

# Prolongiertes Weaning

S2k-Leitlinie herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.

## Prolonged Weaning

S2k-Guideline Published by the German Respiratory Society

### Autoren

B. Schönhofer<sup>1,2</sup>, J. Geiseler<sup>2</sup>, D. Dellweg<sup>2</sup>, O. Moerer<sup>2</sup>, T. Barchfeld<sup>3</sup>, H. Fuchs<sup>3</sup>, O. Karg<sup>3</sup>, S. Rosseau<sup>3</sup>, H. Sitter<sup>3,4</sup>, S. Weber-Carstens<sup>3</sup>, M. Westhoff<sup>3</sup>, W. Windisch<sup>3</sup>

### Bibliografie

**DOI** <http://dx.doi.org/10.1055/s-0033-1359038>  
Pneumologie 2014; 68: 19–75  
© Georg Thieme Verlag KG  
Stuttgart · New York  
ISSN 0934-8387

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. med. Bernd Schönhofer**  
Klinik für Pneumologie,  
Intensiv- und Schlafmedizin  
Klinikum Region  
Hannover/Oststadt-Heidehaus  
Podbielskistraße 380  
30659 Hannover  
Bernd.Schoenhofer@t-online.de

### Weitere beteiligte Wissenschaftliche Fachgesellschaften und Institutionen:

- ▶ Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e. V. (DGAI)
- ▶ Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)
- ▶ Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin e. V. (DGEM)
- ▶ Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege 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 Technologien e. V. (SPECTARIS)
- ▶ Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e. V.
- ▶ Deutschsprachige Medizinische Gesellschaft für Paraplegie e. V. (DMGP)
- ▶ Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI)

<sup>1</sup> Sprecher

<sup>2</sup> Personalunion: Kernredaktion und AG-Sprecher

<sup>3</sup> AG-Sprecher in alphabetischer Reihenfolge

<sup>4</sup> AWMF  
(die übrigen Teilnehmer der Konsensuskonferenzen werden S. 23–27 aufgeführt)

Inhaltsverzeichnis		
Zusammenfassung		21
Abstract		22
1	Einleitung	22
2	Leitlinienreport	23
2.1	Verantwortlichkeiten	23
2.2	Übersicht (s. Tabelle 1)	23
2.3	Zusammensetzung der Leitliniengruppe	23
2.4	Finanzierung	24
2.5	Adressaten	24
2.6	Auswahl, Bewertung der Literatur und Erläuterung zu der Vergabe der Empfehlungsgrade	24
2.7	Leitlinienkonferenzen	25
2.8	Prozess der Leitlinienerstellung	25
2.8.1	Festlegung der Ziele	25
2.8.2	Zusammensetzung der Arbeitsgruppen	25
2.8.3	Prozess der Leitlinienentwicklung, Konsensfindung und Abfassung des Textes	25
2.9	Erklärung des Interessenkonfliktes	25
2.10	Verabschiedung des Leitlinientextes in den Fachgesellschaften	25
2.11	Verbreitung der Leitlinie	26
2.12	Gültigkeitsdauer und Aktualisierung der Leitlinie	26
2.13	Redaktionelle Unabhängigkeit	26
2.14	Namensliste der Teilnehmer der Konsensuskonferenz	26
3	Definitionen, Epidemiologie und Weaningkategorien	27
3.1	Phasen der invasiven Positiv-Druckbeatmung	27
3.2	Weaningprozess	27
3.3	Weaningerfolg und Weaningversagen	27
3.4	Weaning-Klassifikation	28
3.5	Prolongiertes Weaning versus prolongierte Beatmung	28
3.6	Definition des Patientenkollektivs für die vorliegende Leitlinie	28
4	Pathophysiologie des Weaningversagens	29
4.1	Einleitung	29
4.2	Insuffizienz der Atempumpe	30
4.2.1	Atemzentrum	30
4.2.2	Nervale Steuerung	30
4.2.3	Atemmuskeln	31
4.2.4	Muskuläre Überlastung	31
4.2.4.1	Erkrankungen der Atemwege	31
4.2.4.2	Thorakale Restriktion	31
4.3	Hypoxische Insuffizienz infolge Lungenparenchymerkrankung und kardio-pulmonale Wechselwirkungen	31
4.4	Sauerstofftransport und -verbrauch	32
4.5	Weitere metabolische Aspekte	32
4.6	Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten	32
5	Strategien im Weaningprozess	32
5.1	Strategien zur Prävention des Weaningversagens bei Risikopatienten (Kategorie 1 und 2)	32
5.1.1	Beurteilung des Weaningpotenzials	33
5.1.2	Sedierung und Sedierungsprotokolle	33
5.1.3	Tägliche Unterbrechung der Sedierung	34
5.1.4	Auswahl der Sedativa	35
5.1.5	Spontanatmungsversuch (Spontaneous Breathing Trial; SBT)	35
5.1.6	Messung des Peak Expiratory Flow bei Patienten mit Tubus oder Trachealkanüle	36
5.1.7	Cuff-Leak-Test	36
5.1.8	Weaningprotokolle	36
5.2	Beatmungsformen im Weaning	37
5.2.1	Kontrollierte Beatmung	37
5.2.2	Assistierte Beatmungsverfahren	38
5.2.2.1	Druckunterstützte Beatmung (PSV)	38
5.2.2.2	Proportional Assist Ventilation (PAV)	38
5.2.3	Kombinierte Beatmungsverfahren	38
5.2.3.1	Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)	38
5.2.3.2	Adaptive Support Ventilation (ASV)	38
5.3	Konzepte des Weanings von der Beatmung unter Verwendung der verschiedenen Beatmungsformen	38
5.3.1	Graduelle Reduktion der Unterstützung	39
5.3.2	Automatisierte Anpassung der assistierten Beatmung (Automatisiertes Weaning)	39
5.3.3	Intermittierende Belastung mittels Diskonnektion von der Beatmung (Spontanatmung) oder Reduktion der Druckunterstützung	39
5.3.4	Vergleich der unterschiedlichen Beatmungsansätze und Weaningkonzepte	40
5.4	Stellenwert eines kontinuierlichen positiven Atemwegsdrucks im Weaning	40
5.5	Der Beatmungszugang	41
5.5.1	Invasiver Beatmungszugang	41
5.5.1.1	Endotrachealtubus	41
5.5.1.2	Tracheotomie	41
5.5.1.2.1	Perkutane Dilatationstracheotomie (PDT)	42
5.5.1.2.2	Chirurgische Tracheotomie	42
5.5.1.2.3	Zeitpunkt der Anlage eines Tracheostomas	42
5.5.2	Kanülenmanagement	43
5.5.3	Dekanülierung	43
5.5.4	Verwendung von Platzhaltern	43
5.5.5	Verschluss des Tracheostomas	44
5.5.5.1	Spontaner Verschluss	44
5.5.5.2	Chirurgischer Verschluss/plastische Deckung	44
5.5.6	Komplikationen nach Dekanülierung	44
5.6	NIV bei schwierigem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase	45
5.6.1	Kriterien zu der „NIV-Fähigkeit“ im Weaningprozess	45
5.6.1.1	Hyperkapnische akute respiratorische Insuffizienz (ARI)	45
5.6.1.2	Hypoxämische akute respiratorische Insuffizienz (ARI)	45
5.6.1.3	NIV bei persistierender chronisch ventilatorischer Insuffizienz (CVI) nach Weaning	45
5.7	Adjunktive Maßnahmen	45
5.7.1	Reduktion des Atemantriebs	45
5.7.2	Transfusion und Weaning (Transfusionstrigger)	46
5.7.2.1	Konservative Transfusionsstrategie	46
5.7.2.2	Liberalere Transfusionsstrategie	47
5.7.3	Verbesserung des Ernährungszustandes und Metabolismus	48
5.7.4	Antipsychotische und anxiolytische Therapiekonzepte	49
5.7.4.1	Pathophysiologie des Delirs	49
5.7.4.2	Therapie des Delirs	50
5.7.5	Maßnahmen zur Verbesserung der Schlafqualität	50
5.7.6	Physiotherapie und Sekretmanagement	50
5.7.6.1	Mobilisation	50
5.7.6.2	Sekretmanagement	51
5.7.7	Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen	52
5.8	Besonderheiten bei Querschnittlähmung	52
5.8.1	Pathophysiologische Aspekte	53
5.8.2	Charakteristika von Patienten mit Querschnittlähmung	53
5.8.3	Ergänzende Ausschlusskriterien für den Beginn des Weaningprozesses	53
5.8.4	Praktischer Ablauf des Weaningprozesses	53
5.9	Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten	53
5.9.1	Weaningprotokolle	53
5.9.2	Beurteilung der Entwöhnbarkeit	54
5.9.3	Sedierung und Sedierungsprotokolle	54
5.9.4	Spontanatmungsversuch und Prädiktion der erfolgreichen Extubation	54
5.9.5	Beatmungsformen im Weaning	54
5.9.6	Postextubation-Stridor	54
5.9.7	Tracheotomie	54
5.9.8	Nicht-invasive Beatmung	55

6	Weaningversagen und Leben nach Langzeitbeatmung	55
6.1	Indikationen zur außerklinischen Beatmung und Organisation der Überleitung	55
6.2	Leben nach Langzeitbeatmung	56
6.3	Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten	57
7	Therapieentscheidungen am Ende des Lebens	58
7.1	Entscheidungsfindung	58
7.1.1	Entscheidungskriterien	58
7.1.2	Gesetzliche Vorschriften	58
7.1.3	Berücksichtigung von Patientenautonomie und Angehörigenwünschen	59
7.1.4	Ethikkonsile	59
7.2	Kommunikation	59
7.2.1	Aufklärung von Patient und Angehörigen	59
7.2.2	Gesprächsführung	60
7.3	Durchführung	60
7.3.1	Methoden der Beendigung einer Beatmungstherapie	60
7.3.2	Akzeptanz durch die Familie	60
7.3.3	Terminales Weaning	60
7.3.4	Medikamentöse Therapie	60
7.3.5	Präfinale Rasselatmung	61
7.4	Organisation	61
7.4.1	Verfahrensanweisungen	61
7.4.2	Dokumentation	61
7.4.3	Empfehlungen anderer Gesellschaften	61
7.5	Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten	62
8	Das Weaningzentrum/die Weaningeinheit	62
8.1	Einstellung auf nicht-invasive außerklinische Beatmung im prolongierten Weaning	62
8.2	Qualitätsmanagement und Outcome	62
8.3	Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten	63
	Abkürzungsverzeichnis	63
	Literatur	65

Für die besonders hilfreiche Unterstützung in der redaktionellen Arbeit bei der Erstellung der Leitlinie sei Prof. Dr. H. Burchardi besonders gedankt.

## Zusammenfassung

Beatmungstherapie stellt einen zentralen und wesentlichen Bestandteil der modernen Intensivmedizin dar. Sie kommt bei Patienten mit schwerer respiratorischer Insuffizienz infolge Versagens der muskulären Atempumpe oder eines Oxygenierungsversagens bei direkter oder indirekter Schädigung des Lungenparenchyms zum Einsatz, wenn mit anderen Maßnahmen (Sauerstoffgabe, Lagerungstherapie, Sekretmanagement oder kontinuierlichem positivem Atemwegsdruck – Continuous Positive Airway Pressure [CPAP]) keine ausreichende Stabilisierung erreicht werden kann.

Während der Beatmungszeit wird die Ursache der Atmungsinsuffizienz behandelt. Es entfallen ungefähr 40–50% der gesamten Beatmungszeit eines Intensivpatienten auf die Entwöhnung von der maschinellen Beatmung (Weaning).

Der überwiegende Anteil beatmeter Patienten kann nach kurzzeitiger Beatmungstherapie unproblematisch von der Beatmung entwöhnt werden. Allerdings muss eine Beatmung bei ca. 20% der Patienten auch noch dann fortgesetzt werden, wenn die

ursprüngliche Indikation (z. B. eine schwere Pneumonie) längst behoben ist, sodass die Phase des Weanings deutlich verlängert ist. Neben der respiratorischen Funktionsstörung tragen häufig hohes Alter und Komorbiditäten der Patienten zum prolongierten Weaningprozess bei.

Nach internationalem Konsens liegt ein prolongiertes Weaning dann vor, wenn es erst nach drei erfolglosen Spontanattempts (Spontaneous Breathing Trial = SBT) oder nach über sieben Tagen Beatmung nach dem ersten erfolglosen SBT gelingt. Das Patientenkollektiv mit prolongiertem Weaning stellt das behandelnde Team vor eine besondere Herausforderung. Ganz wesentlich für den Therapieerfolg ist die eng verzahnte interdisziplinäre Versorgung der prolongiert beatmeten Patienten. Nicht selten sind es der fehlende multidisziplinäre Ansatz und die unzureichende Beachtung der multifaktoriellen Ursachen, die ein erfolgreiches Weaning verhindern. Das erfolgreiche Weaning dieser Patienten setzt eine hohe Expertise in der modernen Intensivmedizin, der Anwendung invasiver und nicht-invasiver Beatmungsverfahren, klare Weaningkonzepte sowie eine enge, fachübergreifende interdisziplinäre Absprache voraus.

Bei sehr komplexem prolongiertem Weaningprozess gelingt es in spezialisierten Weaningzentren/-einheiten in ca. 50% der Fälle, doch noch ein Weaningversagen abzuwenden.

Bei einem Teil der Patienten schlagen auch wiederholte Weaningversuche fehl, sodass gegebenenfalls eine dauerhafte Beatmung in außerklinischer Umgebung erforderlich ist.

Aufgrund der wachsenden Bedeutung des prolongierten Weanings wurde diese Leitlinie auf Initiative der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGP) gemeinsam mit anderen wissenschaftlichen Gesellschaften, die sich zum Thema prolongiertes Weaning engagieren, entwickelt. Es liegt der Leitlinie eine systematische Recherche von Leitlinien-datenbanken, Cochrane Library und PubMed zugrunde.

Unter der Moderation der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (AWMF) erfolgte die Konsensusfindung im formalen interdisziplinären Verfahren mittels nominalem Gruppenprozess (Delphi-Verfahren).

In der Leitlinie werden Definitionen, Epidemiologie und Weaningkategorien, die zugrundeliegende Pathophysiologie, das gesamte Spektrum der verfügbaren Therapiestrategien, die Weaningeinheit, die Überleitung in eine außerklinische Beatmung und schließlich Empfehlungen zu Therapieentscheidungen am Ende des Lebens bei prolongiertem bzw. erfolglosem Weaning abgehandelt. Die Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten werden innerhalb der einzelnen Kapitel jeweils gesondert behandelt.

Adressaten der Leitlinie sind 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.

Das wesentliche Ziel dieser Leitlinie ist es, den aktuellen Wissensstand zum Thema „Prolongiertes Weaning“ in der Akutmedizin primär auf der Basis der Erfahrung von Experten bei noch fehlenden wissenschaftlichen Daten zu etablieren.

## Abstract

Mechanical ventilation (MV) is an essential part of modern intensive care medicine. MV is performed in patients with severe respiratory failure caused by insufficiency of the respiratory muscles and/or lung parenchymal disease when/after other treatments, i.e. oxygen, body position, secretion management, medication or non invasive ventilation have failed.

In the majority of ICU patients weaning is routine and does not present any problems. Nevertheless 40–50% of the time during mechanical ventilation is spent on weaning. About 20% of patients need continued MV despite resolution of the conditions which originally precipitated the need for MV.

There maybe a combination of reasons; chronic lung disease, comorbidities, age and conditions acquired in ICU (critical care neuromyopathy, psychological problems).

According to an International Consensus Conference the criteria for “prolonged weaning” are fulfilled if patients fail at least three weaning attempts or require more than 7 days of weaning after the first spontaneous breathing trial.

Prolonged weaning is a challenge. An inter- and multi-disciplinary approach is essential for weaning success.

Complex, difficult to wean patients who fulfill the criteria for “prolonged weaning” can still be successfully weaned in specialised weaning units in about 50% of cases.

In patients with unsuccessful weaning, invasive mechanical ventilation has to be arranged either at home or in a long term care facility.

This S2-guideline was developed because of the growing number of patients requiring prolonged weaning. It is an initiative of the German Respiratory Society (*Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V., DGP*) in cooperation with other societies engaged in the field.

The guideline is based on a systematic literature review of other guidelines, the Cochrane Library and PubMed.

The consensus project was chaired by the Association of Scientific Medical Societies in Germany (*Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften, AWMF*) based on a formal interdisciplinary process applying the Delphi-concept.

The guideline covers the following topics: Definitions, epidemiology, weaning categories, pathophysiology, the spectrum of treatment strategies, the weaning unit, discharge from hospital on MV and recommendations for end of life decisions. Special issues relating to paediatric patients were considered at the end of each chapter.

The target audience for this guideline are intensivists, pneumologists, anesthesiologists, internists, cardiologists, surgeons, neurologists, pediatricians, geriatricians, palliative care clinicians, nurses, physiotherapists, respiratory therapists, ventilator manufacturers.

The aim of the guideline is to disseminate current knowledge about *prolonged weaning* to all interested parties. Because there is a lack of clinical research data in this field the guideline is mainly based on expert opinion.

## 1 Einleitung

Der Grundstein für die weltweite Anwendung der Beatmungs-therapie mit positiven Atemwegsdrücken (Positiv-Druckbeatmung) wurde in den 50er-Jahren des vorherigen Jahrhunderts durch den Anästhesisten Björn Ibsen gelegt, der sie im Rahmen der Poliomyelitis-Epidemie bei Patienten mit respiratorischer Insuffizienz erstmalig in großem Umfang einsetzte [1,2]. Sie stellt einen zentralen und wesentlichen Bestandteil der modernen Intensivmedizin dar und wird zunehmend auch in stationären Bereichen anderer Versorgungsstufen sowie der außerklinischen Beatmung eingesetzt [3]. Sie kommt bei Patienten mit schwerer respiratorischer Insuffizienz infolge Versagens der muskulären Atempumpe oder eines Oxygenierungsversagens bei direkter oder indirekter Schädigung des Lungenparenchyms zum Einsatz, wenn mit anderen Maßnahmen (Sauerstoffgabe, Lagerungstherapie, Sekretmobilisation oder kontinuierlichem positivem Atemwegsdruck – Continuous Positive Airway Pressure [CPAP]) keine ausreichende Stabilisierung erreicht werden kann. Weiterhin gibt es primär nicht respiratorische Indikationen (z.B. Koma, Intoxikationen), bei denen eine Atemantriebsstörung, mangelnde Schutzreflexe oder die drohende Verlegung der Atemwege eine Beatmung erforderlich machen [4,5]. Vorrangige Ziele sind die Stabilisierung der alveolaren Gasräume, die Sicherung eines ausreichenden pulmonalen Gasaustauschs sowie die Normalisierung/Minimierung der Atemarbeit.

Während der Beatmungszeit wird die Ursache der Atmungsinsuffizienz behandelt. Allerdings muss eine Beatmung häufig auch noch dann fortgesetzt werden, wenn die ursprüngliche Indikation (z.B. eine schwere Pneumonie) längst behoben ist. So entfallen ungefähr 40–50% der gesamten Beatmungszeit eines Intensivpatienten auf die Entwöhnung von der maschinellen Beatmung (Weaning) [4–8]. Der überwiegende Anteil beatmeter Patienten kann nach kurzzeitiger Beatmungstherapie unproblematisch von der Beatmung entwöhnt werden. Für die verbleibenden Patienten (ca. 20%) ist die Phase des Weanings deutlich verlängert. Ein prolongiertes Weaning liegt vor, wenn es erst nach drei erfolglosen Spontanatmungsversuchen (Spontaneous Breathing Trial=SBT) oder nach über sieben Tagen Beatmung nach dem ersten erfolglosen SBT gelingt [9]. Das Patientenkollektiv mit prolongiertem Weaning stellt das behandelnde Team vor eine besondere Herausforderung [10]. Bei sehr komplexem prolongiertem Weaningprozess gelingt es in spezialisierten Weaningzentren/-einheiten in ca. 50% der Fälle doch noch, ein Weaningversagen abzuwenden [11].

Bei einem Teil der Patienten schlagen auch wiederholte Weaningversuche fehl, sodass gegebenenfalls eine dauerhafte Beatmung in außerklinischer Umgebung erforderlich ist [11]. Die demografische Entwicklung, die zu einer Zunahme des Anteils geriatrischer Patienten in allen Versorgungseinrichtungen und -stufen führt, verschärft diese Situation. Aufgrund der Multimorbidität dieser Patientengruppe drohen dauerhafte Funktionseinschränkungen durch ein prolongiertes Weaning. Somit ergeben sich veränderte Herausforderungen an das Management von Beatmungs- und Weaningkomplikationen bei geriatrischen Patienten.

Vor dem Hintergrund der wachsenden Bedeutung des prolongierten Weanings wurde dieses Leitlinienprojekt auf Initiative der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGP) gemeinsam mit der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI), der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie (DGCH), der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin e.V. (DGEM), der Deutschen Gesellschaft für

Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V. (DGF), der Deutschen Gesellschaft für Geriatrie e.V. (DGG), der Deutschen Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e.V. (DGIIN), der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V. (DGK), der Deutschen Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin e.V. (DGNI), der Deutschen Gesellschaft für Palliativmedizin e.V. (DGP), der Deutschen Interdisziplinären Gesellschaft für Außerklinische Beatmung e.V. (DIGAB), der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI), dem Deutschen Verband für Physiotherapie (ZVK) e.V., der Deutschsprachigen Medizinischen Gesellschaft für Paraplegie e.V. (DMGP), der Gesellschaft für Neonatologie und pädiatrischen Intensivmedizin (GNPI) und unter dem Dachverband der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF) erstellt.

Wegweisend für die vorliegende Leitlinie war unter anderem die Arbeit der Task Force von fünf internationalen Fachgesellschaften zum Weaning [9]. Diese Leitlinie bezieht sich ausdrücklich nur auf Patienten mit prolongiertem Weaning. Neben der respiratorischen Funktionsstörung tragen häufig Komorbiditäten zum prolongierten Weaningprozess bei. Das erfolgreiche Weaning dieser Patienten von der Beatmung setzt eine hohe Expertise in der Anwendung invasiver und nicht-invasiver Beatmungsverfahren und adjuvanter Therapiekonzepte sowie der gängigen Verfahren der modernen Intensivmedizin voraus. Ganz wesentlich ist die eng verzahnte interdisziplinäre Versorgung (HNO-ärztliche und thoraxchirurgische Versorgung, Logopädie, Physio-, Ergo- und Schmerztherapie, psychiatrische/psychologische und neurologische Betreuung). Nicht selten sind es der fehlende multidisziplinäre Ansatz und die unzureichende Beachtung der multifaktoriellen Ursachen, die ein erfolgreiches Weaning verhindern.

Um eine möglichst effiziente Therapie zu gewährleisten, sind ein klares Weaningkonzept und eine hohe Expertise sowie enge, fachübergreifende interdisziplinäre Absprachen erforderlich. Die vorliegende Leitlinie zum prolongierten Weaning liefert neben den Definitionen und der Darstellung der pathophysiologischen Zusammenhänge eine Hilfe zur Etablierung eines Weaningkonzeptes, das auf dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und auf in der Praxis bewährten Verfahren beruht. Die Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten werden innerhalb der einzelnen Kapitel jeweils gesondert behandelt.

Bestandteile eines prolongierten Weanings sind sowohl die akute Phase der invasiven und nicht-invasiven Beatmung, als auch die Überleitung in eine außerklinische Beatmung bei persistierender manifester Atempumpenschwäche. Der Definition und den Ausstattungsmerkmalen von Beatmungsstationen der verschiedenen Versorgungsstufen sowie dem Überleitmanagement in die außerklinische Beatmung, die in der vorliegenden Leitlinie berücksichtigt werden, kommt deshalb eine wesentliche Bedeutung zu [12–17].

Bei der Durchführung eines prolongierten Weanings ist die fortbestehende Indikation zur Beatmung regelmäßig zu überprüfen. Bei nicht zu entwöhnenden Patienten mit langem Krankenhauserverlauf und ungünstiger Prognose kann der Entschluss gefasst werden, das ursprüngliche Therapieziel zugunsten eines palliativen Therapiekonzeptes zu verlassen. Die vorliegende Leitlinie gibt Empfehlungen zu Therapieentscheidungen am Ende des Lebens bei prolongiertem bzw. erfolglosem Weaning. Hierbei wird die Patientenautonomie als wichtiges ethisches Grundprinzip in den Vordergrund gestellt, begleitet von dem Ziel, die bestmögliche Lebensqualität und Symptombefreiheit sowie die Sicherstellung der Betreuungsqualität des Patienten und der Familienangehörigen zu gewährleisten.

## 2 Leitlinienreport



### 2.1 Verantwortlichkeiten

Die Erstellung der Leitlinie erfolgte im Auftrag der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGP) in Kooperation mit folgenden medizinischen Fachgesellschaften:

- ▶ Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI)
- ▶ Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)
- ▶ Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin e.V. (DGEM)
- ▶ Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege 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 Technologien e.V. (SPECTARIS)
- ▶ Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e.V.
- ▶ Deutschsprachige Medizinische Gesellschaft für Paraplegie e.V. (DMGP)
- ▶ Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI)

### 2.2 Übersicht

(s. Tab. 1)

### 2.3 Zusammensetzung der Leitliniengruppe

Vom Koordinator wurden im Auftrag der federführenden Fachgesellschaft DGP die Vorstände aller o.g. medizinischen Fachgesellschaften über das Vorhaben informiert und gebeten, Vertreter zu benennen.

Es wurden die im Folgenden aufgeführten Personen als Vertreter der Fachgesellschaften mit jeweils einem Stimmrecht benannt:

- B. Schönhofer, U. Achtzehn, T. Barchfeld, H. Becker, C.-P. Criée, B. Esche, J. Geiseler, F. Heinemann, O. Karg, C. Kelbel, D. Köhler, M. Westhoff für die Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (DGP)
- H. Burchardi, E. Kilger, O. Moerer, S. Weber-Carstens für die Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI)
- D. Schreiter für die Deutsche Gesellschaft für Chirurgie (DGCH)
- A. Weimann für die Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin e.V. (DGEM)
- R. Dubb für die Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V. (DGF)
- H. J. Heppner für die Deutsche Gesellschaft für Geriatrie e.V. (DGG)
- S. Rosseau für die Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e.V. (DGIIN)
- U. Janssens für die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V. (DGK)
- W. Müllges für die Deutsche Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin e.V. (DGNI)

Tab. 1 Übersicht.

Leitlinie, Titel	Prolongierte Entwöhnung (Weaning) vom Respirator
Entwicklungsstufe	S2 k
Anmeldedatum	November 2008
Anmelder	Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V. (DGP) und Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung e. V. (DIGAB), vormals AG Heimbeatmung und Respirator-entwöhnung e. V.
Hintergrund, Zielorientierung der Leitlinie	Die maschinelle Beatmung zur Therapie der Atmungsinsuffizienz kommt im Sinne des Krisenmanagements meistens nur kurzzeitig zur Anwendung. Jedoch liegt die Zahl der Patienten mit prolongierter Respiratorentwöhnung (sogenanntem „Weaning“) auf Intensivstationen inzwischen bei 10%–20% der Beatmungspatienten. Erfolgreiche Respiratorentwöhnung basiert auf der individuellen Anwendung evidenzbasierter Therapie-strategien und erfordert spezielle Kenntnisse und langjährige Erfahrung des Beatmungsteams. Einen besonderen Stellenwert hat hier die spezialisierte Weaningeinheit, deren Gesamtkonzept die genannten Voraussetzungen realisiert. Diese Leitlinie soll den aktuellen Wissensstand zum Thema „Prolongiertes Weaning“ primär auf der Basis publizierter Evidenz, aber auch gestützt auf die Erfahrung von Experten bei noch fehlenden wissenschaftlichen Daten, in der Akutmedizin etablieren.
Federführende Fachgesellschaft(en)	Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V. (DGP), Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung e. V. (DIGAB), vormals AG Heimbeatmung und Respiratorentwöhnung e. V.
Leitung	Prof. Dr. Bernd Schönhofer (Hannover)
Kontaktadresse (Leitliniensekretariat)	Prof. Dr. Bernd Schönhofer, Klinik für Pneumologie, Internistische Intensiv- und Schlafmedizin, Klinikum Hannover Oststadt-Heidehaus, Podbielskistr. 380, 30659 Hannover, Tel.: 0511/9063347, Fax: 0511/9063779, E-Mail: Bernd.Schoenhofer@t-online.de
Institut für Lungenforschung (ILF) GmbH (Ansprechpartner: Dr. N. Hämläinen)	Organisation der Konsensuskonferenzen und des Literaturverzeichnisses
Adressaten der Leitlinie (Anwenderzielgruppe)	Intensivmediziner, Pneumologen, Anästhesisten, Internisten, Kardiologen, Chirurgen, Neurologen, Pädiater, Geriater, Palliativmediziner, Pflegekräfte, Physiotherapeuten, Atmungstherapeuten, MDK, MDS, Industrie
Versorgungssektor und Patientenzielgruppe	Intensivmedizin, Weaningeinheiten, andere Einrichtungen für beatmete Patienten; ambulante Beatmungspflege, Patienten mit schwieriger Entwöhnung vom Respirator, Langzeitbeatmete
Methodik (Art der Konsensusfindung, Art der Evidenzbasierung)	systematische Recherche von Leitliniendatenbanken, Cochrane Library und PubMed, formales interdisziplinäres Verfahren der Konsensusfindung (Nominaler Gruppenprozess: NGP, Delphi-Verfahren) und/oder formale Evidenzbewertung der Literatur
Ergänzende Informationen zum Projekt	Termine und Zwischenberichte im Leitliniensekretariat auf Anfrage: Projektskizze
Erstes Treffen der Steuerungsgruppe	November 2008
Geplante Fertigstellung	Herbst 2013

T. Jehser für die Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin e. V. (DGP)

D. Dellweg, B. Schucher, K. Siemon, und W. Windisch für die Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung e. V. (DIGAB)

H. Burchardi, B. Schönhofer für die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI)

U. Brückner für den Deutschen Verband für Physiotherapie (ZVK) e. V.

S. Hirschfeld-Araujo für die Deutschsprachige Medizinische Gesellschaft für Paraplegie e. V. (DMGP)

H. Fuchs und T. Nicolai für die Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin (GNPI)

A. Bosch (Fa. Heinen&Löwenstein) und M. Bögel (Fa. Weinmann Geräte für Medizin GmbH + Co. KG) für den Deutschen Industrieverband für optische, medizinische und mechatronische Technologien e. V. (SPECTARIS) haben sich bei den Konsensuskonferenzen an der Diskussion beteiligt, sie hatten aber kein Stimmrecht.

## 2.4 Finanzierung

Die angefallenen Kosten (Leitlinienkonferenzen) wurden von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin getragen. Die Reisekosten der Vertreter der anderen beteiligten Gesellschaften wurden jeweils von diesen Gesellschaften übernommen.

## 2.5 Adressaten

Die Empfehlungen der Leitlinie richten sich an Intensivmediziner, Pneumologen, Anästhesisten, Internisten, Kardiologen, Chirurgen, Neurologen, Pädiater, Geriater, Palliativmediziner, Pflegekräfte, Physiotherapeuten, Atmungstherapeuten sowie Mitarbeiter des MDK, des MDS und der Industrie.

## 2.6 Auswahl, Bewertung der Literatur und Erläuterung zu der Vergabe der Empfehlungsgrade

Die initiale Literaturrecherche von November 2008 bis Oktober 2009 erfolgte seitens der Arbeitsgruppen (siehe dort) nach deren spezifischen Suchwörtern (Key Words) in den Datenbanken Cochrane, PubMed/MEDLINE und Embase. Die initiale Datenbankabfrage diente als Basis für die weitere Arbeit. Durch die Vielzahl der an der Leitlinie teilnehmenden Fachrichtungen sowie durch den zeitlichen Verlauf der Leitlinienerstellung wurde eine Einbindung weiterer Literaturstellen im Rahmen des Konsensusprozesses erforderlich.

Bis zum Oktober 2012 wurden in den AGs insgesamt 8130 Literaturstellen gesichtet; hiervon gingen 526 Literaturstellen in die Leitlinie ein.

Die Evidenzbewertung der Literatur orientierte sich am Oxford Centre of Evidence Based Medicine; durch die Vergabe werden anhand zugrundeliegender Studien die Evidenzgrade 1a-c, 2a-c, 3a-b, 4 und 5 verwandt. Allerdings wurde seitens des Expertengremiums festgestellt, dass für den wesentlichen Teil der in diesen Leitlinien behandelten Themenblöcke eine ungenügende

Studienlage für das definierte Patientenkollektiv vorliegt und nur für Teilaspekte Empfehlungen auf dem Niveau eines Evidenzgrades höher als 2 möglich sind. Insbesondere wurden keine randomisierten oder weiteren höherwertigen Studien zum Thema der Leitlinie veröffentlicht. An diesem Sachverhalt hat sich bis zum Redaktionsschluss im Januar 2013 nichts Wesentliches geändert. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen der ersten Konsensuskonferenz am 03.11.2009 einstimmig beschlossen, sämtliche Empfehlungen auf dem Niveau der Expertenmeinung (Evidenzgrad V, Expertenmeinung ohne explizite Bewertung der Evidenz) mit dem entsprechenden Empfehlungsgrad E auszusprechen, obschon für einige Themen ein höherer Evidenzgrad vorliegt und dementsprechend ein härterer Empfehlungsgrad möglich gewesen wäre.

## 2.7 Leitlinienkonferenzen

Es wurden die drei protokollierten Konferenzen an folgenden Terminen abgehalten:

03.11.2009  
15.06.2010  
07.06.2011

Alle Sitzungen fanden in Kassel statt.

Die jeweiligen Ergebnisse wurden in Protokollen festgehalten.

## 2.8 Prozess der Leitlinienerstellung

### 2.8.1 Festlegung der Ziele

Dies erfolgte beim ersten Treffen der Redaktionsgruppen vor der ersten Leitlinienkonferenz am 16.03.2009 (vgl. Kapitel 1 der Leitlinie).

### 2.8.2 Zusammensetzung der Arbeitsgruppen

Für die einzelnen Kapitel und Subkapitel der Leitlinie wurden Schriftführer benannt, die die Textentwürfe der jeweiligen Arbeitsgruppe, unterstützt von den AG-Mitgliedern, für die Leitlinienkonferenzen verfassten. Die Abstimmung innerhalb der Arbeitsgruppen erfolgte in Telefonkonferenzen und durch E-Mail-Korrespondenz.

- ▶ AG „Einleitung“:  
O. Moerer (Leitung), H. J. Heppner, H. Sitter, W. Windisch
- ▶ AG „Definition des Begriffs *Prolongiertes Weaning*“:  
W. Windisch (Leitung), B. Schönhofer
- ▶ AG „Pathophysiologie des Weaningversagens“:  
M. Westhoff (Leitung), U. Janssens, D. Köhler
- ▶ AG „Strategien im Weaningprozess“:  
B. Schönhofer und D. Dellweg (Leitung), T. Barchfeld, U. Brückner, C.-P. Criée, R. Dubb, B. Esche, J. Geiseler, F. Heinemann, H. J. Heppner, S. Hirschfeld-Araujo, U. Janssens, C. Kelbel, D. Köhler, O. Moerer, W. Müllges, S. Rosseau, D. Schreiter, B. Schucher, K. Siemon, S. Weber-Carstens, A. Weimann
- ▶ AG „Weaningversagen und Leben nach Langzeitbeatmung“:  
S. Rosseau (Leitung), D. Köhler, O. Moerer, B. Schönhofer, S. Weber-Carstens, W. Windisch
- ▶ AG „Therapieentscheidungen am Ende des Lebens“:  
O. Karg (Leitung), H. Burchardi, U. Janssens, T. Jehser
- ▶ AG „Das Weaningzentrum/die Weaningeinheit“:  
J. Geiseler (Leitung), U. Achtzehn, H. Becker, D. Köhler, O. Moerer, B. Schönhofer, W. Windisch
- ▶ H. Fuchs und T. Nicolai haben alle Texte der AGs aus dem Blickwinkel der Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin bearbeitet.

### 2.8.3 Prozess der Leitlinienentwicklung, Konsensfindung und Abfassung des Textes

Vom Koordinator wurde im Vorfeld ein Rahmenentwurf erstellt. Die einzelnen, meist von den AGs vorbereiteten Kapitelentwürfe wurden sukzessive unter Moderation von PD Dr. Sitter (AWMF) in den drei Leitlinienkonferenzen diskutiert und konsensuell bzw. durch Mehrheitsbeschlüsse in definitive Fassungen überführt. Bis zur ersten Konsensuskonferenz am 03.11.2009 wurde durch die einzelnen Arbeitsgruppen der erste Leitlinienentwurf erstellt. In den drei oben aufgeführten Konsensuskonferenzen wurden die Kernaussagen und Empfehlungen der Leitlinie unter Moderation von Herrn PD Dr. Sitter (AWMF) in einem nominalen Gruppenprozess erarbeitet.

Der zur Erstellung der Empfehlungen der Leitlinie notwendige Konsensprozess wurde durch die Kombination zweier formalisierter Konsensverfahren, den nominalen Gruppenprozess und die Delphi-Technik, erzielt. Beim nominalen Gruppenprozess treffen sich die Beteiligten unter Leitung eines neutralen Moderators zu streng strukturierten Sitzungen, deren Ablauf in folgenden Schritten gegliedert ist:

1. Präsentation der zu konsentierenden Aussagen.
2. Änderungsvorschläge und Anmerkungen zu den vorgeschlagenen Aussagen und Algorithmen durch die Teilnehmer.
3. Abfrage und Sammlung der Kommentare von einem unabhängigen und nicht stimmberechtigten Moderator (PD Dr. H. Sitter). Inhaltlich ähnliche Kommentare werden zusammengefasst.
4. Abstimmung über die Diskussionswürdigkeit der einzelnen Vorschläge.
5. Hieraus resultiert die Rangfolge der Vorschläge.
6. Diskussion gemäß Rangfolge.
7. Protokollierung der Mehrheitsentscheidung und Überarbeitung der Leitlinie.
8. Beim nächsten Treffen werden die obigen Schritte 1 bis 7 erneut durchlaufen.

Dieses Verfahren wird bis zur Erzielung eines Konsenses fortgesetzt. Für Fragen, die bei der obigen Priorisierung eine untergeordnete Rolle spielten, wurde die Delphi-Technik benutzt. Hierbei verläuft die Konsensfindung analog zu den oben beschriebenen Schritten, jedoch treffen sich die Teilnehmer nicht, sondern kommunizieren schriftlich.

### 2.9 Erklärung des Interessenkonfliktes

In der abschließenden Sitzung am 07.06.2011 wurden die entsprechend dem Beschluss in der Sitzung am 03.11.2009 überwiegend vorliegenden und an die TeilnehmerInnen der Leitlinienkonferenz verteilten COI-Erklärungen diskutiert, insbesondere bezüglich möglicher materieller und immaterieller Verflechtungen, die sich durch von der Leitlinie betroffene Drittmittelgeber, Gutachtensaufträge und berufliche Stellung ergeben könnten. Man einigte sich auf die Verwendung des aktuellen AWMF-COI-Formblatts. Noch fehlende COI-Erklärungen wurden eingeholt.

