der Anteile älterer Menschen wird sich, wie die Bevölkerungspyramide für das Jahr 2050 zeigt, weiter fortsetzen. So werden 2050 die Altersjahrgänge der etwa 60-Jährigen am stärksten vertreten sein; der Anteil der 80-Jährigen wird dann höher sein als der Anteil der Neugeborenen.

Damit ist klar, dass auf die Versorgung geriatrischer Patienten und die Kenntnisse altersphysiologischer Veränderungen zukünftig ein besonderes Augenmerk gelegt werden muss.

### 7.2.2 Geriatrischer Patient

#### Definition des geriatrischen Patienten [36]

Geriatrische Patienten sind definiert durch:

- geriatrietypische Multimorbidität und
- höheres Lebensalter (überwiegend 70 Jahre oder älter); die geriatrietypische Multimorbidität ist hierbei vorrangig vor dem kalendarischen Alter zu sehen;

oder durch

- Alter 80+
- aufgrund der alterstypisch erhöhten Vulnerabilität, z. B. wegen
  - des Auftretens von Komplikationen und Folgeerkrankungen,
  - der Gefahr der Chronifizierung sowie
  - des erhöhten Risikos eines Verlustes der Autonomie mit Verschlechterung des Selbsthilfestatus.

Zwar ist das Altern keine Krankheit [37], aber durch die Verringerung der Anpassungsfähigkeit des Organismus und die verminderten funktionalen Reserven kann sich der Weaningprozess beim älteren Patienten deutlich schwieriger darstellen. Zudem finden im Alter strukturelle und funktionelle Organveränderungen statt, die Einfluss auf die Entwöhnungsphase haben. So führt der Verlust der muskulären Unterstützung im Pharynx zu einer verringerten Effektivität der Schutzreflexe im Bereich der oberen Atemwege [38], Osteoporose und die reduzierte Kraft der Atemmuskulatur führen zu Veränderungen der Lungenmechanik.

7

#### Altersbedingte Veränderungen am Atmungssystem [39]

- Vergrößerung der Alveolen
- Verlust elastischer Fasern
- erhöhtes Residualvolumen
- reduzierte Interkostalmuskulatur
- instabiles Bronchialsystem

Dies bedeutet auch, da die physischen und psychischen Reserven vermindert sind, dass sich Sekundärkomplikationen rasch einstellen und die Rekonvaleszenz verzögert ist.

Dies alles kann zum Weaningversagen und nachfolgender permanenter Respiratorabhängigkeit führen. Grund hierfür sind nicht, wie im jüngeren Erwachsenenalter, (neuro-)muskuläre Erkrankungen, sondern vielmehr im Grenzbereich, bei Patienten die nach einer akuten Erkrankung nicht mehr entwöhnt werden können, zu finden.

#### Frailty

Führend ist hierbei das Syndrom der „Frailty“, ein Symptomenkomplex der bei älteren Menschen beobachtet wird. Dieser beschreibt die Vulnerabilität des alternden Organismus durch mannigfaltige endogene und exogene Störmechanismen [40]. Frailty ist am besten nach den Kriterien von Fried [41] zu belegen [42]. Bestimmte Laborparameter lassen sich zur frühen Diagnose der Frailty heranziehen [43].

Mit dem Frailty-Syndrom eng verbunden ist die Sarkopenie, der ausgeprägte Verlust an Muskelkraft und Muskelmasse im Alter [44], was von großer Bedeutung für die Atemhilfsmuskulatur ist [45]. Beim älteren Patienten ist nach einer Beatmung der Übergang von der kontrollierten mechanischen Ventilation zur Spontanatmung nicht ohne weiteres möglich und längere Weaning-Phasen müssen eingeplant werden. Zusätzlich besteht aufgrund der das Frailty-Syndrom begleitenden Anämie [46] ein subklinisches Defizit an Sauerstoffbindungskapazität, was die Entwöhnung vom Respirator erschweren kann.

#### Sarkopenie

Physiologisches Altern führt zum Verlust von Skelettmuskelmasse, damit zu verminderter Muskelkraft und einer verminderten Regenerationsfähigkeit [42] nach akuten Krankheitsereignissen. Hiervon ist auch die Atemhilfsmuskulatur betroffen. Ungefähr ab dem 50. Lebensjahr kommt es zum Verlust von ca. 1–2 % Muskelmasse pro Jahr, analog dazu von ca. 1,5 % Muskelkraft, wobei dies ab dem 60. Lebensjahr noch weiter zunimmt. Rund 5–10 % der älteren Menschen insgesamt und etwa die Hälfte der über 80-Jährigen sind nach Schätzungen betroffen, wobei die Sarkopenie in etwa doppelt so häufig auftritt wie die Frailty [47]. Die diagnostischen Kriterien der Sarkopenie sind in **Tab. 7.3** dargestellt.

Die Berücksichtigung der Sarkopenie spielt eine bedeutende Rolle im Umgang und der Respiratorentwöhnung älterer Patienten [49] und ist mit einer signifikant höheren Mortalität assoziiert [50]. Leider erfährt das Syndrom der Sarkopenie noch immer wenig Aufmerksamkeit in der klinischen Beurteilung älterer Patienten [51].

#### Multimorbidität

Weiterhin ist der geriatrische Patient durch die Multimorbidität gekennzeichnet. Dies bedeutet, das gleichzeitige Vorliegen mehrerer, chronisch bestehender, behandlungsbedürftiger Erkrankungen. Die Zahl der Erkrankungen steigt mit zunehmendem Alter, im Durchschnitt sind 3–9 Begleiterkrankungen (Diabetes mellitus, arterielle Hypertonie, Osteoporose, Inkontinenz, chronische Bronchitis, Herzinsuffizienz,

■ Tab. 7.3 Diagnosekriterien der Sarkopenie. (Mod. nach [48])

Diagnostisches Kriterium	Diagnosemöglichkeit
Niedrige Muskelmasse	DEXA*, BIA**
Niedrige Muskelkraft	Handkraftmessung
Niedrige körperliche Leistungsfähigkeit	Gehgeschwindigkeit < 0,8 m/sec

2 aus 3 Kriterien müssen zur Diagnosestellung erfüllt sein  
\*Dual Energy X-ray absorptiometry, \*\*Bioimpedanz Analyse

kognitive Leistungseinschränkung etc.) zu erwarten. Dies erhöht zwangsläufig das Komplikationsrisiko [52]. Komorbiditäten, der funktionale Zustand des Patienten sowie seine Einstellung zur Lebensqualität spielen eine zentrale Rolle. Einzelne Patientengruppen müssen unterschieden werden: So sind solche, die wesentlich agiler sind als es dem kalendarischen Alter nach zu erwarten ist, von denen abzugrenzen, die gebrechlich oder bereits pflegeabhängig sind und deshalb im Weaning-Prozess auf geringere körperliche Reserven zurückgreifen können.

### 7.2.3 Heimbeatmung

Die anschließende häusliche Versorgung dieses Patientenkollektivs stellt zwar auch besondere Anforderungen, durch das Umsetzen der Leitlinie „außerklinische Beatmung“ werden viele dieser Problemstellungen abgefangen [54–60].

#### Empfehlung

So lässt sich deutlich erkennen, dass bei der Gruppe der geriatrischen Patienten die Ursachen für eine prolongierte Beatmung oder gar ein Weaning-Versagen multifaktoriell sind. Dies unterstreicht umso mehr die Notwendigkeit eines interdisziplinären Ansatzes in der Behandlung dieser Patienten. Neben der besonderen Aufmerksamkeit, die diesen Patienten entgegengebracht werden muss, ist es notwendig, frühzeitig – noch vor Beginn der Weaning-Phase – die geriatrische und pneumologische Fachexpertise einzuholen. Dadurch kann im gemeinsamen Behandlungsansatz [55–60] sowohl die Respiratorentwöhnung

als auch wenn nötig eine geriatrische Rehabilitationsphase [3, 7] oder gar eine außerklinische Beatmung eingeleitet werden.

## 7.3 Bedeutung von Komorbiditäten im Weaning

### 7.3.1 Einleitung

Patienten mit einer Langzeitbeatmung bieten oftmals sehr komplexe Problemlagen. Der eigentliche Entwöhnungsprozess kann erst nach einer ausreichenden Stabilisierung der akuten Erkrankung beginnen, welcher der akuten respiratorischen Insuffizienz zugrunde lag. In der Mehrzahl der Fälle gelingt dies problemlos, aber die verbleibenden 20 % bis 30 % der Patienten benötigen einen strukturierten Prozess. Die Pathophysiologie des Weaningversagens ist komplex und häufig multikausal. Die auftretenden Problemfelder erfordern eine systematische **Differenzialdiagnose**:

- Liegen Grunderkrankungen vor, die bereits vor Einleitung der Intensivtherapie manifeste Symptome verursacht hatten?
- Sind durch die maschinelle Beatmung und umfangreiche Intensivtherapie Organdysfunktionen aufgetreten bzw. haben sich verschlimmert, die sich nun ungünstig auf den Weaningprozess auswirken?

Diese Fragen sollten sehr präzise gestellt werden, um die Pathophysiologie des Weaningversagens besser einordnen zu können.

■ **Tab. 7.4** Häufigkeit chronischer Erkrankungen bei älteren Menschen [53]

Erkrankung	Alter		
	Über 65	65 bis 74	Über 75
Gelenkbeschwerden	50	48	54
Bluthochdruck	36	35	39
Herzerkrankung	32	28	39
Schwerhörigkeit	29	23	36
Katarakt	17	11	24
Orthopädische Beschwerden	17	15	18
Diabetes	10	10	10
Sehstörungen	8	7	11

Informationen über **Grunderkrankungen** liegen oftmals nur lückenhaft vor. Eine Übersicht der häufigen Komorbiditäten gibt **Tab. 7.4** wider. Die direkte Anamneseerhebung ist bei dieser Patientengruppe regelhaft sehr erschwert oder sogar unmöglich. Daher ist der Arzt auf die **Fremdanamnese** von Angehörigen oder vorbehandelnden Haus- und/oder Fachärzten angewiesen. Oftmals werden diese Patienten mehrfach zwischen verschiedenen Abteilungen eines Krankenhauses oder in ein externes Weaningzentrum verlegt und dabei gehen leicht relevante Informationen verloren. Die Kenntnis der Krankengeschichte und damit Kenntnisse um Vorerkrankungen sind für das Verständnis des Weaningversagens sehr bedeutsam und alle verfügbaren Informationen müssen dringend eingeholt werden.

Die fast 7000 Patienten, die in der 1. Publikation des deutschen WeanNet-Registers zusammengefasst wurden, wiesen im Schnitt 5 Komorbiditäten auf [61]. Dies lässt schon erkennen, welche umfangreichen Komorbiditäten in dieser Patientengruppe zu erwarten sind. Im Prinzip kann fast jede schwere körperliche, aber auch psychische Erkrankung den Weaningprozess negativ beeinflussen. Nachfolgend werden die wichtigsten Erkrankungen auf die Bedeutung im Weaning hin betrachtet. Die einzelnen Organsysteme

sollten systematisch untersucht werden, damit sowohl eine zuverlässigere Prognoseeinschätzung gelingen kann als auch alle therapeutischen Ansätze für den individuellen Patienten genutzt werden können. Dabei scheint allein das Alter der Patienten ohne Berücksichtigung von Grunderkrankungen keinen entscheidenden Effekt auf den Weaningprozess zu haben [62], dagegen hängt der Weaningerfolg in hohem Maße von altersunabhängigen Komorbiditäten ab [63].

Nachfolgend werden die relevantesten Komorbiditäten systematisch dargestellt.

## 7.3.2 Atemwege und Lunge

### Obere Atemwege

#### ■ Postextubationsdysphagie

Der Zugang zu den Atemwegen ist bei jeder der Form der invasiven Beatmung entweder durch die orotracheale Intubation bzw. der Tracheotomie sichergestellt, somit werden Probleme der oberen Atemwege während dieser Phase nicht evident. Im späteren Weaningprozess werden Störungen der oberen Atemwege dann wieder relevant. Systematische Untersuchungen von Patienten nach einer maschinellen Beatmung mit klinischen

Schlucktesten zeigen relevante Einschränkungen der Schluckfunktion bei etwa 25 % aller Patienten. Betrachtet man nur die Patienten mit neurologischen Einschränkungen, so finden sich relevante Schluckstörungen bei über 90 % [64]. Oftmals lässt sich nicht mehr abgrenzen, ob die Schluckstörung infolge von Traumatisierung durch den Tubus aufgetreten ist oder schon im Vorfeld bestand. Unabhängig von der Ursache ist vor allem die Diagnose entscheidend, damit Sekundärkomplikationen wie rezidivierende Aspirationen von Nahrung oder Sekreten reduziert werden [65].

#### ■ Schlafbezogene Atemstörungen

Ein weiteres Problem der oberen Atemwege stellen die Patienten mit Obstruktiver Schlaf-Apnoe (OSA) dar. Im Gegensatz zu älteren Arbeiten konnte eine aktuelle Metaanalyse bei Patienten, die sich einer kardiochirurgischen Operation unterziehen mussten, zwar eine höhere Rate von Reintubationen in der Gruppe der OSA-Patienten im Vergleich zu den Patienten ohne OSA nachweisen, aber die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation war nicht verlängert. Die Häufigkeit von Vorhofflimmern und Schlaganfällen war in der Gruppe mit OSA deutlich erhöht [66].

Während die Atemwege durch Tubus oder Trachealkanüle gesichert sind, spielen die rezidivierenden Kollapszustände im Schlaf keine Bedeutung, erst nach der Extubation bzw. Dekanülierung wird die Pathophysiologie wieder relevant und rezidivierende Hypoxämien treten bei Patienten mit OSA auf. In einer systematischen Untersuchung zeigte sich bei fast 95 % aller Patienten eine relevante schlafbezogene Atemstörung [67], jedoch ist nicht bekannt, ob die OSA-Patienten von sich aus sehr viel häufiger eine maschinelle Beatmung benötigen oder ob diese massive Häufung von schlafbezogenen Atemstörungen als Komplikation der Therapie aufgetreten sind. Nächtliche zyklische Hypoxämien sind das Leitsymptom der obstruktiven Schlafapnoe. Werden zyklische Desaturationen nach Extubation oder Entfernung (capping) der Trachealkanüle beobachtet, muss dies unbedingt diagnostisch abgeklärt werden.

## COPD

#### ■ Hintergrund

Die COPD stellt neben der Herzinsuffizienz die bedeutendste Erkrankung dar, die Einfluss auf den Weaningverlauf hat. Die COPD ist weltweit eine der Erkrankungen mit dem stärksten Zuwachs sowohl der Morbidität als auch Mortalität, aktuell findet sich die COPD an 4. Stelle der zum Tode führenden Erkrankungen und Prognosen sehen bis 2020 einen Anstieg an die 3. Stelle [68]. Im Rahmen des Weaning kommen dabei 2 Aspekte zum Tragen: Bei den in den deutschen Weaningzentren behandelten Patienten fand sich in 58 % die COPD als Komorbidität bzw. Weaninghindernis und bei 27 % lag die Ursache der maschinellen Beatmung in der COPD selbst begründet. Dies zeigt die außerordentliche Bedeutung und Beeinflussung der COPD auf den Weaningprozess. Um eine sichere Differenzierung zwischen Komorbidität und Grunderkrankung treffen zu können, sind vorbestehende Lungenfunktionsuntersuchungen einschließlich der Bestimmung der Diffusionskapazität und Blutgasanalysen heranzuziehen. Es ist zu vermuten, dass eine fortgeschrittene COPD, die im Rahmen einer akuten Exazerbation zu einer invasiven Beatmung führt, prognostisch ungünstiger zu werten ist, als wenn ein Patient aufgrund einer akuten anderen körperlichen Erkrankung beatmungspflichtig wird und aufgrund der Komorbidität einer COPD dann einen schwierigen Weaningprozess aufweist. Letztlich entscheidend ist jedoch das Ausmaß der Lungenfunktionseinschränkung. Unter anderen muss das Ausmaß der Bronchialobstruktion im Weaningprozess unbedingt Beachtung finden.

#### ■ Pathophysiologie

Der dynamischen Überblähung infolge der unzureichenden Entleerung der Lungen kommt dabei in der Pathophysiologie eine entscheidende Bedeutung zu, infolge dessen Veränderungen der Hämodynamik, Steigerung der Atemarbeit und eine ventilatorassoziierte Lungenschädigung (*ventilator induced lung injury*, VILI) [69] auftreten können.

Die Pathophysiologie der dynamischen Überblähung folgt aus der Tatsache, dass die Expiration des invasiv beatmeten Patienten rein passiv erfolgt und im Wesentlichen durch die Zerstörung der kleinen Atemwege und nachfolgendem Anstieg der Resistance bestimmt ist. Die emphysematös veränderte Lunge weist verminderte Rückstellkräfte auf, dies bewirkt einen frühen Kollaps der kleinen Atemwege mit unvollständiger Expiration.

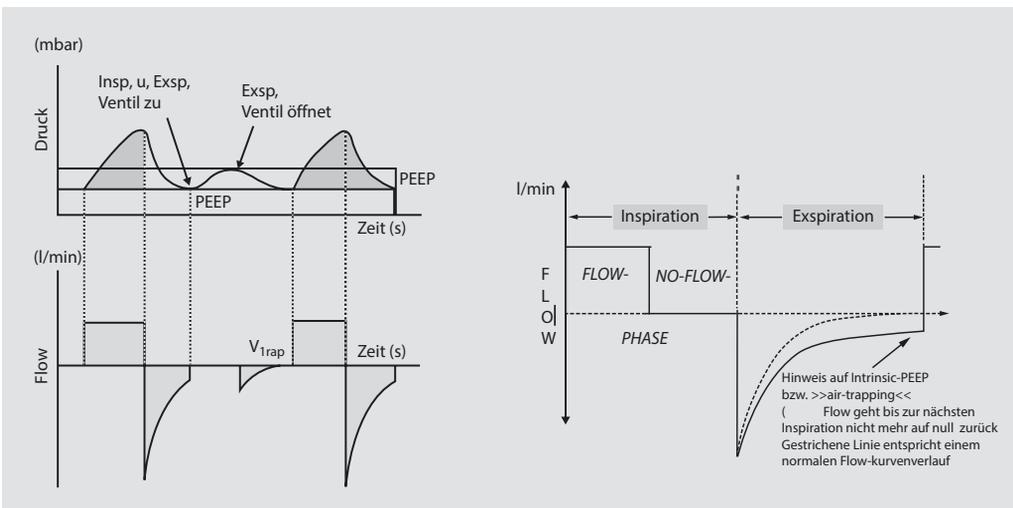
Der Schweregrad der COPD wird gemäß den internationalen Empfehlungen über das Ausmaß der Atemflusslimitation festgelegt. Dies ist jedoch beim beatmungspflichtigen Patienten so nicht möglich. Daher kommt der Analyse der Respiratorcurven für die Diagnose und Schweregradeinteilung eine hohe Bedeutung zu. Schon seit vielen Jahren ist beschrieben, dass die Analyse der Flow-/Volumenkurven des Respirators typische Muster vergleichbar mit den bekannten Pressure/Flow-Kurven der Bodyplethymographie zeigt [70], dies wird jedoch auf vielen Intensivstationen nicht ausreichend genutzt [71].

Die Analyse der Flow-Kurven (■ Abb. 7.1) während der Expiration erlaubt einen Rückschluss auf das Ausmaß der Bronchialobstruktion und damit über die Gefahr der

dynamischen Überblähung [72]. Eine Abschätzung der Höhe des Auto-PEEPs sollte für jeden Patienten mit COPD erfolgen, damit eine optimierte externe PEEP-Anwendung über den Respirator erfolgen kann [73]. Eine Ansammlung von Sekret in den Atemwegen lässt sich ebenfalls an den spezifischen sägezahnartigen hochfrequenten Mustern der Flow-Kurve erkennen [74]. Der Sekret-Elimination kommt gerade auch bei den COPD-Patienten eine hohe Bedeutung zu.

■ Therapie

Therapiestudien zu pharmakologischen und nichtpharmakologischen Interventionen auf den Weaningerfolg bei COPD-Patienten finden sich kaum. Der Effekt von Bronchodilatoren insbesondere  $\beta$ -Mimetika auf das Ausmaß der Bronchialobstruktion wurde nachgewiesen. Der expiratorische Widerstand sinkt und die dynamische Überblähung kann reduziert werden [75]. Der Erfolg kann durch die genaue Analyse der Flow-Kurven überwacht werden. Analog zu den Empfehlungen der COPD-Behandlung sollte dies regelhaft erfolgen. Möglicherweise lässt sich durch eine antiinflammatorische Therapie mit topischen Steroiden die Bronchialobstruktion und



■ Abb. 7.1a,b a Druck- und Flowverlauf bei der Intrinsic-PEEP-Messung. b Intrinsic-PEEP bei volumenkontrollierter Beatmung eines COPD-Patienten

Inflammation der Schleimhaut vermindern [76]. Versuche eine Steigerung des Atmungsantriebs und darüber eine Verkürzung der Beatmungszeiten mittels Beeinflussung der Carboanhydrase mit Azetazolamid zu erzielen, haben keinen relevanten Erfolg gezeigt [77].

Entscheidend für den Weaningerfolg in dieser Patientengruppe ist die richtige Anwendung der Beatmungsstrategie. Wie bereits im vorherigen Kapitel ausgeführt, ist die Vermeidung einer weiteren Lungenschädigung von hoher Bedeutung. So wie der nicht-invasiven Beatmung (*non-invasive ventilation*, NIV) in der Vermeidung der Intubation eine nicht zu unterschätzende Wichtigkeit zukommt, so ist der frühe Einsatz der NIV im Weaningprozess ebenfalls von hoher Bedeutung. Die aktuelle Leitlinie der ATS/ERS empfiehlt ausdrücklich für diese Patientengruppe die NIV unmittelbar nach Beendigung der invasiven Beatmung [78].

- **Zusammenfassend lässt sich feststellen: Sowohl als Komorbidität als auch als eigentliche Ursache für das Weaningversagen hat die COPD eine hohe Bedeutung.**

Sofern nicht vorbeschrieben, kann die Diagnose mit Hilfe der Flow/Volume-Kurven des Respirators gestellt werden, weiterhin lassen sich die Effekte von Bronchodilatoren so überwachen. Eine konsequente Behandlung von Infektionen der Atemwege, Sekretbildung und Bronchialobstruktion sind notwendig. Die Beatmungsstrategien müssen auf die Bronchialobstruktion und einer Vermeidung bzw. Reduktion der dynamischen Überblähung optimiert werden.

- **Je nach Ausmaß der Lungenschädigung lässt sich in einigen Fällen kein vollständiger Weaningerfolg mehr erzielen, sodass in solchen Fällen die Indikation zur außerklinischen nicht-invasiven oder gar invasiven Beatmung überprüft werden muss.**

### 7.3.3 Zwerchfeldysfunktion, primäre Muskel- und Nervensystemerkrankung

Eine **terminale Atmungsinsuffizienz** tritt bei vielen Patienten im Verlauf einer **primären Muskel- oder Nervenerkrankung** wie der Amyotrophen Lateralsklerose oder der Muskeldystrophie Duchenne auf. Viele dieser Erkrankungen sind durch einen chronisch voranschreitenden Prozess mit zunehmender Atempumpinsuffizienz gekennzeichnet. Typischerweise tritt die Atempumpinsuffizienz bei einem Verlust der Vitalkapazität von mehr als 50 % auf, und ein Abfall der gemessenen Vitalkapazität zwischen der sitzenden und liegenden Position von mehr als 20 % ist besonders charakteristisch [79, 80]. Die Hypoventilation lässt sich zuerst im Schlaf, insbesondere in den REM-Schlafphasen, nachweisen. Für Weaningpatienten mit neuromuskulären Grunderkrankungen ist daher eine klare Diagnosestellung wichtig. Möglicherweise müssen Weaningversuche bei fortgeschrittener Grunderkrankung und fehlender kausaler Therapieoption unterbleiben, da es je nach Progression der Grunderkrankung keine Aussichten auf einen Weaningerfolg gibt. Patienten mit einem Guillian-Barre-Syndrom können nach Besserung durch eine Steroid-Therapie und/oder Plasmapherese dagegen i. d. R. vom Respirator wieder entwöhnt werden. Ist die neuromuskuläre Grunderkrankung noch nicht weit fortgeschritten und die akute Atmungsinsuffizienz war z. B. durch eine Pneumonie bedingt, kann durchaus eine Entwöhnung wieder gelingen. Bei den Patienten der WeanNet-Gruppe fand sich in 6 % der Fälle eine neuromuskuläre Grunderkrankung. Hinsichtlich der Prognose ist folgendes zu bedenken: Gerade die neuromuskulären Patienten weisen eine deutlich bessere Prognose hinsichtlich des Überlebens im Vergleich zu anderen Patienten auf, dagegen ist ein vollständiges Weaning oftmals nicht mehr zu erreichen [81].

Der Schlaf stellt für diese Patientengruppe eine besonders vulnerable Phase für die Manifestationen von Hypoventilationen dar. Eine Kontrolle der Atmung im Schlaf durch Polygraphie

oder Polysomnographie, möglichst mit transkutaner Kapnometrie, sollte daher auch nach Beendigung der invasiven maschinellen Beatmung erfolgen. Stehen keine Messsysteme zur Verfügung, so weist ein Basenüberschuss (BE) von mehr als 3 mmol/l oder ein erhöhtes Bikarbonat von mehr als 27 mmol/l in der Blutgasanalyse am Tage auf eine nächtliche Hypoventilation hin.

**Zwerchfelldysfunktionen** bedürfen besonderer Beachtung im Weaningprozess. Wie bei anderen Störungen sollte die Abgrenzung zwischen einer Schädigung infolge der Beatmungstherapie und einer davon unabhängigen Zwerchfellparese getroffen werden. Unter einer vollständig kontrollierten Beatmung kann schon nach 24 h eine **relevante Zwerchfellatrophie** (*ventilator induced diaphragmatic dysfunction*, VIDD) eintreten [82]. Allerdings sind zahlreiche andere Ursachen für einseitige oder vollständige Zwerchfellparenen bekannt, die dann nachfolgend eine Notwendigkeit zur Beatmung darstellen [83]. Eine klare Differenzialdiagnose ist daher anzustreben. Für die weitere Prognose der Patienten ist es von hoher Bedeutung, ob eine beatmung induzierte und damit reversible Störung oder eine permanente Störung vorliegt.

Schon bei einer genauen Patientenbeobachtung lenkt eine paradoxe Beweglichkeit der Bauchwand den Verdacht auf eine relevante Zwerchfelldysfunktion. Sonographische Techniken erlauben bettseitig eine hinreichend genaue Diagnostik. Dabei kommt der Zunahme der Zwerchfelldicke im M-Mode und der Beachtung der Zwerchfellbeweglichkeit z. B. im Bereich der Leber eine hohe Bedeutung zu [84] (siehe auch ► Kap. 2).

### 7.3.4 Herz-Kreislauf-Erkrankung

In der von Scheinhorn publizierte Patienten-Gruppe mit Langzeitbeatmungen fanden sich bei 35,6 % schwere Komorbiditäten des Herz-Kreislauf-Systems [61, 85] und in den Daten der WeanNet-Gruppe fand sich bei 36,4 % der Patienten im prolongierten Weaning eine KHK. Diese Störungen stellten damit bedeutende

Komorbiditäten und folglich Weaninghindernisse dar. Wie bei den anderen bedeutsamen Erkrankungen sollten auch für diese Störungen relevante strukturelle und möglicherweise durch eine gezielte spezifische Therapie behandelbare Vorerkrankungen von durch die mechanische Beatmung selber induzierten Störungen differenziert werden.

### Pathophysiologie der Weaning-assoziierten Myokardinsuffizienz

Von Spontanatemversuchen (*spontaneous breathing trials*, SBT) bei COPD-Patienten ohne strukturelle Herzerkrankung ist bekannt, dass kardiale Dysfunktionen beim Spontanatemversuch auftreten können. Hierfür werden Veränderungen der Vor- und Nachlast im Rahmen des SBT verantwortlich gemacht. Während der invasiven Beatmung besteht durchgehend ein positiver Druck im Thorax, dieser sinkt schlagartig bei der Diskonnektion vom Respirator ab. Die Atemanstrengungen bewirken einen erheblichen negativen intrathorakalen Druck. Dies beeinflusst die Vorlast des Herzens erheblich und kann das Auftreten eines Lungenödems zur Folge haben. Weiterhin kann sich ein drastischer Anstieg der Nachlast mit Ansteigen des arteriellen Blutdrucks und Steigerung der Herzfrequenz einstellen (Übersicht [86]). Bei genauer Analyse von fehlgeschlagenen einzelnen SBTs in einer Risiko-Gruppe findet sich bei etwa 60 % der SBTs eine relevante kardiale Dysfunktion, die zu mindestens als Teilursache für den Abbruch des SBTs angeführt werden muss [87].

### Diagnostik

Eine systematische Diagnostik und Anamneserhebung muss zwingend erfolgen. Bettseitig können auf der Intensivstation mittels EKG, der transthorakalen und transösophagealen Echokardiographie zur Diagnose führende Befunde erhoben werden. Beispielsweise können vorbestehende kritische Herzklappendysfunktionen wie eine kritische Aortenklappenstenose oder eine hochgradige Mitralklappeninsuffizienz einen Weaningserfolg verhindern und müssen zuvor korrigiert werden. Auch eine kritische

Koronarinsuffizienz kann jeden SBT durch eine relevante Myokardischämie unmöglich machen. Kritische bradykarde oder tachykarde Herzrhythmusstörungen erfordern eine spezifische kardiologische pharmakologische oder interventionelle Therapie. Finden sich solche relevanten Komorbiditäten, muss im Einzelfall geklärt werden, ob ein invasiver Eingriff möglich und erforderlich ist.

### Weaning-spezifische Diagnostik

Bei fehlgeschlagenen SBTs ist in jedem Einzelfall auch eine kardiologische Ursache in Betracht zu ziehen. Insbesondere müssen diese Ursachen bei Patienten mit vorbestehenden Herz- und Lungenerkrankungen in Betracht gezogen werden. Es stehen eine Fülle von Untersuchungsmethoden zur Verfügung, die alle bettseitig erfolgen können. Jedes spezialisierte Weaningzentrum muss die entsprechende apparative Ausstattung vorhalten. Dafür sind folgende Aspekte zu beachten, wobei nicht in jedem Einzelfall alle Untersuchungen erfolgen müssen:

- Erfassung des intravaskulären Flüssigkeitsstatus mit Sonographie und/oder Volumen Provokations-Tests.
- Erfassung einer Lungenstauung mittels Röntgen-Thorax
- Erfassung von Pleuraergüssen mittels der Sonographie
- Anstieg des BNP über den SBT (Anstieg über 48 ng/l oder  $\geq 12\%$ )
- Veränderungen der E/A- und E/Ea-Relation mittels der Echokardiographie

### Therapie

Konnte mit den o. g. Untersuchungsverfahren eine kardiale Dysfunktion im SBT nachgewiesen werden, so sollte eine entsprechende Therapie eingeleitet werden. Flüssigkeitsretentionen sollten zur Verbesserung der Lungenfunktion pharmakologisch oder interventionell behandelt werden (Gabe von Diuretika zur negativen Flüssigkeitsbilanz, Punktion von Pleuraergüssen). Patienten mit arterieller Hypertonie sollten eine Therapie mit ACE-Hemmer und ggf. Kalzium-Antagonisten (insbesondere bei hypertropher Kardiomyopathie) erhalten. Eine myokardiale

Ischämie muss leitliniengerecht therapiert werden, ggf. ist auch ein Behandlungsversuch mit Nitraten gerechtfertigt.

### 7.3.5 Endokrinologie

Einige endokrinologische Krankheitsbilder und Syndrome können während der Intensivtherapie aggravierend und den Weaningprozess negativ beeinflussen. Die wichtigsten Befunde sollen deswegen hier Erwähnung finden.

#### Diabetes mellitus

Diabetes mellitus, insbesondere der Typ-II-Diabetes, nimmt in den letzten Jahren deutlich zu. Aktuelle epidemiologische Untersuchungen weisen einen Anteil von etwa 7 % manifest an Diabetes-Typ-II-Erkrankter in der Altersgruppe von 18 bis 79 Jahren auf, in der Altersgruppe der über 70-jährigen beträgt der Anteil mehr als 20 % [88]. Bei den Patienten der WeanNet-Gruppe lag der Anteil mit 32,4 % etwas höher. Somit ist bei mindestens 1/3 der Patienten im prolongierten Weaning mit einer diabetischen Stoffwechsellage zu rechnen. Diese Patientengruppe stellt auch schon aufgrund verschiedener Sekundärerkrankungen wie eine Arteriosklerose und Niereninsuffizienz eine Risikopopulation gerade im Weaning dar.

Physiologischer Stress bewirkt fast regelhaft eine **Hyperglykämie**. Sowohl extreme Hyperglykämien, aber auch Hypoglykämien erhöhen die Mortalität im Rahmen von lebensbedrohlichen Erkrankungen wie beispielsweise in einer akuten Sepsis. Nachdem eine belgische Studie Vorteile einer strengeren versus einer liberalen Blutzuckereinstellung bei Patienten auf chirurgischen Intensivstationen gezeigt hatte [89], konnten spätere Studien diesen Effekt nicht mehr zeigen. Im Gegenteil, es zeigte sich in einer Studie an mehr als 6000 Patienten infolge einer sehr strengen Blutzuckereinstellung ein gehäuftes Auftreten von Hypoglykämien und in Abhängigkeit von dem Ausmaß an Hypoglykämien eine erhöhte Sterblichkeit [90]. Möglicherweise finden sich die Vorteile der strengeren Blutzuckereinstellung nur unter

Bedingungen einer hochkalorischen intravenösen Ernährung und erfordern eine sehr engmaschige Betreuung. Ausgehend von diesen Untersuchungen empfehlen mehrere internationale Leitlinien eine Einstellung des Blutzuckers zwischen 110 mg/dl und 180 mg/dl (siehe Übersicht in [91]). Die Ernährung der Patienten sollte enteral erfolgen und die Höhe der Insulintherapie auch unter Einsatz von Verzögerungsinsulinen so gestaltet werden, dass Hyperglykämien mit einem Blutzucker über 180 mg/dl aber auch Hypoglykämien vermieden werden.

## Hypothyreose

Funktionsstörungen der Schilddrüse gehören zu den häufigsten Erkrankungen in der Allgemeinbevölkerung. Eine aktuelle Metaanalyse konnte bei 6,5 % der Untersuchten eine subklinische Hypothyreose nachweisen [92]. Dagegen fand sich mit 12,4 % ein fast doppelt so hoher Anteil von Patienten mit einer manifesten Hypothyreose in der Multicenterstudie von langzeitbeatmeten Patienten in den USA.

➤ **Mit dem Auftreten von relevanten Unterfunktionen der Schilddrüse muss somit beim Weaningpatienten unbedingt gerechnet werden und entsprechende Laboruntersuchungen sollten erfolgen.**

Patienten auf der Intensivstation zeigen typischerweise einen erniedrigten Plasmaspiegel von Trijodthyronin (fT3), leicht erniedrigte Spiegel von Thyroxin (fT4) und normalen oder leicht erhöhten Spiegel von TSH. Das Ausmaß dieser Störung korreliert mit einer schlechteren Prognose, ohne dass Hinweise auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen dem Phänomen und der schlechteren Prognose bekannt sind (Übersicht [93]). Akuter schwerer Stress bewirkt regelhaft eine Reduktion von fT3, ohne dass ein Anstieg des TSH nachweisbar wäre. Diese akute Störung wird auch *non thyroidal illness syndrome* (NTIS) genannt und muss von einer unabhängigen Hypothyreose streng differenziert werden. Bisher liegen keine Studien vor,

die einen Vorteil einer Substitution mit L-Thyroxin von Patienten mit einem NTIS gezeigt haben.

Das Zusammenspiel der klassischen endokrinen Loop-back-Schleife von Hypothalamus, Hypophyse und Schilddrüse sowie die periphere Umwandlung von T4 in das eigentlich aktive Hormon T3 ist gerade bei den Intensivpatienten sehr leicht störbar und das normale Regelverhalten beeinträchtigt. Die endokrinologische Diagnostik erfordert daher die Bestimmung von TSH, fT3 und fT4. Trotzdem ist die Differenzierung zwischen einem NTIS und einer manifesten Hypothyreose teilweise schwierig. Findet sich jedoch ein erhöhter TSH-Wert bei erniedrigten peripheren T3- und T4-Werten, so muss von einer echten Hypothyreose ausgegangen und eine Substitution begonnen werden.