### 2.10 Verabschiedung des Leitlinientextes in den Fachgesellschaften

Der von der Leitlinienkonferenz verabschiedete Leitlinientext wird den Vorständen der federführenden und beteiligten Fachgesellschaften zur Erörterung und Kommentierung bzw. Verabschiedung übersandt.

## 2.11 Verbreitung der Leitlinie

Die S2k-Leitlinie „Prolongiertes Weaning“ wird als Langversion einschließlich Leitlinienreport im offiziellen Journal der DGP „Pneumologie“ und zeitnah nach der Publikation der Langversion als Kurzversion über die Internetseite der AWMF sowie die Homepage der DGP zur Verfügung gestellt. Es wird eine englischsprachige, gekürzte Version erstellt.

Die Mitglieder der Leitliniengruppe verbreiten die Leitlinie im Rahmen von Vorträgen und Symposien auf wissenschaftlichen Kongressen und Fortbildungsveranstaltungen.

Es werden weiterhin die folgenden Publikationen angestrebt:

- ▶ ggf. Publikation in Journalen anderer Fachgesellschaften
- ▶ deutschsprachige und englischsprachige Kurzversionen fachspezifisch in den entsprechenden Organen beteiligter Fachgesellschaften
- ▶ Kurzversion als Pocket-Version

## 2.12 Gültigkeitsdauer und Aktualisierung der Leitlinie

Die Leitlinie gilt bis zur nächsten Aktualisierung, die spätestens 3 Jahre nach der Online-Publikation der Leitlinie erfolgt. Verantwortlich für die Initiierung dieses Prozesses ist Prof. Dr. Schönhofer.

## 2.13 Redaktionelle Unabhängigkeit

Die angefallenen Kosten (Leitlinienkonferenzen) wurden von der DGP sowie von den beteiligten Fachgesellschaften (Übernahme der Reisekosten der jeweiligen Vertreter) getragen. Für die Darlegung potenzieller Interessenskonflikte wurde das AWMF-Formblatt verwendet, von allen beteiligten Mitgliedern der Leitliniengruppe ausgefüllt und unterzeichnet und vom Koordinator bewertet. Es wurde festgestellt, dass keine Interessenskonflikte vorliegen, die die fachliche Unabhängigkeit der Autoren im Hinblick auf die Erstellung der Leitlinie beeinträchtigen könnten. Ein teilweiser oder vollständiger Ausschluss einzelner Beteiligter von der Leitlinienerstellung war nicht erforderlich.

## 2.14 Namensliste der Teilnehmer der Konsensuskonferenz

Dr. Ute Achtzehn, Klinikum Chemnitz gGmbH, Innere Medizin IV, Flemmingstraße 2, 09116 Chemnitz

Dr. Thomas Barchfeld, Fachkrankenhaus Kloster Grafschaft, Annostraße 1, 57392 Schmallenberg

Prof. Dr. Heinrich Becker, Asklepios Klinik Barmbek, Pneumologie, Internistische Intensivmedizin und Weaningzentrum, Rübenkamp 220, 22291 Hamburg

Uta Brückner, Krankenhaus Donaustauf, Abteilung für Physiotherapie, Ludwigstraße 68, 93093 Donaustauf

Prof. Dr. Hilmar Burchardi, Kiefernweg 2, 37120 Bovenden  
Prof. Dr. Carl-Peter Criée, Evangelisches Krankenhaus Göttingen-Weende e.V., Pneumologie, Beatmungsmedizin/Schlaf Labor in Lenglern, Pappelweg 5, 37120 – Bovenden/Lenglern

PD Dr. Dominic Dellweg, Fachkrankenhaus Kloster Grafschaft, Annostraße 1, 57392 Schmallenberg

Rolf Dubb, Klinikum Stuttgart Katharinenhospital, Klinik für Anästhesie und operative Intensivmedizin,

Kriegsbergstraße 60, 70174 Stuttgart

Beatrice Esche, Asklepios Fachkliniken München-Gauting, Robert-Koch-Allee 2, 82131 Gauting

Dr. Hans Fuchs, Zentrum für Kinder- und Jugendmedizin, Universitätsklinikum Freiburg, Mathildenstraße 1, 79106 Freiburg

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

Dr. Frank Heinemann, Krankenhaus Donaustauf, Ludwigstraße 68, 93093 Donaustauf

Prof. Dr. Hans Jürgen Heppner, Helios Klinikum Schwelm Klinik für Geriatrie, Dr.-Moeller-Straße 15, 58332 Schwelm

Dr. Sven Hirschfeld-Araujo, Berufsgenossenschaftliches Krankenhaus Hamburg, Bergedorfer Straße 10, 21033 Hamburg

Prof. Dr. Uwe Janssens, St.-Antonius-Hospital, Klinik für Innere Medizin und Internistische Intensivmedizin, Dechant-Deckers-Straße 8, 52249 Eschweiler

Dr. Thomas Jehser, Gemeinschaftskrankenhaus Havelhöhe, Palliativmedizin, Kladower Damm 221, 14089 Berlin

Dr. Ortrud Karg, Asklepios Fachkliniken München-Gauting, Leitung Medizinische Krankenhausorganisation, Robert-Koch-Allee 2, 82131 Gauting

Dr. Clemens Kelbel, Klinikum Westfalen GmbH, Knappschaftskrankenhaus Dortmund, Klinik für Pneumologie, Intensivmedizin und Schlafmedizin, Am Knappschaftskrankenhaus 1, 44309 Dortmund

PD. Dr. Erich Kilger, Klinikum der Universität München-Großhadern, Klinik für Anästhesiologie, Standort Augustinum, Marchioninistraße 15, 81377 München

Prof. Dr. Dieter Köhler, Fachkrankenhaus Kloster Grafschaft, Annostraße 1, 57392 Schmallenberg

PD Dr. Onnen Moerer, Universitätsmedizin Göttingen, Klinik für Anästhesiologie, Zentrum Anästhesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, Robert-Koch-Straße 40, 37075 Göttingen

Prof. Dr. Wolfgang Müllges, Universitätsklinikum Würzburg, Neurologische Klinik und Poliklinik, Josef-Schneider-Straße 2, 97080 Würzburg

Prof. Dr. Thomas Nicolai, Klinikum der Universität München, Kinderklinik und Kinderpoliklinik im Dr. von Haunerschen Kinderspital, Lindwurmstraße 4, 80337 München

Prof. Dr. Michael Quintel, Universitätsmedizin Göttingen, Klinik für Anästhesiologie, Zentrum Anästhesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin, Robert-Koch-Straße 40, 37075 Göttingen

Prof. Dr. Winfried Randerath, Krankenhaus Bethanien, Klinik für Pneumologie und Allergologie, Zentrum für Schlaf- und Beatmungsmedizin, Aufderhöher Str. 169 – 175, 42699 Solingen

Dr. Simone Rosseau, Charité Universitätsmedizin Berlin, Charité – Campus Mitte, Medizinische Klinik mit Schwerpunkt Infektiologie und Pneumologie, Charitéplatz 1, 10117 Berlin

Dr. Dierk Schreiter, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus an der TU Dresden, Klinik und Poliklinik für Viszeral-, Thorax- und Gefäßchirurgie, Fetscherstraße 74, 01307 Dresden

Dr. Karsten Siemon, Fachkrankenhaus Kloster Grafschaft, Annostraße 1, 57392 Schmallenberg

PD Dr. Helmut Sitter, Philips-Universität Marburg, Institut für Chirurgische Forschung, Baldingerstraße, 35033 Marburg

Prof. Dr. Bernd Schönhofer, KRH Klinikum Oststadt-Heidehaus, Medizinische Klinik II – Klinik für Pneumologie, Intensiv- und Schlafmedizin, Podbielskistraße 380, 30659 Hannover

Dr. Bernd Schucher, LungenClinic Grosshansdorf, Abteilung Pneumologie, Wöhrendamm 80, 22927 Großhansdorf

PD Dr. Steffen Weber-Carstens, Charité Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Campus Virchow-Klinikum, Augustenburger Platz 1, 13353 Berlin

Prof. Dr. Arved Weimann, Klinikum St. Georg gGmbH,  
Klinik für Allgemein- und Visceralchirurgie mit Abteilung  
Endokrine Chirurgie, Delitzscher Straße 141, 04129 Leipzig  
Dr. Michael Westhoff, Lungenklinik Hemer, Klinik Pneumologie I,  
Theo-Funccius-Straße 1, 58675 Hemer  
Prof. Dr. Wolfram Windisch, Kliniken der Stadt Köln gGmbH,  
Abteilung Pneumologie, Ostmerheimer Straße 200, 51109 Köln

### 3 Definitionen, Epidemiologie und Weaning-kategorien

#### 3.1 Phasen der invasiven Positiv-Druckbeatmung

Wegweisend für die Definitionen und die Kategorisierungen in der vorliegenden Leitlinie sind neben den bereits publizierten Leitlinien zur akuten und chronischen respiratorischen Insuffizienz [15, 18, 19] auch die Ergebnisse der Task Force von fünf internationalen Fachgesellschaften: European Respiratory Society (ERS), American Thoracic Society (ATS), European Society of Intensive Care Medicine (ESICM), Society of Critical Care Medicine (SCCM) und Société de Réanimation de Langue Française (SRLF) [9], auf die im Text bei Bedarf Bezug genommen wird.

Für die mechanische Ventilation der Lungen mittels Positiv-Druckbeatmung über einen Endotrachealtubus werden entsprechend dieser Task Force sechs Phasen unterschieden (► **Abb. 1**) [9]:

1. Behandlung der akuten respiratorischen Insuffizienz
2. Erste Überlegungen des behandelnden Arztes dahingehend, dass der Patient bereit sein könnte, in den Weaningprozess zu gehen
3. Tatsächliches Starten von täglichen Tests (z. B. RSBI=Rapid Shallow Breathing Index) zur Erfassung der Bereitschaft zur Entwöhnbarkeit, um den ersten Verdacht, der Patient könnte entwöhnbar sein, zu erhärten oder zu verwerfen
4. Spontanatmungsversuch (SBT=Spontaneous Breathing Trial)
5. Extubation (oder Dekanülierung)
6. Ggf. Re-Intubation (oder Rekanülierung)

Diese sechs Phasen sind entsprechend des Inhaltes der vorliegenden Leitlinie für die Phasen 5 und 6 modifiziert, sodass nun Dekanülierung statt Extubation und Rekanülierung statt Re-Intubation aufgeführt sind.

#### 3.2 Weaningprozess

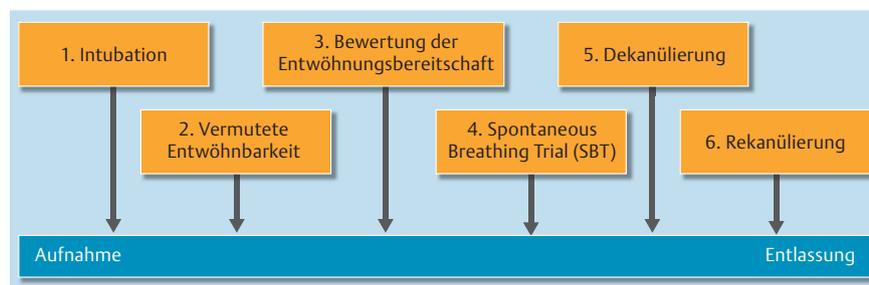
Der eigentliche Weaningprozess beginnt mit der Phase 4, also mit dem SBT, und nimmt ca. 40–50% der Gesamtdauer einer mechanischen Ventilation ein [4, 6–8]. Die richtigen Zeitpunkte zum Beginn der Phasen 4 (SBT) und 5 (Extubation/Dekanülierung) sind prognostisch entscheidend. Denn sowohl eine zu frühzeitige Entfernung des künstlichen Atemweges mit den Folgen einer Re-Intubation/Rekanülierung (Phase 6) und konsekutiv erhöhtem Risiko für eine nosokomiale Pneumonie und einen verlängerten

Aufenthalt auf der Intensivstation [20–22] als auch eine verspätete Einleitung des Weanings mit den Folgen erhöhter Komplikationsraten im Zuge der verlängerten mechanischen Ventilation [23–25] erhöhen substanziell das Mortalitätsrisiko. Wichtig erscheint dabei die Erkenntnis, dass bereits eine verspätete Antizipation einer möglichen Entwöhnbarkeit ebenso wie die zu späte Überprüfung definierter Kriterien zur Erfassung der Bereitschaft einer Entwöhnbarkeit (Beatmungsphasen 2 und 3 vor dem eigentlichen Weaning) häufige Gründe dafür darstellen, dass ein Weaning unnötig hinausgezögert wird [9]. Dass die Extubation/Dekanülierung häufig verzögert erfolgt, wird auch dadurch dokumentiert, dass eine ungeplante Selbst-Extubation in fast der Hälfte der Fälle keine Re-Intubation nach sich zieht [26]. Die Inzidenz einer ungeplanten Extubation liegt abhängig von der Untersuchung zwischen 0,3% und 16%, wobei 83% dieser ungeplanten Extubationen aktiv vom Patienten durchgeführt werden, während 17% aus Versehen geschehen [27].

#### 3.3 Weaningerfolg und Weaningversagen

Ein Weaningerfolg ist nach der Definition der internationalen Task Force von 2007 charakterisiert durch Extubation ohne nachfolgende ventilatorische Unterstützung für mindestens 48 Stunden nach Extubation [9]. Entsprechend ist ein Weaningversagen als 1) gescheiterter SBT, 2) Re-Intubation/Rekanülierung und/oder Wiederaufnahme der ventilatorischen Unterstützung oder 3) Tod innerhalb von 48 Stunden nach Extubation definiert [9]. So ist Weaningversagen bereits Anfang der 90er-Jahre als permanente (kontinuierliche oder intermittierende) Erfordernis der ventilatorischen Unterstützung definiert worden, wobei sowohl invasive (Endotrachealtubus, Trachealkanüle) als auch nicht-invasive (Maske) Beatmungszugänge in die Definition mit einbezogen wurden [28]. Mittlerweile hat sich die NIV fest im Weaningprozess etabliert [29]. Dabei wird der NIV eine prognoseverbessernde Rolle bei Patienten mit primärem Weaningversagen eingeräumt, nämlich dann, wenn keine suffiziente Spontanatmung (d. h. erfolgloser SBT) möglich ist, aber dennoch eine Extubation/Dekanülierung mit konsekutiver NIV erfolgt [29]. Zudem hat die NIV günstige Effekte beim sekundären Weaningversagen, also bei primär suffizienter Spontanatmung (erfolgreicher SBT) und erfolgreicher Extubation, wenn Risikopatienten (z. B. chronische ventilatorische Insuffizienz, Herzinsuffizienz, höheres Alter) trotz primär erfolgreicher Extubation mittels NIV behandelt werden [30–33].

Entsprechend der oben genannten Definitionen ist ein Patient, der nach Extubation oder Dekanülierung erfolgreich nicht-invasiv beatmet wird und entsprechend auf eine Normalstation verlegt oder sogar nach Hause entlassen werden kann, nicht entwöhnt. So konnten Schönhofer und Kollegen in einer großen Kohortenstudie an 403 Patienten mit invasiver Beatmung für >2 Wochen, die expliziert zum Weaning in ein spezialisiertes Weaningzentrum verlegt wurden, zeigen, dass von den Patienten



**Abb. 1** Schema der verschiedenen Phasen einer invasiven mechanischen Ventilation – modifiziert nach [9].

ten, die nach Hause entlassen wurden, immerhin ein Drittel eine Langzeit-NIV in häuslicher Umgebung fortführten [11]. Dies unterstreicht, dass die NIV zur Unterstützung der Extubation/Dekanülierung einerseits und zur Behandlung einer chronischen ventilatorischen Insuffizienz andererseits nicht immer voneinander getrennt werden können. Die internationale Task Force definiert für extubierte/dekanülierte aber noch NIV-pflichtige Patienten eine intermediäre Kategorie („Weaning in progress“) [9]. Da aber wie oben beschrieben die Langzeit-NIV für einen erheblichen Teil der Patienten im weiteren Krankheitsverlauf als Dauerbehandlung indiziert sein kann, schlägt die vorliegende Leitlinie vor, zwischen „komplettem Weaning“ und „Weaning von der invasiven Beatmung“ zu unterscheiden (siehe auch Kapitel 3.6).

### 3.4 Weaning-Klassifikation

Die internationale Task Force definiert drei Weaning-Gruppen (● **Tab. 2**) [9]. Nach älteren Daten kann man schätzen, dass sich bis zu 70% der Weaningpatienten auf die Gruppe 1 und 30% der Patienten auf die Gruppen 2 und 3 verteilen [24, 25]. Eine aktuelle österreichische Multicenter-Studie konnte zeigen, dass von 257 intubierten Patienten auf der Intensivstation, die den Weaningprozess begonnen haben und bei denen es zu keiner Selbst-Extubation gekommen ist, jeweils 59%, 26% und 14% den Gruppen 1, 2 und 3 der oben genannten Weaning-Klassifikation zugeordnet werden konnten [34]. Die Mortalität auf der Intensivstation lag für die Gruppen 1, 2 und 3 bei jeweils 3%, 1% und 22%, die Krankenhausmortalität bei 13, 22 und 32%. Daher war die Mortalität nur bei Patienten der Gruppe 3 (prolongiertes Weaning), nicht jedoch bei Patienten der Gruppe 2 (schwieriges Weaning) statistisch signifikant erhöht im Vergleich zu Patienten der Gruppe 1 (einfaches Weaning). Entsprechend war die Rate eines erfolgreichen (kompletten) Weanings (s. o.) nur beim prolongierten Weaning (74%, Gruppe 3), nicht jedoch beim schwierigen Weaning (99%, Gruppe 2), im Vergleich zum einfachen Weaning (98%, Gruppe 1) reduziert. Die mediane Gesamt-Weaningdauer betrug 0,5 Tage (Gruppe 1), 2,9 Tage (Gruppe 2) sowie 10,0 Tage (Gruppe 3). Zusammenfassend bestanden zwar für das schwierige Weaning (Gruppe 2) längere Beatmungszeiten und längere Aufenthalte in der Klinik, die Prognose war jedoch nur beim prolongierten Weaning (Gruppe 3) im Vergleich zum einfachen Weaning (Gruppe 1) eingeschränkt [34].

**Tab. 2** Internationale Weaning-Klassifikation [9].

SBT = Spontaneous Breathing Trial (Spontanatmungsversuch).

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

### 3.5 Prolongiertes Weaning versus prolongierte Beatmung

Während das prolongierte Weaning von der internationalen Task Force klar definiert und diese Definition auch für die vorliegende Leitlinie übernommen worden ist, sind die Begriffe prolongiertes

Weaning und Langzeitbeatmung nicht klar abgegrenzt. So wird in der Literatur ein Zeitfenster von zwei bis drei Wochen Beatmung als Mindestdauer für die Kategorie Langzeitbeatmung angegeben [35, 36]. Hierbei ist jedoch festzuhalten, dass ein Patient, der wegen einer schweren Grunderkrankung länger als zwei Wochen invasiv beatmungspflichtig ist, nicht notwendigerweise Schwierigkeiten beim Weaning vom Respirator aufweisen muss, nachdem die Grunderkrankung erfolgreich behandelt worden ist. Vor diesem Hintergrund vermischen sich häufig die Begriffe der Langzeitbeatmung und des prolongierten Weanings. In der bereits oben zitierten Arbeit von Schönhofer und Kollegen wurde eine Beatmung als Langzeitbeatmung bezeichnet, wenn sie länger als zwei Wochen andauerte und mindestens zwei erfolgreiche Weaningversuche unternommen wurden [11]. In anderen Arbeiten wird der Begriff „prolongierte Beatmung“ verwendet, wenn eine mechanische Ventilation über mindestens 3 Wochen durchgeführt wird [37].

Diese Leitlinie bezieht sich daher ausdrücklich nur auf Patienten, die länger beatmungspflichtig sind, weil sie Schwierigkeiten beim Weaning haben. Als Langzeitbeatmung definiert diese Leitlinie daher eine Beatmung, die dauerhaft notwendig ist. Sie kann sowohl nicht-invasiv, in der Regel über Gesichtsmasken, oder invasiv über ein Tracheostoma erfolgen. Sowohl die invasive als auch die nicht-invasive Langzeitbeatmung können als außerklinische Beatmung, meistens im häuslichen Umfeld oder in Pflegeeinrichtungen, lebenslang durchgeführt werden. Auf die entsprechende Leitlinie zu Indikation, Organisation und Durchführung einer außerklinischen Beatmung sei an dieser Stelle verwiesen [15].

### 3.6 Definition des Patientenkollektivs für die vorliegende Leitlinie

Die internationale Weaning-Klassifikation (siehe Kapitel 3.4) definiert das prolongierte Weaning als Weaning, welches erst nach 3 erfolglosen SBT oder erst nach über 7 Tagen Beatmung nach dem ersten erfolglosen SBT gelingt [9]. Diese Gruppe von Patienten erscheint allerdings sehr heterogen, da die Definition sehr breit gefasst ist. So betrug die mediane Dauer des erfolgreichen Weanings in der österreichischen Outcome-Studie beim prolongierten Weaning 10 Tage [34]. Im Unterschied hierzu wurden in der Studie von Schönhofer und Kollegen die Patienten nach erfolglosem Weaning aus verschiedenen externen Kliniken im Median erst nach 33 Tagen invasiver Beatmung in ein spezialisiertes Weaningzentrum überwiesen [11]. Von diesen Patienten waren ca. 20% ohne weitere Unterstützung vom Respirator entwöhnbar; ca. 30% der Patienten wurden wegen chronisch ventilatorischer Insuffizienz mit einer außerklinischen Beatmung versorgt; ca. 30% waren definitiv nicht vom Respirator entwöhnbar und ca. 20% der Patienten verstarben noch in der Klinik. Zudem gibt es zunehmend Patienten, die trotz eines erfolgreichen SBT nicht dekanülierbar sind.

In der Tat befassen sich die spezialisierten deutschen Weaningzentren hauptsächlich mit nur sehr schwer und oft überhaupt nicht mehr zu entwöhnenden Patienten. Die Beatmungszeiten liegen mitunter bei weitem über sieben Tage nach dem ersten SBT, und bei einem Großteil der Patienten wird nach Entlassung eine außerklinische Langzeitbeatmung durchgeführt [15]. Offensichtlich werden daher in der Gruppe 3 der internationalen Weaning-Klassifikation (prolongiertes Weaning) [9] sehr unterschiedliche Patienten mit sehr unterschiedlichen Prognosefaktoren subsummiert. Daher differenziert die vorliegende Leitlinie die Gruppe des prolongierten Weanings entsprechend der

☉ **Tab. 3** in drei Untergruppen, die sich nach primärer Zuordnung zur internationalen Weaning-Gruppe 3 durch den weiteren Weaningverlauf innerhalb dieser Gruppe ergeben:

In der Untergruppe 3b (prolongiertes Weaning mit NIV) können folgende Subgruppen weiter unterschieden werden:

▶ **Patienten mit zeitlich begrenzter NIV:** Bei diesen Patienten wird NIV nach Extubation/Dekanülierung während des Krankenhauses nur solange durchgeführt, bis eine mehrtägige Spontanatmung ohne manifeste Hyperkapnie möglich ist (komplettes Weaning). Diese Gruppe ist sehr heterogen. Im Einzelfall kann es auch nach der Entlassung erneut zur ventilatorischen Insuffizienz mit Indikation zur passageren oder bleibenden NIV kommen. Ein engmaschiges fach-pneumologisches Follow-up dieser Patienten im ambulanten oder stationären Bereich kann daher erforderlich sein.

▶ **Patienten mit direkter Überleitung in die außerklinische NIV:** Diese Patienten werden mit NIV in die außerklinische Beatmung übergeleitet [15], wobei gelegentlich auch nach mehreren Monaten noch eine klinische Besserung eintreten kann, die eine Fortsetzung der nicht-invasiven außerklinischen Beatmung nicht mehr notwendig macht, z. B. bei deutlicher Gewichtsabnahme bei schwerer Adipositas oder bei langsam progredienter Besserung einer Critical-Illness-Polyneuropathie. Ein komplettes Weaning in der Klinik ist aber zunächst nicht möglich oder gar nicht angestrebt, wohl aber das Weaning von der invasiven Beatmung. In der Regel handelt es sich um Patienten mit einer chronischen ventilatorischen Insuffizienz, die auch nach erfolgreicher Therapie der vorangegangenen akuten Verschlechterung weiter besteht, z. B. COPD mit Akutexazerbation auf dem Boden einer vorbestehenden chronischen ventilatorischen Insuffizienz. Dabei kann eine *hohe NIV-Abhängigkeit* bestehen, d. h. das Absetzen der NIV geht mit einer hohen Wahrscheinlichkeit einher, dass es innerhalb kurzer Zeit zu einer akuten respiratorischen Verschlechterung, ggf. mit Notwendigkeit zur erneuten invasiven Beatmung, kommt. Andererseits kann aber auch eine *geringe NIV-Abhängigkeit* bestehen, d. h. dass die NIV primär zur Therapie von Symptomen einer chronischen Hypoventilation und zur Verbesserung der Langzeitprognose eingesetzt wird [15]. Bei diesen Patienten könnte zwar formal ein komplettes Weaning zunächst erreicht werden, eine Einleitung einer Langzeit-NIV ist aber grundsätzlich indiziert [15]. Bei prolongiertem Weaning ist daher immer zu prüfen, ob eine Indikation zur Langzeit-NIV besteht, auch wenn zunächst erfolgreich extubiert bzw. dekanüliert werden konnte. Vor diesem Hintergrund wird bei Patienten mit hohem Risiko einer beatmungspflichtigen Exazerbation ihrer COPD frühzeitig die Indikation zur elektiven Einleitung einer nicht-invasiven außerklinischen Beatmung gestellt, in der Regel dann, wenn der Patient bereits früher schon akut hospitalisationspflichtig war [15].

Es wird an dieser Stelle angemerkt, dass eine Abschätzung der Prognose anhand der erweiterten Differenzierung der Weaning-Gruppe 3 (prolongiertes Weaning) mit den Subgruppen 3a, 3b und 3c sehr schwierig ist. So sind es im Wesentlichen substanzielle Komorbiditäten, die oftmals die Prognose erheblich mitbestimmen, wobei schwere kardiologische Grunderkrankungen, Gefäßkrankungen, begleitende Lungenerkrankungen, neurologische Defizite, Erkrankungen mit Einschränkungen des Immunsystems, Nierenerkrankungen, Leberzirrhose und Diabetes mellitus im Vordergrund stehen [38]. In den letzten Jahren haben der Schweregrad der Komorbiditäten und das Alter bei Patienten im prolongierten Weaning zugenommen. Beide Faktoren sind wesentlich

**Tab. 3** Untergruppen des prolongierten Weanings nach Definition der vorliegenden Leitlinie. SBT = Spontaneous Breathing Trial (Spontanatmungsversuch); NIV = Non-invasive Ventilation/nicht-invasive Beatmung.

Gruppe	Kategorie	Definition
3a	prolongiertes Weaning ohne NIV	erfolgreiches Weaning mit Extubation/Dekanülierung erst nach mindestens 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 mindestens 3 erfolglosen SBT oder Beatmung länger als 7 Tage nach dem ersten erfolglosen SBT <i>und</i> nur mittels Einsatz der NIV, ggf. mit Fortsetzung der NIV als außerklinische Beatmung (weitere Differenzierung siehe Text)
3c	erfolgloses Weaning	Tod oder Entlassung mit invasiver Beatmung via Tracheostoma

dafür verantwortlich, dass sich die Prognose dieser Patienten in den Weaningzentren trotz zunehmender Erfahrung im Behandlungsteam verschlechtert hat [38]. Zudem können selbst erfolgreich entwöhnte Patienten mit Normokapnie innerhalb kurzer Zeit wieder beatmungspflichtig werden oder sogar versterben, häufig innerhalb von Wochen, insbesondere wenn sehr schwerwiegende Komorbiditäten bestehen [11]. Für diese Patienten ist der Begriff „instabil entwöhnt“ geprägt worden, auch wenn im Einzelfall längeres Überleben möglich ist [11].

Es sei außerdem darauf hingewiesen, dass die NIV bereits sehr frühzeitig im Weaning eingesetzt werden kann und nicht erst nach mindestens 3 erfolglosen SBT oder einer Beatmung von mehr als 7 Tagen nach dem ersten erfolglosen SBT, wie es in der Gruppe 3 für das prolongierte Weaning definiert ist [9]. So wurden in einer Studie von Nava und Kollegen Patienten mit exazerbierter COPD bereits nach 48 Stunden invasiver Beatmung nach einmalig erfolglosem SBT extubiert und mittels NIV weiter beatmet [30]. Diese Patienten entsprechen keiner der genannten Gruppen und müssen isoliert betrachtet werden.

Die vorliegende Leitlinie fokussiert in erster Linie auf Patienten der internationalen Weaning-Kategorie 3 [9]. Dabei wird hinsichtlich differenzierter medizinischer Maßnahmen im Rahmen des Weanings, ethischer Betrachtungen und Prognose-relevanter Faktoren und nicht zuletzt hinsichtlich der für ein optimales Weaning notwendigen Organisationsstrukturen auf die eigens in dieser Leitlinie neu definierten Untergruppen des prolongierten Weanings (☉ **Tab. 3**) Bezug genommen. Diese Leitlinie bezieht sich auf Patienten mit im Vordergrund stehender schwerer respiratorischer Funktionsstörung, bei denen sich häufig die Komorbidität komplizierend auf den Weaningprozess auswirkt.

## 4 Pathophysiologie des Weaningversagens



### 4.1 Einleitung

Das Weaningversagen ist gekennzeichnet durch die Notwendigkeit, eine Langzeitbeatmung aufgrund unzureichender Spontanatemfähigkeit fortzusetzen oder kurzfristig wiederaufzunehmen. Dabei besteht ein Missverhältnis von ventilatorischem Bedarf und ventilatorischem Eigenvermögen. Hauptsächlich liegt eine hyperkapnische ventilatorische Insuffizienz zugrunde. Deren Ursache ist nahezu immer eine Überlastungssituation der Atem-

**Tab. 4** Pathophysiologie und mögliche Ursachen der Atempumpeninsuffizienz. CIP = Critical-Illness-Polyneuropathie; ALS = Amyotrophe Lateralsklerose; CIM = Critical-Illness-Myopathie; VIDD = Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction; PAH = pulmonal arterielle Hypertonie; Post-TBC-Syndrom = Langzeitfolgen nach pulmonaler Tuberkulose.

Unmittelbarer Grund für unzureichende Spontanatmung	Pathophysiologischer Bereich	Mögliche Ursachen	Beispiel
Schwäche der Atempumpe	Atemzentrum	Ischämie, Infektion	Enzephalitis
	nervale Steuerung	Neuritis, Nervenschädigung	Zwerchfellparese, Guillain-Barré-Syndrom, CIP, ALS, Diabetes mellitus
	Atemmuskeln	Myositis, Muskeldystrophie, Muskelatrophie	CIM, VIDD, Myasthenie, M. Duchenne, Post-Polio-Syndrom
Überlastung der Atempumpe	Atemwege	Obstruktion, Überblähung, Recurrens- parese	COPD, Mucoviszidose
	Lungenparenchym	reduzierte Compliance	Lungenödem, Fibrose
		reduzierte Gasaustauschfläche	Emphysem, Pneumonie
	Thoraxwand	reduzierte Compliance	Pleuraerguss, Skoliose, Post-TBC-Syndrom
	Sauerstofftransport (reduziert)	Anämie, Methämoglobin	Blutabnahme, Blutung, Infektanämie, Medikamente
		Perfusionsminderung	Herzinsuffizienz, PAH, Lungenembolie
	Sauerstoffverbrauch (erhöht)	erhöhter Umsatz	Katecholamine, Unruhe/Agitation, Infektion
	metabolische Versorgung	Stoffwechselstörung	Hypothyreose, Mangelernährung, Elektrolytimbalance

muskulatur (Atempumpe). Selten liegt eine direkte Störung des Atemzentrums vor [39–42].

Es gibt allerdings auch ein Weaningversagen bei Patienten mit normalem Kohlendioxid-Partialdruck ( $\text{PaCO}_2$ ) unter Beatmung und im Vordergrund stehender Gasaustauschstörung. Diese Patienten sind bei fortschreitender Grunderkrankung, z. B. Lungenfibrose, nicht mehr entwöhnbar. In diesen Fällen ist der ventilatorische Bedarf ohne mechanische Beatmung aufgrund der reduzierten Gasaustauschfläche so groß, dass neben der Hypoxie auch eine hyperkapnische Insuffizienz durch Volumenbelastung der Atempumpe resultieren kann. Liegen dagegen reversible Ursachen der zur Beatmung führenden Gasaustauschstörung vor (z. B. Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS) oder Pneumonie), kann sich im Verlauf das Lungenparenchym wieder so weit erholen, dass ein Potenzial für ein erfolgreiches Weaning besteht. Das prolongierte Weaningversagen ist häufig multifaktoriell, sodass z. B. Kombinationen aus erhöhter Last (Obstruktion und Überblähung bei COPD), muskulärer Insuffizienz (z. B. Critical-Illness-Myopathie (CIM) und Critical-Illness-Polyneuropathie (CIP), diabetische Neuropathie), Gasaustauschstörung und Herzinsuffizienz vorliegen, die sich wechselseitig negativ beeinflussen.

## 4.2 Insuffizienz der Atempumpe

Für eine Insuffizienz der Atempumpe gibt es zwei grundsätzliche Mechanismen: 1. die *Insuffizienz* der Atemmuskulatur, die für die Deckung des aktuellen Sauerstoffbedarfs keine ausreichende Ventilation ermöglicht und 2. die (sub-)akute *Überlastung* der aktuell zur Verfügung stehenden Muskelleistung durch eine erhöhte Atemlast infolge unterschiedlicher Erkrankungen. Die situativ erforderliche Sauerstoffaufnahme und der dafür erforderliche ventilatorische Aufwand werden durch die aktuelle klinische Situation (z. B. Infekt, kardiale und pulmonale Funktion, muskuläre Kraft etc.) und durch eine vorbestehende Gasaustauschstörung oder eine Beeinträchtigung der muskulären Atempumpe bestimmt. Alle Faktoren können isoliert bzw. kombiniert zum Weaningversagen beitragen. Die einzelnen Krankheitsbilder werden gemäß ihrer pathophysiologischen Ursachen – musku-

läre Insuffizienz und muskuläre Überlastung – betrachtet und nicht, wie sonst üblich, isoliert erörtert, um der komplexen Situation im Einzelfall besser gerecht zu werden. In **Tab. 4** sind die Zusammenhänge mit den jeweiligen Ursachen mit Beispielen dargestellt.

### 4.2.1 Atemzentrum

Ausreichende Atmung ist nur möglich mit einer intakt funktionierenden Atemregulation. Deren Störungen können vielfältige Ursachen haben [43–47]. Ein Ausfall des zentralen Atemantriebs als Ursache eines Weaningversagens ist sehr selten. Im Vordergrund stehen Medikamentenüberdosierungen (Sedativa, Narkotika, Antidepressiva), toxische oder metabolisch-endokrine Störungen und Elektrolytveränderungen [9, 48–49], die den Atemantrieb dämpfen (Frequenz und Tiefe). Dabei handelt es sich in der Regel nur um ein passageres Problem. Eine Enzephalitis mit Beteiligung des Atemzentrums oder strukturelle Schädigungen durch Tumor, Hirndruck, Ischämie oder Blutung sind sehr seltene Ursachen eines Weaningversagens [9, 44]. Eine zentrale Fehlsteuerung der Atmung geht mit schweren anderen Funktionsausfällen einher, sodass diese Patienten meist nicht zum Weaning anstehen.

### 4.2.2 Nervale Steuerung

Trotz intakter zentraler Atemsteuerung kann auch eine Störung auf Ebene der Last-Kapazitäts-Adaptation von peripherem Nervensystem und Muskulatur vorliegen [50]. Dementsprechend können Erkrankungen der Muskulatur wie auch des peripheren Nervensystems ein Weaningversagen verursachen.

Am häufigsten sind metabolisch-toxische Schädigungen wie die Critical-Illness-Polyneuropathie, aber auch primäre Erkrankungen des peripheren Nerven oder der neuromuskulären Übertragung, wie spinale Muskelatrophien, die Amyotrophe Lateralsklerose, das Guillain-Barré-Syndrom oder die Myasthenia gravis [51–53]. Weiterhin gibt es direkte Störungen des *N. phrenicus* und Rückenmarksläsionen oberhalb des Niveaus C4 [54].

### 4.2.3 Atemmuskeln

Häufig wird im Verlauf einer Intensivbehandlung, einschließlich der Beatmung, insbesondere bei septischen Komplikationen, eine strukturelle und funktionelle Schädigung nicht nur der Nerven, sondern auch der Muskulatur selber („Critical-Illness-Myopathie“) induziert [52, 55–58]. Hierbei spielen als Kofaktoren wahrscheinlich Muskelrelaxantien, Nierenversagen und eine diabetische Stoffwechsellage eine Rolle. Ein zweiter häufiger Grund für eine Schwäche der Atempumpe ist eine isolierte, nahezu immer reversible Inaktivitätsatrophie der Zwerchfellmuskulatur, die sogenannte Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction (VIDD) [59–61]. Diese tritt bereits nach wenigen Tagen kontrollierter Beatmung ein, wenn keine assistierten oder spontanen Atmungsphasen zwischengeschaltet werden. Daher können zu Beginn des Weanings zu lange Phasen von Spontanatmung oder assistierter Beatmung einen bereits atrophierten Muskel überlasten. Weitere Ursachen sind durchgemachte oder akute (meist entzündliche oder toxische) Muskelerkrankungen sowie degenerative Myopathien und Muskeldystrophien.

### 4.2.4 Muskuläre Überlastung

Zahlreiche Erkrankungen und Mechanismen können zu einer chronischen muskulären Überlastung der Atempumpe führen. Dabei hängt es in Phasen des Weanings auch vom aktuellen Vermögen der Muskulatur selbst ab, eine zusätzliche Atemlast (Volumen oder Druck) zu tolerieren. Nicht selten ist eine im Behandlungsverlauf erworbene muskuläre Insuffizienz mit einer Erkrankung kombiniert, die für die Beatmung ursprünglich verantwortlich war und zu einer schädlichen Dauerbelastung oder Überlastung der Atempumpe geführt hat, wie z. B. eine COPD.

#### 4.2.4.1 Erkrankungen der Atemwege

Einer der häufigsten Gründe des Weaningversagens ist die Druckbelastung der Atempumpe infolge Obstruktion der Atemwege. Diese wird oft durch eine Lungenüberblähung aggraviert, die über eine Zwerchfellabflachung mit ungünstiger mechanischer Kraftentwicklung zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrads und damit zu höherem Sauerstoffbedarf und -verbrauch führt [39,40,62–63]. Typisches Beispiel ist die COPD. Eine derartige Situation kann sekundär verschlechtert werden durch den artifiziellen Atemweg, d. h. den Tubus oder die Trachealkanüle, die über eine Widerstandserhöhung zu einer zusätzlichen Atemlast erhöhen führen. Gleichartige Auswirkungen haben Sekretverlegungen und entzündliche oder tumoröse Stenierungen der Atemwege [64–67] sowie pathologische Veränderungen der oberen Atemwege nach Extubation/Dekanülierung.