Die Substitution mit Thyroxin bei Patienten mit einer vorbekannten Hypothyreose sollte unbedingt fortgeführt werden. Systematische Studien zeigen, dass dies auf der Intensivstation oft unterbleibt. Dabei erfordert die schlechte orale Resorption von Thyroxin die Gabe während einer enteralen Ernährungspause.

Treten erst unter der Intensivtherapie Hinweise für ein NTIS auf, so weist dieses eher auf eine akute Phase Reaktion hin. Bis systematische Untersuchungen in dieser Patienten-Gruppe vorliegen, sollte aus Sorge um Nebenwirkungen wie ein gehäuftes Auftreten von Vorhofflimmern eine Substitution bei Patienten mit einem NTIS unterbleiben.

### 7.3.6 Elektrolytstörung

Nach protrahierter Intensivbehandlung gibt es diverse Ursachen für Elektrolytverschiebungen, die wiederum den Weaningprozess negativ beeinflussen können.

Beispielsweise sind häufige Gründe für Verschiebungen des Natrium- und Kaliumhaushaltes:

- Volumentherapie
- Diverse Schocksyndrome
- Akutes Nierenversagen

Dysregulationen des Kaliumhaushaltes können Herzrhythmusstörungen hervorrufen und bereits bestehende Herzinsuffizienzen damit verschlechtern.

Insbesondere **Hypernatriämien**, beispielsweise als auftretende Störung der Osmoregulation nach septischem Schock, können zu Vigilanzminderungen und damit zu einer Verlängerung des Weaningprozesses führen [94].

**Hyponatriämien** können sowohl bei extrazellulärem Volumenmangel wie auch bei Wasserüberschuss auftreten und somit die Atemmechanik von Weaningpatienten beeinflussen.

Schwere **Hypophosphatämien** und **Hypokalziämien** können ebenfalls mit einem respiratorischen Versagen assoziiert sein und müssen ausgeglichen werden, um die Atempumpe zu verbessern [95, 96].

### 7.3.7 Zusammenfassung

Zahlreiche, durch Intensivtherapie auftretende, pathophysiologische Vorgänge können bereits bestehende Komorbiditäten beeinträchtigen und aggravieren („acute-on-chronic“). Die Atemkapazität bzw. die Kraft der Atemmuskulatur kann im Langzeitverlauf durch viele weitere Ursachen beeinträchtigt werden. Im Kontext der Beatmungsentwöhnung sind vor allem Entitäten des kardialen und des respiratorischen Formenkreises, aber auch Syndrome, die Vigilanz des Patienten und dessen Wasserhaushalt beeinträchtigen, zu nennen. Hierauf muss in der Komplexität des Weanings ein besonderer Fokus gelegt werden.

### Literatur zu Abschnitt 7.1

- [1] Gastmeier P, Fätkenheuer G (2015) Infektiologie: Dilemma mit Begriffen und Zahlen. Dtsch Arztebl 112 (15): A-674/B-576/C-559
- [2] Hygienemänaahmen bei Infektionen oder Besiedlung mit multiresistenten gramnegativen Stäbchen. Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI) (2012) Bundesgesundheitsbl 55:1311–1354
- [3] Boucher HW, Talbot GH, Bradley JS, Edwards JE, Gilbert D, Rice LB, Scheld M, Spellberg B, Bartlett J (2009) Bad bugs, no drugs: no ESKAPE! An update from the Infectious Diseases Society of America. Clin Infect Dis 48(1):1–12
- [4] Pletz MW, Eckmann C, Hagel S, Heppner HJ, Huber K, Kämmerer W, Schmitz FJ, Wilke M, Grabein B (2015) Current strategies against multi-drug resistant organisms. Dtsch Med Wochenschr 140(13):975–981
- [5] Empfehlungen zur Prävention und Kontrolle von Methicillin-resistenten Staphylococcus aureus-Stämmen (MRSA) in medizinischen und pflegerischen Einrichtungen. Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (2014) Bundesgesundheitsbl 57:696–732
- [6] Tacconelli E, Cataldo MA, Dancer SJ, De Angelis G, Falcone M, Frank U, Kahlmeter G, Pan A, Petrosillo N, Rodríguez-Baño J, Singh N, Venditti M, Yokoe DS, Cookson B; European Society of Clinical Microbiology (2014) ESCMID guidelines for the management of the infection control measures to reduce transmission of multidrug-resistant Gram-negative bacteria in hospitalized patients. Clin Microbiol Infect 20(Suppl 1):1–55
- [7] Calfee DP, Salgado CD, Milstone AM, Harris AD, Kuhar DT, Moody J, Aureden K, Huang SS, Maragakis LL, Yokoe DS; Society for Healthcare Epidemiology of America (2014) Strategies to prevent methicillin-resistant Staphylococcus aureus transmission and infection in acute care hospitals: 2014 update. Infect Control Hosp Epidemiol 35(7):772–796
- [8] Mutters NT, Mersch-Sundermann, V, Mutters R, Brandt C, Schneider-Bracher W, Frank U (2013) Kontrolle von Vancomycin-resistenten Enterokokken im Krankenhaus. Epidemiologischer Hintergrund und klinische Relevanz. Dtsch Arztebl Int 110(43):725–731
- [9] Robicsek A Jr, Beaumont JL, Paule SM, Hacek DM, Thomson RB Jr, Kaul KL, King P, Peterson LR (2008) Universal surveillance for methicillin-resistant Staphylococcus aureus in 3 affiliated hospitals. Ann Intern Med 148(6):409–418
- [10] Jain R, Kralovic SM, Evans ME, Ambrose M, Simbartl LA, Obrosky DS, Render ML, Freyberg RW, Jernigan JA, Muder RR, Miller LJ, Roselle GA (2011) Veterans Affairs initiative to prevent methicillin-resistant Staphylococcus aureus infections. N Engl J Med 364(15):1419–1430
- [11] Harbarth S, Fankhauser C, Schrenzel J, Christenson J, Gervaz P, Bandiera-Clerc C, Renzi G, Vernaz N, Sax H, Pittet D (2008) Universal screening for methicillin-resistant Staphylococcus aureus at hospital admission and nosocomial infection in surgical patients. JAMA 299(10):1149–1157

- [12] Derde L et al (2014) Interventions to reduce colonization and transmission of antimicrobial-resistant bacteria in intensive care units: an interrupted time series study and cluster randomised trial. *Lancet Infect Dis* 14:31–39
- [13] Mitteilung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) (2014) Ergänzung zu den „HygienemäÙnahmen bei Infektionen oder Besiedlung mit multiresistenten gramnegativen Stäbchen“ (2012) im Rahmen der Anpassung an die epidemiologische Situation. *Epidemiol Bulletin* 21:184
- [14] Harris AD, Pineles L, Belton B, Johnson JK, Shaddell M, Loeb M, Newhouse R, Dembry L, Braun B, Perencevich EN, Hall KK, Morgan DJ; Benefits of Universal Glove and Gown (BUGG) Investigators, Shahryar SK, Price CS, Gadbaw JJ, Drees M, Kett DH, Muñoz-Price LS, Jacob JT, Herwaldt LA, Sulis CA, Yokoe DS, Maragakis L, Lissauer ME, Zervos MJ, Warren DK, Carver RL, Anderson DJ, Calfee DP, Bowling JE, Safdar N (2013) Universal glove and gown use and acquisition of antibiotic-resistant bacteria in the ICU: a randomized trial. *JAMA* 310(15):1571–1580
- [15] Grant J, Ramman-Haddad L, Dendukuri N, Libman MD (2006) The role of gowns in preventing nosocomial transmission of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA): gown use in MRSA control. *Infect Control Hosp Epidemiol* 27(2):191–194
- [16] Zahar JR, Garruste-Orgeas M, Vesin A, Schwebel C, Bonadona A, Philippart F, Ara-Somohano C, Misset B, Timsit JF (2013) Impact of contact isolation for multidrug-resistant organisms on the occurrence of medical errors and adverse events. *Intensive Care Med* 39(12):2153–2160
- [17] Abad C, Fearday A, Safdar N (2010) Adverse effects of isolation in hospitalised patients: a systematic review. *J Hosp Infect* 76(2):97–102
- [18] Croft LD, Liquori M, Ladd J, Day H, Pineles L, Lamos E, Arnold R, Mehrotra P, Fink JC, Langenberg P, Simoni-Wastila L, Perencevich E, Harris AD, Morgan DJ (2015) The effect of contact precautions on frequency of hospital adverse events. *Infect Control Hosp Epidemiol* 36(11):1268–1274
- [19] Climo MW, Yokoe DS, Warren DK, Perl TM, Bolon M, Herwaldt LA, Weinstein RA, Sepkowitz KA, Jernigan JA, Sanogo K, Wong ES (2013) Effect of daily chlorhexidine bathing on hospital-acquired infection. *N Engl J Med* 368(6):533–542
- [20] Huang SS, Septimus E, Kleinman K, Moody J, Hickok J, Avery TR, Lankiewicz J, Gombosev A, Terpstra L, Hartford F, Hayden MK, Jernigan JA, Weinstein RA, Fraser VJ, Haffenreffer K, Cui E, Kaganov RE, Lolans K, Perlin JB, Platt R; CDC Prevention Epicenters Program; AHRQ DECIDE Network and Healthcare-Associated Infections Program (2013) Targeted versus universal decolonization to prevent ICU infection. *N Engl J Med* 368(24):2255–2265
- [21] Lemmen S et al (2014) Infektionsprävention bei Intensivpatienten. Dekolonisierung ist eine gute Strategie. *Dtsch Arztebl* 38:1565–1566
- [22] Chung YK, Kim JS, Lee SS, Lee JA, Kim HS, Shin KS, Park EY, Kang BS, Lee HJ, Kang HJ (2015) Effect of daily chlorhexidine bathing on acquisition of carbapenem-resistant *Acinetobacter baumannii* (CRAB) in the medical intensive care unit with CRAB endemicity. *Am J Infect Control* 43(11):1171–1177. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2015.07.001>
- [23] MacKenzie FM, Bruce J, Struelens MJ, Goossens H, Mollison J, Gould IM; ARPAC Steering Group (2007) Antimicrobial drug use and infection control practices associated with the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in European hospitals. *Clin Microbiol Infect* 13(3):269–276
- [24] Pittet D, Hugonnet S, Harbarth S, Mourouga P, Sauvan V, Touveneau S, Perneger TV (2000) Effectiveness of a hospital-wide programme to improve compliance with hand hygiene. *Infection Control Programme*. *Lancet* 356(9238):1307–1312
- [25] Aktion saubere Hände. <http://www.aktion-sauberehaende.de/ash/hintergrund/>. Zugegriffen: Dez. 2015
- [26] Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (2013) S3-Leitlinie: Strategien zur Sicherung rationaler Antibiotika-Anwendung im Krankenhaus. AWMF-Register-Nr. 092-001. <http://www.awmf.org/leitlinien/detail/ll/092-001.html>. Zugegriffen: 16. Nov. 2015
- [27] Lawes T, Lopez-Lozano JM, Nebot CA, Macartney G, Subbarao-Sharma R, Dare CR, Wares KD, Gould IM (2015) Effects of national antibiotic stewardship and infection control strategies on hospital-associated and community-associated methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections across a region of Scotland: a non-linear time-series study. *Lancet Infect Dis* 15(12):1438–1449
- [28] Garnacho-Montero J, Dimopoulos G, Poulakou G, Akova M, Cisneros JM, De Waele J, Petrosillo N, Seifert H, Timsit JF, Vila J, Zahar JR, Bassetti M; European Society of Intensive Care Medicine (2015) Task force on management and prevention of *Acinetobacter baumannii* infections in the ICU. *Intensive Care Med* 41(12):2057–2075. <https://doi.org/10.1007/s00134-015-4079-4>
- [29] Warnke P et al (2014) Nasal screening for MRSA: different swabs – different results! *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111627>
- [30] Marra AR et al (2018) Discontinuing contact precautions for multidrug-resistant organisms: a systematic literature review and meta-analysis. *Am J Infect Control* 46:333–340
- [31] Kullar R et al (2016) Degowning the controversies of contact precautions for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a review. *Am J Infect Control* 44:97–103

- [32] Martin EM et al (2018) Noninfectious hospital adverse events decline after elimination of contact precautions for MRSA und VRE. *Infect Control Hosp Epidemiol*. <https://doi.org/10.1017/ice.2018.93>
- [33] Lemmen SW et al (2017) Antibiotic stewardship and horizontal infection control are more effective than screening, isolation and eradication. *Infection*. <https://doi.org/10.1007/s15010-018-1137-1>
- [34] Baur D et al (2017) Effect of antibiotic stewardship on the incidence of infection and colonisation with antibiotic-resistant bacteria and *Clostridium difficile* infection: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis*. <https://doi.org/10.1016/s1473-309930325-0>
- [35] Lang E, Gassmann KG (2005) Pro-Aging statt Anti-Aging was ist da anders? *Euro J Ger* 7:190–193
- [36] Berry DT, Phillips BA, Cook YR et al (1987) Breathing in healthy aged persons. *J Gerontol* 42:620–626
- [37] Heppner HJ (2007) Intensivmedizin im Alter. In: Heiß W (Hrsg) *Altersmedizin aktuell, Multimorbidität und Versorgung*, Kapitel 5.6.3. Ecomed Verlag, Landsberg/Lech, S 1–15
- [38] Sieber C (2008) Frailty. *Therapeut Umsch* 65: 421–426
- [39] Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, Seeman T, Tracy R, Kop WJ, Burke G, McBurnie MA; Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group (2001) Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56(3):M146–M156
- [40] Bauer JM Sieber CC (2007) Frailty: ein neues Syndrom mit hoher Relevanz für den Arzt in einer alternden Gesellschaft. *Dtsch Med Wochenschr* 132:1–4
- [41] Heppner HJ, Bauer JM, Sieber CC, Bertsch T (2010) Laboratory aspects relating to the detection and prevention of frailty. *Int J Prev Med* 1(3):149–157
- [42] Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, Martin FC, Michel JP, Rolland Y, Schneider SM, Topinková E, Vandewoude M, Zamboni M; European Working Group on Sarcopenia in Older People (2010) Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing* 39(4):412–423
- [43] Valenti G (2007) Frailty as a dysruption of steroid „syncrinology“ in elderly man. *Acta Biomed* 178(Suppl 1): 222–224
- [44] Leng S, Chaves P, Koenig K, Walston J (2002) Serum Interleukin-6 and Haemoglobin as Physiological Correlates in the Geriatric Syndrom of Frailty: A Pilot Study. *J Am Geriatr Soc* 50: 1268–1271
- [45] Dumke BR, Lees SJ (2011) Age-related impairment of T-cell induced sceletal muscle precursor cell function. *Am J Physiol Cell Physiol* 300:C1226–C1233
- [46] Haeling v.S, Morley JE, Anker SD (2010) An overview of sarcopenia: facts and numbers of prevalence and clinical impact. *J Cachexia Sarcopenia Muscle* 1:129–133
- [47] Rosenberg IH (2011) Sarcopenia: origins and clinical relevance. *Clin Geriatr Med* 27(3):337–339
- [48] Landi F, Liperoti R, Fusco D et al (2011) Sarcopenia and mortality among older nursing home residents. *J Am Med Dir Assoc* 13(2):121–126
- [49] Janssen I (2011) The epidemiology of sarcopenia. *Clin Geriatr Med* 27(3):355–363
- [50] Nordheim J, Maaz A, Winter MHJ et al (2006) Viel-nutzung von Krankenversicherungsleistungen im Alter – eine Analyse von Krankenhaus- und Arzneimitteldaten. *Z ärztl Fortb Qual Gesundheitsw* 100:609–615
- [51] Windisch W, Brambring J, Budweiser S, Dellweg D, Geiseler J, Gerhard F, Köhnlein T, Mellies U, Schönhofer B, Schucher B, Siemon K, Walterspacher S, Winterholler M, Sitter H; Projektgruppe Nicht-invasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz (2010) Non-invasive and invasive mechanical ventilation for treatment of chronic respiratory failure. S2-Guidelines published by the German Medical Association of Pneumology and Ventilatory Support. *Pneumologie* 64(4):207–240
- [52] Dreher M, Windisch W (2010) Außerklinische Beatmung Indikationen und Outcome. *Pneumologie* 7:114–120
- [53] Sevransky JE, Haponik EF (2003) Respiratory failure in elderly patients. *Clin Geriatr Med* 19(1):205–224
- [54] Cohen J, Starobin D, Papirov G et al (2005) Initial experience with a mechanical ventilation weaning unit. *Isr Med Assoc J* 7(3):166–168
- [55] Warnke P et al (2014) Nasal screening for MRSA: different swabs – different results! *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111627>
- [56] Marra AR et al (2018) Discontinuing contact precautions for multidrug-resistant organisms: a systematic literature review and meta-analysis. *Am J Infect Control* 46:333–340
- [57] Kullar R et al (2016) Degowning the controversies of contact precautions for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a review. *Am J Infect Control* 44:97–103
- [58] Martin EM et al (2018) Noninfectious hospital adverse events decline after elimination of contact precautions for MRSA und VRE. *Infect Control Hosp Epidemiol*. <https://doi.org/10.1017/ice.2018.93>
- [59] Lemmen SW et al (2017) Antibiotic stewardship and horizontal infection control are more effective than screening, isolation and eradication. *Infection*. <https://doi.org/10.1007/s15010-018-1137-1>