#### 4.2.4.2 Thorakale Restriktion

Eine thorakale Restriktion führt zu einer reduzierten Compliance mit entsprechender Erhöhung der Atemarbeit. Häufigste passagere Ursachen sind ausgedehnte Pleuraergüsse. Des Weiteren kommen Krankheitsbilder wie die Skoliose oder ausgedehnte Pleuraschwarten nach Tuberkulose häufig in Frage [9].

### 4.3 Hypoxische Insuffizienz infolge Lungenparenchymerkrankung und kardio-pulmonale Wechselwirkungen

Interstitielle Flüssigkeitsvermehrung (akute oder chronische Lungenstauung, ARDS) oder eine Fibrosierung des Lungenparenchyms reduzieren neben der Gasaustauschfläche die Compliance der Lunge. Dies führt zur Belastung der Atempumpe [9,68–70]. Ebenso kann bei Oxygenierungsstörungen wie Atelektasen, entzündlichen Infiltraten etc. über den vermehrten ventilatorischen

Bedarf zur Aufrechterhaltung der Oxygenierung und durch die erhöhte Atemarbeit auf dem Boden der verminderten Lungencompliance ein hyperkapnisches Versagen auftreten. Dieses demaskiert sich häufig erst während der Spontanatmungsphasen im Weaning, während unter kontrollierter Beatmung durch Übernahme der Atemarbeit durch den Ventilator nur eine reine hypoxische Insuffizienz objektivierbar war.

Veränderungen des intrathorakalen Drucks unter Beatmung und im Weaning beeinflussen den Druckgradienten sowohl zwischen dem venösen Stromgebiet und dem rechten Herzen als auch zwischen linkem Ventrikel und der systemischen Zirkulation. Eine Erhöhung des intrathorakalen Drucks (unter Positiv-Druckbeatmung) führt zu einer Zunahme des rechtsatrialen Drucks und gleichzeitig zu einer Abnahme des linksventrikulären transmuralen Drucks. Als Folge nehmen der venöse Rückfluss zum rechten Herzen ab und der linksventrikuläre Auswurf zu. Über diese Vorlast- und Nachlastsenkung nimmt das intrathorakale Blutvolumen ab [71]. Im Gegensatz dazu verbessert eine Abnahme des intrathorakalen Drucks (zum Beispiel bei Inspiration unter Spontanatmung mit negativem Pleuradruck) den venösen Rückfluss zum rechten Herzen. Der linksventrikuläre transmurale Druckgradient nimmt dadurch jedoch zu, wodurch die Nachlast für den linken Ventrikel steigt. Gleichzeitig nimmt das intrathorakale Blutvolumen zu. Die hämodynamischen Effekte einer spontanen Atmung bzw. mechanischen Beatmung sind im Wesentlichen von der kardialen Pumpfunktion, aber auch vom aktuellen Volumenstatus des Patienten abhängig.

Bei Patienten mit eingeschränkter linksventrikulärer Pumpfunktion können die veränderten intrathorakalen Drücke unter beginnender Spontanatmung im Rahmen eines Weanings über eine Zunahme des venösen Rückstroms und des negativen Pleuradrucks eine relevante Vorlast-, aber auch Nachlastserhöhung des linken Ventrikels nach sich ziehen [71–72], die prinzipiell zu einer akuten Verschlechterung der kardialen Pumpleistung mit Vorwärts- und Rückwärtsversagen führen können. Dieses gilt insbesondere für Spontanatmungsphasen mit erhöhter Atemanstrengung und tiefen Atemexkursionen, die mit entsprechend hohen negativen inspiratorischen pleuralen Drücken assoziiert sind. Der Wechsel von einer kontrollierten Beatmung auf eine Spontanatmung kann bei reduzierter linksventrikulärer Pumpfunktion zu einer linksatrialen Druckerhöhung mit nachfolgender pulmonalvenöser Stauung, Verschlechterung des Gasaustausches und damit zu einer weiteren Zunahme der Atemarbeit führen.

Ein abrupter Wechsel zwischen kontrollierter Beatmung und Spontanatmung resultiert in einem deutlich erhöhten Sauerstoffbedarf (u. a. der Atemmuskulatur) und damit in einer erhöhten myokardialen Arbeitslast. Dieses ist insbesondere kritisch für Patienten mit koronarer Herzkrankheit. In dieser Situation kann sich die myokardiale Pumpleistung weiter verschlechtern.

Der höhere metabolische Bedarf an Sauerstoff im Rahmen der kardialen Dekompensation wird oft begleitet von einem kompensatorischen Herzfrequenz- und Blutdruckanstieg, was wiederum ein Weaningversagen begünstigt [70,73].

Eine Zunahme des pulmonal-vaskulären Widerstands, ggf. aggraviert durch eine begleitende hypoxische pulmonale Vasokonstriktion, kann einen Anstieg des rechtsventrikulären Afterload und eine Abnahme des Herzzeitvolumens zur Folge haben und so zu einem Missverhältnis von Sauerstofftransportbedarf und -kapazität führen. Im Rahmen der interventrikulären Dependenz kann über einen Septumshift nach links eine schlechtere linksventrikuläre Füllung, eine Abnahme des linksventrikulären

Schlagvolumens und damit des Sauerstoffangebotes für den Körper [74–75] resultieren.

Derartigen kardio-pulmonalen Wechselwirkungen [71–72, 74–75] und der interventrikulären Dependenz kommen im Weaning besondere Bedeutung zu. So können nicht nur die Auswirkungen vorbestehender pulmonaler Erkrankungen auf die kardiale Funktion, sondern auch die Auswirkungen kardialer Erkrankungen auf die Ventilation, die pulmonale Compliance und die Atemlast ein Weaningversagen begünstigen. Die bei Herzinsuffizienz erniedrigte pulmonale Compliance, der gestörte Gasaustausch und die sekundär erhöhte Atemarbeit erfordern über einen erhöhten Perfusions- und Sauerstoffbedarf der Atemmuskulatur eine Steigerung des Herzzeitvolumens, mit dem Risiko der weiteren kardialen Dekompensation. Eine Stress- oder septische Kardiomyopathie, aber auch allein ein erhöhter metabolischer Bedarf mit erhöhtem Grundumsatz bei entzündlich-septischen Krankheitsbildern können insbesondere bei vorbestehender kardialer Schädigung eine kardiale Dekompensation mit negativen Auswirkungen auf die Atemarbeit nach sich ziehen, sodass eine bislang stabile Weaningsituation dekompensiert. Eine umfassende kardio-pulmonale Differenzialdiagnostik ist deshalb obligat.

#### 4.4 Sauerstofftransport und -verbrauch

Der Transport des Sauerstoffmoleküls zum Mitochondrium kann auf mehreren Ebenen gestört sein. Einen wichtigen Punkt bei der Betrachtung der Sauerstoffaufnahme stellt die Reduktion der Lungenperfusion bei Herzinsuffizienz und bei Erkrankungen mit erhöhtem pulmonal-arteriellen Druck bzw. Widerstand (pulmonalarterielle Hypertonie, Lungenembolie) dar. Eine Rechtsverschiebung der Sauerstoffbindungskurve (z. B. bei Azidose) durch Änderung der 2,3 Diphosphoglycerat-Konzentration verbessert zwar die Sauerstoffabgabe im Kapillarnetz, bewirkt aber eine langsamere Sauerstoffaufnahme in der Lunge, sodass konsekutiv eine kompensatorische Erhöhung der Ventilation und zwangsläufig eine vermehrte Belastung der Atempumpe resultieren. Darüber hinaus bedingt jede Erhöhung des globalen Sauerstoffverbrauchs wie bei Fieber, permanenten, insbesondere bronchialen Infektionen mit fehlender Hustenclearance unter Beatmung, Schmerz, Tachykardie, aber auch bei inadäquater Katecholaminanwendung, zwangsläufig eine zusätzliche Belastung der Herz- und/oder Atempumpe. Das gilt besonders dann, wenn schon Einschränkungen von Sauerstoffaufnahme und -transport aufgrund einer Herzinsuffizienz vorbestehen [71].

Weiterhin führen zerebrale Unruhezustände neben einer unnötig hohen Muskelbelastung auch zu einer Steigerung der Ventilation und Belastung der Atempumpe mit erhöhtem Sauerstoffbedarf. Unzureichende Respiratoreinstellungen können nicht nur in dieser Situation, sondern grundsätzlich eine Aggravation zur Folge haben [76–77]. Sie führen über eine vermehrte Totraumventilation zu weiteren Gasaustauschstörungen und über unzureichende Gerätetriggerungen mit Patienten-Geräte-Asynchronizität zur dynamischen Lungenüberblähung z. B. bei COPD, Abnahme der pulmonalen Compliance und vermehrter Atemarbeit mit konsekutiv erhöhtem Sauerstoffverbrauch [78].

Neben einer Gastransport- und Gasaustauschstörung im Lungenparenchym kann auch ein Hämoglobinmangel ein entscheidender Faktor für das Weaningversagen sein. Eine Anämie führt kompensatorisch zu einer Belastung der Atem- und Herzpumpe. Bei Patienten mit belasteter Atempumpe konnte gezeigt werden, dass mit Korrektur der Anämie in gleichem Umfang die Atemarbeit sinkt [79–80].

#### 4.5 Weitere metabolische Aspekte

Alle Organe, einschließlich der Atemmuskulatur, haben eine metabolische Grundversorgung, deren Beeinträchtigung durch Stoffwechselstörungen (Hyper- und Hypothyreose, Nebenniereninsuffizienz), Elektrolytstörungen (Hyperkaliämie, Magnesium-, und Phosphatmangel) oder exogene endokrine Einflüsse wie eine Gukortikosteroidtherapie Funktionsstörungen zur Folge haben kann [9, 44]. Das Thema Ernährung wird ausführlich in Kapitel 5.7.3 (Verbesserung des Ernährungszustandes und Metabolismus) erörtert.

#### 4.6 Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten

Weaningversagen und folgend Respirator-Abhängigkeit aufgrund (neuro-)muskulärer Insuffizienz ist bei Kindern häufig Folge einer angeborenen (neuro-)muskulären Erkrankung oder einer syndromalen Erkrankung mit Muskelhypotonie evtl. mit Thoraxdeformität. Seltener sind angeborene oder erworbene Störungen des Atemzentrums wie beim Ondine-Syndrom oder bei zerebralen Erkrankungen z. B. nach einer perinatalen Asphyxie [81–84]. Störungen der Innervation finden sich bei hohen Rückenmarksverletzungen sowie angeborenen oder erworbenen Zwerchfellpareesen bzw. Recurrensparesen [85]. Erworbene Erkrankungen der Atempumpe wie durch Critical-Illness-Polyneuropathie oder erworbene Inaktivitätsatrophie der Atemmuskulatur verursachen bei Kindern selten ein Weaningversagen.

Muskuläre Überlastung der gesunden Atempumpe findet häufiger seine Ursache in einer Obstruktion der engen oder instabilen Atemwege des Kindes. Transiente Schwellung von Larynx und Trachealwand durch Intubationstrauma können Postextubationsstridor verursachen, was in bis zu 35% die Ursache für Extubationsversagen ist [83–84]. Langanhaltende Intubation kann fibrotische subglottische Stenosen hervorrufen. Hier ermöglicht oft erst die Tracheotomie das Weaning. Außerdem führen angeborene Fehlbildungen der Atemwege entweder mechanisch (z. B. kongenitale Larynxstenose) oder funktionell (Tracheomalazien) zu Weaningversagen und erfordern eine differenzierte Therapie [86–87].

Gasaustauschstörungen durch Lungenparenchymerkrankungen können zwar das Weaning verlängern [83–84], dauerhafte Respiratorabhängigkeit ist hier jedoch eher selten [81–82, 88]. Sie tritt v. a. nach Langzeitbeatmung aufgrund von Frühgeburtlichkeit (chronische Lungenerkrankung des Frühgeborenen) auf [81].

### 5 Strategien im Weaningprozess

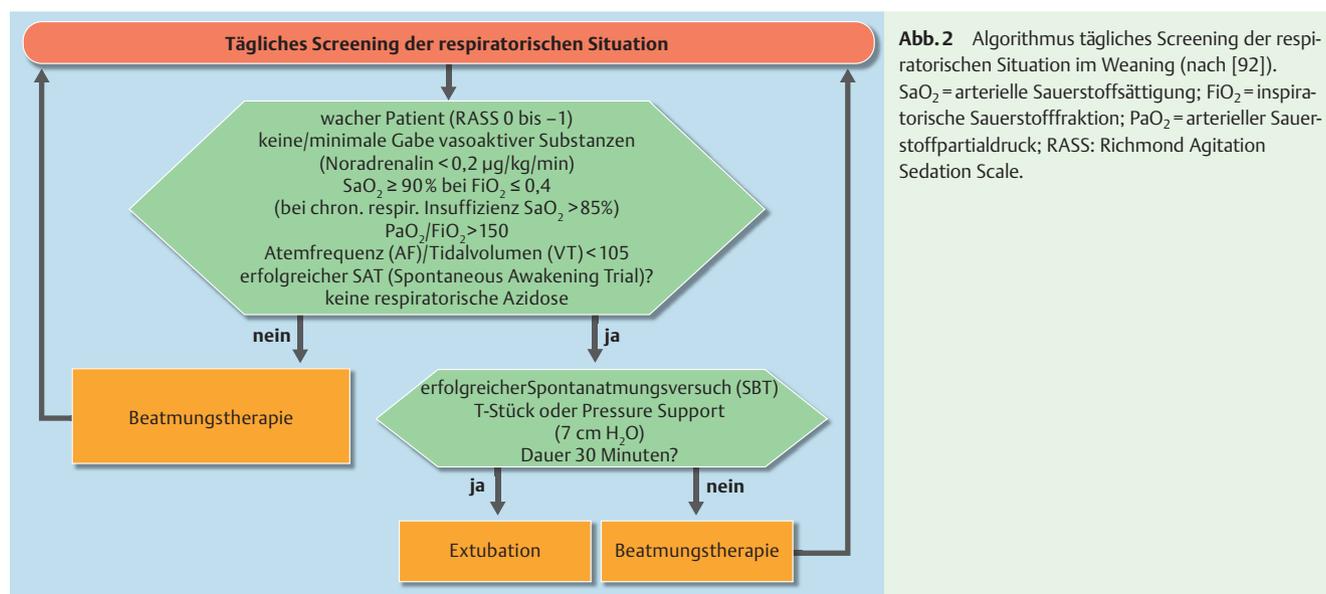


#### 5.1 Strategien zur Prävention des Weaningversagens bei Risikopatienten (Kategorie 1 und 2)

Prolongierte invasive Beatmung kann mit unterschiedlichen Komplikationen (Volu-, Baro-, Atelek- und Biotrauma, tracheale Schädigungen, infektiöse Komplikationen) assoziiert sein [4, 89]. Mit zunehmender Beatmungsdauer nimmt die Wahrscheinlichkeit einer Ventilator- oder Tubus-assoziierten Pneumonie zu, welche eine deutliche erhöhte Mortalität aufweist [90]. Prolongierte Beatmung ist aus diesen Gründen mit einer erhöhten Sterblichkeit verbunden [91]. Deswegen muss in jedem Fall einer invasiven Beatmung so früh wie möglich mit dem Weaning begonnen werden. Ein allgemeiner Weaningablauf, modifiziert für die Situation des prolongierten Weanings, ist in **Abb. 1** (s. Kapitel 3) dargestellt.

**Tab. 5** Kriterien für Bereitschaft zum Weaning (modifiziert nach [9]). AF = Atemfrequenz; VT = Tidalvolumen; PEEP = positiv endexpiratorischer Druck; HF = Herzfrequenz; RR = Blutdruck; RSBI = Rapid Shallow Breathing Index; FiO<sub>2</sub> = inspiratorische Sauerstofffraktion; SaO<sub>2</sub> = arterielle Sauerstoffsättigung

Klinische Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ausreichender Hustenstoß</li> <li>– keine exzessive Sekretion</li> <li>– Rückbildung der akuten Erkrankungsphase, die zur Intubation geführt hat</li> <li>– kein akuter Infekt</li> </ul>
Objektive Kriterien	<ul style="list-style-type: none"> <li>– klinische Stabilität               <ul style="list-style-type: none"> <li>– kardiovaskulär                   <ul style="list-style-type: none"> <li>– HF ≤ 140/min</li> <li>– RR syst. 90 – 160 mmHg (keine oder nur geringfügige Katecholamingaben, z. B. Noradrenalin &lt; 0,2 µg/kg/min)</li> </ul> </li> <li>– metabolisch (z. B. Ausschluss einer relevanten metabolischen Azidose, d. h. Base Exzess &lt; – 5 mval/l)</li> </ul> </li> <li>– adäquate Oxygenierung               <ul style="list-style-type: none"> <li>– SaO<sub>2</sub> ≥ 90 % bei FiO<sub>2</sub> ≤ 0,4 (bei Vorliegen einer chronischen respiratorischen Insuffizienz &gt; 85 %)</li> <li>– oder paO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> &gt; 150 mmHg</li> <li>– PEEP ≤ 8 cmH<sub>2</sub>O</li> </ul> </li> <li>– adäquate pulmonale Funktion               <ul style="list-style-type: none"> <li>– AF ≤ 35 /min</li> <li>– VT &gt; 5 ml/kg</li> <li>– AF/VT &lt; 105 (= RSBI)</li> <li>– keine signifikante respiratorische Azidose</li> </ul> </li> <li>– adäquate mentale Funktion               <ul style="list-style-type: none"> <li>– keine Sedierung oder adäquate Funktion unter Sedierung (RASS 0/-1)</li> </ul> </li> </ul>



Die Leitlinie hat das prolongierte Weaning (Patienten der Kategorie 3) zum Hauptthema. In diesem Abschnitt 5.1 liegt der Schwerpunkt der Strategien bei den Patienten der Kategorie 1 (einfaches Weaning) und 2 (schwieriges Weaning). Des Weiteren sind die im Folgenden beschriebenen Strategien für das Verständnis des Weaningprozesses grundlegend. Für die Patienten der Kategorie 3 (prolongiertes Weaning) gibt es wenig wissenschaftliche Daten. Im weiteren Verlauf des Textes wird auf die Unterschiede der drei unterschiedlichen Patientengruppen hinsichtlich der ausgesprochenen Empfehlungen besonderer Wert gelegt.

### 5.1.1 Beurteilung des Weaningpotenzials

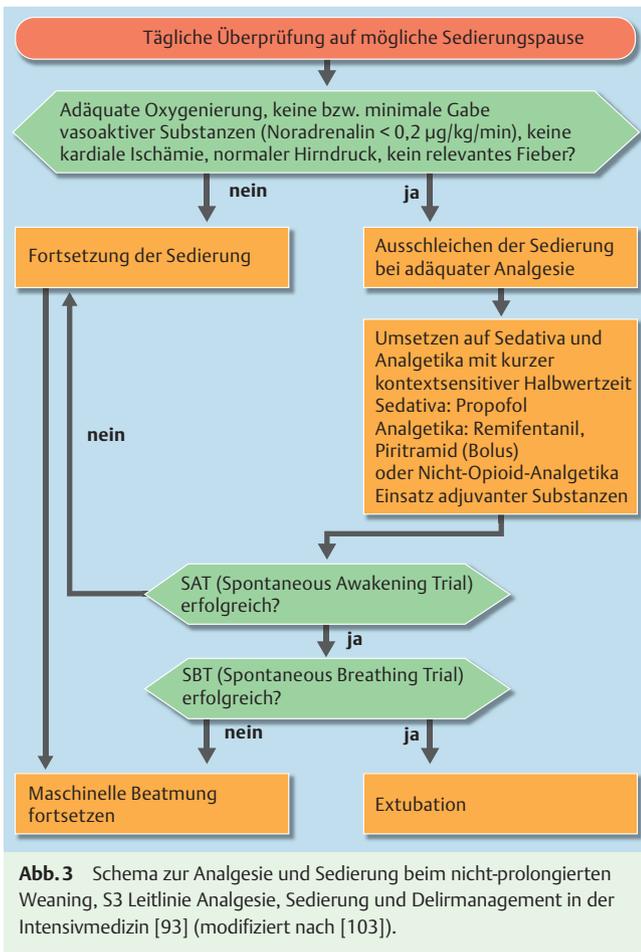
Als Grundvoraussetzung für ein erfolgreiches Weaning, unabhängig vom Beatmungszugang bei Patienten mit invasiver Beatmung, sollten die Kriterien der Weaningbereitschaft erfüllt sein (☛ Tab. 5). Die aufgeführten Parameter der ☛ Tab. 5 stellen nur Anhaltspunkte dar, im Einzelfall kann es durchaus zu Abweichungen kommen.

☛ Abb. 2 zeigt den Algorithmus zur Evaluation der Extubationsfähigkeit. Die adäquate Beurteilung der neurologischen und neurokognitiven Funktion sowie der Kooperationsfähigkeit des Patienten erfordert eine tägliche Pausierung der Sedierung (SAT, Spontaneous Awakening Trial = spontaner Aufwachversuch) in Kombination mit Durchführung eines Spontanatmungsversuchs (SBT).

Der Ablauf des Weanings ist grundsätzlich unabhängig vom Beatmungszugang (Maske, Tubus oder Trachealkanüle) in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt wird während der Beatmung die Weaningbereitschaft des beatmeten Patienten beurteilt. Im zweiten Abschnitt wird ein Spontanatmungsversuch (SBT) durchgeführt (s. ☛ Abb. 3). Diesem diagnostischen Test kommt eine entscheidende Bedeutung bei der Abschätzung einer erfolgreichen Extubation zu.

### 5.1.2 Sedierung und Sedierungsprotokolle

Eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Extubation bzw. Dekanülierung ist ein wacher und kooperationsfähiger Patient.



Invasive Beatmung, v. a. über Endotrachealtubus, benötigt eine adäquate Analgesie und Sedierung, die gemäß der aktuellen S3-Leitlinie Analgesie, Sedierung und Delirmanagement in der Intensivmedizin [93] mindestens alle acht Stunden dokumentiert werden sollte. Für den Sedierungsscore sollte eine Zielvorgabe formuliert und dokumentiert sein. Durch zu tiefe Sedierung wird allzu oft die Beatmung unnötig verlängert [94]. Es existieren

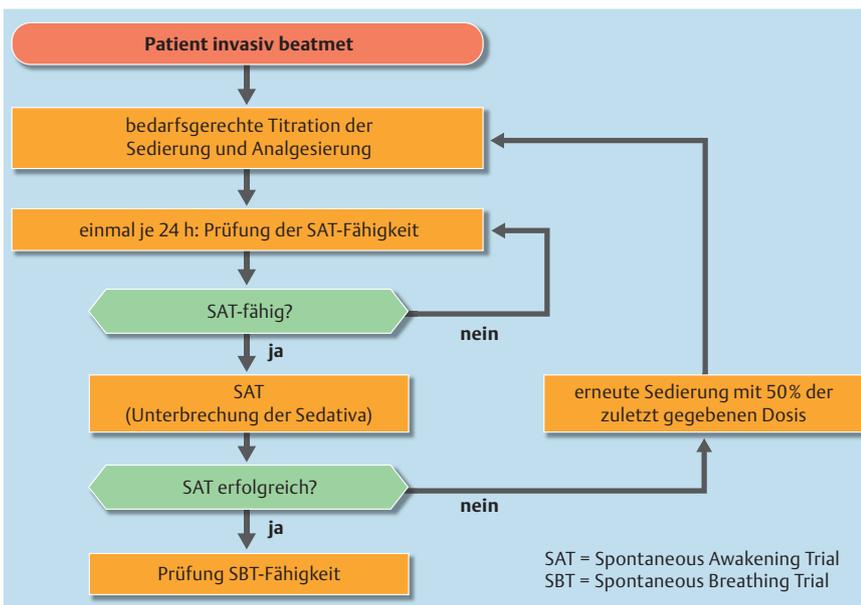
verschiedene gängige Score-Systeme, wie z. B. Ramsay Score [95], Riker Sedations-Agitations-Score [96] und Richmond Agitation Sedation Scale (RASS), die bei Intensivpatienten als validierter Goldstandard gilt [96–97].

Im Weaning sollte man dem validierten RASS den Vorzug geben (siehe [Abb. 2](#)) [98].

In Deutschland werden Sedierungs-Scores noch zu selten verwendet [99]. Neben der Sedierungstiefe sollte auch der Schmerz alle acht Stunden erfasst werden, z. B. mittels Visual Analogue Scale (VAS) oder Numeric oder Visual Rating Scale (NRS, VRS) bei wachen Patienten, bzw. anhand klinischer Symptome wie Mimik, Tachykardie, Schwitzen, Blutdruckverhalten, Atemfrequenz, Tränenfluss auch bei sedierten Patienten anhand von Scoringssystemen wie z. B. der Behaviour Pain Scale (BPS) für intubierte und nicht intubierte Patienten [100]. Verzögertes Aufwachen, prolongierte delirante Syndrome und Folgekomplikationen (z. B. Tubus assoziierte Pneumonie) führen zu einer prolongierten Beatmung. Mehrere Studien [101–103] konnten zeigen, dass durch Sedierungsprotokolle während der invasiven Beatmung eine signifikante Reduktion der Beatmungsdauer erreicht werden konnte. Kress [101] und Carson [102] zeigten dies durch tägliche Unterbrechung der Sedierung und sogenannte Aufwachphasen (Spontaneous Awakening Trial; SAT). Anhand eines Protokolls zur Sedierungstiefe lassen sich die Dauer der Beatmungszeit und der Aufenthalt auf der Intensivstation reduzieren [101, 104].

### 5.1.3 Tägliche Unterbrechung der Sedierung

Die morgendliche Unterbrechung der Sedierung (im Gegensatz zu kontinuierlicher Sedierung) im Sinne einer strikten Organisation der Sedierungsstrategie führt in Kombination mit einem SBT zu einer Verkürzung der Sedierungsdauer und damit zu einer Verkürzung der Dauer der maschinellen Ventilation, des Aufenthalts auf der Intensivstation und im Krankenhaus [103]. Auch wenn mehr Patienten sich selber extubierten, war hiervon die Rate der Re-Intubationen unbeeinflusst. Das wichtigste Ergebnis der Studie war aber, dass die strikte Kombination eines Sedierungsprotokolls mit einem Weaningprotokoll zu einer niedrigeren 1-Jahres-Mortalität führte. (siehe [Abb. 3](#) Schema zur Analgesie und Sedierung beim nicht prolongierten Weaning und [Abb. 4](#) Algorithmus für die Sedierungsunterbrechung).



**Abb. 4** Algorithmus zur Sedierungsunterbrechung (nach [93]).

**Empfehlung E1**

Die Sedierung bei invasiver Beatmung soll anhand von Sedierungs-Scores (z. B. RASS) gesteuert werden.

**Empfehlung E2**

Eine tägliche Unterbrechung der Sedierung mit einem Aufwachversuch (SAT) soll durchgeführt werden, um möglichst frühzeitig Patienten zu identifizieren, die einem Spontanatmungsversuch (SBT) zugeführt werden können.

**5.1.4 Auswahl der Sedativa**

Beim Weaning sollte bereits frühzeitig bei der Auswahl der Sedativa auf deren Wirkungs- und auch Nebenwirkungsprofil geachtet werden. Die Sedierung kritisch kranker und beatmeter Patienten erfolgt zum gegenwärtigen Zeitpunkt auf unterschiedlichste Art und Weise. Es gibt nicht das eine ideale Medikament zur Sedierung. Ebenso wenig gibt es ein allumfassendes Sedierungskonzept. Ein ideales Sedativum müsste folgenden Anforderungen genügen [105]:

- ▶ effektive Sedierung mit schnellem Wirkungseintritt und kurzer Wirkdauer
- ▶ keine Akkumulation des Wirkstoffs oder aktiver Metabolite
- ▶ einfache Anwendung und Titration möglich
- ▶ keine schwerwiegende kardiopulmonale Depression
- ▶ Metabolisierung durch Organinsuffizienzen nicht beeinträchtigt
- ▶ keine Toleranz- und Suchtentwicklung

Bei langzeitbeatmeten Patienten werden die Metabolisierung wie die Elimination der Sedativa durch Zusatzfaktoren (gestörte Leber- oder Nierenfunktion) beeinflusst. Bei älteren Patienten ist die Wirkdauer häufig verlängert oder es können paradoxe Wirkungen beobachtet werden. Im europäischen Raum werden vorrangig Midazolam und Propofol eingesetzt [106]. Hauptkriterium für die Bevorzugung von Midazolam und Propofol ist deren im Vergleich zu Lorazepam deutlich kürzere Halbwertszeit [107]. Allerdings ist für Benzodiazepine gezeigt worden, dass sie die Entwicklung eines Delirs begünstigen. Sie sollten daher mit Zurückhaltung eingesetzt werden. Bei der Verwendung von Propofol über 48 Stunden hinaus sollte auf eine Dosisbegrenzung (<4 mg/kg KG/h) geachtet werden, um die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines Propofolinfusionssyndroms möglichst gering zu halten [108]. Insbesondere Kinder und Jugendliche unter 16 Jahren sind von der Entwicklung eines Propofolinfusionssyndroms betroffen. Daher ist die Langzeitsedierung von Kindern und Jugendlichen unter 16 Jahren mit Propofol nicht zugelassen [109]. In der prolongierten Weaningphase sind oft individuell auf den einzelnen Patienten ausgerichtete Sedierungskonzepte notwendig. Häufig werden bei Reduktion der Sedierung bei Langzeitbeatmung Entzugssyndrome unterschiedlichen Schweregrades beobachtet [110]. In dieser Phase soll bei der Auswahl der Sedativa das Konzept des Rezeptorwechsels (Wechsel der Substanzen mit unterschiedlichem Wirkungsmuster) bzw. der Medikamentenpause zur Resensibilisierung der Rezeptoren beachtet werden. Die symptomatische medikamentöse Therapie bei Entzugssyndromen ist in **Tab. 6** dargestellt.

Oft werden gemischte Symptomkomplexe beobachtet, aus denen sich dann die Medikamente zur Behandlung des Entzugssyndroms wie der Sedierung ergeben.

**Tab. 6** Grundzüge der medikamentösen antipsychotischen und anxiolytischen Therapie (nach [100]).

Symptom	Empfohlene Wirkstoffgruppe
Agitation	langwirksame Benzodiazepine (z. B. Lorazepam), nachts Propofol
Hyperaktivität des Sympathikus	Clonidin, $\beta$ -Blocker
psychotische Symptome	Haloperidol oder Risperidon [111]

**Empfehlung E3**

Bei einer zu erwartenden Sedierungsdauer bis zu sieben Tagen sollte bevorzugt Propofol eingesetzt werden. Für eine Sedierungsdauer länger als sieben Tage kann Midazolam verwendet werden. Propofol weist bei der Langzeitsedierung keinen Vorteil bezüglich der Dauer des Weanings vom Respirator gegenüber Midazolam auf. Der Einsatz von Propofol zur Langzeitsedierung ist bei Kindern und Jugendlichen unter 16 Jahren nicht zugelassen.

**Empfehlung E4**

Bei Agitation und Angstzuständen sind langwirksame Benzodiazepine indiziert. Bei sympathikotoner Hyperaktivität können Clonidin und  $\beta$ -Blocker empfohlen werden. Bei psychotischen Zuständen sind hochpotente Neuroleptika Mittel der ersten Wahl.

**5.1.5 Spontanatmungsversuch (Spontaneous Breathing Trial; SBT)**

Der Spontanatmungsversuch soll in Verbindung mit einem Aufwachversuch durchgeführt werden (siehe 5.1.3). Sind die Kriterien für die Weaningbereitschaft erfüllt (siehe **Tab. 5**), wird bei dem Patienten ein Aufwachversuch (Spontaneous Awakening Trial; SAT) durchgeführt. Dieser hat das Ziel, den Patienten wach werden zu lassen, ohne dass Zeichen für Stress oder respiratorische Erschöpfung entstehen. Ein Kriterium für die Wachheit des Patienten ist das Öffnen der Augen auf verbale Stimuli. Der SAT wird als erfolgreich bezeichnet, wenn der Patient nach Reduktion der Sedierung 30 min ohne Stress weiter beatmet werden kann. Wenn dies der Fall ist, kann ein Spontanatmungsversuch durchgeführt werden (siehe **Abb. 2**).

Beim Spontanatmungsversuch entscheiden die ersten 30 Minuten über Erfolg oder Scheitern [112–113]. Der prädiktive Wert für eine erfolgreiche Extubation ist bei einem SBT von 30 Minuten gleich dem eines SBT von 120 Minuten [112, 114]. Der positive Vorhersagewert für eine erfolgreiche Extubation nach erfolgreichem SBT liegt über 80% und ist in mehreren großen Studien belegt [7, 25, 112, 115–116], vorausgesetzt es bestehen keine anderen Kontraindikationen für eine erfolgreiche Extubation. Hier können neurologischer Status [117] oder ausgeprägte bronchiale Sekretvermehrung und Atemwegobstruktion [115] Argumente gegen eine Extubation trotz erfolgreichem SBT darstellen. Im prolongierten Weaning kann auch bei Patienten mit eingeschränkter Vigilanz und Kognition (formal: nicht erfolgreicher SAT) ein Spontanatmungsversuch durchgeführt werden, wenn es die klinische Situation des Patienten zulässt. In diesem Zusammenhang sei auf den Unterschied der Spontanatmungsphasen im einfachen und prolongierten Weaning hingewiesen: Im einfachen Weaning ist der SBT ein diagnostischer Test zur Beurteilbar-

keit der Extubationsfähigkeit, im prolongierten Weaning hingegen dienen die Spontanatmungsphasen (ggf. über viele Stunden) im Wechsel mit Beatmungsphasen der Rekonditionierung der Atempumpe [118, 119].

#### Empfehlung E5

Bei vorhandener Weaningbereitschaft soll möglichst frühzeitig ein Spontanatmungsversuch durchgeführt werden.

Mehrere Studien haben die Methodik der Durchführung des Spontanatmungsversuchs untersucht: Im Vergleich zwischen T-Stückversuch und Pressure Support mit niedrigen Drücken (7 cm H<sub>2</sub>O [8]; 8 cm H<sub>2</sub>O [120] oder CPAP [121]) ergab sich in den zitierten Studien kein Unterschied in Bezug auf erfolgreichen SBT und erfolgreiche Extubation nach SBT. Für einige Patienten stellt bei der Durchführung des Spontanatmungsversuchs die respiratorische Last, die durch den Tubus verursacht wird, ein Problem dar. Eine automatische Tubus-Kompensation (ATC) kann diese Last ausgleichen. In zwei Studien [122–123] bei Patienten im einfachen Weaning wurde ATC bei der Durchführung eines Spontanatmungsversuchs mit PSV bzw. PSV und T-Stück verglichen. In beiden Studien ergab sich kein Unterschied im Vergleich der untersuchten Methoden.

Für die Beurteilung des Spontanatmungsversuchs sind als Parameter die Atemfrequenz und der Quotient aus Atemfrequenz und Tidalvolumen (Rapid Shallow Breathing Index; RSBI [113]) ausreichend, der am Ende des SBT erhoben werden sollte. Hierbei soll die Atemfrequenz nicht über 35/min liegen und der RSBI nicht über 105/min/L. Scheitert der Spontanatmungsversuch, wird die Beatmung fortgesetzt. Es sollte die Ursache des Scheiterns des SBT analysiert werden, um Probleme, die zu beheben sind, zu erkennen und zu beseitigen. Die Beatmungsstrategien nach Scheitern des Spontanatmungsversuchs werden im Kapitel 5.2 beschrieben. Ein erneuter SBT sollte möglichst täglich durchgeführt werden, um den frühest möglichen Zeitpunkt zur Extubation nicht zu verpassen.

#### Empfehlung E6

Der RSBI sollte am Ende des SBT zur Beurteilung der muskulären Erschöpfung bestimmt werden.

### 5.1.6 Messung des Peak Expiratory Flow bei Patienten mit Tubus oder Trachealkanüle

Für Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen ist neben dem erfolgreichen SBT die Fähigkeit, Sekret nach der Extubation abzuhusten, für ein erfolgreiches Weaning von entscheidender Bedeutung. Nach Extubation bzw. Dekanülierung, d. h. bei spontan atmenden Patienten, ist die Messung des Peak Cough Flows (PCF) prädiktiv für das Risiko einer Sekretverlegung der unteren Atemwege – mehrere Arbeiten von J. Bach haben eine Korrelation von einem PCF  $\leq$  160 l/min und einer schlechten Prognose, v. a. bei Patienten mit ALS berichtet [124], d. h. ein schwacher Hustenstoß ist mit einer schlechten Prognose verbunden.

Bei intubierten bzw. tracheotomierten Patienten kann ein PCF nicht gemessen werden, da die Glottisfunktion für den intrathorakalen Druckaufbau beim Husten fehlt und der Fremdkörper Tubus oder Kanüle einen effektiven Hustenstoß behindert. Hier konnten einige Arbeiten [125, 126] in Analogie zum PCF bei Spontanatmung einen Peak Expiratory Flow (PEF), mit einem Inline-Peakflowmeter am Tubus gemessen, von kleiner 60 l/min

bzw. 35 l/min als Prädiktor für ein Scheitern einer Extubation identifizieren. Bei der Durchführung eines entsprechenden intensiven physiotherapeutischen Sekretmanagements in der Post-extubationsphase können auch neuromuskuläre Patienten mit niedrigerem PEF erfolgreich extubiert und dann meist auf nicht-invasive Beatmung umgestellt werden.

#### Empfehlung E7

Der Peak Expiratory Flow soll vor Extubation/Dekanülierung vor allem bei neuromuskulärer Beeinträchtigung gemessen werden. Bei Werten  $\leq$  60 l/min muss nach Extubation oder Dekanülierung ein intensives nicht-invasives Sekretmanagement durchgeführt werden.

### 5.1.7 Cuff-Leak-Test

Haben beatmete Patienten einen SBT erfolgreich abgeschlossen, kann nach der Extubation als Komplikation ein Post-Extubations-Stridor auftreten. Zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit dieser Komplikation (laut Literatur Häufigkeit zwischen 2 und 16% [127]) kann ein Cuff-Leak-Test (Messen der Luftleckage nach Entblocken des Endotrachealtubus) vor der geplanten Extubation [127, 128] durchgeführt werden, um die zu erwartende Obstruktion nach der Extubation abschätzen zu können [127–130]. Hierbei wird zunächst bei geblocktem Cuff im assistiert kontrollierten Modus das expiratorische Tidalvolumen bestimmt. Die Messung wird mit entblocktem Cuff wiederholt – erwartet wird ein deutlich niedrigeres expiratorisches Volumen aufgrund von Leckage. Eine geringe Differenz zwischen den beiden Volumina (Cuff-Leak-Volumen)  $<$  130 ml kann Patienten mit Post-Extubations-Stridor identifizieren [128]. Eine kürzlich durchgeführte Metaanalyse [111] von neun Studien zur Durchführung des Cuff-Leak-Tests zur Beurteilung der oberen Atemwegsobstruktion ergab eine durchschnittliche Sensitivität des Tests von 0,63 und eine Spezifität von 0,86. Patienten mit Obesitas-Hypoventilations-Syndrom und schlafbezogener Atmungsstörung weisen eine vom Schlafstadium und von der Körperlage abhängige dynamische Obstruktion der oberen Atemwege auf. Der Cuff-Leak-Test kann daher besonders bei dieser Personengruppe falsch negativ sein.

#### Empfehlung E8

Ein Cuff-Leak-Test soll zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit eines Post-Extubations-Stridors vor einer Extubation durchgeführt werden.

### 5.1.8 Weaningprotokolle

Standardisierte Protokolle zum Weaning von der Beatmung können im Weaningprozess hilfreich sein. Diese Protokolle sind vor allem für das einfache Weaning, d. h. die Planung der Extubation nach kurzzeitiger Beatmung entwickelt worden. Einer der wesentlichen Aspekte ist hierbei die Identifikation des frühest möglichen Zeitpunktes zum Weaning. Hierfür spricht einmal die durch mehrfache Studien belegte Beobachtung, dass ca. 70–80% aller  $>$  24 h beatmeten Patienten schon beim ersten Weaningversuch erfolgreich von der Beatmung entwöhnt werden können [9]. Das impliziert, dass viele dieser Patienten schon früher hätten entwöhnt werden können. Diese Annahme wird unterstützt durch die Beobachtung, dass nur ca. 50% der Patienten nach einer nicht geplanten Selbstextubation erneut beatmet werden müssen [131].

In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass eine solche Protokoll-basierte Standardisierung des Weaningprozesses sowohl zu einer Verkürzung der maschinellen Beatmungsdauer als auch zu einer Erhöhung des Anteils erfolgreich entwöhnter Patienten führen kann [132,133]. Ebenso konnte gezeigt werden, dass bei klinisch als nicht entwöhnbar eingeschätzten Patienten die Verlegung in eine Institution, in der ein Weaningprotokoll befolgt wurde, bei einem Drittel der Patienten zu einem sofortigen, erfolgreichen Weaning von der Beatmung führte [134]. Kritisch muss allerdings angemerkt werden, dass Protokolle in Institutionen, in denen sehr gute Organisationsformen wie z.B. strukturierte Visiten und maximale Personalausstattung umgesetzt sind, keinen weiteren Vorteil brachten [135]. Bei Traumapatienten konnte durch Weaningprotokolle eine Reduktion der Komplikationen maschineller Ventilation wie der nosokomialen Pneumonie beobachtet werden, die mit einer Abnahme der Mortalität assoziiert war [136]. Wichtiger Bestandteil von Weaningprotokollen ist die Wachheit eines Patienten, wenn er einen SBT bestreiten soll. Hier kommt es zu Synergien von Sedierungs- und Weaningprotokollen. Eine Untersuchung hierzu hat gezeigt, dass eine strikte Organisation der Sedierungsstrategie mit täglichem Aufwachversuch vor dem Weaningversuch zu einer Verkürzung der Sedierungsdauer und damit der Dauer der maschinellen Beatmung, dem Aufenthalt auf der Intensivstation und im Krankenhaus führte. Das wichtigste Ergebnis der Studie war aber, dass die strikte Kombination eines Sedierungsprotokolls mit dem Weaningprotokoll zu einer niedrigeren 1-Jahres-Mortalität führte [103]. Auch wenn die genauen Mechanismen dieses Überlebensunterschiedes diskutiert werden, lässt sich hieraus eine klare Empfehlung zur Durchführung des Vorgehens ableiten [100]. Diese Daten belegen auf eindrückliche Weise, wie unterschiedliche Organisationsformen tatsächlich die medizinischen Ergebnisse beeinflussen können.

#### Empfehlung E9

Bei Patienten der Kategorie 1 und 2 (einfaches und schwieriges Weaning) sollte eine Protokoll-basierte Standardisierung des Weaningprozesses von Beatmung und Analgosedierung etabliert werden. Dazu können einfach gehaltene Weaningprotokolle zur Sedierungstiefe mit Aufwachversuch und Spontanatmungsversuch sowie Extubationskriterien eingesetzt werden.

## 5.2 Beatmungsformen im Weaning

In der Beatmungsmedizin stehen heutzutage eine Vielzahl verschiedener Beatmungsmodi zur Verfügung, die zum Teil auch im prolongierten Weaning eingesetzt werden. Hierbei lassen sich grundsätzlich kontrollierte und assistierte Beatmungsformen unterscheiden, obschon die Übergänge fließend sind.

### 5.2.1 Kontrollierte Beatmung

Kontrollierte Beatmung bedeutet, dass die vom Beatmungsgerät kommende Druck- (Pressure Controlled Ventilation; PCV) bzw. Volumenunterstützung (Volume Controlled Ventilation; VCV oder kurz nur Controlled Ventilation; CV) durch die Einstellung am Beatmungsgerät kontrolliert wird und der Patient keinen Einfluss auf diese feste Vorgabe nehmen kann.

Kontrollierte Beatmung führt beim sedierten und oft auch muskelrelaxierten Patienten zu einer Übernahme der gesamten Atemarbeit durch den Ventilator. Ist der Patient nicht relaxiert und nur oberflächlich sediert oder sogar wach, wird auch bei die-

sen Beatmungsformen nicht zwingend die gesamte Atemarbeit vom Beatmungsgerät übernommen. Insbesondere wenn keine Synchronität zwischen Ventilator und Patient vorliegt, kann dies zu einer erheblichen atemmuskulären Arbeit des Patienten führen. Eine verbesserte Synchronisierung kann durch Implementierung eines inspiratorischen Triggers für den Patienten wie bei assistierten Beatmungsverfahren erreicht werden. Assistiert-kontrollierte Beatmungsmodi (Assist Control Ventilation; ACV oder Assisted Pressure Controlled Ventilation; APCV) können zu einem hohen Grad der atemmuskulären Entlastung führen, insbesondere wenn die Hintergrundfrequenz oberhalb der Atemfrequenz des Patienten liegt und dieser dann formal kontrolliert beatmet wird.

Generell ist eine muskelentlastende Beatmung, die eine Erholung der Atemmuskulatur ermöglicht, vom pathophysiologischen Standpunkt her im prolongierten Weaning zwischen den Spontanatmungsphasen sinnvoll [137]. Allerdings kann eine kontrollierte bzw. vollentlastende Beatmung auch zu strukturellen Schäden der Atemmuskulatur führen [138,139]. Dieser induzierte Muskelschaden (Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction; VIDD) wurde zunächst im Tierexperiment nachgewiesen [140], konnte in der Folge aber in der Akutphase von Erkrankungen auch für den Menschen bestätigt werden [141,144]. Schon eine Beatmungsdauer von 18–69 Stunden (mittlere Beatmungsdauer  $34 \pm 16$  Stunden) führt zu einer signifikanten Atrophie der Zwerchfellmuskulatur [141]. Die Kraftabnahme des Zwerchfells und die Atrophie korrelieren mit der Dauer der Beatmung [145] möglicherweise in einer logarithmischen Funktion, bei der die Kraftabnahme in den ersten Beatmungsstunden bzw. Tagen am stärksten ausgeprägt ist [146].

Neben der Dauer der Beatmung scheint der Grad der Entlastung für die Entstehung des Zwerchfellschadens von entscheidender Bedeutung zu sein, wie eine vergleichende Studie zwischen assistierter und kontrollierter Beatmung im Tierexperiment zeigen konnte [147]. In dieser Studie war als Zeichen der Muskelatrophie ein für die Apoptose verantwortliches Gen in der kontrollierten Beatmungsgruppe auf 174% des Ausgangswertes erhöht. Neben der Muskelatrophie werden als weitere mögliche Ursachen einer VIDD oxidativer Stress, ein Strukturschaden der Muskeln sowie Änderungen des Muskelfaseraufbaus diskutiert [61]. Eine längerfristige vollständige Entlastung führt zu einer Atrophie der Atemmuskulatur [141] und erscheint daher im Weaning nicht sinnvoll. Zur Beurteilung der atemmuskulären Kraft und Ausdauer stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Die Messung der maximalen in- und expiratorischen Drücke sowie der Vitalkapazität am spontan über den künstlichen Atemweg atmenden Patienten erfordern die Kooperation des Patienten und sind prädiktiv für die Dauer bis zum erfolgreichen Weaning [148]. Unter den dynamischen bildgebenden Verfahren wurde die Beurteilung der Zwerchfellbeweglichkeit im M-mode Ultraschall untersucht. Eine im Ultraschall nachgewiesene Minderbeweglichkeit ist dabei kennzeichnend für eine längere Weaningdauer [149]. Ein invasives und sehr aufwendiges Verfahren ist die magnetische Stimulation des Nervus Phrenicus bei gleichzeitiger Messung der Ösophagusdrücke mittels eines Katheters [150]. Diese Untersuchung ist unabhängig von der Mitarbeit des Patienten, jedoch abhängig von der Erfahrung des Untersuchers. Darüber hinaus ist das Verfahren selten verfügbar und nicht bei allen Patienten durchführbar.

**Empfehlung E10**

Zwischen den Spontanatmungsphasen im Weaning soll die Atemmuskulatur ausreichend entlastet werden, um sich regenerieren zu können.

**Empfehlung E11**

Eine dauerhafte vollentlastende Beatmung sollte vermieden werden.

**5.2.2 Assistierte Beatmungsverfahren**

Assistiert bedeutet, dass die Inspiration des Patienten die Beatmungsunterstützung am Ventilator auslöst. Dies wird über den Inspirationstrigger gewährleistet. Je nach Beatmungsform kann der Patient auch das Ende der Atemzugunterstützung durch einen Expirationstrigger steuern.

**5.2.2.1 Druckunterstützte Beatmung (PSV)**

Der am häufigsten eingesetzte assistierte Beatmungsmodus ist die druckunterstützte Beatmung (Pressure Support Ventilation; PSV). Hierbei kann der Patient durch In- und Expirationstrigger den Atemrhythmus selber steuern. Die Höhe der Druckunterstützung während der Inspirationsphase ist konstant und damit unabhängig vom Atemantrieb des Patienten; in der Expirationsphase reduziert sich der Atemwegsdruck auf Null bzw. auf ein vorgewähltes PEEP-Niveau. PSV verringert die Atemarbeit, den Sauerstoffverbrauch der Atemmuskeln und verhindert die Zwerchfellermüdung [151–152].

**5.2.2.2 Proportional Assist Ventilation (PAV)**

Bei dieser assistierten Beatmungsform misst der Respirator als Maß der Atemanstrengung den aktuellen Fluss und berechnet unter Kenntnis von Elastance und Resistance sowie der aktuellen Respiratorleistung die Atemanstrengung ( $P_{mus}$ ) des Patienten. Der Grad der Kompensation (Entlastung der Atemarbeit) lässt sich dann in Prozent einstellen. Derzeit gibt es noch keine Studien, die das Weaning-Outcome dieser Beatmungsform mit dem anderer Beatmungsformen vergleichen. Die vorliegenden Daten zeigen eine Reduktion der Atemarbeit bei Weaningpatienten mit zu Grunde liegender COPD [153]. Die Entlastung war jedoch effektiver und der intrinsische PEEP reduzierte sich stärker, wenn PAV mit einem positiven Expirationsdruck ergänzt wurde. In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass bei experimenteller Zunahme der thorakalen und abdominellen Restriktion die Unterstützung mit PAV effektiver ist als unter PSV, da sich PAV proportional zur Atemanstrengung des Patienten verhält [154]. Die Be- bzw. Entlastung unter PAV ist daher insgesamt homogener als unter PSV.

Veränderungen von Resistance und/oder Compliance während der Beatmung, die bei der Einstellung des Gerätes nicht berücksichtigt werden, können zum sogenannten „run-away Phänomen“ führen, einer Über- oder Unterassistenz der Beatmung. Dieses Problem wird bei der neueren PAV+Beatmung (PAV with adjustable gain factors) [155, 156] durch kontinuierliche Messung von Resistance und Compliance umgangen.

Derzeit gibt es keine Studiendaten, die einen Vorteil von PAV bei Patienten im prolongierten Weaning aufzeigen. Eine Empfehlung für den Einsatz von PAV kann deshalb nicht ausgesprochen werden.

**5.2.3 Kombinierte Beatmungsverfahren****5.2.3.1 Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation (SIMV)**

Hier kann der Patient zwischen den zeitgesteuerten Atemzügen zusätzliche Atemzüge triggern. Der schnelle Wechsel von unterstützten und nicht unterstützten Atemzügen während der SIMV kann anscheinend vom Atemzentrum nicht in gleicher Geschwindigkeit beantwortet werden [157]. Das führt dazu, dass die Atemmuskulatur auch während der unterstützten Atemzüge aktiv ist, was zu einer Überlastung und Ermüdung der Atemmuskulatur führt [158].

**5.2.3.2 Adaptive Support Ventilation (ASV)**

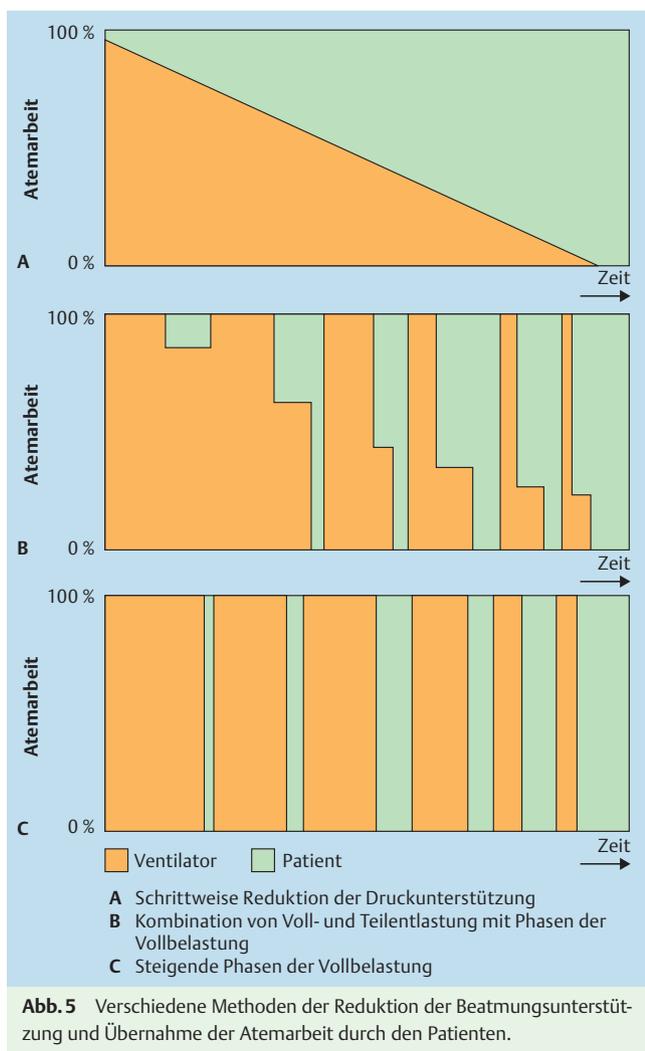
Bei diesem Beatmungsverfahren handelt es sich um eine Kombination von druckkontrollierter SIMV und PSV. Vom Anwender einzugeben sind die gewünschte alveoläre Ventilation ( $V_A$ ), der PEEP sowie die  $FiO_2$ . Den Grad der Druckunterstützung sowie die Frequenz der mandatorischen Atemzüge ermittelt das System selber. Das System unterstützt die Spontanatmung und regelt den Support entsprechend um das vorgegebene  $V_A$  zu erreichen. Alle zu dieser Beatmungsform publizierten Studien wurden bei Patienten im einfachen Weaning (Gruppe 1) durchgeführt. Von vier randomisierten Studien [159–162] konnten zwei Studien [159–160] eine schnellere Extubation unter Verwendung von ASV erzielen. Der Zeitvorteil lag dabei bei vier Stunden [160] bzw. bei weniger als einer Stunde [159], somit bei einem klinisch eher nicht relevanten Zeitraum. Die beiden anderen Studien [161–162] zeigten lediglich eine Verringerung der erforderlichen Manipulationen an Patient und Beatmungsgerät. Des Weiteren gibt es Hinweise für eine mögliche bessere Entlastung der Atemmuskulatur unter ASV [163].

Insgesamt gibt es keine Daten zur Anwendung im prolongierten Weaning oder aber Vergleichsstudien zu etablierten Weaningansätzen [164, 36], sodass derzeit der Einsatz dieses Verfahrens im prolongierten Weaning nicht empfohlen werden kann.

**5.3 Konzepte des Weanings von der Beatmung unter Verwendung der verschiedenen Beatmungsformen**

Ziel des Weaningprozesses ist es, die Atemmuskulatur wieder in den Zustand zu versetzen, die Atemlast eigenständig zu bewältigen. Die Verringerung der Last wird hauptsächlich durch die effektive Therapie der Erkrankung/Begleiterkrankungen erreicht, die zum Weaningversagen geführt haben. Die Wiederherstellung der atemmuskulären Kapazität ist der zweite wichtige Bestandteil des Weaningprozesses.

Das Training der Atemmuskulatur bzw. die graduelle Übernahme der Atemarbeit durch den Patienten kann durch kontinuierliche Reduktion der Unterstützung mit Hilfe assistierter Beatmungsformen oder durch intermittierende Spontanatmung (komplette Eigenatmung ohne Unterstützung durch ein Beatmungsgerät) erfolgen [165]. Diese Verfahren lassen sich auch kombinieren (Phasen der kontrollierten Beatmung im Wechsel mit vollständiger Entlastung und Phasen der assistierten Beatmung) und in ein individualisiertes Weaningkonzept einbinden (s. **Abb. 5**). Prinzipiell kann in den Spontanatmungsphasen zusätzlich ein inspiratorisches Muskeltraining durchgeführt werden [166], um die atemmuskuläre Kapazität aufzubauen. Hierzu gibt es mittlerweile eine positive kontrollierte Studie, die aber SIMV als Beatmungsmodus verwendet hat [167].



### 5.3.1 Graduelle Reduktion der Unterstützung

Die graduelle Reduktion der Unterstützung wird in der Regel im PSV-Modus durchgeführt. Das erforderliche Druckniveau wird nach klinischen Kriterien so titriert, dass sich die Atemfrequenz des Patienten in einem Bereich unterhalb von 25–30 Atemzügen pro Minute bewegt. [36, 164, 168]. Im Weiteren wird die inspiratorische Druckunterstützung stufenweise solange reduziert, bis ein Niveau erreicht ist, bei dem der künstliche Atemweg entfernt werden kann (in der Regel <math>8\text{ cmH}\_2\text{O}</math>) [169]. Gegebenenfalls wird im Anschluss eine nicht-invasive Beatmung erforderlich (siehe Kapitel 5.6). Bei der Beatmung mit PSV ist zu beachten, dass ein zu sensibler Expirationstrigger die Atemarbeit erhöhen kann. Auf der anderen Seite kann aber bei Patienten mit obstruktiven Atemwegserkrankungen ein zu unsensibel eingestellter Expirationstrigger zum Aufbau eines intrinsischen PEEP führen, was die Patienten-Ventilator-Synchronität negativ beeinflusst [77, 170]. Der Grad der Atemarbeitsreduktion kann bei identischer Respiратор-Einstellung gerätespezifisch erheblich differieren [171].

### 5.3.2 Automatisierte Anpassung der assistierten Beatmung (Automatisiertes Weaning)

Hierbei sind in einem geschlossenen Regelkreislauf (computerisiertes System [172–173]) Algorithmen hinterlegt, die darauf abzielen, bestimmte Beatmungsparameter durch Regelung der Druckunterstützung (im PSV-Modus) innerhalb eines Zielkorridors zu halten (Atemfrequenz 12–28 Züge/Minute, VT oberhalb

von 300 ml bzw. 250 ml bei einem Körpergewicht kleiner 50 kg und  $\text{PETCO}_2$  kleiner 55 mmHg bzw. 65 mmHg bei COPD-Patienten). In einer Untersuchung an stark vorselektierten Patienten war dieser Beatmungsmodus häufiger in der Lage, die Atmungsparameter des Patienten im Zielkorridor zu halten, als dies unter Standardtherapie mit PSV der Fall war [172]. In einer randomisierten multizentrischen Studie bei Weaningpatienten wurde dieser automatisierte Weaningmodus mit einem standardisierten Weaningprotokoll mit Spontanatmungsphasen verglichen. Es zeigte sich eine Reduktion der Weaningzeit von fünf auf drei Tage und eine Reduktion der gesamten Beatmungszeit von 12 auf 7,5 Tage [173]. Die Patienten gehörten bei Einschluss in die Studie zu den Weaning-Kategorien 1 und 2 (siehe Kapitel 3), insgesamt wurden nur 15% der gescreenten Patienten in die Studie eingeschlossen [174]. Demgegenüber konnten Rose et al. keine Überlegenheit des Systems gegenüber dem konventionellen Vorgehen eines erfahrenen Weaningzentrums finden [175]. Eine weitere Studie bei Patienten der Kategorie 1 und 2, in der ein automatisiertes System mit einem Weaningprotokoll verglichen wurde, konnte eine Verkürzung der Zeit bis zur Extubation zeigen (4 vs. 5 Tage) [176]. Das System sollte nicht eingesetzt werden, wenn neurologische Erkrankungen die Atemungskontrolle beeinflussen [177], bei stark sedierten Patienten [178], bei starker Agitation des Patienten bzw. bei schwergradiger Neuro- oder Myopathie [177]. Des Weiteren scheint es eine höhere Versagerquote bei Patienten mit COPD zu geben [178].

### 5.3.3 Intermittierende Belastung mittels Diskonnektion von der Beatmung (Spontanatmung) oder Reduktion der Druckunterstützung

Während die Last bei der graduellen Reduktion der Druckunterstützung relativ gleichförmig gehalten wird, bedient man sich beim Weaning mittels Spontanatmung einer zyklischen Belastung, vergleichbar dem Training im Ausdauersport [179]. Anders als im Kapitel 5.1.5 haben diese Phasen der Spontanatmung also nicht das Ziel zu diskriminieren, bei welchen Patienten der künstliche Atemweg entfernt werden kann, sondern sie dienen der Rekonditionierung der Atemmuskulatur. Die Länge der Spontanatmungsphasen geht daher in der Regel weit über die in Kapitel 5.1.5 beschriebenen Zeiträume von 30 bzw. 120 Minuten hinaus [180]. Sind die Spontanatmungsphasen dabei ausreichend lang, können die invasive Beatmung beendet und die künstlichen Atemwege entfernt werden, wenn keine anderweitigen Kontraindikationen vorliegen. Gegebenenfalls wird im Anschluss eine nicht-invasive Beatmung erforderlich (siehe Kapitel 5.6.1). Welche Dauer der Spontanatmungsphase in diesem Zusammenhang im prolongierten Weaning zu fordern ist, wurde bisher nicht systematisch untersucht; publizierte Daten geben Zeiträume von bis zu 18 Stunden an [11]. Diese Spontanatmungsphasen sollten täglich durchgeführt werden.

Wenn die muskuläre Kraft für eine herkömmliche Spontanatmungsphase mit Diskonnektion von der Beatmung nicht ausreicht, kann eine zyklische Belastung auch an der Beatmung, durch deutliche Reduktion der Druckunterstützung durchgeführt werden. Spontanatmungsphasen mit jeweils unterschiedlicher Druckunterstützung führen dabei zu einer wechselnden Belastung der Atemmuskulatur bzw. zu unterschiedlichen Trainingsintensitäten [152, 181]. Hierbei ist zu beachten, dass sowohl Art und Größe des Beatmungszuganges [66, 182–184] und neben der Wahl der Beatmungseinstellung auch die Charakteristika des Ventilators [185, 186] die Atemarbeit des Patienten beeinflussen. Für Empfehlungen zur Handhabung der Druckunterstüt-

zung innerhalb von Spontanatmungsphasen zur Beurteilung der Extubationsfähigkeit sei auf Kapitel 5.1.5 verwiesen.

Wird die Spontanatmung mit inspiratorischer Druckunterstützung durchgeführt [36, 187–189], so kann dies nur bei geblocktem Cuff erfolgen. Die Entblockung des Cuffs während der Spontanatmung hat jedoch Vorteile, da sie der Sekretelemination dient und spätere Komplikationen der oberen Atemwege möglicherweise reduziert [184, 190–191]. Erfolgt die Spontanatmung ohne Druckunterstützung vom Ventilator, können verschiedene Tracheostoma-/Tubusaufsätze zum Einsatz kommen, deren inspiratorische und expiratorische Resistance erheblich differieren können [192–193], was die Atemarbeit des Patienten wiederum beeinflusst. Aufsätze mit expiratorischer Resistance (PEP-Ventile oder Sprechventile) dürfen nur bei entblocktem Cuff verwendet werden.

Die Beatmung zwischen den Spontanatmungsphasen hat die Entlastung der Atemmuskulatur zum Ziel.

Welcher Entlastungsgrad in dieser Zeit die beste Wirkung erzielt, ist bisher nicht untersucht worden. Den verschiedenen assistierten Beatmungsformen ist gemeinsam, dass ein relevanter Teil der Atemarbeit trotz der maschinellen Unterstützung vom Patienten geleistet wird. Wie hoch dieser Anteil ist, hängt zum einen vom Grad der maschinellen Unterstützung und dem Atemantrieb, aber auch von der individuellen Atemmechanik (Resistance und Compliance) des Patienten ab [168]. Auch eine zu starke Belastung der Atemmuskulatur kann einen strukturellen Schaden hervorrufen [194].

### 5.3.4 Vergleich der unterschiedlichen Beatmungsansätze und Weaningkonzepte

Zwei große Studien haben das Weaning-Outcome von PSV gegenüber SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation) und dem Weaning durch Spontanatmung verglichen [164, 36]. Die Mehrheit der Patienten beider Studien befand sich im prolongierten Weaning. Brochard zeigte dabei eine Reduktion der mittleren Weaningdauer für PSV (5,7 Tage), die gegenüber dem Vorgehen mittels Spontanatmung (8,5 Tage) und SIMV (9,9 Tage) signifikant reduziert war. Esteban dagegen konnte eine verkürzte mittlere Weaningdauer bei täglichen bzw. mehrfachen täglichen Spontanatmungsphasen (3 Tage) gegenüber PSV (4 Tage) und SIMV (5 Tage) nachweisen. Eine weitere Studie, welche die Verfahren PSV und Spontanatmung vergleicht, konnte keine Überlegenheit einer Vorgehensweise feststellen [153]. In dieser Studie wurde aber mittels PSV, also nur teilentlastend zwischen den Spontanatmungsphasen beatmet; es zeigte sich immerhin ein Trend hin zur einer kürzeren Beatmungsdauer in der Spontanatmungsgruppe (130 vs. 181 Stunden). Die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden ersten oben genannten Studien sind wahrscheinlich durch die unterschiedliche Anwendung der Weaningmethoden begründet. In der Studie von Brochard wurden in der Spontanatmungsgruppe bis zu drei zweistündige Spontanatmungsphasen durchgeführt, bevor die Extubation durchgeführt wurde. Dies bedeutet eine erhebliche Anforderung an die Atemmuskulatur und hat möglicherweise die Weaningdauer verlängert. In der Studie von Esteban wurden die Patienten dagegen bereits nach dem ersten erfolgreichen zweistündigen Versuch extubiert.

Insgesamt kann PSV als Methode des Weaning angewendet werden. Das Vorgehen mittels Spontanatmung ist jedoch möglicherweise überlegen, wenn die Anzahl der Spontanatmungsphasen anfänglich pro Tag auf ein bis zwei Episoden von maximal zwei Stunden Dauer begrenzt wird, um die Atemmuskulatur vor dro-

hender Erschöpfung zu bewahren. Im weiteren Verlauf des Weaning können diese Zeiten natürlich unter Kontrolle von Klinik und Blutgasen (Hyperkapnie als Hinweis auf Überlastung der Atemmuskulatur) ausgedehnt werden, bis der Transfer auf nicht-invasive Beatmung oder komplette Spontanatmung möglich ist.

#### Empfehlung E12

Sowohl eine graduelle Reduktion der assistierten Beatmung als auch intermittierende assistierte oder nicht assistierte Spontanatmungsphasen können im Weaning eingesetzt werden. Das letztgenannte Verfahren ist möglicherweise im prolongierten Weaning überlegen.

#### Empfehlung E13

SIMV soll im prolongierten Weaning nicht zum Einsatz kommen, da es bei diesem Modus zu inakzeptabel hoher Atemarbeit kommen kann.

### 5.4 Stellenwert eines kontinuierlichen positiven Atemwegsdrucks im Weaning

Die Anwendung eines kontinuierlichen positiven Atemwegsdrucks (Continuous Positive Airway Pressure; CPAP) ist keine mechanische Druckunterstützung und damit keine Beatmungsform im engeren Sinne, spielt jedoch im Weaning eine gewisse Rolle. Der Einsatz von CPAP setzt die Spontanatmung des Patienten voraus und kann sowohl während der SBTs zur Prüfung der Extubationsbereitschaft (Kapitel 5.1.5) als auch während der SBTs zur Rekonditionierung der Atemmuskulatur (Kapitel 5.3.3) eingesetzt werden.

**CPAP bei obstruktiver Lungenerkrankung:** CPAP erhöht den intrathorakalen Druck und verringert die inspiratorische Atemarbeit durch Verlagerung der Last auf die Expirationsmuskulatur [195]. Unter Spontanatmung fällt die Atemarbeit mit steigendem CPAP-Niveau [196], gleichzeitig wird die Dyspnoe verringert. Der Einsatz von CPAP ist bei obstruktiven Atemwegserkrankungen ggf. sinnvoll, da CPAP die Mechanik der durch den künstlichen Atemweg ausgeschalteten Lippenbremse ersetzt. Auch die Triggerarbeit nimmt hierdurch deutlich ab [197]. Durch Anwendung von CPAP kann der intrinsische PEEP bei obstruktiven Atemwegserkrankungen verringert werden, hierdurch verlängert sich die SBT-Zeit signifikant [198, 199].

**CPAP vor geplanter Extubation:** CPAP verringert den Rapid Shallow Breathing Index signifikant bei Patienten vor geplanter Extubation [200]. Trotzdem scheint wie in Kapitel 5.1.5 beschrieben die Druckunterstützung während dieser SBTs keinen Einfluss auf die Versagerquote nach Extubation zu haben [112, 122, 123].

**CPAP bei Atelektasen:** CPAP wurde bereits sehr früh nach abdominalen chirurgischen Eingriffen eingesetzt [201]. Durch die CPAP-Therapie wird in dieser Phase das Risiko für Atelektasen und Pneumonien signifikant reduziert und damit die Re-Intubationsrate gesenkt [202].

**CPAP bei Herzinsuffizienz:** CPAP hat positive Auswirkungen auf die Vor- und Nachlast des linken Ventrikels, sodass insbesondere bei schwerer Linksherzinsuffizienz die Spontanatmung nur mit CPAP möglich sein kann [68]. Generell ist der Einsatz von CPAP während der SBTs zur Rekonditionierung der Atemmuskulatur (Kapitel 5.3.3) möglich, publizierte Studien geben hierbei einen Druckbereich von bis zu 5 cmH<sub>2</sub>O an [36]. Wie bereits im Kapitel 5.3.3 beschrieben, hat die Entblockung des Tubus-/Tracheostoma-Cuffs während der Spontanatmungsphase [184, 190, 191] im

**Tab. 7** Vor- und Nachteile invasiver und nicht-invasiver Atemwegszugänge (modifiziert nach [19]).

	Translaryngealer Endotrachealtubus	Tracheotomie	Nicht-invasiver Atemwegszugang (nach [19])
Vorteile	reduzierte Aspirationsrate, keine Leckage, Absaugen und Bronchialtoilette möglich, einfaches und umfassendes Monitoring möglich, Offenhalten der Atemwege, Druckkonstanz, hohe Beatmungsdrücke möglich, keine Spontanatmung/Schutzreflexe erforderlich	wie bei „Endotrachealtubus“ plus: Reduktion von Totraum, Atemwegswiderstand und Atemarbeit, besserer Patientenkomfort, geringere/keine Sedierung, erhaltene Glottisfunktion mit geringem Risiko zur Aspiration, Verlegung von Intensivstation auf spezialisierte Stationen möglich [215]	keine Verletzung der Atemwege, kein oder nur geringer Sedierungsbedarf, intermittierender Einsatz möglich, erhaltene Kommunikation, erhaltene Hustenclearance, orale Nahrungsaufnahme
Nachteile	Gefahr der Entwicklung Tubus-assoziiertes Infektionen, reduzierte Sekret- und Hustenclearance, häufig tiefere Sedierung notwendig, erhöhte resistive Atemarbeit bei Spontanatmung [203–205], Sekretablagerung [206], Verletzung der oberen Atemwege und des Sprechapparats [207–208], ungeplante Extubation [26, 27, 209–210], lokale Komplikationen (z. B. Larynx) [211–212], Tubusfehlage, keine orale Nahrungsaufnahme, Sinusitis bei nasalem Tubus [213], Narbenbildung, Langzeitkomplikationen [214]	Frühkomplikationen: lokale Wundinfektionen, reduzierte Hustenclearance (weniger ausgeprägt als bei Endotrachealtubus), Kommunikationsprobleme, Komplikationen infolge invasiven Eingriffs, Spätkomplikationen: tracheale Narbenstrikturen bzw. Granulationsgewebe	Leckage mit Verlust des PEEP, Aspirationsrisiko, eingeschränktes Monitoring des applizierten Atemzugvolumens, unzureichende Effektivität bei geringer Compliance, lokale Komplikation (z. B. Druckstellen, Konjunktivitis, Aerophagie)

prolongierten Weaning mehrere Vorteile. Das schließt eine Anwendung von CPAP während dieser Zeit aus.

## 5.5 Der Beatmungszugang

Die invasive Beatmung mit Trachealtubus bzw. Trachealkanüle und die nicht-invasive Beatmung mit verschiedenen Masken haben ihre eigenen Indikationsbereiche und weisen spezifische Vor- und Nachteile auf (siehe [Tab. 7](#)).

### 5.5.1 Invasiver Beatmungszugang

#### 5.5.1.1 Endotrachealtubus

Endotrachealtuben werden fast immer als primärer invasiver Beatmungszugang verwendet. Im prolongierten Weaning weisen sie aber im Vergleich zu Trachealkanülen und nicht-invasiver Beatmung Nachteile auf (siehe [Tab. 7](#)). Eine Entblockung des Tubus während der Phasen der Spontanatmung kann in Analogie zur Situation bei Trachealkanülen zu einer weiteren Senkung der Atemarbeit führen [216], ist aber wegen des fehlenden Aspirationsschutzes nicht unproblematisch. Zusätzlich führt die Entblockung des Tubus zur Reduktion des extrinsischen PEEP und verbietet sich damit bei Krankheitsbildern mit einer Indikation zur kontinuierlichen PEEP-Anwendung (z. B. alveolärer Kollaps, Atelektasen). Auch der Tubusaufsatz kann einen extrinsischen PEEP verursachen.

Oropharyngeales Sekret kann sich, insbesondere bei gleichzeitig vorliegender Schluckstörung, subglottisch oberhalb des Cuffs ansammeln und von dort aus in die tiefen Atemwege gelangen. Einige Endotrachealtuben und Trachealkanülen bieten die Möglichkeit einer subglottischen Sekretabsaugung. Die Datenlage zur Prävention Tubus-assoziiertes Pneumonien durch subglottische Absaugung ist jedoch widersprüchlich. Eine Metaanalyse [217] beschreibt die subglottische Sekret Drainage als effektiv bei einer geschätzten Beatmungsdauer >72 Stunden. Die subglottische Sekret Drainage ist jedoch nicht bei allen Tubusarten gleich

effektiv [218]. Da die Patienten in den eingeschlossenen Studien im Mittel nur zwischen 5–11 Tagen beatmet wurden, sind die hier gewonnenen Erkenntnisse nicht ohne Weiteres auf das in der Leitlinie behandelte prolongierte Weaning übertragbar.

#### Empfehlung E14

Zur Reduktion der tubusbedingten Atemarbeit sollte bei prolongierter Beatmung ein möglichst großlumiger Tubus verwendet werden.

#### Empfehlung E15

Während der Spontanatmungsphasen ist der Tubus zu entblocken, sofern nicht eine offensichtliche Aspirationsneigung vorliegt.

Da der Wert anderer präventiver Maßnahmen zur Senkung der Inzidenz der Tubus-assoziiertes Pneumonie (z. B. supraglottische Dekontamination und antiseptisch imprägnierte Tuben zur Reduktion der Biofilmbildung im Tubus [219–230]) in der Situation des prolongierten Weanings nicht allgemeingültig belegt ist, werden hierzu keine Empfehlungen ausgesprochen.

#### 5.5.1.2 Tracheotomie

Um die mit invasiver Langzeitbeatmung verbundenen Komplikationen möglichst zu vermeiden oder zumindest gering zu halten, sollte bei weiter bestehender Indikation zur invasiven Beatmung und fehlender NIV-Option (siehe Kapitel 5.6.1) eine Tracheotomie durchgeführt (Dilatationstracheotomie bzw. chirurgische Anlage) und auf eine Trachealkanüle als Beatmungszugang umgestellt werden. Allerdings besteht zu Indikation, Zeitpunkt und Technik der Tracheotomie zurzeit noch kein allgemein verbindlicher Konsens.

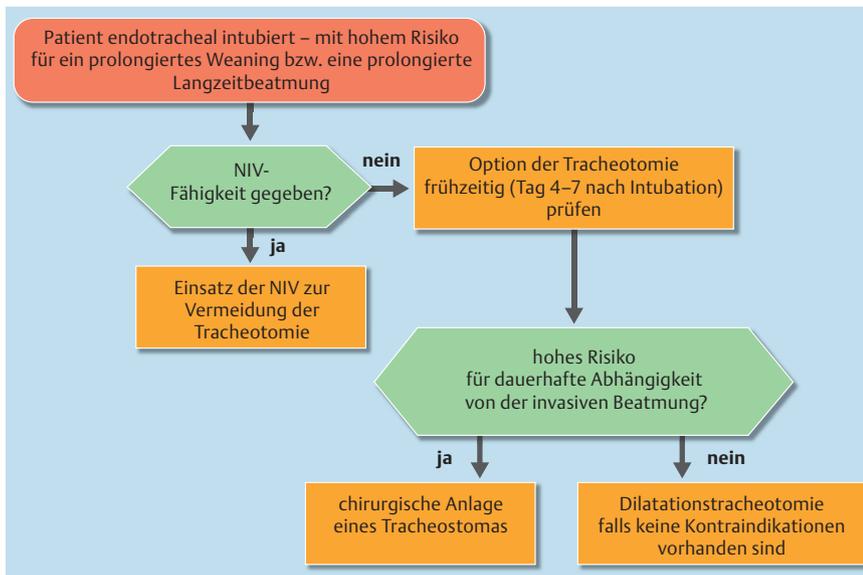


Abb. 6 Algorithmus für die Tracheotomie.

Im klinischen Alltag kommen bei der Tracheotomie im Wesentlichen zwei Techniken zur Anwendung: die chirurgische Tracheotomie und die perkutane Dilatationstracheotomie (PDT) [231–233]. Gegenüber älteren vergleichenden Komplikationsanalysen zwischen offener chirurgischer und perkutaner dilatativer Tracheotomie werden in neueren Untersuchungen für die PDT insgesamt weniger Komplikationen beschrieben [234–236]. Im Vergleich zeigte die PDT weniger Wundinfektionen und Blutungskomplikationen sowie eine geringere Narbenbildung. Vorteile bestanden auch in der kürzeren Operationszeit und den geringeren Kosten. Bei den chirurgischen Tracheotomien fanden sich weniger Probleme bei der De-/Rekanülierung sowie weniger Kanülenobstruktionen.