## Literatur zu Abschnitt 7.2

- [60] Baur D et al (2017) Effect of antibiotic stewardship on the incidence of infection and colonisation with antibiotic-resistant bacteria and *Clostridium difficile* infection: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Infect Dis*. <https://doi.org/10.1016/S1473-309930325-0>
- ## Literatur zu Abschnitt 7.3
- [61] WeanNet Study Group (2016) [WeanNet: The network of weaning units of the DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin) – results to epidemiology and outcome in patients with prolonged weaning]. *Dtsch Med Wochenschr* 141(18):e166–e172. <https://doi.org/10.1055/s-0042-112345>
- [62] Hifumi T, Jinbo I, Okada I, Kiriu N, Kato H, Koido Y, Inoue J, Kawakita K, Morita S, Kuroda Y (2015) The impact of age on outcomes of elderly ED patients ventilated due to community acquired pneumonia. *Am J Emerg Med* 33(2):277–278. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2014.10.046>
- [63] Verceles AC, Lechner EJ, Halpin D, Scharf SM (2013) The association between comorbid illness, colonization status, and acute hospitalization in patients receiving prolonged mechanical ventilation. *Respir Care* 58(2):250–256. <https://doi.org/10.4187/respcare.01677>
- [64] Macht M, King CJ, Wimbish T, Clark BJ, Benson AB, Burnham EL, Williams A, Moss M (2013) Post-extubation dysphagia is associated with longer hospitalization in survivors of critical illness with neurological impairment. *Crit Care* 17(3):R119. <https://doi.org/10.1186/cc12791>
- [65] Zenner M, Meurer D, Baumann-Emmel S, Brand M, Berndt U, Rheinbay G, Kienast KH (2015) [Aspiration in a specialised weaning unit – an underestimated problem]. *Pneumologie*. 69(1):17–22. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1390900>
- [66] Nagappa M, Ho G, Patra J, Wong J, Singh M, Kaw R, Cheng D, Chung F (2017) Postoperative outcomes in obstructive sleep apnea patients undergoing cardiac surgery: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Anesth Analg* 125(6):2030–2037
- [67] Diaz-Abad M, Verceles AC, Brown JE, Scharf SM (2012) Sleep-disordered breathing may be under-recognized in patients who wean from prolonged mechanical ventilation. *Respir Care* 57(2):229–237. <https://doi.org/10.4187/respcare.01260>
- [68] Lozano R, Naghavi M, Foreman K, et al (2012) Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 380(9859):2095–2128
- [69] Marini JJ (2011) Dynamic hyperinflation and auto-positive end-expiratory pressure: lessons learned over 30 years. *Am J Respir Crit Care Med* 184(7):756–762. <https://doi.org/10.1164/rccm.201102-0226PP>
- [70] Aerts JG, van den Berg B, Bogaard JM (1997) Controlled expiration in mechanically-ventilated patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Eur Respir J*. 10(3):550–556
- [71] Rossi A, Brandolese R, Milic-Emili J, Gottfried SB (1990) The role of PEEP in patients with chronic obstructive pulmonary disease during assisted ventilation. *Eur Respir J* 3(7):818–822
- [72] Kondili E, Alexopoulou C, Prinianakis G, Xirouchaki N, Georgopoulos D (2004) Pattern of lung emptying and expiratory resistance in mechanically ventilated patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Intensive Care Med* 30:1311–1318. <https://doi.org/10.1007/s00134-004-2255-z>
- [73] Marini JJ (2011) Dynamic hyperinflation and auto-positive end-expiratory pressure: lessons learned over 30 years. *Am J Respir Crit Care Med* 184(7):756–762. <https://doi.org/10.1164/rccm.201102-0226PP>
- [74] Jubran A, Tobin MJ (1994) Use of flow-volume curves in detecting secretions in ventilator-dependent patients. *Am J Respir Crit Care Med* 150(3):766–769
- [75] Kondili E, Alexopoulou C, Prinianakis G, Xirouchaki N, Vaporidi K, Georgopoulos D (2011) Effect of albuterol on expiratory resistance in mechanically ventilated patients. *Respir Care* 56(5):626–632. <https://doi.org/10.4187/respcare.00984>
- [76] Hashemian SM, Mortaz E, Jamaati H, Bagheri L, Mohajerani SA, Garssen J, Movassaghi M, Barnes PJ, Hill NS, Adcock IM (2017) Budesonide facilitates weaning from mechanical ventilation in difficult-to-wean very severe COPD patients: association with inflammatory mediators and cells. *J Crit Care* 44:161–167
- [77] Faisy C, Meziani F, Planquette B, Clavel M, Gacouin A, Bornstain C, Schneider F, Duguet A, Gibot S, Lerolle N, Ricard JD, Sanchez O, Djibre M, Ricome JL, Rabbat A, Heming N, Urien S, Esvan M, Katsahian S; DIABOLO Investigators (2016) Effect of acetazolamide vs placebo on duration of invasive mechanical ventilation among patients with chronic obstructive pulmonary disease: a randomized clinical trial. *JAMA* 315(5):480–488
- [78] Ouellette DR, Patel S, Girard TD, Morris PE, Schmidt GA, Truitt JD, Alhazzani W, Burns SM, Epstein SK, Esteban A, Fan E, Ferrer M, Fraser GL, Gong MN, Hough CL, Mehta S, Nanchal R, Pawlik AJ, Schweickert WD, Sessler CN, Strøm T, Kress JP (2017) Liberation from mechanical ventilation in critically ill adults: an official American College of Chest Physicians/American Thoracic Society clinical practice guideline: inspiratory pressure augmentation during

- spontaneous breathing trials, protocols minimizing sedation, and noninvasive ventilation immediately after extubation. *Chest*. 151(1):166–180
- [79] Aboussouan LS (2015) Sleep-disordered breathing in neuromuscular disease. *Am J Respir Crit Care Med* 191:979–989
- [80] McCool FD, Tzelepis GE (2012) Dysfunction of the Diaphragm. *N Engl J Med* 366:932–942
- [81] Mifsud Bonnici D, Sanctuary T, Warren A, Murphy PB, Steier J, Marino P, Pattani H, Creagh-Brown BC, Hart N (2016) Prospective observational cohort study of patients with weaning failure admitted to a specialist weaning, rehabilitation and home mechanical ventilation centre. *BMJ Open*. 6(3):e010025
- [82] Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, Zhu J, Sachdeva R, Sonnad S, Kaiser LR, Rubinstein NA, Powers SK, Shrager JB (2008) Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 358(13):1327–1335
- [83] Huang D, Ma H, Zhong W, Wang X, Wu Y, Qin T, Wang S, Tan N (2017) Using M-mode ultrasonography to assess diaphragm dysfunction and predict the success of mechanical ventilation weaning in elderly patients. *J Thorac Dis* 9(9):3177–3186. <https://doi.org/10.21037/jtd.2017.08.16>
- [84] Supinski GS, Morris PE, Dhar S, Callahan LA (2017) Diaphragm dysfunction in critical illness. *Chest*. 153(4):1040–1051. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.1157>
- [85] Scheinhorn DJ, Hassenpflug MS, Votto JJ, Chao DC, Epstein SK, Doig GS, Knight EB, Petrak RA; Ventilation Outcomes Study Group (2007) Post-ICU mechanical ventilation at 23 long-term care hospitals: a multicenter outcomes study. *Chest* 131(1):85–93
- [86] Dres M, Teboul JL, Monnet X (2014) Weaning the cardiac patient from mechanical ventilation. *Curr Opin Crit Care* 20(5):493–498
- [87] Liu J, Shen F, Teboul JL, Anguel N, Beurton A, Bezaz N, Richard C, Monnet X (2016) Cardiac dysfunction induced by weaning from mechanical ventilation: incidence, risk factors, and effects of fluid removal. *Crit Care* 20(1):369
- [88] Robert Koch-Institut (2012) Daten und Fakten: Ergebnisse der Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell 2010“. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch-Institut, Berlin
- [89] van den Berghe G, Wouters P, Weekers F, Verwaest C, Bruyninckx F, Schetz M, Vlasselaers D, Ferdinande P, Lauwers P, Bouillon R (2001) Intensive insulin therapy in critically ill patients. *N Engl J Med* 345(19):1359–1367
- [90] The NICE-SUGAR Study Investigators (2012) Hypoglycemia and risk of death in critically ill patients. *N Engl J Med* 367:1108–1118
- [91] Devanesan A, Lloyd J, Samad H, Saha S (2016) Glycaemic control in intensive care: everything in moderation. *J Intensive Care Soc*. 17(4):280–283
- [92] Baumgartner C, da Costa BR, Collet TH, Feller M, Floriani C, Bauer DC, Cappola AR, Heckbert SR, Ceresini G, Gussekloo J, den Elzen WPJ, Peeters RP, Luben R, Völzke H, Dörr M, Walsh JP, Bremner A, Iacoviello M, Macfarlane P, Heeringa J, Stott DJ, Westendorp RGJ, Khaw KT, Magnani JW, Aujesky D, Rodondi N (2017) Thyroid function within the normal range, subclinical hypothyroidism, and the risk of atrial fibrillation. *Circulation* 136(22):2100–2116
- [93] Fliers E, Bianco AC, Langouche L, Boelen A (2015) Thyroid function in critically ill patients. *Lancet Diabetes Endocrinol* 3(10):816–825
- [94] Bickenbach J, Marx G, Schmoor C, Lemmen S, Marx N, Dreher M (2016) Differences between prolonged weaning patients from medical and surgical intensive care units. *Acta Anaesthesiol Scand* 60(9):1270–1280
- [95] Agusti AG, Torres A, Estopa R, Agustividal A (1984) Hypophosphatemia as a cause of failed weaning: the importance of metabolic factors. *Crit Care Med* 12(2):142–143
- [96] Zhao Y, Li Z, Shi Y, Cao G, Meng F, Zhu W, Yang GE (2016) Effect of hypophosphatemia on the withdrawal of mechanical ventilation in patients with acute exacerbations of chronic obstructive pulmonary disease. *Biomed Rep* 4(4):413–416



# Zukunftsvisionen

*Gernot Marx, Dominic Dellweg und Johannes Bickenbach*

## **8.1 Telemedizinische Aspekte – 114**

8.1.1 Situation der außerklinischen Versorgung – 114

8.1.2 Möglichkeiten und Grenzen in der Telemedizin – 116

8.1.3 Fazit – 118

## **8.2 Entwicklungsperspektiven in der außerklinischen Beatmung – 118**

**Literatur zu Abschnitt 8.1 – 122**

**Literatur zu Abschnitt 8.2 – 122**

In diesem Kapitel werden die wichtigsten zukunftsweisenden Entwicklungen im Rahmen der Weaningforschung und -praxis aufgeführt. Hierzu zählen telemedizinische Entwicklungen und Entwicklungen in der außerklinischen Beatmung.

## 8.1 Telemedizinische Aspekte

### 8.1.1 Situation der außerklinischen Versorgung

Ein gewisser Anteil von Patienten im prolongierten Weaning lässt sich trotz der komplexen Behandlung nach einer Akutsituation und/oder Co-Morbiditäten (u. a. neuromuskulär, pulmonal, kardial) nicht von der maschinellen Beatmung entwöhnen (▣ Abb. 8.1), sodass die Indikation zu außerklinischer Beatmung gegeben ist (► Kap. 5).

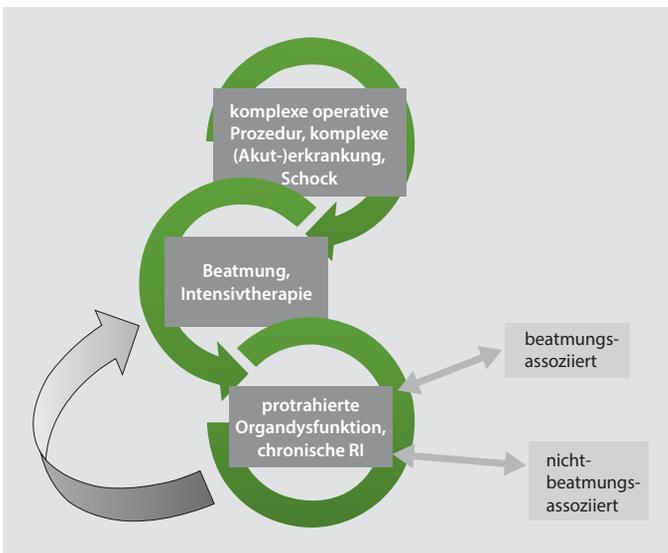
Die Überleitung von einem Weaningzentrum in eine invasive außerklinische Beatmung ist generell als äußerst komplex anzusehen. Die Compliance jedes einzelnen Patienten, seiner Angehörigen, betreuenden Pflegekräften, weiter betreuenden Arzt ist in diesem Fall besonders gefragt. Gleichzeitig erfordert der Patient

mit außerklinischer invasiver Beatmung eine äußerst aufwendige Versorgung mit

- Beatmungsgerät,
- Sauerstoff, Absaugung, Inhalationsgerät (► Kap. 5) und weiteren Hilfsmitteln zum Monitoring,
- qualifizierten Pflegepersonal 24/7,
- pflegerische Betreuung,
- ärztlichen Versorgungsteam (Hausarzt, mitbetreuender Pneumologe),
- wiederaufnehmendem Beatmungszentrum (zur späteren Reevaluation).

Zudem muss bei Vorliegen einer chronischen respiratorischen Insuffizienz von einer schwersten atemmechanischen Beeinträchtigung ausgegangen werden, bei der jede Form der Beatmungsunterstützung zwar einerseits vital indiziert ist, andererseits jedoch mit äußerst schwerwiegenden Komplikationen, beispielsweise bei Fehleinstellung von Beatmungsgeräten oder disloziertem Atemwegszugang, vergesellschaftet sein kann.

Die Zahl außerklinisch beatmeter Patienten ist in den Jahren drastisch angestiegen, zum einen als Ausdruck einer immer komplexer und fortschrittlicher werdenden, medizinischen Entwicklung, zum anderen, weil die



▣ Abb. 8.1 Abwärtsspirale im prolongierten Weaning (RI=respiratorische Insuffizienz)

Anzahl chronisch Lungenkranker (insbesondere in Hinblick auf die wachsende Zahl von COPD-Erkrankungen bei älteren Menschen) in den folgenden Jahren deutlich zunehmen wird [1]. Eine weitere relevante Ursache für die besagte Zunahme ist das z. Z. noch nicht existierende Verfahren zur Reevaluation des Weaningpotenzials im weiteren Krankheitsverlauf.

Außerklinisch beatmete Patientinnen und Patienten sind in sich eine sehr heterogene Patientengruppe. Dies ist vor allem in der Vielfalt der zur Beatmung führenden, zugrunde liegenden Erkrankungen sowie der unterschiedlichen Beatmungsstrategien (u. a. nicht-invasiv vs. invasiv, unterschiedliche Beatmungsdauern, etc.) begründet. Eine Einteilung der Gruppen kann hinsichtlich Alter, Grunderkrankung und Ursache der dauerhaften Beatmungspflichtigkeit erfolgen. Ein Teil der außerklinisch beatmeten Personen sind Kinder und Jugendliche, die zum Beispiel entweder an einer neuromuskulären Grunderkrankung leiden oder an einem schweren neurologischen Defektzustand, z. B. nach einer Hirnblutung. Die Gruppe der außerklinisch beatmeten Erwachsenen setzt sich zu ca. 40 % aus Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen und etwa 60 % aus Patienten mit einer COPD oder restriktiven Lungenerkrankungen (inklusive Obesitas-Hypoventilationssyndrom) zusammen [2].

In Hinblick auf die Dauer der Beatmungspflichtigkeit ist zu unterscheiden zwischen Patienten, die dauerhaft auf eine invasive Beatmungsform angewiesen sind, und Patienten, bei den eine nicht-invasive oder invasive Beatmungstherapie im weiteren Verlauf reevaluiert werden kann und ggf. zu einem späteren Zeitpunkt ein erneuter Entwöhnungsversuch von der maschinellen Beatmung vorgenommen werden kann.

So heterogen die Patientengruppe ist, bei der eine außerklinische Beatmungstherapie zum Einsatz kommt, so komplex muss auch das Monitoring dieser Patienten betrachtet werden. Allerdings gibt es keinerlei klare Empfehlung, in welchem Umfang oder bei welchen Patienten ein Monitoring zu erfolgen hat. So gehören beispielsweise weder ein Pulsoxymeter noch

ein Kapnometer bei erwachsenen Beatmungspatienten zur Hilfsmittel-Basisversorgung. Auch die ärztliche Mitbetreuung ist nicht strukturiert geregelt. Außerdem steht in der Niederlassung tätiges, qualifiziertes Personal – Fachärzte für Anästhesie, Pneumologie oder Innerer Medizin – mit spezifischer Zusatzqualifikation oftmals nicht in ausreichender Zahl zur Verfügung. Häufig sind sie jedoch der erste Ansprechpartner für die Pflegedienste und müssen notwendige Therapien evaluieren, verordnen oder Medikamente überprüfen. An dieser Stelle könnten telemedizinische Lösungen wichtige Versorgungslücken schließen.

Hinsichtlich einer pflegerischen Betreuung, für die bisher keine an Richtlinien gebundenen Voraussetzungen beschrieben oder festgehalten sind, kann grundsätzlich unterschieden werden zwischen einer Versorgung in stationären Einrichtungen, beispielsweise in Fachpflegeeinrichtungen für außerklinische Beatmung, und einer möglichen ambulanten Betreuung. Deren Organisation kann unterschiedlich gestaltet sein. In Frage kommt einerseits die häusliche Rund-um-die-Uhr-Betreuung (mit einem 1:1-Betreuungsverhältnis) durch ein ambulantes Pflegeteam. Die Versorgung kann andererseits auch in ambulant betreuten Intensivpflegewohnheimen (mit 3–12 Bewohnern unabhängig vom Krankheitsbild) organisiert sein. Allerdings existieren bisher keine offiziell verabschiedeten und bundesweit verbindlichen Qualitätsstandards für Patientinnen und Patienten in der außerklinischen Intensivpflege. Für eine bessere Steuerung und Vereinheitlichung qualitativ hoher medizinischer Versorgung könnten telemedizinischen Versorgungskonzepte das Pflegepersonal sinnvoll entlasten.

Ein weiteres Problem kann generell, aber insbesondere in ländlichen Regionen, die ärztliche Anbindung oder die Anbindung an Weaningzentren und Krankenhäuser sein. Dieses strukturelle Defizit kann dazu führen, dass bei Problemen (ohne möglicherweise bedeutende klinische Verschlechterung und somit vermeidbar) die Patienten allein aus logistischen und

organisatorischen Gründen zur stationären Krankenhausbehandlung eingewiesen werden müssen. Neben der Kostenfrage entstehen damit durch Transporte und neuem Infektionsrisiko hohe Belastungssituationen für die Patienten.

■ **Abb. 8.2** zeigt die wesentlichen Herausforderungen zusammengefasst.

Die dargestellten Herausforderungen stellen Chancen für neue Versorgungsstrukturen sowie insbesondere einer technischen Unterstützung geeigneter Versorgungsstrukturen dar, um eine effiziente Patientenversorgung einer zu erwartenden größeren Patientengruppe in der Zukunft zu sichern. Erste Ergebnisse zeigen, dass bei Patientinnen und Patienten mit COPD eine telemedizinische Unterstützung dazu führt, dass Exazerbationen frühzeitiger detektiert werden können [3]. Eine Untersuchung außerklinisch beatmeter Patienten mit chronisch respiratorischer Insuffizienz belegte die einerseits nutzerfreundliche Anwendung eines Telemedizin systems für Patienten und behandelnde Ärzte, andererseits konnte durch die telemedizinischen Mitbetreuung die Zahl der Krankenhauseinweisungen reduziert werden [4]. Erste ermutigende Studien belegen die sinnvolle Einsetzbarkeit von Telemedizin systemen zur Verbesserung der Behandlung außerklinisch beatmeter Patienten. Allerdings zeigt demgegenüber die TeleCRAFT keine Lebensqualitätsverbesserung und sogar signifikant mehr Krankenhauseinweisungen bei COPD-Patienten, die telemedizinisch mitversorgt wurden [5]. Hier muss kritisch angemerkt werden, dass insbesondere das zu versorgende Personal in Hinblick auf die Erkrankung gut geschult werden muss, und dass der Gewinn (zu vieler) Information durch Monitoring (wie in dieser Studie

detektierte, nächtliche Schwankungen in der Sauerstoffsättigung) **nicht** in zu hoher Unsicherheit und möglicherweise ungewollt zu häufigen Krankenhausaufenthalten münden darf. Die Ressource „Telemedizin“ ist folglich **nicht** gleichsam auf alle chronisch respiratorisch insuffizienten Patienten übertragbar, sondern muss für bestimmte Patientengruppen ausgewählt werden.

### 8.1.2 Möglichkeiten und Grenzen in der Telemedizin

An allererster Stelle ist das Ziel der telemedizinischen Mitbetreuung bei außerklinischer Beatmung die Erhöhung der Lebensqualität und Versorgungstabilität der Patienten. Des Weiteren kann die telemedizinische Versorgung dazu beitragen, dass

- eine einheitliche Überwachung der Vitalparameter außerklinisch beatmeter Patienten sichergestellt wird und sich dadurch die Patientensicherheit erhöht,
- sich die Patientenautonomie verbessert,
- eine engere Anbindung an qualifiziertes, ärztliches Personal erfolgt,
- eine Versorgung nahe am Wohnort ermöglicht werden kann und
- eine Verringerung vermeidbarer Krankenhausaufnahmen und -behandlungen erzielt werden kann.

Durch Telemedizin könnten Patienten kosteneffektiver und pflegezentrierter behandelt werden. In einer Studie aus Italien mit außerklinisch beatmeten Patienten konnten insgesamt 63 % die aufgetretenen Probleme durch

heterogene Patientengruppe	Versorgung und Monitoring	Infrastruktur
<ul style="list-style-type: none"> <li>• unterschiedliche Grunderkrankungen</li> <li>• unterschiedliche Ausprägung der Beatmungstherapie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine klare Monitoring-Empfehlung</li> <li>• unstrukturierte Arztanbindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• heterogene Pflegeeinrichtungen</li> <li>• unzureichende Anbindung an Weaningzentren</li> </ul>

■ **Abb. 8.2** Herausforderungen in der Versorgung außerklinisch beatmeter Patienten

telemedizinische Anbindung und ohne ärztliche Konsultation alleine vom Pflegepersonal gelöst werden. Es zeigte sich eine um 36 % geringere Hospitalisierungsrate [4].

Für eine telemedizinische Versorgung müssen also vor allem Patientengruppen und Behandlungsabläufe für unterschiedliche Szenarien definiert werden. Folgende Aspekte scheinen für die telemedizinische Versorgung außerklinische beatmeter Patienten sinnvoll (■ Abb. 8.3):

#### ■ Monitoring von Vitaldaten

Je nach Schweregrad der Erkrankung eines außerklinisch beatmeten Patienten kann die regelmäßige Erfassung von Blutdruck, Herzfrequenz, und Sauerstoffsättigung sinnvoll sein. Möglich wäre beispielsweise, dass diese Werte automatisch an ein Telemedizinzentrum weitergeleitet und ausgewertet werden. Kritisch anzumerken ist hier, dass diese Werte regelmäßig begutachtet werden müssen und aktuell unklar ist, ob eine regelmäßige Erfassung von Vitaldaten nicht zu einer erhöhten Krankenhauseinweisung führen wird.

#### ■ Monitoring von Atemmechanik und Beatmungsparametern

Alle beatmungsassoziierten, vom Beatmungsgerät erfassten Parameter können ebenfalls direkt

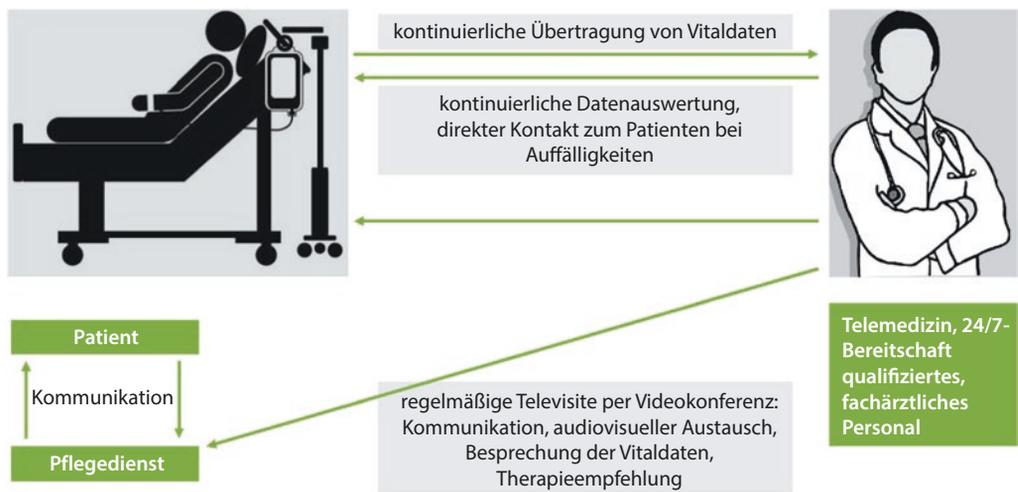
an ein Telemedizinzentrum weitergeleitet werden, um beispielsweise Abweichungen, die auf Exazerbationen hinweisen frühzeitig zu erkennen und bereits im ambulanten Bereich eine Therapie zu initiieren. Auch hier ist kritisch zu erwähnen, dass es bis dato keine validen Daten darüber gibt, welche Parameter eine mögliche Exazerbation frühzeitig detektieren lassen.

#### ■ Regelmäßige Televisiten

Im Rahmen von beispielsweise wöchentlichen Visiten (oder bei Bedarf häufiger) kann ein qualifizierter Arzt eines spezialisierten Zentrums mit dem Patienten per Videokonferenz in Kontakt treten. Durch die audiovisuelle Übertragung und eine bidirektionale Kommunikation können der gesundheitliche Zustand des Patienten (Ernährungsstatus, Hautfarbe, Körperhaltung, Mobilisation etc.) erfasst und (be-)atmungsassoziierte Werte (Atemfrequenz, *rapid shallow breathing*, etc.) beurteilt werden.

Die für die Patienten relevanten Befunde können digital hinterlegt werden, um eine berufsgruppenübergreifenden Behandlung zu vereinfachen.

Die möglichen Vorteile einer telemedizinischen Versorgung sind in ■ Abb. 8.3 zusammengefasst.



■ Abb. 8.3 Mögliche Szenarien zum Einsatz der Telemedizin bei außerklinisch Beatmeten

### 8.1.3 Fazit

- Die Patientengruppe außerklinisch beatmeter Patienten ist äußerst heterogen. Aufgrund demographischer Entwicklungen und medizinischer Entwicklungen wird die Anzahl dieser Patienten zukünftig ansteigen.
- Die pflegerische Versorgung ist qualitativ sehr unterschiedlich und bisher existieren keine einheitlichen Versorgungsstandards für außerklinisch beatmete Patienten.
- In ländlichen Regionen ist oftmals keine Infrastruktur vorhanden. Unnötige Krankenhausaufenthalte sind die Folge und können aufgrund der assoziierten Risiken (Transport, Infektionsrisiko im Krankenhaus) für den Patienten mit einer gesundheitlichen Verschlechterung verbunden sein.
- Die ärztliche Anbindung soll durch Telemedizin verbessert, der Arzt-Patienten-Kontakt dadurch aber nicht reduziert werden.
- Außerklinische Beatmung kann ein zunehmend wichtiges Feld für telemedizinische Unterstützung darstellen.
- Trotz der Möglichkeiten telemedizinischer Anbindungen muss binnen drei Monaten nach Entlassung von Patienten mit prolongiertem Weaning eine außerklinische Beatmung durch ein Expertengremium einer spezialisierten Weaningeinheit die Indikation reevaluiert werden [6].
- Insgesamt liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch wenig publizierte Daten über den Einsatz von Telemedizin bei Patienten mit außerklinischer Beatmung vor.

## 8.2 Entwicklungsperspektiven in der außerklinischen Beatmung

Die außerklinische Beatmung wird in naher Zukunft grundlegende technische Veränderungen erfahren. Neue invasive und nicht-invasive Messverfahren sowie die Möglichkeit

des Datentransfers sind hier von entscheidender Bedeutung.

Die anzunehmenden Ziele:

- Senkung der Mortalität/Morbidität,
- technische Innovationen,
- Verbesserung der Sicherheit,
- Steigerung der Kosteneffizienz aber auch Erlösoptimierung,
- Erhöhung des Komforts,
- Verbesserung der Bedienerfreundlichkeit und
- Bereitstellung von Mess- und Gerätedaten

sind für die partizipierenden Parteien (Patient, Pflegedienste, Ärzte und Kliniken, Kostenträger, Gerätehersteller bzw. Geräteentwickler, Geräteprovider sowie die Politik) von unterschiedlichem Interesse. Biometrische Daten werden heute bereits in großen Umfang durch tragbare Fitnessmonitore oder onlinefähige Messgeräte gespeichert und häufig zeitversetzt auf zentrale Datenspeichersysteme hochgeladen [7]. Durch integrierte Mobilfunktechnik ist auch eine Datenübertragung in Echtzeit möglich. Bei der Fülle der tragbaren Fitnessmonitore ist davon auszugehen, dass bereits heute kritische (pathologische) Messwerte auf zentrale Datenspeichersysteme hochgeladen werden. Diese Datenspeichersysteme sind i. d. R. Plattformen, die der Hersteller zur Verfügung stellt sowie Cloudsysteme oder aber auch Strukturen sozialer Netzwerke [8]. Beatmungsgeräte mit integrierter Mobilfunktechnik sind bereits verfügbar und laden ihre Messdaten i. d. R. auf Serverstrukturen des Herstellers [9]. Generell stellt sich an dieser Stelle die Frage, wer unter Beachtung des Datenschutzes im Interesse des Patienten Zugriff auf diese Daten bekommt und mit welcher Intention eine Analyse der Daten erfolgt. Juristisch stellt sich die Frage, ob nur die Möglichkeit oder aber auch die Verpflichtung besteht solche Daten auszuwerten und ob im Unterlassungsfall rechtliche Konsequenzen entstehen.

### ■ Beurteilung der Beatmungsqualität – jetzt und in der Zukunft

Die Güte einer jeden Beatmung wird charakterisiert durch die Qualität der Beatmung und

natürlich dadurch, inwieweit diese vom Patienten toleriert und subjektiv empfunden wird. Die Qualität der Beatmung wird bestimmt durch die Parameter des Gasaustausches, insbesondere dadurch, wie gut eine Hyperkapnie bzw. eine respiratorische Azidose ausgeglichen werden konnte. Ein weiterer Qualitätsmarker wäre die Entlastung der überlasteten Atempumpe. Die Kompensation einer Hyperkapnie kann sicher nur über die Bestimmung einer blutigen BGA erfolgen, die quantitative Messung der atemmuskulären Entlastung während der Beatmung derzeit nur über invasive Druckmessverfahren (z. B. Ösophaguskatheter). Eine Beatmungseinstellung oder Kontrolle ist deswegen derzeit ohne Verfügbarkeit zumindest einer Blutgasanalyse schwer vorstellbar. Die alleinige Messung der Sauerstoffsättigung hat deutliche Limitationen. Unter Sauerstoffgabe kann die Sättigung normal sein, obwohl eine Hyperkapnie mit respiratorischer Azidose vorliegt. Auf der anderen Seite kann ein Sättigungsabfall sowohl bei isolierter Hypoxämie (respiratorische Insuffizienz Typ I) als auch bei ventilatorischer Insuffizienz (respiratorische Insuffizienz Typ II) vorliegen. Bei einer Hypoxämie ist daher Handlungsbedarf angezeigt, die Pathophysiologie wird aber erst durch die weitere BGA-Analyse erklärt. Transkutane  $\text{CO}_2$ -Messungen und  $\text{CO}_2$ -Messungen aus der Ausatemluft können den Trend des wirklichen  $\text{CO}_2$ -Partialdruckes im Körper abbilden, jedoch den Absolutwert derzeit noch nicht ausreichend sicher bestimmen [10]. Auch geben sie keine Auskunft über die metabolische Kompensation im Körper. Vor einem ähnlichen Messproblem steht man derzeit bei der Messung des Blutzuckers bei Diabetikern. Hier wird in absehbarer Zeit eine Lösung in Kontaktlinsenformat zu erwarten sein, die entsprechende Messungen aus dem Augenwasser liefert [11]. Auch intravasal liegende implantierbare Systeme sind vorstellbar, sie werden derzeit bereits zur Druckmessung in der Lungenstrombahn eingesetzt [12]. Für die Zukunft ist zu erwarten, dass die Messdaten einer Blutgasanalyse auch unblutig verfügbar sein werden.

Für die Akzeptanz durch den Patienten und die subjektiv empfundene Tolerierbarkeit spielen verschiedene Faktoren eine Rolle. Zum

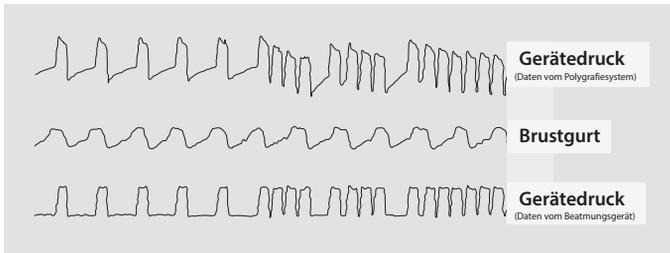
einen geht es hier um die Besserung von Symptomen (z. B. Luftnot), aber auch um die Synchronität, d. h. um den Grad der Beatmungsanpassung an den natürlichen Atemrhythmus des Patienten. Des Weiteren ist das Vermeiden von Nebenwirkungen und Komplikationen (z. B. Aerophagie, Austrocknung der Atemwege, Druckstellen einer Maske u. a.) von entscheidender Bedeutung. Subjektive Bewertungen durch den Patienten können telemedizinisch über digitale Geräte mit integrierter Mobilfunktechnik (z. B. Smartphones oder Tablets) abgefragt und übermittelt werden. Die Beatmungsgeräte können mittlerweile nicht nur Messdaten wie Atemfrequenz, Tidalvolumen oder Leckagevolumen ermitteln, sondern sind in der Lage, die Güter der Synchronität zu quantifizieren.

#### ■ Autoregulation von Beatmungsgeräten

Beatmungsgeräte, die in der außerklinischen Beatmung eingesetzt werden, sind derzeit schon in der Lage, eigenständig Beatmungsparameter anzupassen und so die Minutenventilation konstant zu halten [13–19]. Da auch beim gesunden Menschen mit nicht überlasteter Atemmuskulatur die Minutenventilation in der Nacht in Abhängigkeit von Schlafphase und Körperposition schwankt, stellt sich zunächst die Frage, inwieweit dieser Ansatz überhaupt physiologische Prinzipien verfolgt. So konnten einige Arbeiten eine Verbesserung bei der Ventilation [13, 15, 16, 19] feststellen, andere dagegen fanden keinen Vorteil [14, 17, 18]. Eine polysomnographisch gemessene Verbesserung des Schlafes konnte keine der Arbeiten zeigen [13, 14, 16, 17]. Spätestens wenn  $\text{CO}_2$ - und pH-Werte nicht-invasiv messbar sein werden, wird man sich darum bemühen Algorithmen zu entwickeln, die über eine Anpassung der Beatmung diese Werte in einem vordefinierten Korridor zu halten. Prinzipiell kann hinter einer Änderung des Beatmungsbedarfes auch immer eine klinische Verschlechterung des Patienten stehen. So wird die Herausforderung an zukünftige Systeme vor allem sein, dies zu erkennen und entsprechend kenntlich zu machen bzw. zu melden.