Die Vor- und Nachteile der Tracheotomie gegenüber dem orotrachealen und dem nicht-invasiven Atemwegszugang sind in **Tab. 7** aufgeführt. Als Beatmungszugang ist die Trachealkanüle (via Tracheotomie) unter Sicherheitsaspekten dem translaryngealen Endotrachealtubus überlegen; allerdings sind in der ersten Woche nach Anlage des Tracheostomas Dislokationen unbedingt zu vermeiden, da es beim Versuch der Rekanülierung insbesondere nach Dilatationstracheotomie zu Kanülenfehlagen mit lebensbedrohlichen Konsequenzen kommen kann.

#### 5.5.1.2.1 Perkutane Dilatationstracheotomie (PDT)

Mittlerweile haben sich die minimalinvasiven Techniken gegenüber dem chirurgisch angelegten Tracheostoma durchgesetzt [234]. Für die einzelnen Techniken wird auf die jeweils entsprechende Literatur verwiesen [237–241]. Eindeutige Hinweise für die Überlegenheit einer bestimmten Methode existieren nicht. Aufgrund der hohen Schrumpfungstendenz schließt sich das in minimalinvasiver Technik angelegte Tracheostoma nach Entfernung der Trachealkanüle häufig binnen kurzer Zeit spontan, was in den meisten Fällen erwünscht ist. Bei Unsicherheit über den Erfolg einer Dekanülierung, zur Unterstützung des Sekretmanagements oder zur Erzielung einer effektiven nicht-invasiven Ventilation kann ein Platzhalter in das Tracheostoma eingelegt werden, um dessen vorzeitigen Verschluss zu verhindern (siehe 5.5.4).

Das Punktionstracheostoma kann, insbesondere wenn es lange besteht, durchaus stabil sein und dann auch als langfristiger Beatmungszugang in der außerklinischen Beatmung verwandt

werden. Trotz der offensichtlichen Vorteile der Tracheotomie entwickeln ca. 40% aller über Trachealkanüle beatmeten Patienten auch ohne zugrundeliegende neurologische Erkrankung Schluckstörungen, die ihrerseits die Beatmungszeit bzw. den Dekanülierungsprozess und somit auch den Weaningprozess verlängern [242].

#### Empfehlung E16

Die Punktionstracheotomie ist aufgrund der Schrumpfungstendenz vor allem dort indiziert, wo die definitive Respirator-entwöhnung in Aussicht steht.

#### 5.5.1.2.2 Chirurgische Tracheotomie

Prinzipiell besteht beim chirurgischen Vorgehen die Alternative zwischen nichtplastischer Tracheotomie und dem plastischen, epithelialisierten Tracheostoma [243,244]. Bei der chirurgischen Tracheotomie sollte wegen des höheren Risikos der Entwicklung einer Stenose auf nichtepithelialisierte Tracheostomata verzichtet werden. Stattdessen sollte ein primär epithelialisiertes Tracheostoma (z. B. Björkscher Lappen oder Vertikalinzision mit Einnaht in den Hautschnitttrand) angelegt werden.

#### Empfehlung E17

Für die dauerhafte außerklinische Beatmung soll ein stabiles Tracheostoma vorhanden sein.

#### 5.5.1.2.3 Zeitpunkt der Anlage eines Tracheostomas

Es war lange klinische Praxis, Patienten mit prolongierter Beatmung erst nach einer Beatmungsdauer von etwa 10–14 Tagen oder sogar noch später zu tracheotomieren [245]. Vor allem mit der zunehmenden Verbreitung der Punktionstracheotomie hat sich der Zeitraum zwischen Intubation und Tracheotomie verkürzt [246–250]. Indirekt ergibt sich aus der Literatur, dass ein Patient spätestens nach 14–21 Tagen invasiver Beatmung tracheotomiert werden sollte [251–252], da ein noch späterer Zeitpunkt mit einer erhöhten Mortalitätsrate assoziiert ist.

Der Begriff „frühe Tracheotomie bzw. Frühtracheotomie“ ist nicht eindeutig definiert – in der Literatur finden sich Zeiträume zwischen <48 Stunden [251] bis zu Tag 10 nach Beginn der maschi-

nellen Beatmung [253]. In dieser Leitlinie definiert sich die Frühtracheotomie über den Zeitraum der Durchführung an Tag 4 bis 7 nach Intubation. In den nachfolgend erwähnten Studien wurde die Frühtracheotomie innerhalb der ersten sieben Beatmungstage nach Intubation durchgeführt.

Die Studien zum Outcome (d.h. Mortalität, Beatmungsdauer, Häufigkeit von Pneumonien) nach Frühtracheotomie führen zu heterogenen Resultaten [251, 254–255]. Es ergibt sich auch kein eindeutiger Zeitpunkt für die Frühtracheotomie. Von den drei vorliegenden Metaanalysen [256–258] konnte nur die erste eine signifikant kürzere Beatmungsdauer und einen kürzeren Aufenthalt auf der Intensivstation belegen. Keine Studie konnte für die Frühtracheotomie einen Vorteil hinsichtlich Pneumonierate und Mortalität nachweisen. Eine aktuelle Studie für die Frühtracheotomie ergab zwar tendenzielle Vorteile, eindeutig signifikante Unterschiede in der Pneumonieprävention, der Verkürzung der Beatmungsdauer, der Dauer des Aufenthalts auf der Intensivstation und der Mortalitätsrate zeigten sich jedoch nicht [259].

Wird bei hoher Wahrscheinlichkeit für ein prolongiertes Weaning eine frühzeitige Tracheotomie erwogen, sollte nach 4–7 Tagen invasiver Beatmung kritisch geprüft werden, ob alternativ hierzu eine Extubation mit anschließender NIV möglich ist (siehe Algorithmus in **Abb. 6**).

#### Empfehlung E18

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.

#### 5.5.2 Kanülenmanagement

Nach der Anlage eines Dilatationstracheostomas sollte wegen der initialen Instabilität des Zugangs und möglicher Blutungskomplikationen nicht vor dem 5. postoperativen Tag ein Wechsel oder eine Entfernung der Trachealkanüle erfolgen. Bei einer ungewollten Trachealkanüldislokation vor diesem Zeitraum sollte im Notfall der orotracheale Atemwegzugang bevorzugt werden und, wenn notwendig, eine Blutungstamponade der Tracheotomieöffnung erfolgen.

Sekretablagerungen an der Innenwand der Trachealkanüle sind nicht sicher vorhersagbar [205] und führen während der Spontanatmung zur Erhöhung des Atemwegwiderstandes und damit der Atemarbeit. Die Kanüle muss daher fortlaufend visuell kontrolliert und entweder gereinigt oder ausgewechselt werden. Gegebenenfalls kann eine Trachealkanüle mit einer leicht zu reinigenden Innenseite eingesetzt werden, wobei die potenzielle Erhöhung der Atemarbeit durch das geringere Innenlumen zu berücksichtigen ist.

Im Weaning werden häufig zur Verbesserung der Kommunikation und damit der psychischen Gesamtsituation Sprechkanülen verwendet, von denen jedoch nicht alle mit einer subglottischen Sekretabsaugung ausgestattet sind.

Sofern kein Aspirationsrisiko besteht, sollte die Trachealkanüle während der Spontanatmungsphasen entblockt werden, um die Atemarbeit abzusenken [216]. Außerdem erleichtert eine entblockte Trachealkanüle die aus psychologischen Gründen wichtige verbale Kommunikation im Weaningprozess.

Der Hustenstoß und damit die bronchiale Sekretclearance können durch Entblockung des Trachealkanülcuffs verbessert werden. Erlaubt es die klinische Situation des Patienten, die Tra-

chealkanüle während der Spontanatmungsphasen zu entfernen, kann hierdurch die Effektivität des Hustenstoßes bei gleichzeitiger Abdichtung des Tracheostomas im Vergleich zur entblockten Trachealkanüle weiter gesteigert werden.

#### 5.5.3 Dekanülierung

Für eine definitive Dekanülierung sind folgende Voraussetzungen notwendig:

- ▶ klinische Stabilität
- ▶ ausreichende Spontanatemungskapazität 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
- ▶ ggf. positiver Cuff-Leak-Test (vgl. Kapitel 5.1.7)

Zur Technik der Dekanülierung und des Übergangs zu Spontanatmung bzw. nachfolgender nicht-invasiver Beatmung besteht keine Einigkeit. Ohne dass sich hieraus allgemeingültige Empfehlungen ableiten lassen, werden nach einer Umfrage – neben dem spontanen Schrumpfen des Tracheostomas nach Entfernung der Kanüle – Platzhalter bzw. Einsetzen einer Trachealkanüle mit jeweils geringerem Durchmesser angewandt [260].

#### 5.5.4 Verwendung von Platzhaltern

Bestehen Bedenken, einen vom Respirator entwöhnten Patienten zu dekanülieren oder weist er eine ventilatorische Insuffizienz mit vorübergehender oder bleibender Indikation zur NIV auf (siehe Kapitel 5.6.1), dann besteht die Option, das Tracheostoma mit Hilfe eines Platzhalters [184, 261], eines Buttons oder sehr dünnkalibriger Trachealkanülen (siehe auch „*Minitracheotomie*“; Kapitel 5.7.6.2) noch einige Tage während der Spontanatmung offenzuhalten. Der Tracheostomakanal ist damit im Fall einer erneuten Indikation zur invasiven Beatmung zur Rekanülierung nutzbar. Nach Anlage eines Verschlussdevices ist zur frühzeitigen Erkennung von Komplikationen (d.h. Stenose, Malazie, Ödem, Vorwölbung des Devices in die Trachea) eine endoskopische Lagekontrolle unabdingbar.

Unabhängig von der verwandten Technik der Dekanülierung können sich nach Verschluss des Tracheostomas der Widerstand der oberen Atemwege und die Atemarbeit in Abhängigkeit von den anatomischen Verhältnissen sowohl verringern als auch erhöhen. Gerade lokale Komplikationen an der Tracheostomaöffnung (z. B. rupturierte Knorpelspangen oder Granulationsgewebe), aber auch Ödeme im Larynxbereich können zum Misserfolg der Dekanülierung führen [184].

#### Empfehlung E19

Bei Unsicherheit über den Erfolg der Dekanülierung sollten Platzhalter verwendet werden, um auch noch nach Tagen eine Rekanülierung des Tracheostomas zu ermöglichen.

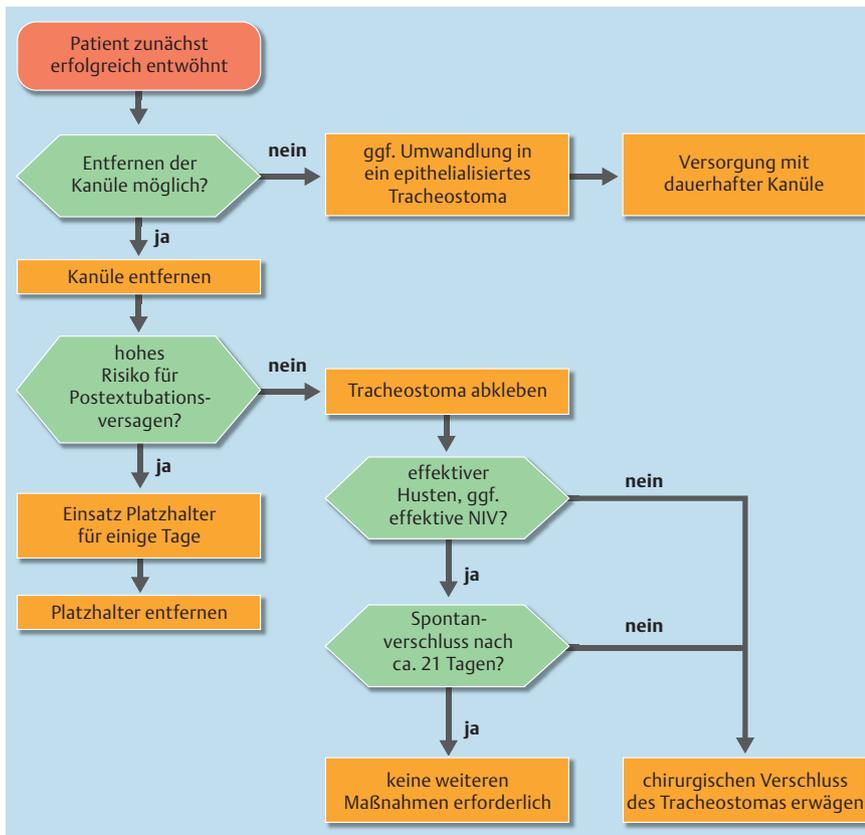


Abb. 7 Algorithmus für die definitive Dekanülierung.

## 5.5.5 Verschluss des Tracheostomas

### 5.5.5.1 Spontaner Verschluss

Ist eine suffiziente Spontanatmung (bzw. nicht-invasive Beatmung bei persistierender ventilatorischer Insuffizienz) beim tracheotomierten Patienten nach erfolgreicher Respiratorentwöhnung gesichert, werden die Trachealkanüle bzw. der Platzhalter entfernt. Die perkutanen Dilatationstracheostomata verschließen sich binnen kurzer Zeit (meistens ohne weiteren Interventionsbedarf) komplett. Die chirurgisch angelegten, primär epithelialisierten Stomata bedürfen nicht selten eines plastischen Verschlusses.

### 5.5.5.2 Chirurgischer Verschluss/plastische Deckung

Schrumpft das Tracheostoma nicht binnen 14 Tagen nach Entfernung der Kanüle, ist eine bronchoskopische Untersuchung von Larynx und Trachea erforderlich, um eine subglottische Stenose als Ursache des verzögerten oder fehlenden Tracheostoma-Verschlusses auszuschließen. Nach einem Zeitraum von ca. 21 Tagen ist der Verschluss durch einen plastisch-chirurgischen Eingriff zu erwägen, falls es durch unzureichende Schrumpfung des Tracheostomas zu ineffektivem Husten und gestörter Sprachbildung kommt. Bei Patienten mit persistierender ventilatorischer Insuffizienz und Indikation zur Fortführung einer NIV im außerklinischen Bereich sollte ein früherer Verschluss in Betracht gezogen werden, sofern kein erhöhtes OP-Risiko dagegen spricht. Ob nach dem Verschluss des Tracheostomas eine mehrtägige NIV-Pause eingelegt wird, um Komplikationen wie z. B. Nahtdehiszenz, Mediastinal- oder Hautempysem zu verhindern, ist abhängig vom klinischen Zustand und von der ventilatorischen Situation und damit eine individuelle Entscheidung. Ein Algorithmus für die definitive Dekanülierung ist in [Abb. 7](#) dargestellt.

### Empfehlung E20

Kommt es nach Kanülenenentfernung innerhalb von drei Wochen nicht zu einer Schrumpfung des Tracheostomas, kann nach Ausschluss zugrundeliegender Komplikationen der plastisch-chirurgische Verschluss erwogen werden.

### 5.5.6 Komplikationen nach Dekanülierung

Die Entwicklung einer Trachealstenose nach Langzeitintubation oder Tracheotomie ist eine Komplikation, die mit einer Häufigkeit von ca. 10% relevanter Stenosen (>20% Lumeneinengung) zu erwarten ist [251]. Dabei kann es sich um fixierte Narbenstenosen, aber auch um tracheale Instabilitäten im Sinne einer Tracheomalazie handeln. Endoskopisch findet man häufig auch sogenannte *komplexe Stenosen*. Diese Stenosierungen sind nicht selten Ursache für ein Weaningversagen bzw. die Notwendigkeit einer Rekanülierung. Zusätzlich können vorbestehende, klinisch bisher asymptomatische Stenosen der Trachea, z. B. infolge intrathorakaler Struma, im Weaningprozess zum eigenständigen Problem werden.

Bei kooperativen Patienten kann die Durchführung einer Spirometrie (ggf. Taschenspirometrie am Bett) zur Evaluation einer Stenose und zur Verlaufskontrolle hilfreich sein. Nach Dekanülierung eines zuvor langzeitbeatmeten Patienten sollte eine Bronchoskopie durchgeführt werden, um eine asymptomatische Trachealstenose frühzeitig zu erkennen. Besteht nach Kanülenenentfernung mit Abkleben des Tracheostomas der klinische Verdacht auf eine Trachealstenose, z. B. bei Stridor, muss vor der Entlassung eine Bronchoskopie durchgeführt werden. Hiermit kann zuverlässig das Ausmaß der Stenosierung erfasst und ggf. die Indikation zu einer interventionellen Maßnahme gestellt werden.

**Empfehlung 21**

Nach Dekanülierung eines zuvor langzeitbeatmeten Patienten muss bei klinischem Verdacht auf das Vorliegen einer Trachealstenose eine Bronchoskopie erfolgen.

**5.6 NIV bei schwierigem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase**

Bei dem Thema „NIV bei schwierigem Weaning vom Respirator und in der Postextubationsphase“ sei auf die entsprechenden Abschnitte der S3-Leitlinie „NIV bei akuter respiratorischer Insuffizienz“ verwiesen [19]. Einschränkend bleibt allerdings festzustellen, dass sich diese Leitlinie auf den Einsatz von NIV nach ein- bis mehrtägiger invasiver Beatmung (d.h. der „Gruppe 2“ entsprechend der Definition der internationalen Konsensuskonferenz, [9]) bezieht. Allerdings lassen sich die Empfehlungen aufgrund der klinischen Erfahrung im Wesentlichen im Analogieschluss auf die Situation des prolongierten Weaning übertragen. Da keine höherwertigen wissenschaftlichen Studien zum Stellenwert von NIV im prolongierten Weaningprozess existieren, basieren die hierzu ausgesprochenen Empfehlungen auf der klinischen Erfahrung der Experten.

**5.6.1 Kriterien zu der „NIV-Fähigkeit“ im Weaningprozess**

Um im Sinne einer Weaning-Prädiktion die Fähigkeit beatmeter Patienten zur suffizienten Spontanatmung nach Extubation abzuschätzen, werden üblicherweise neben der klinischen Beurteilung die „klassischen“ Extubationskriterien [113] verwendet (siehe **Tab. 5**).

Diese herkömmlichen Weaning-Prädiktoren sind beim Einsatz von NIV im Anschluss an invasive Beatmung allenfalls orientierend brauchbar, weil hierbei die maschinelle Beatmung infolge anhaltender respiratorischer Insuffizienz fortgesetzt werden muss und sich lediglich der Beatmungszugang ändert. Eine weitere wichtige klinische Voraussetzung für die „NIV-Fähigkeit“ im Anschluss an eine invasive Beatmung ist die Kooperationsfähigkeit eines Patienten.

Wird erwogen, unmittelbar nach Extubation die Beatmung in Form von NIV fortzusetzen, ist zuvor kritisch zu prüfen, ob hierfür die wesentlichen Voraussetzungen gegeben sind. Die absoluten Kontraindikationen für den Einsatz von NIV (**Tab. 8**) sind zu beachten.

**Tab. 8** Absolute Kontraindikationen für den Einsatz von NIV.

– fehlende Spontanatmung, Schnappatmung
– fixierte oder funktionelle Verlegung der Atemwege
– gastrointestinale Blutung oder Ileus

**5.6.1.1 Hyperkapnische akute respiratorische Insuffizienz (ARI)**

Ist die NIV-Fähigkeit eines Patienten nach invasiver Langzeitbeatmung gegeben, sollten Patienten mit *hyperkapnischer ARI* (z.B. nach Exazerbation einer schwergradigen COPD) extubiert und auf NIV umgestellt werden. Allerdings sollte aufgrund der klinischen Situation absehbar sein, dass keine Indikation zu einer längerdauernden kontinuierlichen Respiratorpflichtigkeit besteht. Eine hohe NIV-Abhängigkeit würde zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Lebensqualität führen.

Ansonsten verbessert NIV nach invasiver Beatmung die Weaning-Erfolgsrate, senkt die Letalitätsrate und Re-Intubations-, Tracheotomie- und Komplikationsrate [30, 262–264]. NIV wurde auch

im schwierigen Weaningprozess bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen [265–266] und Zwerchfellparese erfolgreich eingesetzt [267].

**Empfehlung E22**

Ist eine NIV-Fähigkeit auch im Rahmen der invasiven Langzeitbeatmung gegeben, sollten Patienten mit hyperkapnischer ARI extubiert bzw. dekanüliert und auf NIV umgestellt werden, wenn aufgrund der klinischen Situation absehbar ist, dass keine längerdauernde kontinuierliche Respiratorpflichtigkeit besteht.

**5.6.1.2 Hypoxämische akute respiratorische Insuffizienz (ARI)**

Analog zu den Empfehlungen zu NIV bei akuter respiratorischer Insuffizienz [19] kann NIV im prolongierten Weaning bei Patienten mit hypoxämischer akuter respiratorischer Insuffizienz nicht generell empfohlen werden.

**5.6.1.3 NIV bei persistierender chronisch ventilatorischer Insuffizienz (CVI) nach Weaning**

Bei Patienten mit fortbestehender chronisch ventilatorischer Insuffizienz, d.h. weiterhin nachweisbarer Hyperkapnie während der kontinuierlichen Spontanatmung, ist auch nach formell erfolgreich abgeschlossenem Weaning zu prüfen, ob eine außerklinische Beatmung indiziert ist. Entsprechend der im 3. Kapitel eingeführten Definitionen handelt es sich hierbei um die Patientengruppe „3b“. Auch wenn die Datenlage hierzu bisher auf Observationsstudien beruht, werden bis zu 30% der entwöhnten Patienten im weiteren Verlauf effektiv mit NIV in häuslicher Umgebung versorgt [11, 268]. Im Wesentlichen gelten für die Krankheitsgruppen, die von außerklinischer Beatmung nach Weaning profitieren, die in der S2-Leitlinie „Invasive und nichtinvasive außerklinische Beatmung bei chronischer respiratorischer Insuffizienz“ [15] genannten Indikationen COPD, Obesitas-Hypoventilations-Syndrom, thorakal-restriktive Erkrankungen und neuromuskuläre Erkrankungen mit symptomatischer Hyperkapnie.

**Empfehlung E23**

Bei fortbestehender CVI nach Extubation/Dekanülierung profitieren Patienten auch nach formell erfolgreich abgeschlossenem Weaning von außerklinischer Beatmung.

**5.7 Adjunktive Maßnahmen**

Neben Beatmungstechniken und Umgang mit verschiedenen Interfaces (Masken, Trachealkanülen, etc.) ist beim schwierigen bzw. prolongierten Weaning eine rehabilitative Strategie mit einer Reihe von adjunktiven Maßnahmen von zentraler Bedeutung [269]. Ohne Anspruch auf Vollständigkeit werden im Folgenden wichtige adjunktive Therapiemaßnahmen tabellarisch (**Tab. 9**) erläutert. Einige pathophysiologische und therapeutische Betrachtungen speziell zum Thema „hoher Atemantrieb“ finden sich zusätzlich im Text (5.7.1).

**5.7.1 Reduktion des Atemantriebs**

Wenn ein erhöhter Atemantrieb bei prolongierter mechanischer Beatmung zur Zunahme der Atemarbeit führt, besteht das therapeutische Ziel in der Reduktion des Atemantriebes. Wenn möglich, sind kausale Ursachen (wie z.B. Schmerzen), die zur Erhöhung des Atemantriebes führen, effektiv zu behandeln. Bei Oxygenierungsstörungen z.B. infolge COPD/Emphysem werden der

Tab. 9 Adjunktive Maßnahmen.

Aspekt	Therapeutische Maßnahme	Ziel
Pleuraergüsse/Überwässerung	Drainage ggf. pharmakotherapeutische Maßnahmen z. B. Diuretikatherapie	Verbesserung der Atemmechanik und des Gasaustausches
hoher Atemantrieb (siehe auch 5.7.1)	Sauerstoffgabe bei Gasaustauschstörung (z. B. Lungenemphysem)	Reduktion des inadäquat erhöhten Atemantriebes und des Atemminutenvolumens
Körperposition	Lagerung in atmungserleichternder Körperposition, z. B. Erhöhung des Oberkörpers	Reduktion der Atemarbeit Entlastung des Zwerchfells besonders bei Adipositas permagna, neuromuskulären Erkrankungen und Thorakorestriktion
Malnutrition bzw. Katabolismus	Gabe einer kalorienreichen Ernährung mit relativ geringem Kohlehydrat-Anteil (35–40%)	Verhinderung übermäßiger CO <sub>2</sub> -Produktion
Delirium und Angstzustände	Gabe von Antipsychotika und Anxiolytika (z. B. Clonidin, Haloperidol und Benzodiazepine) Einhalten des Tag-Nacht-Rhythmus Entspannungstechniken	Normalisierung der vegetativen und neurophysiologischen Funktion
Immobilität und muskuläre Dekonditionierung	Physiotherapeutische Maßnahmen Atemmuskeltraining	Mobilisation und Rekonditionierung der atrophierten Muskulatur
unzureichender Hustenstoß	Perkussion Vibration und Oszillation autogene Drainage Lagerungsdrainage technische Hilfsmittel für forciertes Husten: z. B. – mechanische Hustenassistenz – manuell assistiertes Husten (Thoraxkompression) – Minitracheotomie	verbesserte Sekretclearance

Atemantrieb bzw. das Atemminutenvolumen durch Zufuhr von Sauerstoff reduziert, was letztlich zur erwünschten Abnahme der Atemarbeit führt. Im begründeten Einzelfall lässt sich der gesteigerte Atemantrieb durch Gabe von Opiaten unter engmaschigem Monitoring der Ventilation bzw. Blutgase dämpfen. Ein konsekutiver Anstieg des PCO<sub>2</sub> im Sinne einer milden „permissiven Hyperkapnie“ (bei gleichzeitiger metabolischer Kompensation der Azidose durch Retention von Bikarbonat) kann unter diesen Umständen akzeptiert werden.

### 5.7.2 Transfusion und Weaning (Transfusionstrigger)

Patienten im prolongierten Weaning haben häufig Hämoglobinwerte unterhalb des Normbereichs. Ob eine Anhebung des Hämoglobinwertes durch Transfusion von Erythrozytenkonzentraten das Weaning günstig beeinflussen kann, wurde in der Leitlinie kontrovers diskutiert. Erschwert wurde diese Diskussion durch die Tatsache, dass es keine Studien gibt, die ausschließlich bei Patienten im prolongierten Weaning durchgeführt wurden. Da in dieser Frage kein Konsens in der Leitlinienkonferenz erzielt werden konnte, werden im Folgenden die Argumente und Konzepte beider Standpunkte (d. h. „*Konservative Transfusionsstrategie*“ und „*Liberale Transfusionsstrategie*“) dargestellt. Vor diesem Hintergrund erklärt sich die besondere Ausführlichkeit des Textes. Möglicherweise werden beim nächsten Update der Leitlinie mehr Daten vorliegen, sodass die Aussage dann präzisiert werden kann.

#### 5.7.2.1 Konservative Transfusionsstrategie

Nationale und internationale Leitlinien empfehlen ein äußerst konservatives Vorgehen bei der Indikationsstellung zur Transfusion von Erythrozytenkonzentraten (EK).

„Die Gabe von EK ist angezeigt, wenn Patienten ohne Transfusion durch eine anämische Hypoxie aller Voraussicht nach einen ge-

sundheitlichen Schaden erleiden würden und eine andere, zumindest gleichwertige Therapie nicht möglich ist“ [270].

Dieser zurückhaltende Umgang mit Bluttransfusionen ist gut begründet, da in einer Vielzahl von Studien die Komplikationen aufgezeigt wurden, die aus der Gabe von EK resultieren können. In einer prospektiven randomisierten Studie an 838 Patienten konnte gezeigt werden, dass eine liberale Transfusionsstrategie die Letalität bei Intensivpatienten erhöht [271] und auch bei beatmeten Patienten zu keiner Verbesserung des Outcomes führt [272]. Die Gabe von allogenen Erythrozytenkonzentraten hat negative Auswirkungen auf das Immunsystem [273]. Es erfolgt zwar ein Abgleich der ABO- und D-Antigene, damit verbleiben aber einige hundert Blutgruppenantigene unberücksichtigt [274]. Die Infektionsrate ist erhöht und es konnte insbesondere eine Häufung Ventilator-assoziiertes Pneumonien und ARDS nachgewiesen werden [274–285]. Das Risiko einer transfusionsinduzierten akuten Lungeninsuffizienz TRALI (Transfusion Related Acute Lung Injury) ist aufgrund ihrer direkten Assoziation mit Spenderantikörpern gegen Leukozyten des Empfängers zwar ganz wesentlich mit der Gabe von Plasma assoziiert, tritt aber auch nach der ausschließlichen Gabe von Erythrozytenkonzentraten auf [285–288].

Das Risiko einer Immunisierung gegen humane leukozytäre Alloantigene (HLA) wird durch die Leukozytendepletion der Konserven stark vermindert. Ob damit auch die Häufigkeit aller weiteren Komplikationen reduziert wird, bleibt abzuwarten. Kürzlich publizierte Untersuchungen weisen darauf hin, dass dieser Effekt eher gering ausfallen dürfte [288–291]. Weitere Nebenwirkungen umfassen hämolytische Transfusionsreaktionen, Graft-versus-Host-Reaktion bei immunsupprimierten Patienten, anaphylaktische Reaktionen bei Empfängern mit angeborenem IgA-Mangel, verzögerte hämolytische Reaktionen, febrile, HLA-bedingte Transfusionsreaktionen, urtikarielle Hautreaktionen und

andere anaphylaktoide Reaktionen, transfusionsbedingte Purpura und Hyperkaliämie. Die Übertragung von Infektionskrankheiten (Bakterien, Viren, Protozoen, Prionen), z. B. von Hepatitiden, HIV und der Variante Creutzfeld-Jakob Krankheit (vCJK), ist nicht völlig auszuschließen [292]. Auch ist die Wertigkeit der transfundierten Erythrozyten bezüglich ihrer Sauerstofftransportfähigkeit umstritten [292–301].

Es wird daher seit Jahren kontrovers diskutiert, welcher Hb-Wert angestrebt werden sollte, um eine kompensatorische anämiebedingte Belastung der Atem- und Herzpumpe zu verhindern [302–305]. Unter Ruhebedingungen wird von gesunden Probanden ein akuter Hb-Abfall auf 5 g/dl toleriert [306,307]. Diese Toleranzgrenzen verschoben sich aber bei Vorliegen kardiovaskulärer Einschränkungen [308–310]. Für eine liberale Transfusionsstrategie werden deshalb verschiedene Argumente aufgeführt. So wird die Tatsache herangezogen, dass eine Anämie sowohl bei präoperativen Patienten als auch bei nicht-chirurgischen Patienten mit kardialen Erkrankungen einen unabhängigen Risikofaktor für ein schlechteres Outcome darstellt, um höhere Transfusionstrigger zu legitimieren [311–315]. Allerdings führte selbst bei älteren Patienten mit Myokardinfarkt eine Transfusion bei Vorliegen eines Hämatokrit von 30% zu keiner Verbesserung des Outcomes [315]. Alle diese Studien basieren in der Regel auf retrospektiven Analysen, die häufig nicht für die Gabe von Erythrozytenkonzentraten adjustiert wurden. Ob die Anämie in diesem Fall nicht eher einen Surrogatparameter darstellt oder aber für einen erhöhten Krankheitsschweregrad spricht, ist bisher nicht untersucht worden. Eine Analyse von chirurgischen Patienten zeigte, dass neben der Anämie vor allem die Transfusion als unabhängiger Risikofaktor gewertet werden muss [311]. Sowohl bei Patienten mit präoperativer Anämie als auch bei Patienten ohne vorausgehende Anämie stieg die Letalität mit der Anzahl transfundierter Ek's [316].

Ob der Ausgleich einer Anämie durch Verbesserung des Sauerstoffangebots bei Patienten im prolongierten Weaning zur Entlastung der Atem- und Herzpumpe [317] und damit zum Weaning-erfolg beiträgt, ist unklar. Vorliegende Daten einer kleinen Fallserie (fünf COPD-Patienten), bei denen nach Transfusion (Ziel Hämoglobin-Wert  $\geq 12$  g/dl) eine Abnahme der Atemarbeit mit nachfolgendem Weaning-erfolg [317] gezeigt werden konnte sowie eine Untersuchung bei COPD-Patienten [79] reichen nicht aus, um ein liberales Transfusionsregime zu legitimieren. Bei Intensivpatienten zeigt sich eine transiente Verschlechterung des Oxygenierungsindex und des sogenannten Lung Injury Scores 24–48 h nach Transfusion [318].

Ein Zusammenhang zwischen der Höhe des Hämatokrit und der Entwöhnbarkeit oder der Dauer des Weanings von der Beatmung konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Es fehlen größere prospektive randomisierte Studien, die die Vorteile eines solchen Vorgehens eindeutig bestätigen. In einer retrospektiven Untersuchung bei prolongiert beatmeten Patienten zeigten sich eine erhöhte Letalität, eine prolongierte Liegedauer und deutlich höhere Kosten [319–320]. Alles in allem spricht keine der Untersuchungen dafür, von dem derzeit empfohlenen Konzept einer konservativen Transfusionsstrategie abzuweichen [271].

Bei Patienten mit eingeschränkter Kompensation, bei denen klinische Symptome (physiologische Transfusionstrigger; siehe **Tab. 10**) auf eine anämische Hypoxie hinweisen, kann ein Hb von  $>8$ – $10$  g/dl angestrebt werden. Ein Ziel-Hb  $>10$  g/dl wird im Allgemeinen nicht empfohlen, kann jedoch in Einzelfällen indiziert sein. Pathophysiologisch begründet sich diese Strategie durch einen höheren arteriellen Sauerstoffgehalt im Blut bei

**Tab. 10** Physiologische Transfusionstrigger, die bei laborchemisch gesicherter Anämie und erhaltener Normovolämie auf eine anämische Hypoxie hinweisen können [271].

<b>Kardio-pulmonale Symptome</b>	<b>Ischämietypische EKG-Veränderungen</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Tachykardie</li> <li>– Hypotension</li> <li>– Blutdruckabfall unklarer Genese</li> <li>– Dyspnoe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– neu auftretende ST-Senkungen oder -Hebungen</li> <li>– neu auftretende Rhythmusstörungen</li> </ul>
<b>Neu auftretende regionale myokardiale Kontraktionsstörungen im Echokardiogramm</b>	
<b>Globale Indices einer unzureichenden Sauerstoffversorgung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Anstieg der globalen O<sub>2</sub>-Extraktion <math>&gt;50\%</math></li> <li>– Abfall der O<sub>2</sub>-Aufnahme <math>&gt;10\%</math> vom Ausgangswert</li> <li>– Abfall der gemischtvenösen O<sub>2</sub>-Sättigung <math>&lt;50\%</math></li> <li>– Abfall des gemischtvenösen PO<sub>2</sub> <math>&lt;32</math> mmHg</li> <li>– Abfall der zentralvenösen O<sub>2</sub>-Sättigung <math>&lt;60\%</math></li> <li>– Laktazidose (Laktat <math>&gt;2</math> mmol/l + Azidose)</li> </ul>	

höherem Hämoglobin-Wert, sodass die Ventilation, die für eine ausreichende Oxygenierung benötigt wird, sinken kann. Die Indikation zur Erythrozytentransfusion ergibt sich aus der Beurteilung des klinischen Gesamtbildes und wird nicht allein anhand von Laborwerten (Hämoglobin, Hämatokrit, Erythrozytenzahl) gestellt [271]. Sie sollte daher auf den aktuellen Zustand (Transfusionstrigger) und die Grunderkrankung des jeweiligen Patienten zugeschnitten sein [321–324]. Eine Transfusion von Erythrozytenkonzentraten sollte nicht arbiträr erfolgen, da eine unzureichende Gewebeoxygenierung bei verschiedenen Hb-Konzentrationen auftreten kann [323]. Die Anlage eines zentralvenösen Katheters zur begleitenden Bestimmung der zentralvenösen Sauerstoffsättigung (ScvO<sub>2</sub>) kann erwogen werden. Mit Hilfe der ScvO<sub>2</sub> kann das Verhältnis von Sauerstoffaufnahme und -abgabe beurteilt werden. Hierdurch lässt sich feststellen, ob ein Patient von einer Transfusion profitiert. Dieser Ansatz der differenzierten Indikationsstellung wird durch neuere Untersuchungen bestätigt [323–326].

Aus der Abwägung zwischen den Komplikationen von Bluttransfusionen und dem Benefit, den die Gabe von Erythrozytenkonzentraten mit sich bringen kann, ergibt sich eine konservative Transfusionsstrategie. Hierbei sollte eine Anhebung des Hämoglobins klinisch gut begründet sein. Bei Patienten mit eingeschränkter Kompensation, bei denen klinische Symptome (physiologische Transfusionstrigger) auf eine anämische Hypoxie hinweisen, kann ein Hämoglobin-Gehalt von  $>8$ – $10$  g/dl angestrebt werden. Eine grundsätzliche Anhebung des Hämoglobins auf  $>10$  g/dl kann derzeit nicht empfohlen werden. Im prolongierten Weaning kann im Einzelfall eine Transfusion auf Hämoglobin-Werte  $>10$  g/dl indiziert sein. Die Indikationsstellung sollte idealerweise auf der Basis physiologischer Transfusionstrigger (siehe **Tab. 10**) erfolgen.

#### 5.7.2.2 Liberale Transfusionsstrategie

Die Empfehlung, bei Bluttransfusionen generell restriktiv vorzugehen, lehnt sich stark an die Querschnittsleitlinie der Bundesärztekammer [270] an, die eine Transfusion oberhalb eines Hämoglobins von 8 g/dl nur bei Hinweisen für anämische Hypoxie empfiehlt. Abweichungen davon sind im Einzelfall, in Abhängigkeit von der individuellen Situation, auch bei höherem Hämoglobingehalt erlaubt. Allerdings ist die Querschnittsleitlinie nicht vergleichbar mit den Strukturen anderer Leitlinien nach den AWMF-Vorgaben, da die wesentlich beteiligten Fachgesellschaften

ten hier nicht eingebunden waren. Hintergrund für die Querschnittsleitlinie sind im Wesentlichen die Arbeiten von Hébert PC et al. [271–272], die gezeigt haben, dass eine Transfusion oberhalb von einem Hämoglobin von ca. 9g/dl bei Intensivpatienten keinen Vorteil, in Untergruppen sogar Nachteile bringt. Allerdings wurden alle diese Studien an Akutpatienten durchgeführt, von denen ca. 80% beatmet waren, meist nur über wenige Tage. Zudem waren die Erythrozytenkonzentrate damals noch nicht leukozytendepletiert. Auch waren in den Studien kardiochirurgische Patienten ausgeschlossen. Im Vordergrund standen akute, meist infektiöse Ereignisse. Patienten im prolongierten Weaning, für die hier eine Empfehlung gegeben werden soll, kamen nicht vor. Die Autoren empfehlen zusammenfassend bei diesen Patienten nur dann eine Transfusion bei Hämoglobin-Werten über 9g/dl, wenn Hinweise für eine anämische Hypoxie vorliegen, z. B. erfasst über die zentralvenöse Sättigung [326].