Neben der Sicherstellung einer ausreichenden Ventilation ist die Synchronität von Patient und Beatmungsgerät ein wichtiger Faktor und für den Komfort der Beatmung von entscheidender Bedeutung. Zu den Asynchronitätsmerkmalen gehören Auto-Trigger (■ Abb. 8.4), Doppel-Trigger (■ Abb. 8.5), ineffektive Trigger (■ Abb. 8.6) und überlange Inspiration [20, 21]. Die beiden erstgenannten lassen sich visuell anhand von Ventilatorgraphiken erkennen und ließen sich prinzipiell durch Muster-Erkennung (pattern recognition) auch automatisch detektieren. Wird die

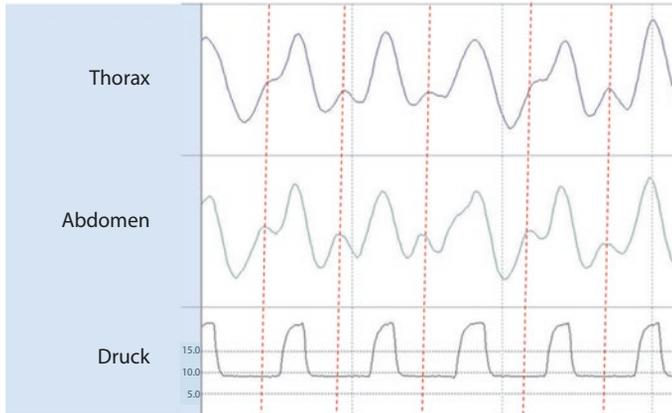
neuronale Inspiration des Patienten nicht beantwortet (ineffektives Triggern) oder ist der maschinelle Atemzug länger als die neuronale Inspiration (überlange Inspiration), benötigt man zusätzliche Informationen über die Atemanstrengung des Patienten. In der Klinik wird dies durch polygraphische Effort-Messungen (Brust- und Bauchgurte mit Dehnungssensoren) durchgeführt und manuell/visuell bewertet. Eine automatische Auswertung, z. B. durch den Phasenwinkel (■ Abb. 8.7) zwischen Effort-Signal und Druckkurve des Beatmungsgerätes, wäre eine denkbare Alternative und würde die



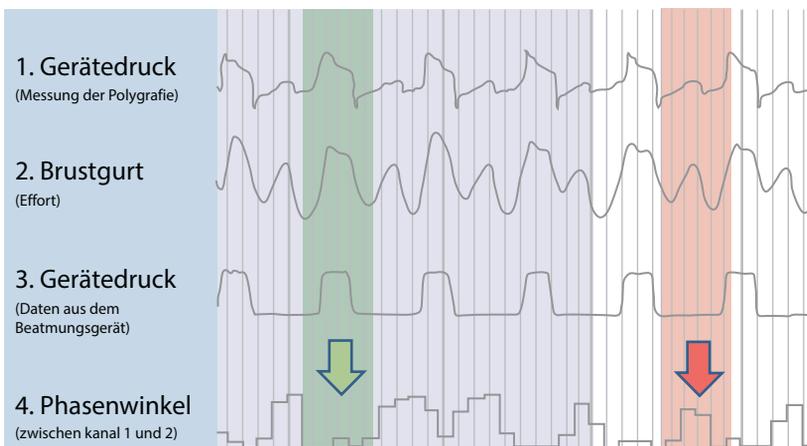
■ **Abb. 8.4** Im Verlauf der Beatmung kommt es zur raschen und unkontrollierten Abgabe mehrerer Atemzüge in schneller Abfolge ohne Synchronität zum Patienten (Autotrigger). Das Phänomen entsteht durch Druckschwankungen im Beatmungssystem (z. B. durch Sekret, Kondenswasser und Druckschwankungen) bei sensibel eingestelltem Inspirationstrigger



■ **Abb. 8.5** Die Flusskurve (Flow) und Druckkurve (Paw) zeigen einen zweigipfligen Verlauf (sog. Doppeltriggern) bei zu kurz eingestellter Inspirationszeit (hier 0,6 Sekunden). Im Ösophagussignal (Pes) ist erkennbar, dass innerhalb einer Atemanstrengung des Patienten 2 Atemzüge im Gerät ausgelöst werden



■ **Abb. 8.6** Ineffektives Triggern: die roten Linien markieren Inspirations-Bemühungen des Patienten (zu erkennen am Signal im Thorax- und Abdomengurt), die nicht vom Beatmungsgerät beantwortet werden (fehlender Anstieg in der Druckkurve)



■ **Abb. 8.7** Anhand des Phasenwinkels lässt sich die Synchronität zwischen der Atemanstrengung des Patienten (Effort) und dem Druckverlauf des Beatmungsgerätes beurteilen. (Grüner Pfeil: gute Synchronität, geringer Phasenwinkel; roter Pfeil: schlechte Synchronität, hoher Phasenwinkel)

Standardisierung solcher Ereignisse ermöglichen [4]. Systeme, die die Atemanstrengung des Patienten messen (in Form von Gurtsystemen oder kleidungsintegrierter Dehnungssensoren), könnten über eine Kommunikation mit dem Beatmungsgerät Asynchronitäten vermeiden. Bei der kontrollierten Beatmung (feste Atemfrequenz, feste Inspirationszeit, ausgeschaltete Trigger) sind Algorithmen zur Asynchronitätserkennung bereits verfügbar [22, 23], wurden aber wieder vom Markt genommen.

#### ■ Pflegeüberleitung – Chancen für eine kritische Schnittstelle

Der Übergang aus der Klinik in den außerklinischen Bereich stellt eine potentiell fehlerbehaftete Schnittstelle dar. Verantwortlich für die Überleitung des Patienten aus der Klinik ist der Klinikarzt. Mögliche Bestimmungsorte für den Patienten nach der Entlassung sind [24]:

1. Autonome Versorgung in der Häuslichkeit (i. d. R. nur bei nicht-invasiver Beatmung)

2. Häusliche Versorgung mit ambulatem Pflegedienst oder persönlicher Assistenz (1-zu-1-Versorgung)
3. Ambulante Pflege im betreuten Wohnen oder einer Wohngruppe für Langzeitbeatmete
4. Stationäre Pflegeeinrichtung mit Beatmungskompetenz
5. Palliativstation mit Beatmungskompetenz

Die Organisation der invasiven außerklinischen Beatmung hat den höchsten Organisationsaufwand. Nach Leitlinie sollte hier die Organisation mindestens drei Wochen vor dem geplanten Entlassungstermin erfolgen [25]. Die an der ambulanten Versorgung potentiell beteiligten Parteien (Pflegedienst, Ärzte, Geräteprovider, Kostenträger, Physiotherapie, Logopädie, Ergotherapie, Ernährungsberatung, Wundmanagement, Schmerztherapie, Dialyseeinrichtung) müssen prospektiv in diesen Prozess miteingebunden werden. Die Kommunikation hierzu erfolgt i. d. R. telefonisch, die Dokumentation schriftlich in Form von Papierdokumenten und Entlassungsbriefen. Diese Vorgehensweise hat in der Vergangenheit immer wieder gezeigt, dass den Versorgungsteilnehmern Daten teilweise nicht zur Verfügung stehen, da sie nicht zentral kurzfristig abrufbar sind.

Eine zentrale Speicherung aller für die Versorgung beatmeter Patienten erforderlichen Daten könnte hier Abhilfe schaffen. Die Wahrung des Datenschutzes und die Vergabe von Zugriffsrechten einer solchen Datenbank ist hochkomplex und derzeit sicher einer der Gründe, warum ein derartiges Projekt bisher nicht umgesetzt wurde.

## Literatur zu Abschnitt 8.1

- [1] <http://www.who.int/respiratory/copd/en/>
- [2] Masefield S, Vitacca M, Dreher M, Kampelmacher M, Escarrabill J, Paneroni M, Powell P, Ambrosino N (2017) Attitudes and preferences of home mechanical ventilation users from four European countries: an ERS/ELF survey. *ERJ Open Res* 3(2)

- [3] Fernández-Granero MA, Sánchez-Morillo D, León-Jiménez A, Crespo LF (2014) Automatic prediction of chronic obstructive pulmonary disease exacerbations through home telemonitoring of symptoms. *Biomed Mater Eng* 24(6):3825–3832
- [4] Chatwin M, Hawkins G, Panicchia L, Woods A, Hanak A, Lucas R, Baker E, Ramhamdany E, Mann B, Riley J, Cowie MR, Simonds AK (2016) Randomised crossover trial of telemonitoring in chronic respiratory patients (TeleCRAFT trial). *Thorax* 71(4):305–311
- [5] Vitacca M, Bianchi L, Guerra A, Fracchia C, Spanevello A, Balbi B, Scalvini S (2009) Tele-assistance in chronic respiratory failure patients: a randomised clinical trial. *Eur Respir J* 33(2):411–418
- [6] Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V. S2k – Leitlinie Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz, Revision 2017. [http://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/020-008I\\_S2k\\_NIV\\_Nichtinvasive\\_invasive\\_Beatmung\\_Insuffizienz\\_2017-07.pdf](http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/020-008I_S2k_NIV_Nichtinvasive_invasive_Beatmung_Insuffizienz_2017-07.pdf)

## Literatur zu Abschnitt 8.2

- [7] Polar P (2018) 90440 Kempele, Finland. <https://flow.polar.com>
- [8] Strava Netzwerk. <https://www.strava.com/?hl=de>
- [9] Airview Patientenmanagementsystem (2018) <https://www.resmed.com/de-de/commercial-partner/products/monitoring-and-data-management/airview-patient-management-system.html>
- [10] Storre JH, Dellweg D (2014) Monitoring of patients receiving mechanical ventilation. *Pneumologie* 68(8):532–541. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1365742>
- [11] Grabar E (2015) Unter Kontrolle. *Sueddeutsche Zeitung* 12 Dez.:38–39
- [12] Overbeck P (2015) Herzinsuffizienz: Implantierter Drucksensor erspart die Klinik. *Ärzte Zeitung* Dez.:1
- [13] Ambrogio C, Lowman X, Kuo M et al (2009) Sleep and non-invasive ventilation in patients with chronic respiratory insufficiency. *Intensive Care Med* 35(2):306–313. <https://doi.org/10.1007/s00134-008-1276-4>
- [14] Briones Claudett KH, Briones Claudett M, Chung Sang Wong M, Nuques Martinez A, Soto Espinoza R, Montalvo M et al (2013) Noninvasive mechanical ventilation with average volume assured pressure support (AVAPS) in patients with chronic obstructive pulmonary disease and hypercapnic encephalopathy. *BMC Pulm Med* 13:12
- [15] Crisafulli E, Manni G, Kidonias M, Trianni L, Clini EM (2009) Subjective sleep quality during average

- volume assured pressure support (AVAPS) ventilation in patients with hypercapnic COPD: a physiological pilot study. *Lung* 187(5):299–305
- [16] Ekkernkamp E, Kabitz HJ, Walker DJ, Schmoor C, Storre JH, Windisch W, Dreher M (2014) Minute ventilation during spontaneous breathing, high-intensity noninvasive positive pressure ventilation and intelligent volume assured pressure support in hypercapnic COPD. *COPD* 11(1):52–58
- [17] Ekkernkamp E, Storre JH, Windisch W, Dreher M (2014) Impact of intelligent volume-assured pressure support on sleep quality in stable hypercapnic chronic obstructive pulmonary disease patients: a randomized, crossover study. *Respiration* 88(4):270–276
- [18] Kelly JL, Jaye J, Pickersgill RE, Chatwin M, Morrell MJ, Simonds AK (2014) Randomized trial of 'intelligent' autotitrating ventilation versus standard pressure support non-invasive ventilation: impact on adherence and physiological outcomes. *Respirology* 19(4):596–603
- [19] Murphy PB, Davidson C, Hind MD, Simonds A, Williams AJ, Hopkinson NS et al (2012) Volume targeted versus pressure support non-invasive ventilation in patients with super obesity and chronic respiratory failure: a randomised controlled trial. *Thorax* 67(8):727–734
- [20] Storre JH, Seuthe B, Fiechter R, Milioglu S, Dreher M, Sorichter S et al (2006) Average volume-assured pressure support in obesity hypoventilation: a randomized crossover trial. *Chest* 130(3):815–821
- [21] Guo YF, Sforza E, Janssens JP (2007) Respiratory patterns during sleep in obesity-hypoventilation patients treated with nocturnal pressure support: a preliminary report. *Chest* 131(4):1090–1099
- [22] Crescimanno G, Canino M, Marrone O (2012) Asynchronies and sleep disruption in neuromuscular patients under home noninvasive ventilation. *Respir Med* 106(10):1478–1485
- [23] Dellweg D, Barchfeld T, Klauke M, Eiger G (2009) Respiratory muscle unloading during auto-adaptive non-invasive ventilation. *Respir Med* 103(11):1706–1712
- [24] Kohler D, Dellweg D, Barchfeld T, Klauke M, Tiemann B (2008) Time-adaptive mode, a new ventilation form for the treatment of respiratory insufficiency—a self-learning system. *Pneumologie* 62(9):527–532
- [25] Windisch W, Waltersbacher S, Siemon K, Geiseler J, Sitter H (2010) Guidelines for non-invasive and invasive mechanical ventilation for treatment of chronic respiratory failure. Published by the German Society for Pneumology (DGP). *Pneumologie* 64(10):640–652



# Qualitätsmanagement, Zertifizierung, Leitlinien

*Tobias M. Bingold und Wolfram Windisch*

- 9.1 Qualitätsmanagement – 126**
  - 9.1.1 Grundlage und Definition – 126
  - 9.1.2 Qualitätsdimensionen nach Donabedian – 126
  - 9.1.3 Kennzahlen, Qualitätsindikatoren – 127
  - 9.1.4 Effizienz – 128
  - 9.1.5 Interne Qualitätsmessung und Benchmark – 128
  - 9.1.6 Qualitätsindikatoren – 128
- 9.2 Thema: Zertifizierung – 129**
  - 9.2.1 Generelle Anforderungen an das Weaningzentrum – 129
  - 9.2.2 Personalausstattung – 129
  - 9.2.3 Prozessqualität – 130
  - 9.2.4 Ergebnisqualität – 130
- 9.3 Aufbau und Ausbau von Weaningstationen – 131**
- 9.4 Thema: Leitlinienorientierte Empfehlung – 131**
  - Literatur – 132**

Die effiziente Versorgung von intensivmedizinischen Patienten bedarf eines klar strukturierten interdisziplinären und interprofessionellen Behandlungskonzeptes. Dies erfordert ein entsprechend strukturiertes Qualitätsmanagement, um Behandlungsfehler zu minimieren.

Verschiedene Qualitätssicherungskonzepte wie der Kerndatensatz Intensivmedizin (Datenregister Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensivmedizin und Notfallmedizin/DIVI REVERSI), die intensivmedizinischen Qualitätsindikatoren, das Peer Review in der Intensivmedizin, das IQM-Peer-Review sowie unterschiedliche Zertifizierungsverfahren stehen hierzu in der Intensivmedizin zur Verfügung [1]. Zusätzlich sind zwei Zertifikate für den speziellen Bereich der Beatmungsentwöhnung von langezeitbeatmete Patienten verfügbar (s. u.).

9 **Das Zertifikat der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V. (DGP), welches über die Initiative WeanNet vergeben wird [3, 8] (<http://www.weannet.de/>). Das Zertifikat der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie & Intensivmedizin e. V. (DGAI) [2].**

Seitens der DGP wurde ein Register für DGP-zertifizierte Weaningzentren etabliert, um anhand der Daten eine Weiterentwicklung der Versorgungsqualität zu erzielen [3].

## 9.1 Qualitätsmanagement

### 9.1.1 Grundlage und Definition

Qualitätsmanagement ist zum Erreichen eines bestmöglichen Behandlungsergebnisses sowohl medizinisch notwendig als auch gesetzlich vorgeschrieben. Im SGB V, § 135–137 ist die Verpflichtung zur Qualitätssicherung geregelt. Um eine sinnvolle Qualitätssicherung und damit ein entsprechendes Qualitätsmanagement betreiben zu können, bedarf es der Definition der Qualität im Gesundheitswesen. Gemäß der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Informatik, Biometrie und Epidemiologie e. V. (GMDS) ist der

Begriff „Qualität“ im Gesundheitswesen folgendermaßen definiert:

» Qualität im Gesundheitswesen bedeutet eine ausreichende und zweckmäßige, d. h. patienten- und bedarfsgerechte, an der Lebensqualität orientierte, fachlich qualifizierte, aber auch wirtschaftliche medizinische Versorgung mit dem Ziel, die Wahrscheinlichkeit erwünschter Behandlungsergebnisse bei Individuen und in der Gesamtbevölkerung zu erhöhen. [4]

Der Vorteil dieser Definition ist, dass die geltenden berufs- und sozialgesetzlichen Anforderungen in Deutschland implizit berücksichtigt werden [4]. D. h., dass zum einen der neueste medizinische Standard in der Therapie zu gewährleisten ist und zum anderen das Wirtschaftlichkeitsgebot in der Therapie berücksichtigt wird. Weiterhin ist diese Definition der Qualität für Weaning-Patienten sehr passend, da sie eine patienten- und bedarfsgerechte sowie v. a. auch an der Lebensqualität der Patienten orientierte Versorgung definiert. Weaning-Patienten sind häufig keine reinen „Akut“-Patienten, sondern haben häufig eine lange Anamnese mit einer Vielzahl an Komorbiditäten, die in der Gesamtversorgung berücksichtigt werden müssen.

### 9.1.2 Qualitätsdimensionen nach Donabedian

Eine Strukturierung des Qualitätsmanagements erfolgt zumeist nach dem Modell von Donabedian [4]. Hierbei wird in die 3 Klassen der Struktur-, Prozess- und Ergebnisqualität unterschieden.

#### Strukturqualität

Die Strukturqualität beschreibt die Organisation und die materielle wie personelle Ausstattung einer Station. Eine entsprechende Festlegung von Voraussetzungen gemäß den zwei existierenden Zertifikaten für die Entwöhnung von Patienten mit prolongiertem Weaning ist in ► [Abschn. 9.2](#) ausgeführt. Wichtig ist, dass

sowohl die personelle Leitung durch einen qualifizierten Intensivmediziner, eine ausreichende Anzahl an Pflegekräften sowie die entsprechende technische Ausstattung einen entsprechenden Einfluss auf das Outcome unserer Patienten hat [5, 6]. Für DGP-zertifizierte Zentren soll der ärztliche Leiter der Klinik/Abteilung Facharzt für Pneumologie sein (<http://www.weannet.de/>).

### Prozessqualität

Der zweite Teil des Qualitätsmanagement wird durch die Prozessqualität bestimmt. Hier ist im Bereich der Intensivmedizin die Vielzahl von Schnittstellen im täglichen Behandlungsprozess eine besondere Herausforderung. Für die Prozessqualität für Weaning-Patienten sind hier, wie in ► **Abschn. 9.2** beschrieben, auch auf die Besonderheiten des Aufnahme-, Entlass- sowie Verlegungsmanagements von Bedeutung. Eine Besonderheit nimmt das Überleitmanagement in eine außerklinische Beatmung ein, wenn Patienten trotz aller Bemühungen nicht entwöhnt werden können und die Beatmung dann i. d. R. lebenslang im außerklinischen Umfeld fortgesetzt wird [7–9]. Die Güte der Prozessqualität bestimmt im Wesentlichen bei diesen Patienten den Behandlungserfolg.

### Ergebnisqualität

Der Behandlungserfolg wird als Ergebnisqualität gemessen. Die Ergebnisqualität kann sehr unterschiedliche Ausprägungen haben, z. B. als Kennzahl die Erfüllungsrate eines Prozesses, d. h. beispielsweise zu >90 % dokumentiert zu haben, warum ein Patient im Weaning-Prozess wieder an ein Beatmungsgerät genommen werden musste oder das Weaning-Protokoll verlassen wurde. Für den Prozess der Entwöhnung von der Beatmung sind Morbiditätskennzahlen sinnvoll, um den Behandlungsablauf im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses weiter anpassen zu können. In der Literatur wird zumeist jedoch die Letalität als ein Endpunkt der Behandlung verwendet. Die Verwendung der Letalität als Kennzahl bedarf aber immer einer Risikoadjustierung. Betrachtet man so z. B. die Kennzahl der Letalität von Patienten mit einer länger als 24 h

andauernden Beatmung, muss die Grundgesamtheit berücksichtigt werden, für die die Kennzahl adjustiert wurde. D. h. auf einer speziellen Weaning-Einheit, die nur Patienten speziell zur Entwöhnung von der Beatmung aufnimmt, wird die Beatmungs-assoziierte Letalität höher liegen als auf einer allgemeinen Intensivstation. Weaning-Einheiten, welche sich nach den DGP-Kriterien zertifizieren lassen, müssen ihre Daten entsprechend in ein Weaningregister eingeben [10].

► **Werden Kennzahlen verwendet, müssen diese bestimmte Voraussetzungen erfüllen (s. u.).**

Zur Ergebnisqualität gehört ebenfalls die Rate der Patienten mit kompletter Entwöhnung vom Respirator, mit NIV entlassenen Patienten und die Anzahl der mit invasiver Beatmung verlegten Patienten.

Die Weaning-Einheiten, die sich nach den DGP-Kriterien zertifizieren lassen, müssen ihre Daten entsprechend in ein Weaningregister eingeben [3].

### 9.1.3 Kennzahlen, Qualitätsindikatoren

Soll eine Kennzahl als Key-Performance-Indicator (KPI) verwendet werden, muss geklärt sein, dass die Kennzahl folgende Voraussetzung erfüllt:

- Messbarkeit des Sachverhaltes
- Datenverfügbarkeit (Qualität, Format, Datenträger)
- reproduzierbar, adjustiert
- mit realistischem Aufwand zu erheben

Inhaltlich muss die Kennzahl als Qualitätsindikator den RUMBA-Regeln folgen:

- „Relevant for selected problem“
- „Understandable“
- „Measurable with high reliability and validity“
- „Behaviourable, i. e. changeable by behaviour“
- „Achievable and feasible“ [4]

### 9.1.4 Effizienz

Kennzahlen können als KPI abteilungsintern zur Überprüfung aller drei Dimensionen des Qualitätsmanagements verwendet werden. Neben einem möglichst hohen Erfüllungsgrad ist die Effizienz zu berücksichtigen. Nach Definition der DIN EN ISO 9000:2005 3.2.15 ist hiermit das „Verhältnis zwischen dem erreichten Ergebnis und den eingesetzten Ressourcen“ definiert. Für die Intensivmedizin sind hier nur wenige Effizienzdaten verfügbar. Eine Kennzahl, die diesen Sachverhalt darstellt, ist im Kerndatensatz Intensivmedizin der DIVI als Benchmark Kennzahl verfügbar. Es wird die standardisierte Mortalitätsrate (SMR, Verhältnis von beobachteter zu erwarteter Mortalität) in das Verhältnis zum Behandlungsaufwand (TISS 28, Therapeutic Intervention Scoring System) gesetzt. Im Jahre 2011 betrug im Kerndatensatz Intensivmedizin der DIVI die mittlere SMR 0,93, der mittlere TISS 28 28,4 Punkte.

Es wurde jedoch für Patienten mit schwierigem und prolongiertem Weaning nachgewiesen, dass der TISS-Score den Behandlungsaufwand dieser Patientengruppe nicht adäquat erfasst [9].

### 9.1.5 Interne Qualitätsmessung und Benchmark

Neben der Messung von Qualität in der eigenen Abteilung/Station ist ein Vergleich mit anderen Abteilungen notwendig. Intern kann neben der kontinuierlichen Erhebung von Kennzahl (KPI) im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses eine intermittierende Überprüfung durch Audits erfolgen. Als externe Benchmark-Projekte stehen für die Intensivmedizin der Kerndatensatz der DIVI oder IQM zur Verfügung sowie z. B. das Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS).

### 9.1.6 Qualitätsindikatoren

Qualitätsindikatoren sind per se kein direktes Maß von Qualität, sondern sind vielmehr ein quantitatives Maß, um wichtige

Leitungs- und Managementfunktionen zu bewerten, die das Behandlungsergebnis beim Patienten beeinflussen können [4]. Die Entwicklung von Qualitätsindikatoren in der Intensivmedizin hat mittlerweile eine lange Geschichte. 2005 wurde in Spanien durch die „Spanish Society of Intensive Care Medicine and Coronary Care Units“ (SEMICYUC) eine Liste von 120 Indikatoren nach einem entsprechend klar strukturierten Prozess definiert, die zur Verbesserung der Behandlungsqualität beitragen soll ([http://www.semicyuc.org/sites/default/files/eng\\_quality\\_indicators\\_semicyuc2006.pdf](http://www.semicyuc.org/sites/default/files/eng_quality_indicators_semicyuc2006.pdf)). In Deutschland wurden diese Indikatoren durch die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) und die DIVI in einem 2-stufigem Delphi-Verfahren auf 10 Indikatoren priorisiert. Eine Überprüfung und Aktualisierung findet alle 3 Jahre statt. Die aktuellen Indikatoren wurden 2017 konzertiert und publiziert [11]. Diese Indikatoren sind nicht speziell auf den Prozess der Entwöhnung von der Beatmung abgestimmt, sondern auf die Versorgung von Patienten auf der Intensivstation. Damit bilden diese 10 Indikatoren eine Grundlage, die auch auf speziellen Einheiten zur Entwöhnung von der Beatmung Beachtung finden müssen.

Speziell für den Bereich der Entwöhnung von der Beatmung sind in der S2k-Leitlinie „Prolongierte Entwöhnung vom Respirator“ folgende 4 Indikatoren definiert [7]:

1. Physiotherapie und Sekretelimination werden täglich, auch am Wochenende, im Weaning-Prozess durchgeführt.
2. Vor Beginn der oralen Ernährung im Weaning erfolgt eine Testung auf Schluckstörungen.
3. Es existiert ein strukturiertes Überleitmanagement mit Anbindung an geeignete Versorgungsstrukturen.
4. Die Weaning-Abteilung hat Zugang zu einem Ethikkomitee, das bei schwierigen und strittigen End-of-Life-Entscheidungen einberufen wird.

Eine Übersicht über Begriffe und Definitionen zum Qualitätsmanagement im Gesundheitssystem bietet die Arbeit von Sens et al. <http://www.egms.de/en/journals/mibe/2007-3/mibe000053.shtml>.

## 9.2 Thema: Zertifizierung

Ein wesentlicher Bestandteil des Qualitätsmanagements zur Überprüfung und Dokumentation der vorgehaltenen Qualität ist die Zertifizierung. Die allgemeinen Zertifikate z. B. nach DIN ISO und KTQ haben primär nicht zum Ziel, medizinische Inhalte zu kontrollieren. Medizinisch inhaltlich kann der Bereich der Entwöhnung von der Beatmung standardisiert durch die DGAI oder durch die DGP überprüft und zertifiziert werden [2, 3, 7] [<http://www.weannet.de/>]. Das Zertifikat der DGP ist ein Zertifikat, das solitär den Bereich Entwöhnung von der Beatmung zertifiziert, das Zertifikat der DGAI ist ein modulares Zertifikat für Intensivmedizin, das ein spezielles Modul für den Bereich der Entwöhnung von der Beatmung vorsieht.

Im Folgenden werden die Grundstrukturen der beiden Zertifikate beschrieben. Die detaillierten Voraussetzungen können im Internet über die jeweilige Homepage heruntergeladen werden

- DGAI; AI-ZERT, <https://www.dgai.de/projekte/modulares-zertifikat-intensivmedizin>)
- DGP; WeanNet, <http://www.weannet.de>

### 9.2.1 Generelle Anforderungen an das Weaningzentrum

#### Definition „Weaningzentrum“

Eine Weaningzentrum ist definiert als eine Abteilung, die eine bestimmte Anzahl von Patienten mit einer prolongierten Entwöhnung von invasiver Langzeitbeatmung behandelt. Die Unterteilung des Schweregrades der Entwöhnung folgt der Einteilung nach Boles et al. [10]: einfach, schwierig, prolongiert. Das prolongierte Weaning wird in der Deutschen

Sk2-Leitlinie in weitere 3 Klassen untergliedert, abhängig davon, ob das Weaning ohne oder mit Zuhilfenahme der nicht-invasiven Beatmung gelingt oder erfolglos bleibt (► Kap. 1) [7].

#### Leistungsstruktur

Die beiden Zertifikate haben die Leistungsstruktur unterschiedlich definiert.

Das Zertifikat der DGP kann nur erworben werden, wenn der ärztliche Leiter Facharzt für Pneumologie oder der verantwortliche Oberarzt über diese Fachbezeichnung verfügt. Das Zertifikat der DGAI verlangt einen Facharzt für Anästhesiologie mit der Zusatzbezeichnung für Intensivmedizin.

#### Merkmale der Einheit und Struktur der Station für häusliche Beatmung

Beide Zertifikate sehen die Möglichkeit eines in die allgemeine Intensivstation integrierten Konzept oder aber eine separate, die Voraussetzungen einer Intensivstation erfüllende Station vor. Im Zertifikat der DGP ist zusätzlich eine Station für die außerklinische Beatmung gefordert. Diese Station muss die Diagnostik, Indikation, Einleitung und Verlaufskontrollen elektiver Beatmungstherapie bei allen hierfür wesentlichen Grunderkrankungen durchführen können. Das Personal muss entsprechend in der elektiven Beatmung geschult sein sowie über ein adäquates Entlassungsmanagement verfügen.

### 9.2.2 Personalausstattung

#### ■ Ärztliches Personal

Die personellen Anforderungen sind in beiden Zertifikaten bzgl. des Pflegeschlüssels sowie der Versorgung mit Physiotherapie ähnlich. Der Schlüssel Pflegepersonal:Patienten soll im Tagdienst 1:2/3 betragen, im Nachtdienst soll der Schlüssel Pflegepersonal:Patienten mindestens 1:4 betragen. Für die Physiotherapie ist in beiden Zertifikaten festgelegt, dass eine Physiotherapie für jeden Weaningpatienten täglich (auch an mindestens einem Wochentag)

möglich sein muss und bei Bedarf auch zweimal am Tag gewährleistet ist. Im Zertifikat der DGP wird zusätzlich ein Atmungstherapeut oder ein Physiotherapeut mit der Expertise eines Atmungstherapeuten zur Vergabe des Zertifikates gefordert.

Die personellen Voraussetzungen im ärztlichen Dienst unterscheiden sich zwischen den Zertifikaten. Im Zertifikat der DGAI ist Voraussetzung, dass die Präsenz eines anästhesiologischen Facharztes mit Zusatzbezeichnung Intensivmedizin in der Kernarbeitszeit gewährleistet ist. Dieser Mitarbeiter darf keine anderen klinischen Aufgaben haben. Auch nachts muss ein entsprechend erfahrener Arzt auf der Station anwesend sein. Im Zertifikat der DGP wird eine ärztliche Anwesenheit in der Weaningeinheit von mindestens 10 Stunden vorgegeben; die Qualifikation des ärztlichen Mitarbeiters ist nicht näher definiert. Ebenfalls ist in der Nacht keine explizite Anwesenheit eines ärztlichen Mitarbeiters gefordert. Es ist über 24 h eine umgehende ärztliche Versorgung in Notfallsituationen zu gewährleisten.

### 9.2.3 Prozessqualität

Die Zertifikate beider Fachgesellschaften fordern eine Mindestanzahl von Patienten mit prolongierter Entwöhnung von der Beatmung. Im Zertifikat der DGAI ist eine entsprechende Anzahl von Patienten in jeder Versorgungsstufe gefordert, während als Voraussetzung für das Zertifikat der DGP mindestens 40 in das WeanNet-Register einzugebende Patienten im prolongierten Weaning pro Jahr gefordert sind.

Die inhaltlichen Anforderungen an die Prozesse ist eine Durchführung der Entwöhnung von der Beatmung entsprechend der S2k-Leitlinie „Prolongierte Respiratorentwöhnung“ der DGP [7]. Die Patientenübernahme muss entsprechend strukturiert gemäß eines schriftlich vorzuhaltenden Datensatzes erfolgen. Eine Schulung der Patienten und Angehörigen muss entsprechend organisiert und geregelt sein, sodass eine problemlose Überleitung der Patienten in eine außerklinische Beatmung möglich

ist. Hierzu ist auch erforderlich, dass die Entlass-Dokumentation des ärztlichen und pflegerischen Dienstes einer fest gelegten Struktur folgt, die folgende Angaben beinhaltet:

- Diagnosen
- wesentliche Befunde
- Epikrise mit kritischen Aspekten zum Weaningverlauf
- Therapieempfehlung in Bezug auf die Perspektive
- Angaben über (soweit vorhanden):
  - Medikamente, außerklinische Beatmung, Gerät, Beatmungs-Zugang, -Parameter, -Dauer, O<sub>2</sub>-Fluss, -Langzeittherapie in Ruhe/Belastung,
  - Pflegemanagement,
  - Physiotherapie, Sekretmanagement.

Für Patienten mit prolongiertem Weaning ist es unabdingbare Voraussetzung, dass die Behandlungseinheit über ein detailliertes Konzept über Entscheidungen am Lebensende verfügt.

### 9.2.4 Ergebnisqualität

Seitens der DGP ist mit dem Ziel, der nachhaltigen Qualitätsverbesserung dieses kritischen kranken Patientenkontextes, eine Zertifizierung nur möglich, wenn eine prospektive Datenerhebung im WeanNet-Register aller Patienten erfolgt [3]. Aktuelle Auswertungen aus dem Register konnten auf Daten von 6899 Patienten aus 36 Zentren mit prolongiertem Weaning und im Median 5 relevanten Komorbiditäten zurückgreifen; dabei konnten 62,2 % der Patienten in einem spezialisierten und von der DGP zertifizierten Weaningzentrum entwöhnt werden. Bei 22,9 % erfolgte eine dauerhafte invasive außerklinische Beatmung, während 14,9 % der Patienten während der Behandlung im Weaningzentrum verstarben [12].

Von beiden Fachgesellschaften wird ein allgemeines Basis-Qualitätsmanagement (nach DIN EN ISO oder verwandten Strukturen) empfohlen.

Seitens der DGAI wird ein jährliches internes Audit verlangt sowie die dokumentierte

Umsetzung der aktuellen 10 Qualitätsindikatoren der DIVI. Es muss eine entsprechende Dokumentation relevanter Behandlungsprozesse erfolgen (Spontanatemversuche, Mobilisation, Kontrolle Antiinfektiva-Gabe etc.)

### 9.3 Aufbau und Ausbau von Weaningstationen

Die Weaningeinheit kann als eigene Station aufgebaut sein oder innerhalb einer Intensivstation integriert sein. Wenn eine eigene Weaningstation geführt wird, muss hier der Zugang zu einer Intensivstation gegeben sein. Grundsätzlich entspricht die apparative Ausstattung einer Weaningstation derjenigen einer Intensivstation [7]. Wichtig ist zudem der Grundsatz, dass jederzeit eine umgehende und angemessene Reaktion bei vital bedrohlichen Notfällen wie auf einer Intensivstation möglich ist.

Auf das Patientenkontinuum abgestimmte Empfehlungen gemäß DGP-Zertifikat sind:

- Tag-Nacht-Rhythmus für Patienten ermöglichen
- Lärmschutz Patientenzimmer
- ausreichend Raum für Patienten (Sitzgelegenheit) und Raum für Physiotherapie außerhalb des Bettes
- 1-Bett- und 2-Bett-Zimmer
- ausreichend Raum für Besucher
- standortnahe Unterbringungsmöglichkeiten (Hotel oder Gästehaus) für Angehörige

Als Basis für die Vergabe des Zertifikates ist seitens der DGAI ein Qualitätsmanagement-Handbuch gefordert, in welchem neben den Behandlungsanweisungen auch Strukturen und Prozesse wie Arbeitszeitmodelle oder Einarbeitungskonzepte für neue Mitarbeiter entsprechend hinterlegt sind.

Die technische Ausstattung ist im Zertifikat orientiert an den DIVI-Empfehlungen zur Ausstattung einer Intensivstation, inkl. einer zentralen Überwachungsanlage. An jedem Bettplatz muss ein entsprechender Intensivrespirator zur

Verfügung stehen. Hier ist die Empfehlung der DGP liberaler formuliert: Neben Intensivrespiratoren können – angepasst an den konkreten Bedarf der Patienten – auch mobile Ventilatoren zur außerklinischen Beatmung angewandt werden.

Wichtig für das Patientenkontinuum ist es, dass ein entsprechendes Sortiment an Beatmungsgeräten und -Interfaces zur Verfügung steht, incl. individuell zu adaptierender Interfaces. Technisch müssen für die Versorgung des Atemwegs und der Sekretmobilisation eine entsprechende Ausstattung vorgehalten werden.

Weiterhin muss die Durchführung von Bronchoskopien sowie Notfallinterventionen am Atemweg jederzeit möglich sein. In beiden Zertifikaten wird die mögliche Versorgung der typischen Morbiditäten gefordert (Endoskopie etc.). Entsprechend muss die Versorgung mit Hilfsmitteln zur Lagerung und Mobilisation inkl. der Versorgung von adipösen Patienten in entsprechenden Spezialbetten möglich sein. Bezüglich der Detail-Anforderungen sei an dieser Stelle auch auf den Anforderungskatalog der DGP-Zertifizierung verwiesen (<http://www.weannet.de/>).

An die Weaning-Einheit muss eine Station mit der speziellen Ausrichtung auf die Einleitung einer außerklinischen Beatmung angeschlossen sein [13]. Dabei kann die außerklinische Beatmung als nicht-invasive Beatmung notwendig werden, wenn zwar eine Entwöhnung vom Respirator möglich ist, eine dauerhafte Beatmung aber auch für die Zukunft notwendig bleibt, oder wenn eine erfolgreiche Entwöhnung nicht gelingt und entsprechend eine invasive Beatmung via Trachealkanüle außerklinisch fortgesetzt werden muss [13].

### 9.4 Thema: Leitlinienorientierte Empfehlung

In der klinischen Praxis zeigt sich, dass bei dem Begriff der Entwöhnung viele unterschiedliche Patienten zu erwarten sind, abhängig von den Ursachen, die zur Beatmungspflichtigkeit geführt haben, und von den Grunderkrankungen, Ko-Morbiditäten und der Beatmungsdauer.

Entsprechend ergeben sich auch Unterschiede in Abhängigkeit von der jeweiligen Fachdisziplin – am bedeutsamsten hinsichtlich anästhesiologischer und pneumologischer Patienten. Diese Unterschiede dürfen aber nicht die vielen Gemeinsamkeiten untergraben, die viele dieser Patienten aus unterschiedlichen Bereichen verbinden.