Bluttransfusionen bzw. die Gabe von Erythrozytenkonzentraten sind grundsätzlich mit Risiken verbunden. Allerdings sind diese durch die neuen gesetzlichen Vorgaben und den medizinischen Fortschritt (insbesondere Leukozytendepletion) deutlich gesunken [327]. Die häufigste Komplikation ist eine akute Herzinsuffizienz durch eine Volumenüberlastung infolge einer zu raschen Infusion, was insbesondere in Notfällen vorkommt (TACO= Transfusion Associated Circulatory Overload). Infektionen durch die Transfusion und eine akute Lungenschädigung (TRALI= Transfusion Related Acute Lung Injury) sind bei Erythrozytenkonzentraten selten geworden, wobei dieses auch häufiger mit einem TACO verwechselt wird [327,328]. Besonders bei Sepsis scheint eine TRALI vermehrt vorzukommen [329–331]. Im prolongierten Weaning ist eine rasche Transfusion, wie eine Blutung sie erfordert, nicht angezeigt, sodass eine Volumenüberladung oder auch Infektion durch die bessere Vorbereitungszeit praktisch nicht auftritt. Zudem kann gewartet werden, bis die transfundierten Erythrozyten ihre volle Sauerstofftransportfähigkeit erhalten, was in der Regel etwa einen Tag dauert [332].

Ein liberales Transfusionsregime wird begründet durch pathophysiologische Daten, verbunden mit zahlreichen indirekten Hinweisen aus der Literatur. Beim prolongierten Weaning liegt in der Regel keine anämische Hypoxie vor, sodass hier die Ausnahmeregelung in der Querschnittsleitlinie nicht greift. Die Patienten sind stabil und haben keinen akuten Blutverlust. Die Beatmung ist in der Regel für den Gasaustausch ausreichend, sodass auch keine Gewebhypoxie vorliegt.

Patienten mit Hyperkapnie im prolongierten Weaning haben jedoch immer eine Insuffizienz der Atempumpe (siehe Kapitel 4). Da zusätzlich nicht selten eine kardiale Grunderkrankung besteht, liegt dann auch eine mehr oder weniger ausgedehnte Herzinsuffizienz vor [333]. Beide Organe, die Atem- und die Herzpumpe, sind die entscheidenden Faktoren zur Aufrechterhaltung des Sauerstoffangebotes ( $DO_2$ ). Es errechnet sich aus arteriellem Sauerstoffgehalt ( $CaO_2$ ) mal der Herzleistung ( $CO$  – Cardiac Output) ( $DO_2 = CO \times CaO_2$ ) [334]. Der Sauerstoffgehalt wird bestimmt aus dem Produkt von Hämoglobinwert und der Sauerstoffsättigung ( $SaO_2$ ) sowie der Hüfner-Zahl (1,34). Der frei im Plasma gelöste Sauerstoff ( $PaO_2$  [mmHg]  $\times$  0,0031) ist mengenmäßig zu vernachlässigen, sodass sich der Sauerstoffgehalt vereinfacht durch folgende Formel berechnen lässt: ( $CaO_2$  [ml/dl] =  $Hb$  [g/dl]  $\times$   $SaO_2$   $\times$  1,34 [ml/g]). Damit wird offensichtlich, dass es bei einer Anämie kompensatorisch zu einer Zunahme der Herzleistung kommen muss, um das Sauerstoffangebot konstant zu halten. Zusätzlich ist die Ventilation an die Perfusion angekoppelt, bzw. wird auf einen stabilen Faktor von einem Ventilations-/Perfusionsverhältnis

von etwa 0,85 in Ruhe geregelt [334]. Eine Anämie führt deswegen über die Zunahme der Herzleistung immer auch zusätzlich zu einer Belastung der Atempumpe. Umgekehrt führt eine Korrektur der Anämie zur Entlastung der Herz- und Atempumpe, sichtbar beispielsweise am Rückgang der Atemarbeit nach Erythrozytentransfusion [79] und Verbesserung des Weaningserfolges [317].

Die pathophysiologisch offensichtliche Entlastung einer Herzinsuffizienz nach Korrektur einer Anämie wird durch zahlreiche Arbeiten aus der Herzchirurgie bestätigt. Diese zeigen, dass eine prä- oder postoperative Anämie mit deutlicher Zunahme der Komplikationsrate (verlängerte Beatmungszeit, verlängerter Intensivaufenthalt, vermehrte kardiale Komplikationen, erhöhte Mortalität) verknüpft ist [311–314, 335]. Bestand kein Hinweis auf eine Herzinsuffizienz wie bei akutem Koronarsyndrom, wurde dieser Zusammenhang erwartungsgemäß nicht gefunden, da hier der erniedrigte Sauerstoffgehalt kein Problem darstellt [316]. Auch bei nicht-kardiochirurgischen Operationen mit präoperativer Anämie kommt es zu vermehrten Komplikationen, was angesichts einer häufiger gleichzeitig bestehenden COPD oder Herzinsuffizienz nicht überrascht [315, 336]. Besonders gestützt wird die Hypothese einer durch Anämie belasteten Herzpumpe durch eine Publikation über 80.000 Patienten, die bei einem akuten Herzinfarkt einen sehr strengen Zusammenhang zwischen Hämatokrit bzw. dessen Anhebung durch Bluttransfusion und der 30-Tage-Mortalität gezeigt hat [337]. Die Entlastung der Atem- und Herzpumpe durch Ausgleich einer Anämie führt weiterhin zu einer zusätzlichen Abnahme des gesamten Sauerstoffverbrauchs, da beide Organe bei Insuffizienz einen erhöhten autochthonen Sauerstoffbedarf haben [303]. Deswegen führt eine Transfusion auch über diesen Mechanismus vermutlich zu einer weiteren Rekompensation der Atempumpe. Diese pathophysiologischen Überlegungen in Verbindung mit den stützenden Daten aus der Literatur sprechen beim prolongierten Weaning für ein liberales Transfusionsmanagement. Bei schwierigen Fällen kann daher das Hämoglobin deswegen bis in den Normbereich angehoben werden.

### 5.7.3 Verbesserung des Ernährungszustandes und Metabolismus

Sowohl Unter- als auch Überernährung können die Weaningphase verlängern. Patienten mit prolongiertem Weaning sind jedoch oftmals bereits initial durch eine vorbestehende pulmonale Erkrankung mangelernährt („pulmonale Kachexie“) oder werden es während der kritischen Krankheit durch die in Relation zur schweren Katabolie inadäquate Kalorienzufuhr [338]. Somit ist die Unterernährung ein häufig vorkommendes Problem. Eine Ernährungstherapie wirkt sich gerade bei vorbestehendem Ernährungsdefizit günstig auf das Gesamtkörperprotein, die Muskelkraft und respiratorische Funktionsparameter aus [339]. Beim kritisch Kranken können Eiweißverluste jedoch selbst durch eine positive Nicht-Protein-Energiebilanz nicht verhindert werden [340]. Eine total parenterale Ernährung erhöht über die Glukosezufuhr bei beatmeten Patienten die  $CO_2$ -Produktion ( $VCO_2$ ) bis hin zur hyperkapnischen Azidose [341]. Dies kann gerade in einer prolongierten Weaningphase zu einer zusätzlichen und vermeidbaren Erhöhung der Atemarbeit führen. In einer Doppelblind-PRCT (N=20) wurde von al-Saady et al. bei im Weaning befindlichen Patienten mit einer fettreichen enteralen Ernährung mit verringerter Menge an Kohlenhydraten („High Fat, Low Carb“) eine gegenüber der Standardgruppe signifikant kürzere Beatmungszeit gezeigt [342]. In einer weiteren PRCT (N=32) fan-

den van den Berg et al., dass eine solche enterale Diät beim Weaningpatienten die CO<sub>2</sub>-Exkretion signifikant vermindert, während für den PaCO<sub>2</sub>-Wert jedoch keine Veränderung festgestellt wurde [343].

Bei gestörtem Schluckakt besteht die Gefahr, dass die Aspirationsneigung durch eine nasogastrale Sonde als Zugangsweg für die enterale Ernährung verstärkt wird. So kann bei einer erwarteten künstlichen enteralen Ernährung von mehr als 3–6 Wochen frühzeitig die Indikation zur PEG- bzw. PEJ-Anlage gestellt werden [344]. Peterson et al. haben bei Patienten, die über fünf Tage beatmet waren, in den ersten sieben Tagen nach der Extubation eine orale Kalorienzufuhr von maximal 50% des Bedarfs gemessen [345]. In der nach der Weaningperiode folgenden anabolen Phase sollte die Energiezufuhr möglichst das 1,2–1,5-fache des errechneten Energiebedarfs betragen, wobei hier kontrollierte Studien fehlen [346]. Zur genauen Bestimmung des Energiebedarfs kann bei diesen Problempatienten die Durchführung einer indirekten Kalorimetrie hilfreich sein. Orale Zusatznahrungen (Trinknahrungen) sowie die Fortführung einer Sondenernährung kommen vor allem für die Patienten in Betracht, welche mit der oralen Zufuhr ihren Kalorienbedarf nicht adäquat zu decken vermögen. Hierbei richtet sich die Dauer der Supplementierung nach dem Ernährungsstatus. Die Annäherung an den Ruheenergiebedarf erfolgt in den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Ernährungsmedizin (DGEM) [346]:

- ▶ 20–30 Jahre: 25 kcal/kg KG
- ▶ 30–70 Jahre: 22,5 kcal/kg KG
- ▶ >70 Jahre: 20 kcal/kg KG

Mehrere kontrollierte Studien haben die Auswirkungen der Gabe einer enteralen mit Omega-3-Fettsäuren (Eikosapentaensäure = EPA) und Gamma-Linolensäure (GLA) angereicherten enteralen Ernährung bei beatmeten Patienten mit Lungenversagen, Lungenschädigung und/oder Sepsis [347–350] untersucht. Hierbei ist die Weaningphase jedoch nicht separat betrachtet worden. In der Studie von Gadek et al. [347], bei der Omega-3-Fettsäuren in einer experimentellen enteralen Diät verabreicht wurden, konnte eine signifikant kürzere Beatmungs- und Intensivliegedauer gezeigt werden. Singer et al. [348] haben dies bei Patienten mit Lungenversagen durch signifikant günstigere Beatmungsparameter im Horowitz-Quotienten an Tag 4 und 7 bestätigen können. Während Singer et al. [348] bei Patienten mit Lungenschädigung keinen Unterschied im Überleben fanden, haben Pontes-Aruda et al. [350] bei septischen Patienten neben der Verbesserung der respiratorischen Parameter und der Verkürzung der Intensivliegedauer auch eine signifikant höhere Überlebensrate der supplementiert ernährten Patienten zeigen können. In zwei Metaanalysen sind die Vorteile der Gabe von Eikosapentaensäure und Gammalinolensäure für eine signifikant niedrigere Letalität [349, 351] sowie die Oxygenierung und eine längere Zeit ohne Ventilatorunterstützung [349] bestätigt worden. Die verfügbaren ASPEN- [352] und ESPEN-Leitlinien [353] sowie die Leitlinie der Sepsis-Gesellschaft [354] empfehlen deswegen für dieses Patientengut den Einsatz in Kombination mit Antioxidanzien. Kritisch gegenüber diesem Konzept sind aktuelle Ergebnisse einer randomisierten Doppelblind-Placebokontrollierten Multicenter-Studie [355]. Hier wurden 272 Patienten mit Lungenschädigung innerhalb von 48 Stunden eingeschlossen und in 44 Krankenhäusern des US National Heart, Lung, and Blood Institute ARDS Clinical Trials Network behandelt. Wiederum wurde ein enterales Supplement mit Omega-3-Fettsäuren, Gamma-Linolensäure und Antioxidanzien mit einer isokalorischen Kontrolllösung verglichen, die separat von der enteralen Ernährung zweimal täglich verab-

reicht wurden. Primärer Endpunkt war die Zahl der ventilatorfreien Tage. Der Plasma-Eikosapentaensäurespiegel stieg signifikant in der Interventionsgruppe an. Die Studie wurde vorzeitig beendet, da sich die Patienten der Interventionsgruppe signifikant länger am Respirator (14,0 vs. 17,2 Tage; p=,02) und auf der Intensivstation befanden (14,0 vs. 16,7 Tage; p=,04) als der Kontrollarm. Die 60-Tage-Letalität war in der Omega-3-Gruppe nicht signifikant höher. Diese Patienten hatten jedoch signifikant mehr Diarrhoen. Die Autoren schlossen aus ihren Ergebnissen, dass das Omega-3-Supplement das Behandlungsergebnis dieser Patientengruppe nicht verbessert, sondern möglicherweise sogar beeinträchtigt [355]. Kritisch muss an dieser Studie das insgesamt hypokalorische Ernährungsregime gesehen werden. Somit ist eine abschließende Bewertung der Supplemente nicht möglich.

#### Empfehlung E24

Während eines prolongierten Weanings sollte die künstliche Ernährung möglichst enteral und zur Verminderung der Atemarbeit mit einem erhöhten Fettanteil bei reduzierter Kohlenhydratzufuhr erfolgen. Wenn möglich sollte die Nahrungsaufnahme oral erfolgen. Bei einer erwarteten künstlichen enteralen Sondenernährung von mehr als 6 Wochen kann frühzeitig die Indikation zur PEG- bzw. PEJ-Anlage gestellt werden.

#### Empfehlung E25

Auf eine ausreichend hohe Gabe von Kalorien sowie Zufuhr von Elektrolyten, Vitaminen und Spurenelementen ist zu achten.

### 5.7.4 Antipsychotische und anxiolytische Therapiekonzepte

Ein Delir ist ein akuter Verwirrheitszustand mit Störung von Bewusstsein, Wahrnehmung und Orientierung [356]. Im prolongierten Weaning stellt es ein häufiges Problem dar. Die rein agitierte Form des Delirs tritt nur sehr selten (2%, gemäß [100]) auf. Häufiger sind gemischte Formen oder auch die rein hypoaktive Form des Delirs. Die pathophysiologischen Ursachen der Entstehung des Delirs sind komplex (siehe 5.7.4.1). Für das prolongierte Weaning existieren keine zuverlässigen Daten – eine aktuelle Arbeit berichtet über die Häufigkeit des Delirs in einer sogenannten Step-Down-Unit nach Aufenthalt auf der Intensivstation in der Größenordnung von 7,6% manifestem Delir und 20% leichteren Formen [357]. Durch das Delir wurde hier zwar der Krankenhausaufenthalt verlängert, jedoch die Zeitdauer für das Weaning nicht beeinflusst.

#### 5.7.4.1 Pathophysiologie des Delirs

Risikofaktoren, die die Entstehung eines Delirs beeinflussen, sind im Wesentlichen (nach [358–359]):

- ▶ Alter
- ▶ vorausgehende Phase einer Hirnschädigung
- ▶ respiratorische Erkrankung
- ▶ metabolische Störungen (Azidose, Hyponatriämie)
- ▶ Medikation (z.B. Morphin)
- ▶ Hypertonus
- ▶ vorausgehender häufiger Alkoholgebrauch
- ▶ höherer APACHE-II-Score
- ▶ Dauer des Intensivaufenthaltes

Wichtig ist die frühzeitige Diagnose eines Delirs [103]. Hier haben sich neben indirekten klinischen Zeichen (u. a. Pupillenweite, Herzfrequenz, Blutdruck und Atemfrequenz) spezifische Messinstrumente wie ICDS (Intensive Care Delirium Screening Checklist) [360] und CAM-ICU (Confusion Assessment Method for the ICU) [361] bewährt.

#### 5.7.4.2 Therapie des Delirs

Die Therapie des Delirs besteht aus nicht-medikamentösen Ansätzen – z. B. Aufrechterhaltung des Tag-Nacht-Rhythmus, Re-Orientierung des Patienten, kognitive Stimulation, frühe Mobilisation – und aus einer spezifischen medikamentösen Therapie (in Analogie zu [100]) (● Tab. 6, Kapitel 5.1.4). Auch die vermehrte Einbeziehung von Angehörigen, verbunden mit der Möglichkeit, ggf. im Patientenzimmer mit zu übernachten, wirkt sich häufig positiv auf die Patienten aus.

#### Empfehlung E26

Bei Agitationszuständen sind nicht immer antipsychotische und anxiolytische Medikationen erforderlich; sie können oft schon durch einfache nicht-medikamentöse Maßnahmen (z. B. Kommunikation, kognitive Stimulation, frühe Mobilisierung) gelindert werden.

#### 5.7.5 Maßnahmen zur Verbesserung der Schlafqualität

Der Schlaf auf Intensivstationen ist geprägt von Schlaffragmentation, erhöhten Anteilen von Leichtschlaf und Verminderung der Anteile von Tiefschlaf und REM-Schlaf [362].

Wichtige Ursachen der Störung der normalen Schlafarchitektur sind:

- ▶ Störung des zirkadianen Rhythmus
- ▶ verlängerte Bettlägrigkeit
- ▶ Störung des Hell-Dunkel-Rhythmus
- ▶ Verminderung der Melatonin-Sekretion
- ▶ Lärm
- ▶ pflegerische und ärztliche Tätigkeiten
- ▶ mechanische Beatmung (z. T. abhängig vom eingestellten Beatmungsmodus) [363]
- ▶ Schwere der akuten Erkrankung
- ▶ medikamentöse Therapie

Schlafdeprivation geht mit folgenden Phänomenen einher (nach [358]):

- ▶ verstärkte Schmerzempfindlichkeit
- ▶ Verstärkung des Sympathikotonus
- ▶ Abnahme des Parasympathikotonus
- ▶ verminderte Immunantwort
- ▶ Veränderungen von Stoffwechsel und Endokrinium
- ▶ Störungen der Aufmerksamkeit
- ▶ verminderte psychomotorische Funktionen
- ▶ erhöhte Tagesschläfrigkeit
- ▶ Depression (Fatigue, Erregbarkeit)

Primär sollten zur Verbesserung bzw. Wiederherstellung einer normalen Schlafarchitektur bzw. eines normalen Tag-Nacht-Rhythmus nicht-medikamentöse Maßnahmen eingesetzt werden.

Lärmreduktion, Etablierung eines Hell-Dunkel-Rhythmus etc. sind in spezialisierten Weaningeinheiten, in denen nächtliche Notfallsituationen seltener auftreten als auf allgemeinen Intensivstationen, leichter realisierbar.

#### 5.7.6 Physiotherapie und Sekretmanagement

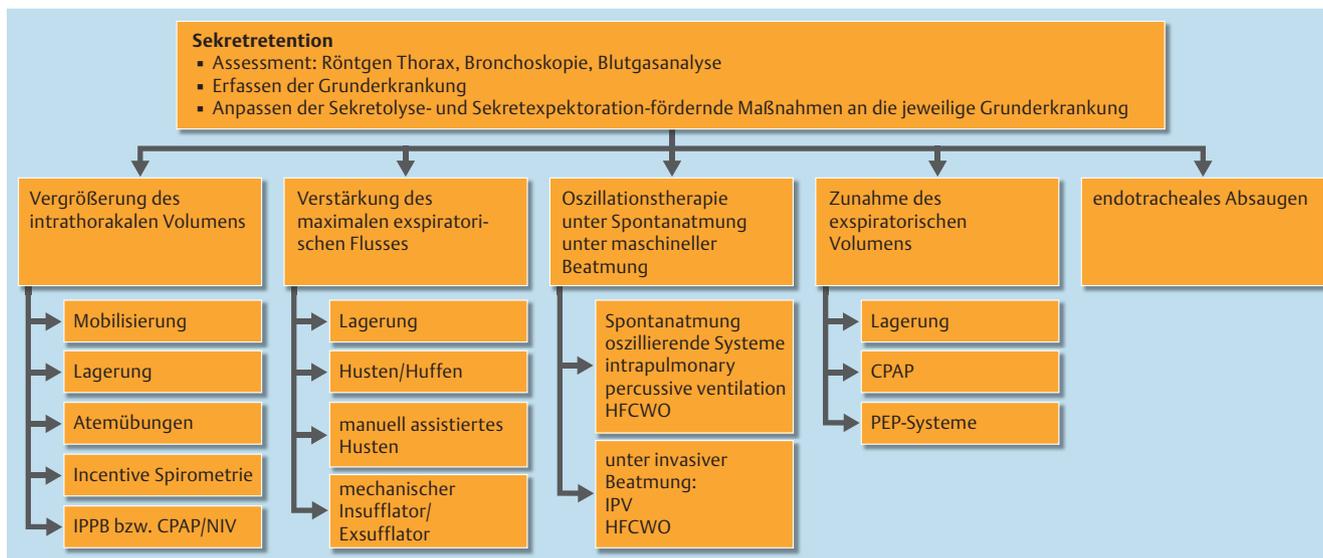
Der Stellenwert der Physiotherapie in der Intensivmedizin ist in der Literatur umstritten: während einige Arbeiten positive Effekte, u. a. bzgl. Prävention einer Ventilator-assoziierten Pneumonie aufzeigen konnten [364], zeigte eine Studie eine Verlängerung der Beatmungszeit durch Physiotherapie bei Patienten, die länger als 48 Stunden beatmet wurden [365]. Neben methodischen Schwächen der Studien (ungenau beschriebene Randomisierung, keine Aussage über Verblindung der Physiotherapeuten) reflektieren diese Arbeiten nicht die spezielle Situation des prolongierten Weanings. Physiotherapie besitzt hier einen hohen Stellenwert in der Therapie: Mobilisation und Sekretmanagement als Hauptbestandteile der Behandlung entscheiden über Erfolg und Misserfolg eines erfolgreichen Weanings vom Ventilator, einer Dekanülierung und Verlegung in eine Rehabilitationseinrichtung. Physiotherapie zur Rekonditionierung, Mobilisierung und Sekretelimination ist im komplexen Weaningprozess essenziell und muss täglich intensiv durchgeführt werden (siehe Qualitätsindikator). Mangels aussagekräftiger Studien in dieser speziellen Situation besitzen die im Folgenden genannten Empfehlungen lediglich den Evidenzgrad einer Expertenmeinung.

##### 5.7.6.1 Mobilisation

Muskuläre Dekonditionierung stellt im prolongierten Weaning ein wesentliches Hindernis für eine frühzeitige Mobilisierung der Patienten dar. Ursächlich hierfür sind einerseits die lange Phase der Immobilität unter Analgosedierung, in der meist nur passive Lagerungen zur Kontraktur-Prophylaxe durchgeführt werden, andererseits auch die häufig vorhandene Critical-Illness-assoziierte Polyneuro- und/oder -myopathie (CIPNM). Eine frühzeitige Einbeziehung der Physiotherapie in den Weaningprozess ist notwendig, um nach einem eingehenden Assessment Prioritäten für die Behandlung festzulegen. Es ließ sich in Studien zeigen [366–368], dass eine frühzeitig einsetzende Physiotherapie die Weaningdauer verkürzt. Voraussetzung dafür ist, dass sowohl die kardiale als auch respiratorische Reserve des Patienten entsprechend den Empfehlungen der European Respiratory Society und European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients [369] beachtet werden, um den Patienten nicht durch eine unphysiologisch hohe Belastung zu gefährden.

Mobilisation umfasst dabei alle Maßnahmen von passiven, aber vor allem aktiven physikalischen Aktivitäten, die der Verbesserung von alveolärer Ventilation, zentraler und peripherer Durchblutung und dem Muskelstoffwechsel dienen. Das Ziel dabei ist, Muskulatur aufzubauen, Kontrakturen vorzubeugen oder sie zu lösen, und negativen Effekten der Immobilisierung, wie z. B. Venenthrombosen und Muskelabbau, entgegenzuwirken. Auch Lagerungstherapie zur Vermeidung von Dekubitalulzerationen und zum Erhalt des Körpergefühls gehört mit dazu. Passive Mobilisation muss möglichst frühzeitig, nach Überwinden der Phase der Kreislaufinstabilität, begonnen werden. Intensive Physiotherapie sollte ebenfalls so früh wie möglich, bei wieder gewonnener Kooperationsfähigkeit des Patienten nach Reduktion bzw. Pausierung der analgetischen und sedierenden Medikamente, begonnen werden, in Analogie zu Daten aus der akuten invasiven Beatmung auf der Intensivstation [368].

Bei Patienten, die ihre Muskeln nicht willentlich kontrahieren können, z. B. bei Rückenmarks-Schädigung oder ausgeprägter Critical-Illness-assoziiertes Polyneuro- und/oder -myopathie, konnte gezeigt werden, dass durch neuromuskuläre Elektrostimulation eine weitere Muskelatrophie zumindest teilweise ver-



**Abb. 8** Maßnahmen zur Sekretolyse und Sekretentfernung im prolongierten Weaning (modifiziert nach [369]). HFCWO: High Frequency Chest Wall Oscillation; IPPB: Intermittent Positive Pressure Breathing; CPAP: Continuous Positive Airway Pressure; NIV: Nicht-invasive Beatmung; PEP: Positive Expiratory Pressure; IPV: Intrapulmonary Percussion Ventilation.

hindert und in Kombination mit aktiver Physiotherapie die Zeitdauer bis zur Mobilisierung in den Reha-Stuhl verkürzt werden konnte [370]. Mittels spezieller Trainingsgeräte ist neben aktiven Bewegungsübungen selbst im Liegen sowohl ein passives als auch ein aktives aerobes Training von Arm- und Beinmuskulatur, adaptiert an die individuelle Leistungsfähigkeit, möglich. In einem 6-wöchigen Trainingsprogramm konnte hiermit in einer randomisiert-kontrollierten Studie eine größere Kraftzunahme der Muskulatur und eine höhere Anzahl von Spontanatmungsphasen im Vergleich zur Kontrollgruppe erreicht werden [371]. Diese Trainingseinheiten sollten während des Weanings primär unter Beatmung, im weiteren Verlauf bei Besserung der funktionellen Reserven, auch während der Spontanatmungsphasen durchgeführt werden. Auch nach erfolgreichem Weaning kann die Fortführung derartiger Übungen in Ergänzung zur konventionellen, auf die Sekretelimination ausgerichteten Physiotherapie, zu einer Verbesserung der Ausdauerbelastung und Abnahme der Dyspnoe führen [372].

Es ließ sich durch direkte Messungen zeigen, dass die Atemarbeit bei Spontanatmung (insbesondere bei adipösen Patienten) in sitzender Position im Vergleich zum Liegen deutlich reduziert wird [373]. Darüber hinaus ist die Effektivität des Hustenstoßes im Sitzen am höchsten. Ob ein spezifisches Training der Inspirationsmuskulatur im Weaningprozess die Liberation vom Ventilator beschleunigt, oder wegen der Gefahr der Überlastung einer schon schwachen Atemmuskulatur vermieden werden sollte, ist zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht endgültig geklärt, da die vorliegenden positiven Studien keine Kontrollgruppen hatten [166, 374–375] oder andere methodische Mängel aufweisen. Die Ergebnisse aktuell laufender Studien müssen zur abschließenden Beurteilung abgewartet werden. Eine ausreichende Anzahl an Physiotherapeuten ist für diese im Weaning wichtige adjunktive Maßnahme von essenzieller Bedeutung. Auch ist in der Dienstplangestaltung darauf zu achten, dass die Physiotherapie auch am Wochenende erfolgt, um durch Therapieunterbrechung den Behandlungserfolg nicht zu gefährden.

#### Empfehlung E27

Passive Mobilisierung muss so früh wie möglich unter Beatmung zur Vermeidung von Kontrakturen eingesetzt werden. Aktive Mobilisierung auch unter Beatmung sollte bei Kooperationsfähigkeit des Patienten ebenso so früh wie möglich und regelmäßig kontinuierlich, d.h. an sieben Tagen in der Woche, durchgeführt werden.

#### Empfehlung E28

Bei beatmeten Patienten sollte die Spontanatmung möglichst lange in einer die Atmung erleichternden Körperposition (bevorzugt in sitzender Position) erfolgen, um die Atemarbeit zu reduzieren und um das Abhusten zu erleichtern.

#### 5.7.6.2 Sekretmanagement

Sekretretention mit den Folgen Erhöhung der Atemarbeit, Verschlechterung der Blutgase, insbesondere Hypoxämie durch Atelektase mit Shunt, und erhöhtes Infektrisiko stellt im prolongierten Weaning eine besondere Herausforderung dar. Aufgrund der gestörten mukoziliären Clearance, präexistierend z.B. bei COPD, oder bedingt durch Anwesenheit eines Fremdkörpers (Tubus oder Trachealkanüle) bzw. unzureichende Konditionierung der Inspirationsgase oder zu hohe inspiratorische Sauerstoffkonzentrationen, kommt es zu einer Sekretakkumulation in den Atemwegen. Der Husten als Kompensation ist durch den invasiven Beatmungszugang bzw. die häufig begleitende Muskelschwäche ebenfalls nicht effektiv in der Sekretentfernung aus den Atemwegen. Neben invasiven Techniken wie Bronchoskopie und endotrachealem Absaugen (Tätigkeit von Pflegekräften bzw. Atemtherapeuten, ggf. mit schriftlicher Erlaubnis auch von Physiotherapeuten) hat die Physiotherapie eine wichtige Bedeutung: Hier kommen spezielle Techniken zur Sekretolyse zum Einsatz [376], z.B. mittels endobronchial oder transthorakal oszillierender Systeme [377–378] oder Inhalationstherapie z.B. mit hochosmolaren Kochsalz-Lösungen. Die Sekretentfernung kann anschließend z.B. mittels Lagerungstherapie, Huffing, PEP-System [379],

manuell assistiertem Husten oder Anwendung von mechanischen Hustenhilfen wie dem Mechanical Insufflator-Exsufflator [380–381] erfolgen, dessen Indikation nur bei neuromuskulären Erkrankungen und gesunden Lungen besteht. Allen physiotherapeutischen Maßnahmen, die Sekretexpektorat fördern, liegt das Prinzip zugrunde, durch intrabronchiale Druckerhöhung während der Expirationsphase bzw. dem Husten das peripher gelegene Sekret in die zentralen Atemwege zu befördern. Eine z.B. bei COPD gleichzeitig vorliegende bronchiale Instabilität kann durch Anwendung eines positiven Drucks während der Expiration zu einer Verschiebung des sogenannten „Equal Pressure Points“ zu den großen Atemwegen hin und damit zu einer Verbesserung der Sekretclearance führen. Je nach zugrundeliegender Pathophysiologie der Sekretretention ist nach ausführlicher Untersuchung eine spezifisch auf die jeweilige Situation adaptierte physiotherapeutische Behandlung notwendig, die in **Abb. 8** schematisch in Anlehnung an die Empfehlungen der ERS- und ESICM-Task Force [369] dargestellt wird.

Bei Abhustschwäche stellt die Minitracheotomie eine Alternative zum Platzhalter nach Dekanülierung dar. Aufgrund des relativ geringen Kalibers (Innendurchmesser: 4,0 mm plus Wandstärke) ermöglicht sie ein weitgehendes Schrumpfen des Tracheostomas, wobei mittels Absaugkatheter weiterhin Sekret aus der Trachea abgesaugt werden kann. Hierdurch kann insbesondere bei Patienten mit neuromuskulären Erkrankungen, die eine unmittelbare NIV nach Dekanülierung benötigen, aber einen abgeschwächten Hustenstoß aufweisen, die NIV ermöglicht und trotzdem ein effektives Sekretmanagement durchgeführt werden.

Wie für die Mobilisierung gilt hier genauso die absolute Notwendigkeit, die Sekretolyse und Sekretentfernung an sieben Tagen in der Woche regelmäßig, bei Bedarf mehrfach täglich, durchzuführen.

#### Empfehlung E29

Physiotherapie zur Rekonditionierung, Mobilisierung und Sekretelimination besitzt einen zentralen Stellenwert im komplexen Weaningprozess und muss intensiv täglich durchgeführt werden.

#### Empfehlung E30

Insbesondere bei Patienten mit *neuromuskulären Erkrankungen* und NIV, bei denen eine ansonsten therapierefraktäre Hypersekretion besteht, kann eine „Minitracheotomie“ hilfreich sein, Sekret effektiv abzusaugen.

#### Qualitätsindikator Q1

Physiotherapie und Sekretelimination werden täglich, auch am Wochenende, im Weaningprozess durchgeführt.

### 5.7.7 Diagnostik und Therapie von Schluckstörungen

Schluckstörungen mit nachfolgender Aspiration stellen im prolongierten Weaning nicht selten die Ursache für eine erfolglose Dekanülierung bzw. rezidivierende Infektionen der unteren Atemwege dar. Die Ursachen hierfür sind vielfältig (s. **Tab. 11**). Die Trachealkanüle an sich stellt keinen unabhängigen Risikofaktor für eine Aspiration dar [382–383]. Auch mit vorhandener Trachealkanüle kann der Larynx während des Schluckens adäquat angehoben werden [384]. Dennoch kann die Trachealkanüle

**Tab. 11** Mögliche Ursachen von Dysphagien im prolongierten Weaning.

- Critical-Illness-assoziierte Polyneuropathie bzw. Polymyopathie
- zerebrale Durchblutungsstörungen – unter Analgosedierung klinisch häufig unbemerkt
- Bewusstseinsstörungen
- Epiglottitis
- nasogastrale Sonde
- vorbestehende Schluckstörungen z. B. bei M. Parkinson oder Amyotropher Lateralsklerose

erfahrungsgemäß im Einzelfall durch mechanische Irritation eine Störung des Schluckaktes verursachen.

Eine Aspiration kann häufig bereits klinisch, z. B. durch Absaugen von Aspirat, aber auch nach Anfärben des Speichels bzw. der Nahrung durch z. B. Lebensmittelfarbe bei entblockter Kanüle nachgewiesen werden.

Bei diagnostizierter Schluckstörung/Aspiration oder klinischem Verdacht auf Aspiration während der Nahrungsaufnahme im Weaningverlauf sollten weitere Tests vor einer definitiven Dekanülierung stattfinden.

Bei negativem Ergebnis, aber weiter bestehendem klinischen Verdacht [385] sollten zusätzlich sensitivere diagnostische Verfahren wie FEES (Fiberoptic Endoscopic Examination of Swallowing) [386] und die allerdings häufig nicht leicht verfügbare Videofluoroskopie durchgeführt werden. Auch lässt sich Aspiration mittels nuklearmedizinischer Methoden nachweisen [387]. Auf weitere Vorgaben zur Methode der Testung des Schluckaktes wird hier bewusst verzichtet, da keine standardisierte Testung existiert.

Unabhängig davon ergänzen sich diese Verfahren in ihrer Aussage und geben genauere Informationen über die orale, pharyngeale und oesophageale Phase des Schluckaktes. Auf den Erkenntnissen des diagnostischen Verfahrens, mit dem das Behandlungsteam die meiste Erfahrung hat, basiert dann eine problemorientierte und individualisierte Strategie. Eine quantifizierte Beurteilung des Ausmaßes der Dysphagie (z. B. nach [388]) sollte erfolgen, um eine spätere Vergleichbarkeit zu ermöglichen.

Bei vorliegender Schluckstörung sollte die Trachealkanüle mit Ausnahme der Zeiten des Schlucktrainings zum Schutz vor Aspirationen geblockt bleiben. Regelmäßiges Schlucktraining unter Anleitung von Logopäden bzw. Ergotherapeuten/Atmungstherapeuten ist bei vorhandener Schluckstörung notwendig.

#### Empfehlung E31

Vor Beginn der oralen Nahrungsaufnahme nach invasiver Langzeitbeatmung müssen Schluckstörungen frühzeitig erkannt werden.

#### Qualitätsindikator Q2

Vor Beginn der oralen Ernährung im Weaning erfolgt eine Testung auf Schluckstörung.

### 5.8 Besonderheiten bei Querschnittlähmung

Das Weaning hochquerschnittgelähmter Patienten ist aus vielen Gründen eine Herausforderung für die Spezialzentren. Da es sich hier im Regelfall um ein prolongiertes, diskontinuierliches Weaning bei tracheotomierten Patienten handelt [389,390], beträgt die in der Literatur angegebene Liegezeit auf den spezialisierten Stationen zwischen 40 und 292 Tagen [391]. Prolongierte

Weaningverläufe sind somit die Regel, da rezidivierende pulmonale Infekte den Weaningprozess verzögern [390, 392]. Die Versagerquote nach Langzeitweaning wird einvernehmlich mit rund 30% angegeben [389, 391]. Parallel dazu erschweren vielfältige vegetative Dysregulationen wie Hypotonien, Bradykardien, Temperaturregulationsstörungen und autonome Dysreflexien den Behandlungsverlauf [393, 394] und erfordern in diesem Zusammenhang einen erfahrenen Paraplegiologen. Seit ca. 15 Jahren wird bei Hochquerschnittgelähmten in den deutschen Zentren Respiratorentwöhnung durchgeführt [395].

### 5.8.1 Pathophysiologische Aspekte

Alle hochquerschnittgelähmten Patienten sind in ihrer Atmung eingeschränkt [392]. Dies liegt seltener an (vor)bestehenden Lungenerkrankungen, sondern hauptsächlich an der Beeinträchtigung der muskulären Atempumpe nach teilweiser oder totaler spinaler Denervation der Atem(hilfs)muskeln. An erster Stelle ist hier das Zwerchfell zu nennen, das bei diesen Patienten nahezu 100% der verbliebenen aktiven Atemarbeit leistet [396–397]. Es gilt, diesen Muskel und seine (Rest-)Funktionen behutsam, methodisch und vor allem ohne Ermüdung aufzutrainieren (siehe auch Kapitel 4.2.3 und 4.2.4). Dieses Training bewirkt, dass bestimmte Muskelfasertypen, welche zunächst schnell ermüden, nun eine ausdauernde Stoffwechselleistung erbringen können [397–399]. Dieses Phänomen ist bei Querschnittgelähmten zunächst nach Stimulation des Phrenicusnerven eingehend untersucht worden [400], kann jedoch auch für den Ausbau der respiratorfreien Zeiten bei spontan atmenden Patienten genutzt werden. Wichtig ist, den Ermüdungspunkt des Zwerchfells (sog. fatigue-point) nicht zu erreichen, da sonst das Weaning nachhaltig verzögert oder überhaupt nicht möglich ist [401–403].

### 5.8.2 Charakteristika von Patienten mit Querschnittlähmung

Die Mehrheit der Patienten besteht aus Tetraplegikern oder -paretikern mit einer traumatisch oder nicht traumatisch verursachten Querschnittlähmung (QSL) unterhalb C0–C7, ASIA Typ A, B, C (siehe **Tab. 12**). Seltener finden sich aber auch Paraplegiker mit zusätzlichen Begleitverletzungen und/oder -erkrankungen, welche die Atmungsleistung beeinträchtigen.

**Tab. 12** Einteilung der Rückenmarkstraumen nach der ASIA-Impairment-Skala [404].

American Spinal Injury Association Scale (ASIA)	neurologischer Ausfall
A	motorisch und sensibel komplett in S4/S5
B	motorisch komplett, sensibel inkomplett in S4/S5
C	motorisch und sensibel inkomplett, Kraftgrade der erhaltenen motorischen Funktionen im Mittel < 3
D	motorisch und sensibel inkomplett, Kraftgrade der erhaltenen motorischen Funktionen im Mittel ≥ 3
E	keine motorischen und sensiblen Ausfälle

### 5.8.3 Ergänzende Ausschlusskriterien für den Beginn des Weaningprozesses

Zusätzlich zu den genannten allgemeinen Ausschlusskriterien (siehe auch Kapitel 5.1.1) gibt es bei einer QSL folgende mögliche medizinische Gegebenheiten, unter denen ein Weaning nicht begonnen bzw. fortgesetzt werden kann:

- ▶ persistierende komplette Zwerchfelllähmung ohne Hustenstoß
- ▶ autonome Dysreflexie
- ▶ nicht kompensierte, die Atmung beeinträchtigende Rumpfspastik
- ▶ septische Dekubitalgeschwüre

### 5.8.4 Praktischer Ablauf des Weaningprozesses

Das Weaning wird zunächst tagsüber im Bett liegend begonnen. Ab einer Spontanatmungszeit von 20 min/h wird das Weaning auch in sitzender Position durchgeführt (z. B. auch im Rollstuhl). Eine spirometrische Überwachung der Atemzugvolumina und eine Kapnometrie ist zu gewährleisten.

Während der Nacht wird die Atmungsmuskulatur des Patienten bis zur kontinuierlichen Spontanatmung am Tage durch einen kontrollierten Beatmungsmodus möglichst komplett entlastet.

Das Weaningkonzept wird tagsüber wie folgt durchgeführt: Für jede Stunde gibt es einen Anteil Spontanatmung und einen Anteil Entlastung am Respirator. Pro Tag ergeben sich somit zwölf Trainingseinheiten. Für die Bestimmung des Anteils der Spontanatmung spielt vor allem das sog. gemittelte Atemzugvolumen (spirometrisch gemessenes durchschnittliches Atemzugvolumen über 20 Spontanatemzüge) eine tragende Rolle. Weitere Einflussgrößen sind Vitalkapazität, Atemfrequenz, Ausmaß der Zwerchfellbeweglichkeit (Sonografie) und Prüfung des Hustenstoßes. Wichtige Abbruchkriterien der Spontanatmung sind Abnahme des Atemzugvolumens (mittleres AZV minus 30%) sowie die Entwicklung vegetativer Symptomatik (Spastik, Dysreflexie). Ist das Weaning am Tage erfolgreich abgeschlossen (d. h. der Patient für ca. eine Woche tagsüber respiratorisch stabil), wird das Weaning in der Nacht wie folgt begonnen: pro Tag wird die Spontanatmungszeit hier um eine Stunde verlängert. Dabei hat der Patient die Wahl, ob er die Zeiten in die Nacht hinein verlängert haben möchte oder ob er in den frühen Morgenstunden früher vom Respirator diskonnektiert wird. Beim Weaningprozess haben sich standardisierte Protokolle als hilfreich erwiesen und sollten im Rahmen der Dokumentation verwendet werden [405]. Für detailliertere Ausführungen, Therapiebeispiele oder Dokumentationsvordrucke verweisen wir auf die Empfehlungen der Deutschsprachigen Medizinischen Gesellschaft für Paraplegie ([www.dmgp.de](http://www.dmgp.de)).

### 5.9 Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten

Es gibt bisher nur wenige Studien zum Weaning, zur Weaningbereitschaft und zur Extubation im Kindesalter. Im Folgenden wird sich auf Weaning von pädiatrischen Patienten bezogen, Studien an Früh- und Neugeborenen wurden nicht eingeschlossen.

#### 5.9.1 Weaningprotokolle

Zwei prospektiv randomisierte Studien [406–407] und retrospektive Analysen [408–409] belegen die Verkürzung der Weaningdauer bei Verwendung eines Weaningprotokolls, eine randomisierte Studie konnte dies nicht bestätigen [410]. Eine kleine retrospektive Studie beschreibt ein Entwöhnungsprotokoll für Patienten mit spinaler Muskelatrophie Typ 1 (SMA1). Das Protokoll beschreibt u. a. die Verwendung eines In-/Exsufflators, die

Extubation, wenn  $\text{SaO}_2 > 94\%$  bei  $\text{FiO}_2 0,21$ , vorgegebene Intervalle beim Absaugen sowie die Extubation mit nachfolgender NIV [411]. Dieses Vorgehen erhöhte in dieser Studie die Extubationsrate. Auch wenn der Benefit von Weaningprotokollen im Kindesalter wahrscheinlich ist, reicht zum jetzigen Zeitpunkt die vorliegende Studienlage nicht als Basis für eine eindeutige Empfehlung zu deren Anwendung.

### 5.9.2 Beurteilung der Entwöhnbarkeit

Die standardisierte Beurteilung der Entwöhnbarkeit von kurzzeitbeatmeten Kindern wurde in einer aktuellen randomisierten Studie untersucht. Täglich wurden folgende Parameter evaluiert ( $\text{FiO}_2 \leq 0,5$ ,  $\text{PEEP} \leq 8 \text{ cmH}_2\text{O}$ , keine neuen Infiltrate im Röntgen thorax, keine Dauersedierung oder Paralyse, normwertige Elektrolyte, hämodynamische Stabilität und Hämoglobin  $\geq 8 \text{ g/dl}$ ) und dann ggf. ein Spontanatmungsversuch durchgeführt. Dieses Vorgehen verkürzte die Beatmungsdauer signifikant [407]. Weaning Readiness setzt bei Kindern nach allgemeiner Meinung neben den auch für Erwachsene geltenden Faktoren einen ausreichenden Hydratationszustand voraus [412–413]. Ob ein restriktives gegenüber einem liberalen Flüssigkeitsmanagement die Extubation begünstigt, ist bisher nicht geklärt [414–416].

### 5.9.3 Sedierung und Sedierungsprotokolle

Aufgrund der niedrigen Toleranz von Beatmung ist bei Kindern Sedierung während maschineller Beatmung notwendig. Eine Studie beschreibt den Zusammenhang von Extubationsversagen und tiefer Sedierung [410]. Mit Sedierungsprotokollen für Kinder kann die Sedierungstiefe quantifiziert [417, 418] und besser gesteuert werden [418–420]. Tägliches Unterbrechen der Sedierung (Einschlusskriterien: mechanische Beatmung  $> 48 \text{ h}$ ,  $\text{PIP} < 29 \text{ mmHg}$ ) verkürzte die Beatmungsdauer in einer aktuellen randomisierten Studie [421].

### 5.9.4 Spontanatmungsversuch und Prädiktion der erfolgreichen Extubation

Eine Studie konnte bei Kindern keine Unterschiede in der Vorhersage eines Extubationsversagens durch Spontanatmungsversuch über T-Stück oder Beatmung mit PSV 2 h vor Extubation nachweisen [422]. Weitere klassische Parameter für Extubationsversagen wie  $V(t)$ , Atemfrequenz,  $P_{i\text{max}}$  und  $f/V(T)$  im Spontanatmungsversuch sagten auch im Verlauf das Extubationsversagen unzureichend vorher [423]. In einer Studie hatte die Durchführung eines 15 min SBT eine gute Prädiktion (92%) der erfolgreichen Extubation [424]. Die Rate an Extubationsversagen war aber nicht niedriger als in einem historischen Kontrollkollektiv mit Extubation nach klinischer Einschätzung. Die tägliche Beurteilung der Weaningfähigkeit gefolgt von einem Spontanatmungsversuch verkürzte die Beatmungsdauer bei kurzzeitbeatmeten Patienten jedoch ohne Auswirkung auf die Re-Intubationsrate [407]. Andere Prädiktoren für erfolgreiche Extubation wie Rapid Shallow Breathing Index  $< 8$  (bzw.  $< 11$ )  $\text{AZ/min/ml/kg}$  und CROP (Compliance, Respiratory Rate, Arterial Oxygenation und  $P_{i\text{max}}$ ) Index  $> 0,15$  (bzw.  $> 0,1$ )  $\text{ml/kg/AZ/min}$  (Index, berechnet aus Compliance, Atemfrequenz, Oxygenierung und Beatmungsdauer) erbrachten kontroverse Ergebnisse [425–431]. Eine neuere prospektive Studie beobachtet eine hohe Prädiktion des Tension-Time-Index für den Weaningserfolg [432]. Ein Problem bei der Bewertung der respiratorischen Stabilität am CPAP/T-Stück besteht in der Verwendung der dünnen pädiatrischen Tuben; hier steigt der Widerstand mit der vierten Potenz des Radius. Oft kommt es durch Extubation zur Abnahme des Atemwegs-

widerstandes, sodass die Extubation trotz negativem Spontanatmungsversuch erfolgreich sein kann. Andererseits überschätzt eine Tubuskompensation durch höhere PSV-Drücke im Spontanatmungsversuch bei kleinen Tuben möglicherweise die „Readiness“ zur Extubation [433]. Zusammenfassend konnte mit der standardisierten Durchführung von Spontanatmungsversuchen bei Kindern keine Reduktion an Extubationsversagen erreicht werden.

### 5.9.5 Beatmungsformen im Weaning

Eine randomisierte Studie konnte keinen Unterschied zwischen Weaning über PSV, VC oder Weaning ohne Protokoll finden [410]. Eine weitere Studie findet bei 70 Kindern keinen Unterschied in der Beatmungsdauer bei Verwendung von PCV vs. SIMV mit PSV [434]. Eine Empfehlung zum Beatmungsmodus im Weaning im Kindesalter kann derzeit nicht gegeben werden. Allerdings ist in Analogie zur Erwachsenenmedizin von SIMV als Modus der Respiratorentwöhnung bei prolongiertem Weaning abzuraten.

### 5.9.6 Postextubation-Stridor

Aufgrund der engen Atemwege ist Postextubation-Stridor (Upper Airway Obstruction; UAO) ein häufiger Grund für Extubationsversagen bei Kindern [83]. Der Nutzen des Cuff-Leak-Tests [128, 435] bzw. die Analyse des Tubuslecks bei ungeblockten Tuben zur Abschätzung des Risikos für eine UAO nach Extubation ist umstritten [435–437]. Eine aktuelle Metaanalyse belegt, mit der Einschränkung niedriger Fallzahlen, dass die prophylaktische Anwendung von Steroiden die Häufigkeit von Postextubation-Stridor und möglicherweise Extubationsversagen reduziert [438, 439]. Möglicherweise profitieren Patienten mit erhöhtem Risiko (u.a. lange Beatmungszeit, multiple Atemwegsmanipulation, Laryngotracheitis/Epiglottitis, negativer Cuff-Leak-Test) von Steroiden vor Extubation [440]. Die Verwendung von Helium-Sauerstoffmischungen ist ein weiterer Ansatz, um bei Kindern die Re-Intubationsrate zu senken [441–443]. Randomisierte kontrollierte Studien fehlen hierzu bisher.

### 5.9.7 Tracheotomie

Eine Tracheotomie ist oft indiziert bei Stenosen oder Malazien der Atemwege des Säuglings oder Kleinkindes, um das Weaning zu ermöglichen [86–87]. Ein Stomaverschluss ist aufgrund der engen Atemwege erst bei ausreichender Größe des Kindes wieder möglich. Frühzeitige Tracheotomie als Weaningstrategie bei schwerem Atemversagen wie z.B. bei ARDS des Kindes ist wenig beachtet. Sie wird meist nur bei Nichtentwöhnbarkeit als Überleitung zur außerklinischen Beatmung eingesetzt und häufig erst nach  $> 60$  Beatmungstagen durchgeführt [444–447]. Möglicherweise könnten ältere Kinder und Adoleszenten von einer früheren Tracheotomie als Weaningstrategie in Analogie zu den Erwachsenen profitieren [251]. Eine kleine retrospektive Analyse belegt dies aber nicht [447]. Derzeit kann hier keine allgemeine Empfehlung abgeleitet werden. Aufgrund der engen Atemwege und der kleinen, kurzen Kanülen ist das Risiko für Kanüendislokation erhöht. Leichte Rekanülierbarkeit und stabiler Atemweg ohne Kanüle ist lebensrettend [448]. Deshalb müssen Tracheotomien bei Kindern chirurgisch epithelialisiert angelegt werden. Die Kanülenlage muss regelmäßig endoskopisch kontrolliert werden, um Granulationen, Malazien und Dilatation der Tracheahinterwand frühzeitig zu behandeln und um eine Rückverlagerung nicht zu verzögern.

### 5.9.8 Nicht-invasive Beatmung

NIV wird im Kindesalter im Respiratorweaning erfolgreich angewendet [449–451]. NIV im Langzeitweaning wurde an einer kleinen Kohorte beschrieben [452]. Es sind aber keine randomisierten Studien zu NIV beim Weaningprozess im Kindesalter außerhalb der Neugeborenenperiode verfügbar, sodass derzeit keine allgemeine Empfehlung abgeleitet werden kann.

#### Empfehlung E32

Möglicherweise profitieren Kinder mit erhöhtem Risiko für Postextubation-Stridor von prophylaktischer Steroidgabe vor Extubation.

#### Empfehlung E33

Tracheotomien bei Kindern sollten chirurgisch epithelialisiert angelegt werden und die Kanülenlage sollte regelmäßig endoskopisch kontrolliert werden.

#### Empfehlung E34

Eine tägliche Unterbrechung der Sedierung soll bei Kindern durchgeführt werden, um die Beatmungsdauer zu verkürzen.

## 6 Weaningversagen und Leben nach Langzeitbeatmung

### 6.1 Indikationen zur außerklinischen Beatmung und Organisation der Überleitung

Patienten, die nach erfolgreichem Weaning von der invasiven Langzeitbeatmung eine persistierende ventilatorische Insuffizienz aufweisen (Gruppe 3b), können von einer nicht-invasiven Beatmung profitieren. Da eine nicht-invasive Beatmung weitgehend autonom durchgeführt werden kann, konzentriert sich der Überleitprozess bei der Entlassung dieser Patienten im Wesentlichen auf die Ausstattung mit Beatmungsgeräten und entsprechendem Zubehör sowie die Einweisung in deren Bedienung. Auch Patienten mit erfolgreichem Weaning (Gruppe 3c) können in den außerklinischen Bereich entlassen werden, wenn sie die Fortführung der invasiven Beatmung wünschen [12, 453]. Ebenso können invasiv langzeitbeatmete Patienten in einer Palliativsituation auf eigenen Wunsch aus der Klinik entlassen werden. Vor Einleitung einer außerklinischen invasiven Beatmung sind stets alle Möglichkeiten zu prüfen, die invasive Beatmung in eine nicht-invasive Beatmung zu überführen [16, 453].

Erfolgreiches Weaning (Gruppe 3c) mit der Notwendigkeit zur kontinuierlichen oder intermittierenden invasiven außerklinischen Beatmung sollte idealerweise von einem spezialisierten Weaningzentrum attestiert und die außerklinische Beatmung dort initiiert werden. Wenn die Verlegung in ein spezialisiertes Weaningzentrum nicht zu realisieren ist, sollte die Initiierung der außerklinischen Beatmung möglichst in enger Abstimmung mit einem Zentrum erfolgen, das über ausreichend Expertise in der komplexen Betreuung außerklinisch beatmeter Patienten verfügt und die langfristige Durchführung von Therapiekontrollen übernehmen kann (Zentren für Außerklinische Beatmung; [www.digab.de](http://www.digab.de) [12–14, 454–455]).

Die Anzahl außerklinisch invasiv beatmeter Patienten ist in den letzten Jahren deutlich angestiegen, wenngleich für Deutschland zur Zeit noch keine exakten Zahlen vorliegen. Für diese Patientenkontingent steht bislang allerdings keine strukturierte ambulante

ärztliche Betreuung zur Verfügung [456], da bei niedergelassenen Ärzten bis auf wenige Ausnahmen keine Beatmungskompetenz vorhanden ist [457] und die aufwendige Betreuung bisher nicht in den Vergütungssystemen abgebildet ist. Aus diesem Grund ist die außerklinische Versorgungssituation insbesondere multimorbider Patienten oftmals sehr instabil, sodass häufige Notarzteinsätze und wiederholte Krankenhauseinweisungen notwendig sind. Die Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP), die Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung (DIGAB), der AOK Bundesverband und der Medizinische Dienst des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen haben daher detaillierte Durchführungsempfehlungen zur invasiven außerklinischen Beatmung herausgegeben, um die Versorgungssituation betroffener Patienten unter den aktuellen Vorgaben des SGB V und XI sicherer zu gestalten [458]. Aufgrund der rasanten Entwicklung der invasiven außerklinischen Beatmung erst in den letzten Jahren, der sektoralen Versorgungs- und Vergütungsstrukturen, sowie komplexer gesetzlicher Vorschriften und föderalistischer Besonderheiten existieren in Deutschland bislang keine umfassenden Erhebungen oder Studien zur außerklinischen Beatmungsversorgung. Die Übertragbarkeit von Erhebungen bzw. Empfehlungen aus den USA [16] und Kanada [455] oder einzelner europäischer Länder [459–460] ist wegen der unterschiedlichen Gesundheitssysteme nur bedingt möglich. Ähnlich wie in anderen Industrienationen basieren die Empfehlungen für Deutschland daher im Wesentlichen auf der Erfahrung von Experten aus Weaningzentren und Zentren für außerklinische Beatmung, die seit vielen Jahren betroffene Patienten betreuen [15, 458].

Voraussetzung für die Überleitung invasiv beatmeter Patienten in den außerklinischen Bereich ist

- ▶ neben einem Weaningversagen bzw. kurzfristig (innerhalb von 4 Wochen) nicht mehr zu erzielenden Weaningfortschritten
- ▶ die Stabilisation der Grund- und Begleiterkrankungen sowie möglicher Komplikationen
- ▶ eine vollständig abgeschlossene klinische Diagnostik und
- ▶ die Etablierung einer im außerklinischen Bereich durchführbaren Dauertherapie [13, 16, 458].

Im außerklinischen Bereich sollte für die medizinische Versorgung und die Unterstützung des Pflegeteams ein weiter betreuender Arzt zur Verfügung stehen; idealerweise sollte der niedergelassene Arzt beatmungserfahren sein, alternativ sollte der niedergelassene Arzt Unterstützung von einem Expertenzentrum erhalten [15–16, 455, 458]. Obwohl bei einigen Patienten unter fortgesetzter Betreuung durch ein Expertenzentrum auch im außerklinischen Bereich noch ein Weaning zu erzielen ist, ist die Überleitung in den außerklinischen Bereich mit dem primären Ziel des weiteren Weanings abzulehnen. In einigen Fällen wird die Schwere der Erkrankung der medizinischen, pflegerischen und technischen Machbarkeit der außerklinischen Versorgung Grenzen auferlegen. Vor Initiierung einer invasiven außerklinischen Beatmung sollte der betreuende Klinikarzt die außerklinische Versorgungsfähigkeit in der Patientenakte dokumentieren. Der die außerklinische Versorgung initiierende Klinikarzt ist für den gesamten Überleitprozess und die ordnungsgemäße Organisation der außerklinischen medizinischen und pflegerischen Versorgung verantwortlich [16]. Detaillierte Ausführungen zu den erforderlichen Qualifikationen für die assistive bzw. fachpflegerische Versorgung finden sich in [15] und [458]. Der Überleitprozess sollte von einem Überleitteam organisiert werden, das über ausreichend Erfahrung in der außerklinischen Beatmung verfügt

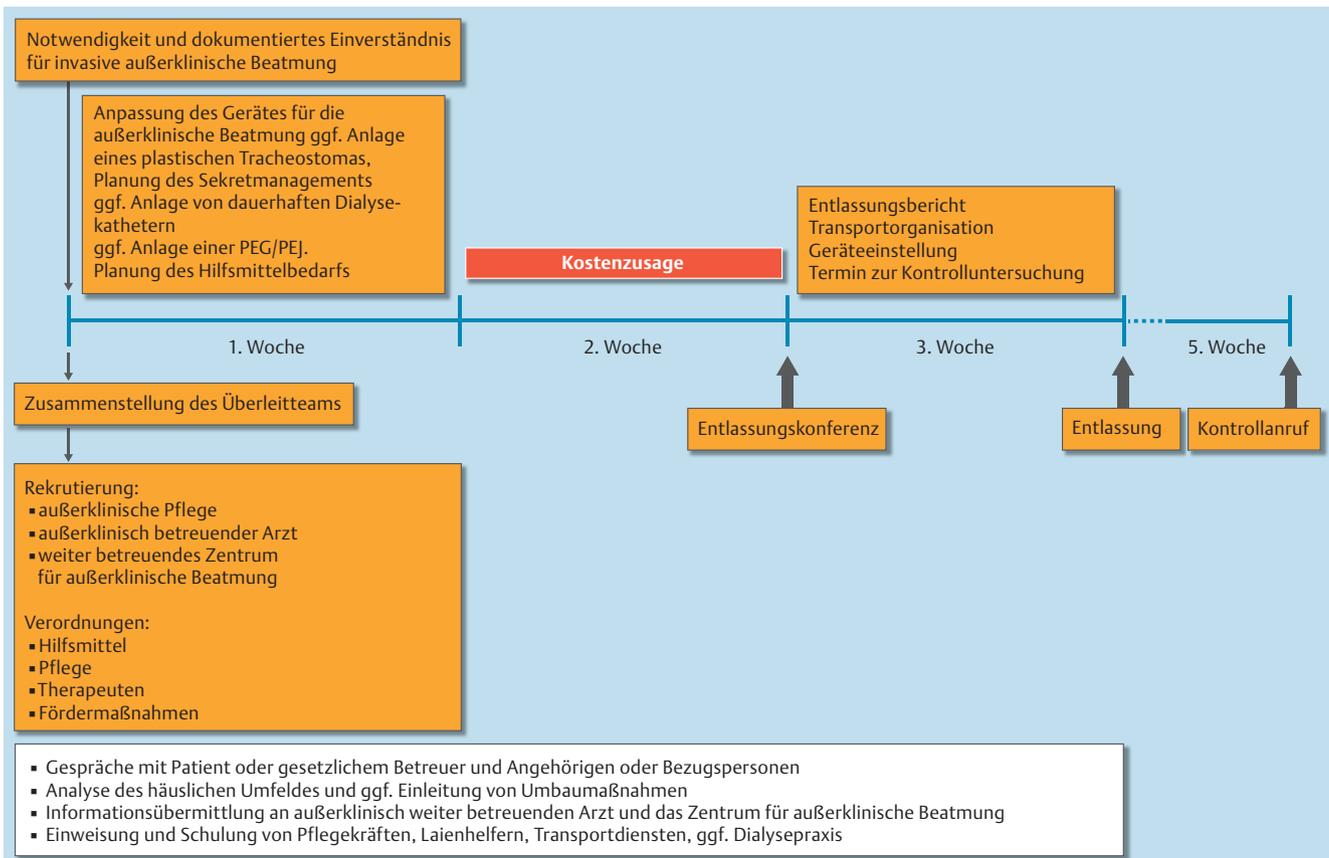


Abb. 9 Zeitlicher Ablauf des Überleitmanagements.

[13, 14, 16, 455, 461]. Die Zusammensetzung und die konkreten Aufgaben des Überleitteams wurden bereits an anderer Stelle definiert [15].

Es existieren folgende Versorgungsmodelle für außerklinisch Beatmete:

- ▶ autonome Versorgung in der Häuslichkeit (in der Regel nur bei nicht-invasiver Beatmung)
- ▶ häusliche Versorgung mit ambulantem Pflegedienst oder persönlicher Assistenz (1:1 Versorgung)
- ▶ ambulante Pflege im betreuten Wohnen oder einer Wohngruppe für Langzeitbeatmete
- ▶ stationäre Pflegeeinrichtung mit Beatmungskompetenz
- ▶ Palliativstation mit Beatmungskompetenz

Die Auswahl einer geeigneten außerklinischen Versorgungsform hängt primär vom Wunsch des Patienten und seiner Angehörigen bzw. Bezugspersonen ab. Zudem bestimmen der medizinische und technische Versorgungsbedarf die Art der außerklinischen Versorgung. So stehen z. B. nicht überall Dialysemöglichkeiten zur Verfügung bzw. die Wohnverhältnisse lassen keine häusliche Unterbringung zu [12, 16, 453, 455, 458].

Die invasive außerklinische Beatmung stellt hohe Anforderungen an die zeitlichen Ressourcen des Überleitmanagements, daher sollte bei dieser Versorgungsform der Überleitprozess ca. drei Wochen vor dem geplanten Entlassungstermin initiiert werden [16, 455, 458]. Neben der Behandlungspflege und der Hilfsmittelversorgung sind weitere Therapiemaßnahmen wie z. B. Physiotherapie, Logopädie, Ergotherapie, Ernährungsberatung, Wundmanagement, Schmerztherapie und Dialyse etc. zu koordinieren. Ggf. sind hier zusätzliche Schulungsmaßnahmen z. B. in der Dialysepraxis oder bei Krankentransportunternehmen unter Einbe-

ziehung des Hilfsmittelproviders und des außerklinischen Pflegedienstes einzuleiten. Pflegedienst, ebenso wie Dialysepraxis, Therapeuten und Krankentransportunternehmen sind über notwendige Isolationsmaßnahmen bei chronischer Besiedelung durch multiresistente Erreger zu informieren. Der Patient sollte erst aus der Klinik entlassen werden, wenn die außerklinische Versorgung einschließlich der medizinischen Betreuung vollständig gewährleistet und die Kostenübernahme geklärt ist. Der Patient muss zum Zeitpunkt der Entlassung aus der Klinik mit allen notwendigen Geräten, Hilfsmitteln und Materialien versorgt sein [15, 458]. Zum Entlassungszeitpunkt sollten der Entlassungsbericht inklusive Beatmungsprotokoll und Geräteeinstellung sowie Kontaktdaten des weiter betreuenden Zentrums für außerklinische Beatmung und des weiter betreuenden niedergelassenen Arztes vorliegen. Zudem sollte ein Termin für die erste Kontrolluntersuchung im Expertenzentrum festgelegt sein. Der zeitliche und organisatorische Ablauf der Überleitung sind in **Abb. 9** dargestellt.

## 6.2 Leben nach Langzeitbeatmung

Die außerklinische Beatmung ist nicht als Fortführung einer intensivmedizinischen Behandlung im ambulanten Bereich zu betrachten. Zwar ist eine kontinuierliche invasive Beatmung eine lebenserhaltende Therapie, im außerklinischen Bereich müssen die Bedürfnisse des individuellen, selbst bestimmten Lebens, der Lebensqualität und schließlich auch des würdevollen Sterbens im Zentrum der langfristigen, oftmals Jahre dauernden Betreuung stehen [16, 454, 455, 460, 462, 463]. Es ist daher eine Versorgung anzustreben, die betroffenen Patienten trotz 24-stündiger Abhängigkeit von medizinischen Geräten und Pflegepersonen eine

neue Lebensperspektive ermöglicht. Zur Reintegration in die soziale Gemeinschaft sind ggf. technische Hilfsmittel wie Kommunikations- und Mobilitätshilfen erforderlich. Eine optimal gestaltete außerklinische Beatmungsversorgung kann die Lebensqualität betroffener Patienten nachhaltig verbessern [462,464]. Die Erfahrung lehrt, dass einige Patienten mittel- bis langfristig doch noch vom Beatmungsgerät zu entwöhnen sind. Hintergrund ist häufig die Konsolidierung einer Critical-Illness-assoziierten Polyneuropathie und/oder Polymyopathie. Diese Tatsache unterstreicht die Notwendigkeit zur langfristigen Betreuung außerklinischer Beatmungspatienten durch Expertenzentren.

Die außerklinische Beatmung sollte kritisch hinterfragt werden, wenn sie nicht zu einer für den Patienten annehmbaren Lebensqualität führt oder – im Rahmen eines palliativmedizinischen Konzeptes – den Sterbeprozess verlängert oder erschwert. Das Therapiekonzept sollte daher regelmäßig überprüft werden [465]. Wenn Patienten den Wunsch nach einem Beatmungsabbruch äußern, sollte umgehend das betreuende Zentrum kontaktiert werden. Ethische Betrachtungen zum Abbruch oder zur Begrenzung von Beatmung, zur Beatmung am Lebensende und zum Sterbeprozess finden sich im Kapitel 7 dieser Leitlinie. Vor der Überleitung in den außerklinischen Bereich sind die kurativ- oder palliativmedizinischen Ziele der ambulanten Betreuung zu definieren. Sie sind ebenso wie die Inhalte einer ggf. vorhandenen Patientenverfügung im Entlassungsbericht zu dokumentieren. Die Behandlungsziele sollten im Rahmen der nachfolgenden Kontrolluntersuchungen überprüft und bestätigt, oder je nach Verlauf revidiert werden. Auch nach mehrmonatiger außerklinischer Beatmung sollte bei jeder Kontrolluntersuchung das Weaningpotenzial neu bestimmt werden, um ein Weaning von der invasiven Beatmung zu erzielen oder gegebenenfalls auf eine nicht-invasive Beatmung umzustellen. Eine solche langfristige Beatmungsentwöhnung sollte nur in Kooperation mit einem spezialisierten Weaningzentrum durchgeführt werden. Von einer endgültigen Dekanülierung oder der Umstellung auf eine nicht-invasive Beatmung im außerklinischen Bereich ist aufgrund möglicher Komplikationen und reduzierter Überwachungsmöglichkeiten abzuraten.

Bei klinischer Verschlechterung unter den Bedingungen der außerklinischen Versorgung sollte das betreuende Zentrum konsultiert werden, um die Versorgungssituation zu überprüfen oder die Behandlungsziele neu zu definieren. Kontrolluntersuchungen sollten – auch bei stabiler Versorgungssituation – mindestens einmal jährlich erfolgen. Die Erfordernis stationärer oder ambulanter Kontrolluntersuchungen ist abhängig vom Krankheitsbild, von der Erkrankungsschwere, der Entfernung vom Zentrum sowie von der Art der notwendigen Untersuchungen und der Ausstattung des Zentrums.

### 6.3 Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten

Bei definitivem Weaningversagen sollte die Behandlungszeit auf der Intensivstation begrenzt und frühzeitig die Pflege in der Familie angestrebt werden. Neben der medizinischen Versorgung sind die Belastbarkeit der Familie und deren räumliche Möglichkeiten zu bedenken. Für die Beatmungszeit muss die außerklinische Versorgung durch einen spezialisierten Pflegedienst gewährleistet sein. Kinder sollten bereits bei einer Beatmungszeit von mehr als 12h mit mindestens zwei Beatmungsgeräten, die an die Physiologie von Kindern angepasst sind, sowie mit mindestens zwei Absauggeräten ausgestattet werden. Zur Überwachung während der Beatmung ist eine Pulsoxymetrie indiziert. Eine EKG-Überwachung erfolgt nur bei kardiologischer Indika-

tion. Eine endexpiratorische CO<sub>2</sub>-Messung kann bei schnell wechselnden ventilatorischen Bedingungen erforderlich sein, wie z.B. bei häufigen Krampfanfällen oder Temperaturlabilität [15,466–467]. Auch zu medizinisch-pflegerischen und technischen Details in der außerklinischen Versorgung langzeitbeatmeter Kinder sei auf hierzu publizierte Ausführungen [15] verwiesen.

Neben der medizinischen Versorgung sollte bei der Pflege außerklinisch beatmeter Kinder auch die Gesamtentwicklung im Fokus stehen [16,468–469]. Bereits bei der Überleitung müssen entsprechende Maßnahmen Teil des Entlassungsmanagements sein. Teilnahme an Sonder- oder Regelkindergärten und Schule ist auch bei beatmeten Kindern anzustreben. Dies kann nur mit individueller Betreuung erreicht werden. Der Personalaufwand ist durch die Verknüpfung pflegerischer und heilpädagogischer Maßnahmen hoch. Weitere notwendige Fördermaßnahmen wie Physiotherapie, Ergotherapie oder Logopädie müssen durch die entsprechenden Förderstellen oder sozialpädiatrischen Zentren festgestellt werden [16,470].

Kann die Pflege des Kindes nicht innerhalb der Familie gewährleistet werden, treten spezialisierte Pflegeeinrichtungen an deren Stelle. Diese sollten neben der medizinischen Versorgung die Förderung der Kinder auf verschiedenen Ebenen sicherstellen. Kindgemäße Umgebung, stabile Bezugspersonen und entsprechende Förderangebote sind essenziell. Dies können meist nur sowohl auf Kinderbetreuung als auch auf Langzeitbeatmung spezialisierte Einrichtungen mit entsprechend geschulten Mitarbeitern leisten [15,471]. Nach der Entlassung in die außerklinische Beatmung sollten Kinder regelmäßig zu Kontrolluntersuchungen in einem pädiatrisch erfahrenen Beatmungszentrum vorgestellt werden, um die Beatmungseinstellungen an die aufgrund des Wachstums veränderte physiologische Situation anzupassen und ggf. das Weaningpotenzial zu überprüfen [468].

#### Empfehlung E35

Eine invasive außerklinische Beatmung sollte idealerweise in einem spezialisierten Weaningzentrum eingeleitet werden, mindestens aber in enger Abstimmung mit dem weiter betreuenden Zentrum für außerklinische Beatmung.

#### Empfehlung E36

Vor Entlassung in die außerklinische Beatmung sollte der Bedarf an Hilfsmitteln und Materialien sowie medizinischer, pflegerischer und sonstiger therapeutischer Versorgung festgelegt werden. Bei Kindern sollten die notwendigen Fördermaßnahmen definiert sein. Die benötigten Hilfsmittel und Materialien müssen vor der Entlassung funktionsfähig vorhanden sein.

#### Empfehlung E37

Zum Entlassungszeitpunkt sollte der Entlassungsbericht mit den Angaben zum weiter betreuenden Weaningzentrum oder Zentrum für außerklinische Beatmung, dem weiter betreuenden Arzt, den Behandlungszielen und dem vollständigen Therapieplan inklusive Beatmungsprotokoll und Geräteeinstellung vorliegen.

**Empfehlung E38**

Patienten mit außerklinischer Beatmung sollten sich mindestens einmal jährlich zur Kontrolluntersuchung im weiter betreuenden Weaningzentrum oder Zentrum für außerklinische Beatmung vorstellen. Bei jeder Kontrolluntersuchung sollten Weaningpotenzial und Behandlungsziele überprüft werden.

**Qualitätsindikator Q13**

Es existiert ein strukturiertes Überleitmanagement mit Anbindung an geeignete Versorgungsstrukturen.

**7 Therapieentscheidungen am Ende des Lebens****7.1 Entscheidungsfindung**

Von Beatmung nicht entwöhnbare Patienten haben ein deutlich erhöhtes Risiko, im Verlauf des folgenden Jahres zu versterben [472]. Bei langem Krankenhausaufenthalt und ungünstiger Prognose wird der Entschluss gefasst, die Beatmungstherapie nicht fortzusetzen. Eine Beendigung lebenserhaltender Therapien ist auf vielen Intensivstationen eine gängige Maßnahme. Die Angaben über die Häufigkeit schwanken jedoch sehr und reichen je nach Autor und Land von ca. 30% bis zu 90% der auf einer Intensivstation versterbenden Patienten [473–476]. Diese Zahlen beinhalten den Abbruch verschiedener lebenserhaltender Therapien. Cook et al. berichteten dagegen explizit über den Abbruch mechanischer Beatmung auf kanadischen Intensivstationen bei 19,5% der verstorbenen Patienten [477]. Diese unterschiedlichen Häufigkeiten lassen sich durch die Verschiedenheiten der jeweiligen kulturellen und religiösen Einstellungen in den unterschiedlichen Ländern erklären.

**7.1.1 Entscheidungskriterien**

Als objektives Kriterium für solche Entscheidungen ist lediglich der Einsatz von Vasopressoren zu benennen; an subjektiven Kriterien kamen dagegen eine Überlebenswahrscheinlichkeit < 10%, die Annahme einer erheblichen Beeinträchtigung kognitiver Funktionen und der Verzicht der Patienten auf eine lebenserhaltende Therapie vor [477]. In der europäischen ETHICUS-Studie [478] genannte primäre ärztliche Entscheidungsgründe sind in **Tab. 13** aufgeführt.

**Tab. 13** Primäre ärztliche Entscheidungsgründe für „End-of-Life“-Diskussion gemäß ETHICUS-Studie [478].

Entscheidungsgründe für „End-of-Life“-Diskussion	
Nichtansprechen auf maximale Therapie	46,4%
neurologische Defizite	20,0%
chronische Erkrankung	12,3%
Multiorganversagen	9,6%
schlechte Lebensqualität	4,1%
Sepsis/septischer Schock	3,4%
Wunsch des Patienten/der Familie	2,1%
Alter	1,5%
andere	0,5%

Für die Patienten jedoch waren nach einer Umfrage bei chronisch Kranken mit einer geschätzten 6-Monats-Mortalität von 50% und bei akut Kranken über 80 Jahre die Überlebenswahrscheinlichkeit und die zu erwartende Lebensqualität nach der akuten

Erkrankung gleich bedeutsam für die Zustimmung zu der Beatmungstherapie; weniger wichtig war ihnen ihre Lebensqualität vor der Behandlung auf der Intensivstation [479].

Eine individuelle Prognose lässt sich nur schwer abschätzen. Scoresysteme bieten keine Hilfe für die individuelle Entscheidung. Auf Intensivstationen sind auch nur wenige Patienten – 20% z. B. in der Studie von Cook et al. [477] – in der Lage, an weitreichenden Entscheidungen aktiv zu partizipieren. Patientenverfügungen und Vorsorgevollmachten liegen bisher nur bei wenigen Patienten vor und es gibt demzufolge bisher keine ausreichende Erfahrung, in welchem Maß der vom Patienten vorverfügte Wille sich auf die jeweilige Situation anwenden lässt.

Therapieentscheidungen fußen daher überwiegend auf der Einschätzung der behandelnden Ärzte hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeit und in Bezug auf den mutmaßlichen Willen des Patienten [477]. In einer internationalen Befragung von Intensivmedizinern zu einem fiktiven Patienten im persistierenden vegetativen Status bei hypoxischer Hirnschädigung nach Herzstillstand ohne Kenntnis seines mutmaßlichen Willens und ohne Familienangehörige bevorzugten Ärzte in Nord- und Zentraleuropa, Kanada und Australien bei Auftreten eines septischen Schocks eine Beendigung der Beatmungstherapie und präterminale Extubation. Ärzte in Japan, Südeuropa, Brasilien, den USA und der Türkei gaben an, eher Antibiotika zu verordnen und die Beatmungstherapie fortführen zu wollen [480]. Eine der wichtigsten rechtlichen Voraussetzungen zur Durchführung einer ärztlichen Maßnahme ist neben der Einwilligung des Patienten die medizinische Indikation. Der Arzt muss diese Indikation für eine prolongierte Beatmungstherapie nach dem jeweils aktuellen Stand der Wissenschaft überprüfen und entscheiden, ob diese Maßnahme für den Patienten einen Nutzen darstellen kann. Wenn ein primäres Therapieziel (z. B. Lebensverlängerung oder Erhalt der Lebensqualität) nicht realisierbar erscheint, ist die Indikation relativ oder nicht gegeben und die Therapie wird nicht begonnen oder fortgeführt. Wird die Indikation bejaht, müssen der Patient bzw. sein Betreuer informiert und die Einwilligung zur Behandlung eingeholt werden.

**7.1.2 Gesetzliche Vorschriften**

Bei der Durchführung einer prolongierten Respiratorentwöhnung ist die fortbestehende Indikation regelmäßig zu überprüfen. Eine medizinisch nicht mehr indizierte Beatmungstherapie verlängert das Leiden des Patienten unnötig und darf grundsätzlich nicht durchgeführt oder fortgeführt werden. Eine Beendigung der Beatmung in einer derartigen Situation wird in Deutschland dem Begriff „passive Sterbehilfe“ zugeordnet. Diese ist gesetzlich zulässig und ethisch vertretbar, muss aber durch gute Dokumentation der Entscheidungsfindung von einer strafbaren Tötung auf Verlangen klar abgegrenzt werden [481].