Vor diesem Hintergrund hat federführend die DGP eine Leitlinie formuliert, die mit einer Vielzahl von Fachgesellschaften abgestimmt und konsentiert sind [7]:

- Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP)
- Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI)
- Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)
- Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin e. V. (DGEM)
- Deutsche Gesellschaft für Fachkrankn-  
pflege und Funktionsdienste e. V. (DGF)
- Deutsche Gesellschaft für Geriatrie e. V. (DGG)
- Deutsche Gesellschaft für Internistische  
Intensivmedizin und Notfallmedizin e. V. (DGIIN)
- Deutsche Gesellschaft für Kardiologie  
– Herz- und Kreislaufforschung e. V. (DGK)
- Deutsche Gesellschaft für Neurointensiv-  
und Notfallmedizin e. V. (DGNI)
- Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin  
e. V. (DGP)
- Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft  
für Außerklinische Beatmung e. V. (DIGAB)
- Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für  
Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI)
- Deutscher Industrieverband für optische,  
medizinische und mechatronische Techno-  
logien e. V. (SPECTARIS)
- Deutscher Verband für Physiotherapie  
(ZVK) e. V.
- Deutschsprachige Medizinische Gesell-  
schaft für Paraplegie e. V. (DMGP)
- Gesellschaft für Neonatologie und Pädiat-  
rische Intensivmedizin (GNPI)

Die Adressaten der Leitlinie sind somit auch sehr heterogen: Intensivmediziner, Pneumologen, Anästhesisten, Internisten, Kardiologen, Chirurgen, Neurologen, Pädiater, Geriater, Palliativmediziner, Pflegekräfte, Physiotherapeuten, Atmungstherapeuten, der Medizinische Dienst der Krankenkassen (MDK), der Medizinische Dienst des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen e. V. (MDS) und die Hersteller von Beatmungstechnik [7]. Die Leitlinie wurde 2014 publiziert und hat das Ziel, den aktuellen Wissensstand zum Thema „Prolongiertes Weaning“ in der Akutmedizin zu etablieren [7]. Entsprechend orientiert sich die Leitlinie an wissenschaftlichen Erkenntnissen und den Erfahrungen der Experten sowie an den berufspolitischen Voraussetzungen. Viele der vorliegenden Kapitel dieses Buches orientieren sich auch an den Empfehlungen dieser Leitlinie; entsprechend darf an dieser Stelle auf die Inhalte bei den jeweiligen Kapiteln verwiesen werden. Seit Anfang 2017 befindet sich die Leitlinie in der Revision und ihre Publikation ist für die 2. Hälfte 2018 geplant.

## Literatur

- [1] Brinkmann A, Braun JP, Riessen R, Dubb R, Kaltwasser A, Bingold TM (2015) Quality assurance concepts in intensive care medicine. *Med Klin Intensivmed Notfmed* 110(8):575–580, 582–583. <https://doi.org/10.1007/s00063-015-0095-y>
- [2] Bingold TM, Bickenbach J, Coburn M, David M, Dembinski R, Kuhnle G et al (2013) DGAI-Zertifizierung anästhesiologische Intensivmedizin: Entwöhnung von der Beatmung. *Anästhesiologie Intensivmedizin* 54:522–524
- [3] Schönhofer B, Geiseler J, Pfeifer M, Jany B, Herth F (2014) WeanNet: a network of weaning units headed by pneumologists. *Pneumologie* 68(11):737–742. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1377956>
- [4] Sens B, Fischer B, Bastek A, Eckardt J, Kaczmarek D, Paschen U et al (2007) Begriffe und Konzepte des Qualitätsmanagements - 3. Auflage. *GMS Med Inform Biom Epidemiol* 3(1):Doc05
- [5] Wallace DJ, Angus DC, Barnato AE, Kramer AA, Kahn JM (2012) Nighttime intensivist staffing and mortality among critically ill patients. *N Engl J Med* 366(22):2093–2101. <https://doi.org/10.1056/NEJMsa1201918>

- [6] Miranda DR, Rivera-Fernandez R, Nap RE (2007) Critical care medicine in the hospital: lessons from the EURICUS-studies. *Med Intensiva* 31(4):194–203
- [7] Kumpf O, Braun JP, Brinkmann A, Bause H, Bellgardt M, Bloos F, Dubb R, Greim C, Kaltwasser A, Marx G, Riessen R, Spies C, Weimann J, Wöbker G, Muhl E, Waydhas C (2017) Quality indicators in intensive care medicine for Germany - third edition 2017. *Ger Med Sci* 15:Doc10. <https://doi.org/10.3205/000251>
- [8] Schönhofer B, Geiseler J, Dellweg D, Moerer O, Barchfeld T, Fuchs H et al (2014) Prolonged weaning: S2k-guideline published by the German Respiratory Society]. *Pneumologie* 68(1):19–75. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1359038>
- [9] Boles JM, Bion J, Connors A, Herridge M, Marsh B, Melot C et al (2007) Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 29(5):1033–1056. <https://doi.org/10.1183/09031936.00010206>
- [10] Randerath W, Lorenz J, Windisch W, Criée CP, Karg O, Köhler D, Laier-Gröneveld G, Pfeifer M, Schönhofer B, Teschler H, Vogelmeier C; German Medical Associations of Pneumology and Ventilatory Support (2008) Betreuung von Patienten mit maschineller Beatmung unter häuslichen und heimpflegerischen Bedingungen. Positionspapier der Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin and Arbeitsgemeinschaft für Heimbeatmung und Respiratorentwöhnung. *Pneumologie* 62:305–308
- [11] Schönhofer B, Harms W, Lefering R, Suchi S, Köhler D (2008) Stellenwert des TISS-28-Scores in der schwierigen Entwöhnung vom Respirator. *Med Klin* 103:275–281
- [12] WeanNet study group (2016) WeanNet: Das Netzwerk von Weaningeinheiten der DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin) - Ergebnisse zur Epidemiologie und Outcome bei Patienten im prolongierten Weaning. *Dtsch Med Wochenschr* 141(18):e166–e172. <https://doi.org/10.1055/s-0042-112345>
- [13] Windisch W, Dreher M, Geiseler J, Siemon K, Brambring J, Dellweg D, Grolle B, Hirschfeld S, Köhnlein T, Mellies U, Rosseau S, Schönhofer B, Schucher B, Schütz A, Sitter H, Stieglitz S, Storre J, Winterholler M, Young P, Waltersbacher S; für die Leitlinien-gruppe „Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz“ (2017) S2k-Leitlinie: Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz – Revision 2017. *Pneumologie* 71(11):722–795

# Service teil

Stichwortverzeichnis – 136

# Stichwortverzeichnis

## A

ABCDE-Bundle of Critical Care 25  
 Absauggerät 70  
 Acinetobacter baumannii 96  
 Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) 10  
 Akronym „I watch death“ 49  
 Akute respiratorische Insuffizienz (ARI) 10  
 – Pathophysiologie 12  
 – primär hypoxische 10  
 Alltagsmoral 77  
 Altersgesellschaft 97  
 Anämie 98  
 Angststörung 50  
 Antibiotic Stewardship (ABS) 91, 96  
 Aspekte, palliativmedizinische 79  
 Aspiration 35–37, 46  
 Atemfrequenz  
 – Verhältnis zum Tidalvolumen 25  
 Atemhilfsmuskulatur 98  
 Atempumpe 2, 23  
 – Insuffizienz 3  
 Atempumpenversagen 11  
 Atmung  
 – Komorbidität 100  
 Atmung  
 – Veränderungen, altersbedingte 98  
 Atmungsinsuffizienz 103  
 Atmungsstörung,  
 schlafbezogene 101  
 Atmungstherapeut 44  
 Auswaschung 66  
 Autotrigger 120  
 Azidose, respiratorische 10, 23, 119

## B

Beatmung  
 – Alarm 68  
 – außerklinische 65, 114  
 – Autoregulation 119  
 – Beendigung 80, 83  
 – Einstellung 66  
 – Entwicklungsperspektiven 118  
 – häusliche 69  
 – Hilfsmittel 68  
 – invasive 28  
 – invasive außerklinische 122  
 – kontrollierte 121

– kontrollierte invasive 12  
 – Langzeit- 71  
 – maschinelle 11  
 – Messgeräte, onlinefähige 118  
 – Monitoring 66  
 – Nachsorge 69  
 – nicht-invasive 6, 84  
 Beatmungsbeutel 70  
 Beatmungsdauer bei Delir 22  
 Beatmungsgerät 65  
 Beatmungspflegeheim 72  
 Beatmungsqualität 118  
 Beatmungstherapeut 45  
 Beatmungswohngemeinschaft 72  
 Benchmark 128  
 Blom-Kanüle 36  
 Blutgasanalyse 119  
 Bluttransfusionsrisiko 52

## C

Cephalosporin 96  
 Chlorhexidin 94  
 Choice of Drugs 25  
 chronic obstructive pulmonary disease (COPD) 11, 28  
 Cis-Atracurium 18  
 continuous positive airway pressure (CPAP) 67  
 Coordinated Awakening- and Breathing-Protocol 25  
 COPD 101, 115  
 – Pathophysiologie 101  
 – Therapie 102

## D

DAS-Leitlinie 25  
 Delir 22, 48  
 – Maßnahmen, präventive 50  
 Delirium-Monitoring 25  
 Demographie 97  
 Depression 50  
 Diabetes mellitus 105  
 Diaphragma 2  
 Dilatationstracheostoma 40  
 Doppeltriggern 120  
 Druck, maximal inspiratorischer 26  
 Druckkurve 120

Dysfunktion, atemmuskuläre 13  
 Dysphagie 46  
 – Therapie 47

## E

Early Mobilization and Physiotherapy 25  
 eCASH-Konzept 25  
 Ein-Weg-Ventil 37  
 Elektrolytverschiebung 106  
 End-of-Life-Aspekt 80  
 Endokrinologie 105  
 Ergebnisqualität 127  
 Ernährung  
 – parenterale 56  
 – Zusammensetzung 55  
 ESKAPE 90  
 ETHIICUS-Studie 82  
 Ethik 76  
 Ethikberater 82  
 Ethikvisite 81  
 European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases (ESCMID) 95  
 Evan’s-Blue-Dye-Test 46  
 expiratory positive airway pressure (EPAP) 66  
 Expirationstrigger 67–68  
 Extubationsversagen 24

## F

fiberoendoscopic evaluation of swallowing (FEES) 46  
 Flow-Kurve 102  
 Flowtrigger 68  
 Flusskurve 120  
 Frailty 98  
 Fremdanamnese 100  
 Frühmobilisation 28

## G

Gerechtigkeit 77  
 Gesichtsmaske 70  
 Grunderkrankung 100

**H**

- Hämoglobinkonzentration 17
- Hämolytische Transfusionsreaktion 52
- Heimbeatmung 99
- Hemidiaphragma 14
- Herzinsuffizienz 17
- Hirntod 76
- Hustenstoß-Hilfen 70
- Hyophosphatämie 18
- Hyperglykämie 105
- Hyperkapnie 10–11, 15, 23, 86, 119
- Hypernatriämie 107
- Hyperventilation 4
- Hypokalziämie 18, 107
- Hyponatriämie 107
- Hypophosphatämie 107
- Hypothyreose 106
- Hypoventilation 66–68, 103
- Hypoxämie 11, 119
  - akute 10
  - nächtliche zyklische 101

**I**

- Infectious Disease Society of America (IDSA) 90
- Inspirationstrigger 67
- inspiratory positive airway pressure (IPAP) 66
- Insuffizienz, respiratorische 5, 119
- Intensivmedizin 76
  - palliative 78
- Intensivstation
  - Entscheidung, teamorientierte ethische 81
  - Therapierückzug 79
- Isolierung im Einzelzimmer 93

**K**

- Kachexie 18
- Key-Performance-Indicator (KPI) 127
- Klinische Ethik-Komitee (KEK) 81
- Kohlendioxid 2
- Komorbidität
  - Atemweg 100
  - Endokrinologie 105
  - Herz-Kreislauf-Erkrankung 104
  - Nervenerkrankung 103
  - Zwerchfelldysfunktion 103
- Krogh-Diffusionskoeffizient 3

**L**

- Laienpflege 72
- Langzeitbeatmung 23–24
- Letalität 127
- Levosimendan 16
- Lunge 2

**M**

- Malnutrition 55
- Mangelernährung 18
- Medizinetik 76
- Mitarbeiterbegleitung 85
- Multimorbidität 97–98
- Multiresistente Erreger (MRE) 90
  - Acinetobacter baumannii 96
  - Barrieremaßnahmen 93
  - Basishygiene 94
  - Dekolonisierungsmaßnahmen 94
  - Erreger, gramnegative 90
  - Flächendesinfektion 94
  - Händedesinfektion 94
  - Krankenhaushygiene 91
  - MRSA 92
  - Patient, geriatrischer 97
  - Prävention 90–91
  - Risikofaktoren 90
  - Screening, mikrobiologisches 92
  - Stäbchenbakterien 92
  - Weaningstation 95
- Multiresistente gramnegative Erreger (MRGN) 90
- Muskelkater 10

**N**

- N-Acetylcystein 16
- Neurogene Dysphagie 35
- neural adjusted ventilatory assist (NAVA) 27
- Nichtschaden 77
- non thyrioidal illness syndrome (NTIS) 106

**O**

- Oberkörperhochlagerung 3
- Obstruktive Schlaf-Apnoe (OSA) 101
- Octenidin 94
- Organtransplantation 76

**P**

- PADs-Management 25
- Patient, geriatrischer 97
- Patientenverfügung 80, 84
- Patientenwille,
  - Entscheidungsfindung 81
- PEG-Sonde 48
- Penetrations-Aspirations-Skala (PAS) 47
- Penicillin 96
- Pflege- und Hilfsmittel 64
- Pflegeüberleitung 121
- Physiotherapie 43
- Pneumonie 10–11
- Postextubationsdysphagie 100
- Posttraumatische Belastungsstörung (PTBS) 48
- Prinzipien von Beauchamp und Childress 77
- Prinzipienethik 77
- Prokinetikum 55
- Propofol 18
- Prozessqualität 127
- Pulsoxymeter 70

**Q**

- Qualitätsindikator 128
- Qualitätsmanagement 126
  - Dimensionen nach Donabedian 126
  - Effizienz 128
  - Kennzahl 127
  - Prozessqualität 127
  - Qualitätsmessung, interne 128
  - Strukturqualität 126
  - Zertifizierung 129
- Quotient, respiratorische 18

**R**

- rapid shallow breathing (RSB) 10, 25
- Rapid-Shallow-Breathing-Index (RSBI) 13, 25, 30
- Respekt vor Autonomie 77
- Respiratory-Frequency-to-Tidal-Volume 25
- Rocuronium 18
- RUMBA-Regeln 127

**S**

- Sarkopenie 98
  - Diagnosekriterien 98
- Sauerstoff 2
- Sauerstoffangebot, globales 17
- Schluckassessment 46
- Sekretmanagement 40
  - Physiotherapie 43
  - Prinzipien 41
  - Sekretolyse 41
- Sekretolyse 43
- severe respiratory insufficiency questionnaire 73
- shared decision making 84
- Sniff-Manöver 30
- Spezialisierte ambulante palliativmedizinische Versorgung (SAPV) 81
- Spontanatmung
  - druckunterstützende 26
  - intermittierende 26
  - Unterstützung, individuelle 27
- spontaneous breathing trials (SBT) 104
- Sprechaufsatz 70
- Sprechkanüle 36
- SS-31 16
- Steigerung der Händehygienecompliance 95
- Sterbehilfe 78
  - aktive 78, 83
  - indirekte 78
- Sterbenlassen 78
- Strukturqualität 126
- Synchronität 120–121
- System, respiratorisches 2

**T**

- Telemedizin 116
  - Monitoring 117
  - Visiten, regelmäßige 117
- Therapiebegrenzung 79
- Therapierückzug 79
- Therapiezieländerung 80
- Tidalvolumen 67
- Trachealkanüle 28, 70
  - Absaugmöglichkeiten 35
  - Auswahl 36

- Cuff 35
- Modelle 35
- Sekretmanagement 40
- Sprechventil 37
- Trachealkanülen-Management 35
- Trachealtubus 28
- Tracheostoma 35, 46, 64–65, 69
- Tracheotomie 37–38, 86
- Transfusionsreaktion, anaphylaktische 53
- Transfusionstrigger 54
- Trigger 120
- Trigger, ineffektives 121
- Tubuskompensation, automatische 27

**U**

- Überlegungsgleichgewicht 78
- Überleitkonferenz 64
- Überleitmanagement 62
  - Voraussetzung 62
- Übersiedler 23
- Ubiquitin-Proteasom-System 23

**V**

- ventilator induced diaphragmatic dysfunction (VIDD) 23, 104
- ventilator induced lung injury (VILI) 101
- ventilator-induced diaphragmatic dysfunction (VIDD) 12
- Vorsorgevollmacht 80

**W**

- Waagebalkenphänomen 30
- Weaning 62, 79, 128
  - Beatmungsverfahren 26
  - Begleitung, psychologische 48
  - Bluttransfusion 53
  - Dekanülierung 38
  - Delir 22, 49
  - diskontinuierliches 26
  - erfolgloses 62
  - Ernährung 54

- erschwertes 28
- Ethik 82
- Frailty 98
- häusliches 65
- Intervention, psychologische 51
- Kanülenwechsel 37
- Kategorien 5
- Komorbiditäten 99
- Lagerung 2
- Logopädie 45
- Multiresistente Erreger (MRE) 90
- Patient, geriatrischer 97
- Physiotherapie 43
- Posttraumatische Belastungsstörung 48
- prolongiertes 4, 7, 17, 25, 28, 35, 46, 51–52, 62, 72, 114, 129–130, 132
- Protokolle 24
- Spontanatmung 6
- Transfusion 52
- Weaningstation
  - Aufbau 131
  - Prozessqualität 130
- Weaningversagen 12, 15, 24, 51, 62
  - Herzinsuffizienz 17
  - Substratzufuhr 17
  - Ursache, metabolische 16
  - Ursachen, pharmakologische 18
- Weaningzentrum 62, 65, 69, 71, 129
  - Leitungsstruktur 129
  - Personalausstattung 129
  - Zertifikate 129
- Wille, mutmaßliche 80
- Withdrawing 82
- Withholding 82
- Wohltun 77

**Z**

- Zwerchfell 23
  - Dicke 14, 30
  - Sauerstoffversorgung 17
  - Sonographie 13, 29
  - Thickening fraction 30
- Zwerchfellatrophie 104
- Zwerchfelldysfunktion 15, 30, 104
- Zwerchfellkontraktilität 12
- Zwerchfellschaden, Ventilator-induzierter 13
- Zwerchfellsonographie 14