Schriftlich niedergelegte Patientenverfügungen sind – unabhängig von Art und Stadium der Erkrankung – in Deutschland seit 1. September 2009 gesetzlich verbindlich, wenn die darin enthaltenen Festlegungen auf die aktuelle Lebens- und Behandlungssituation zutreffen und es keine Anhaltspunkte dafür gibt, dass der Betroffene seine Entscheidung zwischenzeitlich geändert hat [482]. Der behandelnde Arzt prüft, welche Maßnahme im Hinblick auf den Gesamtzustand und die Prognose des Patienten indiziert ist. Er und der Betreuer des Patienten erörtern diese Maßnahme unter Berücksichtigung des Patientenwillens als Grundlage für die zu treffende Entscheidung. Die Bereitschaft in der Bevölkerung, eine Patientenverfügung, Vorsorgevollmacht oder Betreuungsverfügung zu erstellen, ist jedoch generell noch

sehr gering [483]. Liegt keine Patientenverfügung vor oder treffen die Festlegungen einer Patientenverfügung nicht auf die aktuelle Lebens- und Behandlungssituation zu, hat der Betreuer den mutmaßlichen Willen des Betreuten festzustellen und auf dieser Grundlage zu entscheiden [482].

### 7.1.3 Berücksichtigung von Patientenautonomie und Angehörigenwünschen

Der sog. ärztliche Paternalismus wurde in den letzten Jahrzehnten mehr und mehr zu Gunsten einer partizipativen Entscheidungsfindung nach Aufklärung (Informed Consent) verlassen. Ist der Patient zu einer Willensäußerung selbst nicht in der Lage und liegt keine Patientenverfügung vor, hat der Betreuer seinen mutmaßlichen Willen festzustellen und auf dieser Grundlage zu entscheiden [482]. Dieses Vorgehen birgt jedoch das Risiko in sich, dass ein Betreuer mit dieser Entscheidung überfordert ist, da er neben medizinisch-fachlichen Fakten auch die persönlichen Werte des Patienten berücksichtigen muss. Eine sog. partizipative Entscheidungsfindung gemeinsam mit Patienten und/oder dessen Angehörigen sowie dem Betreuer erscheint daher der geeignete Weg. Der Prozess der Entscheidungsfindung im Verlauf prolongierter Beatmung ist häufig sehr langwierig, die Sichtweise des betreuenden Teams, des Patienten selbst bzw. seiner Angehörigen ambivalent und divergierend. Eine ärztlich ausgesprochene Empfehlung wird in ca. der Hälfte der Fälle von Familienangehörigen als hilfreich, etwa genauso häufig aber auch als Einmischung empfunden [484]. Falls keine entsprechende Vorsorgevollmacht erstellt und keine gesetzliche Betreuung eingerichtet worden ist, haben Patientenangehörige keine rechtliche Befugnis zur Behandlungsentscheidung. Nahen Angehörigen und Vertrauenspersonen des Betreuten soll nach Gesetz jedoch bei der Feststellung des mutmaßlichen Patientenwillens Gelegenheit zur Äußerung gegeben werden, sofern dies ohne erhebliche Verzögerung möglich ist [482]. Kulturelle und religiöse Bestimmungen spielen bei Entscheidungen am Lebensende sowie bei der Erörterung dieser Entscheidungen mit Familienangehörigen eine erhebliche Rolle [485].

### 7.1.4 Ethikkomitee

Therapieentscheidungen am Ende des Lebens verlangen vom Arzt neben der intensivmedizinischen auch eine ethische und palliativmedizinische Kompetenz [486]. Beratungen oder Konsile durch sog. Ethikkomitees sind v. a. in Situationen divergierender Sichtweisen hilfreich [487] und können auch generell zu einer Verbesserung der Kommunikation über den Entscheidungsprozess beitragen [488]. Derartige Komitees sollen interdisziplinär und multiprofessionell zusammengesetzt sein, um zu medizinischen, ethischen, psychosozialen, spirituellen und juristischen Fragen Stellung nehmen zu können. So soll z. B. die Prognose der Grunderkrankung von einem entsprechenden Facharzt, nicht allein von dem die Respiratorentwöhnung durchführenden Arzt, beurteilt werden. Einseitige Entscheidungsfindungen durch Ärzte ohne Berücksichtigung des mutmaßlichen Patientenwillens sind dagegen nicht zulässig. Extrem schwierig stellt sich die Situation jedoch bei nicht entscheidungsfähigen Patienten ohne Angehörige dar: Meist entscheidet dann das Intensivteam ohne weitere Rechts- oder Ethikberatung [489,490]. Diese gängige Praxis erfordert weitere Forschung und öffentliche Diskussion.

### Empfehlung E39

Die Patientenautonomie ist ein wichtiges ethisches Grundprinzip und muss, sofern sie zum Ausdruck gebracht worden ist oder werden kann, bei End-of-Life-Entscheidungen beachtet werden. Eine Möglichkeit der Willensäußerung bereits vor Eintreten einer End-of-Life-Situation ist die Erstellung einer Patientenverfügung.

### Empfehlung E40

Bei End-of-Life-Entscheidungen soll als Alternative zur autonomen Entscheidung durch den Patienten oder seinen Betreuer, falls diese nicht erfolgen kann, eine *partizipative Entscheidungsfindung* (im Gespräch zwischen Ärzten, Pflege und Familie) bevorzugt werden.

### Empfehlung E41

In Konfliktfällen bei End-of-Life-Entscheidungen, z. B. innerhalb der Patientenfamilie oder zwischen Familie und Therapeuten, soll ein Ethikkomitee eingeschaltet werden.

### Qualitätsindikator Q14

Die Weaningabteilung hat Zugang zu einem Ethikkomitee, das bei schwierigen und strittigen End-of-Life-Entscheidungen einberufen wird.

## 7.2 Kommunikation

### 7.2.1 Aufklärung von Patient und Angehörigen

Kommunikation mit den Patienten und deren Angehörigen soll bei diesen schwierigen Fragen oberste Priorität haben. Die Kommunikation soll frühzeitig beginnen und die Behandlung kontinuierlich begleiten. Prinzipiell soll man in der Kommunikation mit Patienten oder deren Angehörigen nicht von einem Therapieabbruch, sondern von einer Therapiezieländerung sprechen. Bei einer Therapiezieländerung wird z. B. die Absicht aufgegeben, Organfunktionen wiederherzustellen. Sie wird jedoch ersetzt durch die Absicht, eine weitgehende Beschwerdelinderung und bestmögliche Lebensqualität zu erzielen. Bei Patienten etwa mit chronisch pulmonalen Erkrankungen, wie einer chronisch obstruktiven Atemwegserkrankung (COPD), wäre im Vorfeld eine Diskussion über die Thematik „Beendigung einer Beatmungstherapie“ durchaus möglich. Nach Angaben von Curtis et al. beklagten die Patienten, dass die meisten Ärzte mit ihnen nicht über ihre Prognose, Sterben und Spiritualität gesprochen hätten [491]. Häufig stehen jedoch dieser Aufklärung von Seiten der Patienten Angst und Vermeidungshaltung entgegen. Bei langzeitbeatmeten Patienten ohne Analgosedierung ist eine entsprechende Kommunikation auch während der Beatmungstherapie möglich. Der Arzt muss dabei erkennen, wann der Patient bereit ist, über den Tod zu sprechen. Dabei ist es hilfreich, Hinweise des Pflegeteams und der Angehörigen aufzugreifen.

Eine Umfrage in europäischen Intensivstationen ergab, dass die Wünsche von Intensivpatienten zu End-of-Life-Care nur in ca. 20% bekannt waren [492]. Den Familien wurde zwar häufig eine End-of-Life-Entscheidung mitgeteilt, befragt wurden sie dazu jedoch nur selten. Als Gründe dafür wurden angegeben: der Patient spricht auf die Therapie nicht an, die Familie ist nicht erreichbar sowie die Annahme, dass die Familie die Problematik nicht verstünde. Eine Umfrage auf französischen Intensivstationen

nen zur Familienbeteiligung bei der medizinischen Entscheidung ergab, dass ca. ein Drittel der Angehörigen die Bedeutung tatsächlich nicht erfassten; sie waren oft ängstlich und depressiv [493]. Die Mehrzahl der Ärzte und nicht-ärztlichen Mitarbeiter der Intensivstation waren der Ansicht, dass die Familien in die Entscheidung mit einbezogen werden sollten; umgesetzt wurde dies aber nur bei weniger als der Hälfte der Patienten. Etwa die Hälfte der Familienmitglieder äußerte den Wunsch, in die Entscheidung einbezogen zu werden; nur sehr wenige haben dann aber tatsächlich eine Entscheidung getroffen. Dabei kann intensive Kommunikation mit Patienten und Familienangehörigen zu einer Abkürzung des Intensivaufenthaltes führen, da die Patienten früher symptomorientiert palliativmedizinisch betreut werden [494].

### 7.2.2 Gesprächsführung

Bei Familiengesprächen sind zwei Kommunikationsstrategien der Ärzte zu erkennen: entscheidungsorientierte und informationsorientierte Gespräche [495]. Inhaltlich wird meist über den zu erwartenden funktionellen Patientenstatus oder die Lebensqualität gesprochen, weniger häufig über die zu erwartende Überlebensprognose [496]. Daneben kommt auch den Rahmenbedingungen, wie dem Kommunikationsstil, dem Verständnis für die emotionalen Probleme und der Unterstützung des familiären Entscheidungsprozesses, eine besondere Bedeutung zu [497]. Besonders schwierig sind diese Gespräche mit fremdsprachigen Familien. Gesprächsaufzeichnungen zeigen ein hohes Risiko, dass diese weniger Informationen und weniger emotionale Unterstützung erhalten [498]. Wenn Familienangehörige sich nicht entscheiden können oder untereinander uneinig sind, besteht das Risiko, dass Ärzte zur Therapiebegrenzung Druck ausüben. Das Verständnis von Familienmitgliedern über die Beatmungstherapie ändert sich im Laufe der Zeit, es wird durch die Gewöhnung an die Umgebung der Intensivstation und ihre Abläufe beeinflusst. Durch fortwährende, einfühlsame Kommunikation wird so schließlich eine einvernehmliche Entscheidung möglich.

Familiengespräche müssen mit der gleichen Sorgfalt geplant und strukturiert werden wie alle anderen Intensivmaßnahmen. Zur gemeinsamen Entscheidungsfindung sollen weitere Berufsgruppen, v.a. Pflegepersonal aktiv mit einbezogen werden. Gerade Pflegepersonen können vegetative Reaktionen des Patienten als eine Form des Ausdrucks der Befindlichkeit häufig gut erkennen. Zur Verbesserung der Kommunikation untereinander dienen u.a. gemeinsame Visiten und interprofessionelle Dialoge. Ideal wären interdisziplinär zusammengesetzte Palliativpflegeteams (Sozialarbeiter, Seelsorger, Psychologen), die sowohl den Patienten und ihren Angehörigen als auch den Mitarbeitern zur Seite stehen.

#### Empfehlung E42

Es soll in Gesprächen nicht der Begriff „Abbruch ärztlich therapeutischer Maßnahmen“, sondern „Therapiezieländerung“ verwendet werden. Dabei stehen Symptomlinderung und bestmögliche Lebensqualität im Vordergrund. Strukturiert geführte Gespräche mit Patienten, Familienangehörigen und den Teammitgliedern verbessern die Betreuungsqualität.

## 7.3 Durchführung

### 7.3.1 Methoden der Beendigung einer Beatmungstherapie

Die Beatmungstherapie kann entweder abrupt beendet, langsam im Umfang reduziert (Rücknahme der Invasivität der Beatmung, wie Reduktion von PEEP oder FiO<sub>2</sub>) oder auch vorenthalten werden (z. B. keine Beatmung bzw. keine Eskalation bei Verschlechterung der respiratorischen Insuffizienz). Auf Intensivstationen werden Therapievorenhalt oder -abbruch sehr unterschiedlich gehandhabt: Eine Umfrage auf europäischen Respiratory Intermediate Care Stationen im Jahr 2005 hat ergeben, dass bei 21,5% der Patienten mit chronisch pulmonalen Erkrankungen eine End-of-Life-Entscheidung gefällt worden ist, von diesen sind 68% gestorben [499]. Bei 11% dieser Patientengruppe wurde ein Therapieabbruch durchgeführt.

Asch et al. beobachteten, dass lebenserhaltende Therapien immer in einer bestimmten Reihenfolge abgebrochen wurden: zunächst wurden die Gabe von Blutprodukten, Hämodialyse und Vasopressoren eingestellt, danach Beatmung und zuletzt Volumensubstitution und Ernährung [500]. Je „künstlicher“ eine Therapie erschien, desto früher wurde sie abgebrochen.

### 7.3.2 Akzeptanz durch die Familie

Gerstel et al. analysierten den zeitlichen Ablauf einer Therapiezieländerung in 15 US-amerikanischen Intensivstationen: Bei etwa der Hälfte der Patienten wurden die lebenserhaltenden Interventionen über einen Zeitraum von mehr als einem Tag beendet [501]. Diese Patienten waren eher jünger, hatten einen längeren Intensivaufenthalt, erhielten mehr lebenserhaltende Therapien und es waren mehr Entscheidungsträger involviert. Die Angehörigen waren mit diesem verzögerten Ablauf deutlich zufriedener.

### 7.3.3 Terminales Weaning

Campbell et al. beschrieben in einer kleinen Fallserie die Patientenreaktion auf den Vorgang des sog. *Terminalen Weanings* [486]. Dies beinhaltet eine schrittweise Reduktion der Beatmung mit Belassen des Beatmungszuganges – im Gegensatz zur *terminalen Extubation*, bei der die Beatmung abrupt beendet und der Beatmungszugang entfernt wird. Während des Weanings wurden sowohl physiologische Parameter wie Herz- und Atemfrequenz, Sauerstoffsättigung, endexpiratorischer pCO<sub>2</sub> gemessen als auch der Patientenkomfort mittels EEG und Scores geschätzt. Die Patienten benötigten keine oder nur eine geringe Analgosedierung (Morphin, Benzodiazepine), wobei die Bewusstseinslage der Patienten vor Beginn der Therapiereduktion deutlich eingeschränkt war. Die Überlebensdauer nach dem Weaning korrelierte nicht mit der Tiefe der Analgosedierung. Die subjektive Einschätzung des Patientenkomforts mittels Skalen korrelierte mit den Daten der bispektralen EEG-Analyse.

### 7.3.4 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 [481]. Eine gezielte Lebensverkürzung durch Maßnahmen, die den Tod herbeiführen oder das Sterben beschleunigen sollen, ist als aktive Sterbehilfe unzulässig und mit Strafe bedroht. Die ETHICUS Study Group hat gezeigt, dass hier keine klare Grenze gezogen werden kann, sondern ein Graubereich existiert: bei 72,6% der gestorbenen Patienten wurde ein Therapieabbruch und bei 2,2% eine aktive

Verkürzung des Sterbeprozesses mittels analgosedierender Medikamente durchgeführt [502]. Die durchschnittlichen Dosen waren jedoch – im Gegensatz zu Angaben in anderen Studien [503] – nicht höher als bei den anderen Patienten. Dennoch nahmen die Ärzte an, dass diese Medikamentendosis bei den meisten Patienten zum Tode geführt habe.

O'Mahony et al. haben – entsprechend einer in ihrer Klinik durch ein interdisziplinäres Palliativpflegeteam erarbeiteten Verfahrensweisung – eine terminale Extubation durchgeführt und retrospektiv die Akten auf Patientenreaktionen durchgesehen: 16 von 21 Patienten waren auf Normalpflegestation verlegt worden, alle Patienten wurden durch das Palliativpflegeteam und einen „Respiratory Therapist“ betreut [504]. Patientendyskomfort wie Agitation, Atemnot und Angst wurden kontinuierlich evaluiert und die analgosedierenden Medikamente wurden danach 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. Opioide und Benzodiazepine lindern Leiden, können aber auch den Tod beschleunigen.

Der Einsatz von Muskelrelaxantien (ohnehin nur in Kombination mit Sedierung) 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 werden daher nie bei oder nach einem Abbruch der Beatmung eingesetzt, d.h. sie werden zuvor abgesetzt und die Beatmung erst beendet, wenn die neuromuskuläre Funktion wiederhergestellt ist.

### 7.3.5 Präfinale Rasselatmung

Nach Beendigung der Beatmung kann eine in- und expiratorische Rasselatmung (sog. „Todesrasseln“) auftreten, die durch vermehrte pharyngo-tracheale Sekretbildung oder ein (terminales) Lungenödem bedingt ist. Dieses Rasseln ist ein Hinweis auf den eingetretenen Sterbeprozess und beeinträchtigt die in ihrem Wachbewusstsein eingeschränkten Patienten wahrscheinlich wenig. Für Angehörige kann das akustische Phänomen des Rasselns jedoch eine erhebliche Belastung darstellen. Um die Sterbegleitung der Angehörigen zu erleichtern, soll deswegen auch dieses Symptom gelindert werden [505]. Absaugmanöver erreichen nur Sekrete in Pharynx oder Trachea und wirken auch nur kurzzeitig. Zur Sekretionsminderung soll auf eine Volumenzufuhr verzichtet werden, bevor anticholinerge Medikamente wie Butylscopolaminiumbromid oder Glycopyrroniumbromid gegeben werden.

#### Empfehlung E43

Zur Verhinderung von Stress und Leiden durch Atemnot in der Sterbesituation muss eine in der Dosis individuell angepasste Anxiolyse und Sedierung durchgeführt und exakt dokumentiert werden. Eine eventuelle Lebenszeitverkürzung durch unvermeidbare Nebenwirkungen darf dabei in Kauf genommen werden.

## 7.4 Organisation

### 7.4.1 Verfahrensanweisungen

In einigen Intensivabteilungen wurden Protokolle zum Therapieabbruch entwickelt und die Erfahrungen hiermit publiziert. Holzapfel et al. (Frankreich) berichteten 2001 über ein 4-Schritte Protokoll, wobei es sich hier nicht um ein Ablaufprotokoll, sondern eine Patienteneingruppierung handelte [506]:

- ▶ Gruppe 1 – Keine Therapiebegrenzung
- ▶ Gruppe 2 – Keine Reanimation und Begrenzung von Vasopressoren
- ▶ Gruppe 3 – Therapieabbruch außer Beatmung mit Raumluft, Analgosedierung, Flüssigkeit, symptomorientierte Pflege
- ▶ Gruppe 4 – Wie Gruppe 3, jedoch Hypoventilation (Minutenvolumen 5l/min) und tiefere Analgosedierung

Pflege und Familienangehörige wurden in die Entscheidungen mit einbezogen. Die Entscheidung wurde in allen Fällen in den Krankenakten ausführlich dokumentiert (nicht nur mit einem Kommentar wie z.B. „Keine weiteren Intensivmaßnahmen“). Später hat diese Arbeitsgruppe eine Variation mit fünf Gruppen beschrieben, hinzu kam die Beendigung der Beatmung [507]. Treece et al. überprüften die Zufriedenheit von Pflegekräften und Ärzten mit einer Verfahrensweisung „Abbruch lebenserhaltender Maßnahmen“: Ca. die Hälfte der Pflegekräfte benutzte sie und sie wurde ganz überwiegend für nützlich gehalten [508]. Ein Score zur Qualität des Sterbens ergab keine signifikante Änderung nach Einführung des Protokolls. Die Gesamtdosis von Narkotika und Benzodiazepinen nahm zu, die Zeitspanne nach Beatmungsabbruch bis zum Eintreten des Todes blieb jedoch gleich.

### 7.4.2 Dokumentation

Gute Dokumentation sorgt auch für Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidungsprozesse. Kirchhoff et al. überprüften die Dokumentation in den Krankenakten von 50 Patienten: Die Entscheidung zum Therapieabbruch (überwiegend Beatmung) war in allen Fällen dokumentiert; deutlich seltener wurde jedoch festgehalten, wer bei der Maßnahme dabei war, wann damit begonnen wurde und welche Medikamente angewandt wurden [509].

Patientenzentrierte Pflege bedeutet, die Familien in unsere therapeutischen Bemühungen mit einzubeziehen. Neben einer intensiven Kommunikationsstrategie kann z.B. auch eine Trauerbroschüre zur höheren Zufriedenheit beitragen [510].

#### Empfehlung E44

Die Entscheidungsfindung zum Abbruch der Beatmung und der Prozess als solcher sind genauso exakt zu dokumentieren wie jede andere Maßnahme.

### 7.4.3 Empfehlungen anderer Gesellschaften

Eine Task Force des *American College of Critical Care Medicine* sowie der *Society for Critical Care Medicine* hat klinische Leitlinien zur Unterstützung der Familien von Patienten auf der Intensivstation erarbeitet. Sie plädieren v.a. für die sogenannte partizipative Entscheidungsfindung, frühzeitige und wiederholte Familiengespräche, um deren Stress abzubauen und die Kontinuität in der Kommunikation zu verbessern, die Berücksichtigung kultureller Unterschiede, spirituellen Beistand, Mitarbeiterschulung und -supervision, um die Belastung durch die Interaktionen mit den Familien zu minimieren, Anwesenheit der Familie bei Visiten und bei Reanimation, offene flexible Besuchszeiten, Familienbetreuung vor, während und nach dem Tod des Patienten [511]. Seitens der Europäischen Gesellschaft für Palliativmedizin (EAPC) ist 2009 eine Leitlinie für den Einsatz sedierender Maßnahmen in der Palliativversorgung veröffentlicht worden [512]. Die Berücksichtigung dieser Punkte zeichnet eine patientenzentrierte Intensivstation aus. Die Datenlage zu diesen Themen ist jedoch dürftig, es fehlen hochwertige Studien. Um unsere Ein-

stellungen zum Abbruch lebenserhaltender Maßnahmen besser verstehen zu lernen und sie nötigenfalls auch zu ändern, muss klinische Forschung auch am Lebensende erfolgen. Daraus können dann Strategien zur Qualitätsverbesserung der Patientenbetreuung am Lebensende entwickelt werden.

### 7.5 Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten

Bei Säuglingen und Kindern ist Therapielimitierung oder -beendigung in Deutschland aus zwei Situationen heraus notwendig und derzeit ethisch akzeptiert. 1) Bei Aussichtslosigkeit der Therapie bedeutet deren Fortführung nur Verlängerung von Leiden. Aussichtslosigkeit bedeutet hier: Gewinn von nur kurzer Lebenszeit, die nicht im Verhältnis zu dem Leiden, das der Patient dafür erdulden muss, steht. 2) Die Lebensqualität des Kindes bei Überleben wird als unzumutbares Leiden ohne Möglichkeit zur Besserung eingeschätzt [513,514]. Häufiger erfolgt die Therapiebeendigung aufgrund der Aussichtslosigkeit der Therapie [515]. Schwere geistige oder körperliche Behinderung oder Respiratorabhängigkeit müssen die subjektive Lebensqualität eines Kindes nicht maßgeblich beeinträchtigen [516–518]. Die Prognose einer unerträglich schlechten Lebensqualität ist dadurch schwierig vorhersagbar. In diesen Fällen ist es Aufgabe des Arztes, das bestmögliche Kindesinteresse (manche Juristen reden hier auch von dem mutmaßlichen Willen des Kindes) auf Leben oder Sterben nach ethischen Gesichtspunkten zu ermitteln. Die Notwendigkeit einer Therapieeinschränkung im Kindesalter sollte im Rahmen eines formalen ethischen Konsils festgestellt werden. Das Ergebnis wird den Eltern/Sorgeberechtigten vermittelt und die Eltern/Sorgeberechtigten werden auch über alle sonstigen Behandlungsmöglichkeiten und Konsequenzen beraten. Die Entscheidung über die weitere Therapie wird gemeinsam mit den Sorgeberechtigten getroffen [513,519–522].

Eltern benötigen unterschiedlich viel Zeit, um die Situation zu verstehen, zu akzeptieren und eine Entscheidung zur Therapiebeendigung mittragen zu können [523]. Enge Führung ohne Drängen und psychologische Unterstützung der Eltern ist notwendig. Die meisten Eltern möchten bei einer Therapiebeendigung anwesend sein und eventuell das Kind im Arm halten [515].

#### Empfehlung E45

Bei Aussichtslosigkeit der Therapie oder nicht zumutbarem Leiden ohne Möglichkeit zur Besserung bei Überleben ist das bestmögliche Kindesinteresse auf Leben oder Sterben zu ermitteln.

#### Empfehlung E46

Behinderung oder Heimbeatmung müssen nicht die subjektive Lebensqualität von Kindern beeinträchtigen.

#### Empfehlung E47

Entscheidungen über Fortführung oder Beendigung von Therapie sollten bei Kindern im Rahmen eines ethischen Konsils und im Einvernehmen mit den Eltern getroffen werden.

#### Empfehlung E48

Man sollte Eltern ermöglichen, bei der Therapiebeendigung anwesend zu sein.

## 8 Das Weaningzentrum/die Weaningeinheit



Die zunehmende Anzahl von Patienten, die ein prolongiertes Weaning mit all seinen personellen und finanziellen Implikationen für das Gesundheitssystem [10] benötigen, überschreitet häufig die vorhandenen Ressourcen der Krankenhäuser, insbesondere da solche Patienten erhebliche Anforderungen an Medizin und Pflege stellen. Durch die zunehmende Lebenserwartung und auch Ausweitung von Operationsindikationen wird die Situation in der Zukunft nicht besser. Derzeit gibt es in Deutschland ca. 30 Intensivbetten pro 1000 Einwohner [524]. Auch wenn Patienten im prolongierten Weaning auf den Intensivstationen quantitativ eher eine geringere Rolle spielen (ca. 10%) [10], können spezialisierte Weaningzentren eine Entlastung darstellen. Die Infrastruktur eines Weaningzentrums oder einer Weaningeinheit innerhalb einer Intensivstation sind infolge der Pluralität der Krankenhausstruktur in Deutschland sehr unterschiedlich. Nähere Vorgaben zu der strukturellen Organisation der Weaningeinheit zu machen, ist nicht Aufgabe dieser Leitlinie. Es wird deswegen im Folgenden nur dann auf die Struktur bzw. Ausstattung eines Weaningzentrums/einer Weaningeinheit Bezug genommen, wenn es die Pathophysiologie des prolongierten Weanings bzw. die Inhalte der Leitlinie betrifft.

Die apparative Ausstattung entspricht der einer Intensivstation. Ein besonderer Schwerpunkt ist darüber hinaus die nicht-invasive Beatmung, zu deren Stellenwert im Weaning auf die S3-Leitlinie „Nichtinvasive Beatmung bei akuter respiratorischer Insuffizienz“ [19] verwiesen wird. Auch im prolongierten Weaning mit häufig vorliegender persistierender Schwäche der Atempumpe spielt sie eine entscheidende Rolle, um die Anzahl der Patienten, die invasiv beatmet in die außerklinische Beatmung entlassen werden, sowohl aus humanitären aber auch aus finanziellen Gründen zu reduzieren. Nach den Ergebnissen einer aktuellen Umfrage [525] werden ca. 30% der in pneumologischen Zentren entwöhnten Patienten mit einer nicht-invasiven außerklinischen Beatmung entlassen. Deswegen müssen Respiratoren für Maskenbeatmung bzw. außerklinische Beatmung zur Verfügung stehen, um die Patienten hieran adaptieren zu können. Ein entsprechendes Armentarium an Masken (Nasen-, Nasen-/Mund- sowie Gesichtsmasken) ist unbedingt erforderlich, um die nicht-invasive Beatmung sachgerecht durchführen zu können.

### 8.1 Einstellung auf nicht-invasive außerklinische Beatmung im prolongierten Weaning

Sinnvoll im Weaningzentrum/der Weaningeinheit ist ein Bereich mit dem Schwerpunkt der nicht-invasiven Beatmung, da nicht selten ein hyperkapnisches Atempumpenversagen dem Weaningversagen zugrunde liegt und auch nach abgeschlossenem Weaning fortbesteht (siehe Kapitel 5.6.1.1). Eine Alternative ist eine Krankenhaus-übergreifende Zusammenarbeit mit einem Zentrum mit entsprechender Expertise, damit NIV und das Entlassungsmanagement in die außerklinische Beatmung gut funktionieren. Die Erfahrungen zeigen, dass bei räumlicher Distanz häufig Probleme und Reibungsverluste an diesen Schnittstellen auftreten.

### 8.2 Qualitätsmanagement und Outcome

Für die Intensivmedizin fehlen oft Ergebnisanalysen bzw. Outcome-Daten. Bisherige Studien zeigen, dass es relativ einfach ist, Outcome-Daten vor allen Dingen über die Erfolgsrate des Weaningprozesses in Abhängigkeit von der Grunderkrankung und der Vorbeatmungszeit zu erstellen. Dem Weaningzentrum/der

Weaningeinheit wird dringend empfohlen, solche Outcome-Analysen möglichst im Verbund durchzuführen. Modelle hierzu gibt es bereits [526].

#### Empfehlung E49

Neben der Standardausstattung gehören zur Weaningeinheit innerhalb einer Intensivstation Maskensysteme und Ventilatoren, wie sie in der außerklinischen Beatmung zum Einsatz kommen.

### 8.3 Besonderheiten bei pädiatrischen Patienten

Weaning oder Überleitung in Langzeitbeatmung findet meist auf den pädiatrischen Intensivstationen der großen Kinderkliniken statt. Eine Spezialisierung für diesen Bereich ist gewünscht. Intermediate Care mit kindgerechterer Umgebung wäre gerade bei Überleitung in die außerklinische Beatmung wünschenswert. Kennzeichen einer Spezialisierung für pädiatrisches Entwöhnen und Überleitung sollte sein: Ausstattung und Expertise in der pädiatrischen Intensivmedizin, in der invasiven und nicht-invasiven Beatmung und außerklinischen Beatmung, in der Behandlung neuromuskulärer Erkrankungen, in der Überleitung zur ambulanten Behandlung, Erfahrung im Management von Trachealkanülen inklusive Möglichkeit zur Bronchoskopie, konsiliarische Betreuung durch HNO-Heilkunde, pädiatrische Thoraxchirurgie, pädiatrische Radiologie sowie pädiatrische Gastroenterologie, fakultativ auch die Möglichkeit zur Polysomnografie sowie eine Nachsorgeambulanz für die Weiterbetreuung nach Entlassung. Strukturelle Voraussetzungen sind: kindgerechte Umgebung, dauernde Anwesenheit bzw. unmittelbare Erreichbarkeit von Pflegepersonal (Ängste der Kinder), Erzieher/Spielzimmer, Schule für Kranke, Physiotherapie, Elternwohnung sowie Möglichkeit für „Rooming in“, psychologische Begleitung der Eltern. Spezialisierung im prolongierten Weaning von Kindern sollte sich in entsprechenden Fallzahlen abbilden: Mindestens 10 Fälle von prolongiertem Weaning von Kindern/Jahr und 5 Fälle von Überleitung in außerklinische Beatmung von Kindern/Jahr. Im Folgenden gegebene Empfehlungen stützen sich v.a. auf Ansichten der Expertengruppe:

#### Empfehlung E50

Für Spezialisierung auf das Weaning und die Überleitung im Kindesalter ist Expertise in diversen pädiatrischen Subdisziplinen notwendig.

#### Empfehlung E51

Strukturelle Voraussetzungen umfassen kindgerechte Umgebung und auf Kinder spezialisierte Personalstrukturen.

#### Empfehlung E52

Spezialisierung in prolongiertem Weaning von Kindern sollte sich in entsprechenden Fallzahlen abbilden.

### Abkürzungsverzeichnis

▼	
ACV	Assist Control Ventilation (assistiert-kontrollierte Beatmung)
AF	Atemfrequenz
AF/VT	Atemfrequenz geteilt durch Tidalvolumen
AG	Arbeitsgemeinschaft
ALS	Amyotrophe Lateralsklerose
AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse(n)
APACHE	Acute Physiology And Chronic Health Evaluation
APCV	Assisted Pressure Controlled Ventilation (assistiert-druckkontrollierte Beatmung)
ASIA	American Spinal Injury Association
ASPEN	American Society for Parenteral and Enteral Nutrition
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
ARI	Akute respiratorische Insuffizienz
ASV	Adaptive Support Ventilation
ATC	Automated Tube Compensation (automatische Tubus-Kompensation)
ATS	American Thoracic Society
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
AZV	Atemzugvolumen
A'V	Alveoläre Ventilation
BPS	Behaviour Pain Scale
C4	Cervikalmark 4
CAM-ICU	Confusion Assessment Method for the ICU
CaO <sub>2</sub>	Arterial Content of Oxygen (arterieller Sauerstoffgehalt)
CIM	Critical-Illness-Myopathie
CIP	Critical-Illness-Polyneuropathie
CIPNM	Critical-Illness-assoziierte Polyneuropathie und/oder Polymyopathie
cmH <sub>2</sub> O	Zentimeter Wassersäule
CO	Cardiac Output (Herzauswurfleistung)
COI	Conflict of Interest
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
COPD	Chronic Obstructive Pulmonary Disease (chronisch obstruktive Lungenerkrankung)
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure (kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck)
CROP	Compliance, Respiratory Rate, Arterial Oxygenation und P <sub>i</sub> max
CV	Controlled Ventilation (kontrollierte Beatmung)
CVI	Chronisch ventilatorische Insuffizienz
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V.
DGCH	Deutsche Gesellschaft für Chirurgie
DGEM	Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin e.V.
DGF	Deutsche Gesellschaft für Fachkrankenpflege und Funktionsdienste e.V.
DGG	Deutsche Gesellschaft für Geriatrie e.V.
DGIIN	Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin e.V.
DGK	Deutsche Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung e.V.
DGNI	Deutsche Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin e.V.
DGP	Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.
DGP	Deutsche Gesellschaft für Palliativmedizin e.V.

DIGAB	Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung e.V.	OP	Operation
dl	Deziliter	PaCO <sub>2</sub>	Kohlendioxid-Partialdruck
DMGP	Deutschsprachige Medizinische Gesellschaft für Paraplegie e.V.	PAH	Pulmonal arterielle Hypertonie
DO <sub>2</sub>	Delivery of Oxygen (Sauerstoff-Angebot)	PaO <sub>2</sub>	Arterieller Sauerstoffpartialdruck
E	Empfehlung	PAV	Proportional Assist Ventilation
EAPC	European Association for Palliative Care	PAV+	Proportional Assist Ventilation With Adjustable Gain Factors
EEG	Elektroenzephalogramm	PCF	Peak Cough Flow (Spitzenfluss während eines Hustenmanövers)
EK	Erythrozytenkonzentrat	PCV	Pressure Controlled Ventilation (druckkontrollierte Beatmung)
EKG	Elektrokardiogramm	PDT	Perkutane Dilatationstracheotomie
EPA	Eikosapentaensäure	PEEP	Positive End-Expiratory Pressure (positiv endexpiratorischer Druck)
ERS	European Respiratory Society	PEP	Positiver Expirationsdruck
ESICM	European Society of Intensive Care Medicine	PETCO <sub>2</sub>	Endtidaler Kohlendioxid-Partialdruck
ESPEN	European Society for Parenteral and Enteral Nutrition	PEF	Peak Expiratory Flow (maximaler Ausatemfluss)
ETHICUS	End-of-Life Practices in European Intensive Care Units	PEG	Perkutane endoskopische Gastrostomie
FEES	Fiberoptic Endoscopic Examination of Swallowing (endoskopische Schluckakt-Untersuchung)	PEJ	Perkutane endoskopische Jejunostomie
FiO <sub>2</sub>	Inspiratorische Sauerstofffraktion	P <sub>i,max</sub>	Maximaler Inspirationsdruck
f/V(T)	Atemfrequenz geteilt durch Tidalvolumen (in Litern) – entspricht dem RSBI	PIP	Peak Inspiratory Pressure
g	Gramm	Pmus	Atemanstrengung des Patienten
GLA	Gamma-Linolensäure	PO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck
GNPI	Gesellschaft für Neonatologie und Pädiatrische Intensivmedizin	Post-TBC-Syndrom	Langzeitfolgen nach pulmonaler Tuberkulose
h	Stunde/Stunden	PRCT	Prospective Randomised Controlled Trial
Hb	Hämoglobin	PSV	Pressure Support Ventilation (druckunterstützte Beatmung)
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat	QI	Qualitätsindikator
HF	Herzfrequenz	QSL	Querschnittlähmung
HFCWO	High Frequency Chest Wall Oscillation	RASS	Richmond Agitation Sedation Scale
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus	REM	Rapid Eye Movement
HLA	Humane leukozytäre Alloantigene	RR	Blutdruck (nach Riva-Rocci)
HNO	Hals-Nasen-Ohren	RSBI	Rapid Shallow Breathing Index
ICDSC	Intensive Care Delirium Screening Checklist	SaO <sub>2</sub>	Arterielle Sauerstoffsättigung
ICU	Intensive Care Unit (Intensivstation)	SAT	Spontaneous Awakening Trial (spontaner Aufwachversuch)
IgA	Immunglobulin A	SBT	Spontaneous Breathing Trial (Spontanatmungsversuch)
IPPB	Intermittent Positive Pressure Breathing	SCCM	Society of Critical Care Medicine
IPV	Intrapulmonary Percussion Ventilation	SGB	Sozialgesetzbuch
Kcal	Kilokalorien	SIMV	Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation
kg	Kilogramm	SRLF	Société de Réanimation de Langue Française
KG	Körpergewicht	SMA1	Spinale Muskelatrophie Typ 1
l	Liter	ST-Senkung	Absenkung der ST-Strecke im Elektrokardiogramm
M	Morbus	ScvO <sub>2</sub>	Zentralvenöse Sauerstoffsättigung
MDK	Medizinischer Dienst der Krankenkassen	TACO	Transfusion Associated Circulatory Overload (transfusionsassoziierte Volumenüberladung)
MDS	Medizinischer Dienst des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen e.V.	TRALI	Transfusion Related Acute Lung Injury (transfusionsinduzierte akute Lungeninsuffizienz)
MEDLINE	Medical Literature Analysis and Retrieval System Online	T-Stück	T-förmiger Ansatz für den Tubus/die Trachealkanüle mit 2 seitlichen Filtern
mg	Milligramm	UAO	Upper Airway Obstruction
min	Minute	US	United States
ml	Milliliter	USA	United States of America
mm	Millimeter	V'A	Alveoläre Ventilation
mmHg	Millimeter Quecksilber	VAS	Visual Analogue Scale (visuelle Analogskala)
mmol	Millimol	vCJK	Variante Creutzfeld-Jakob Krankheit
MV	Mechanical Ventilation (mechanische Beatmung)	VCO <sub>2</sub>	Produktion von Kohlendioxid
NGP	Nominaler Gruppenprozess	VCV	Volume Controlled Ventilation (volumenkontrollierte Beatmung)
NIV	Non-invasive Ventilation (nicht-invasive Beatmung)	VIDD	Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction
NRS	Numeric Rating Scale		
O <sub>2</sub>	Sauerstoff		

VRS	Visual Rating Scale
VT	Tidalvolumen
ZVK	Deutscher Verband für Physiotherapie (ZVK) e.V.

## Literatur

- Ibsen B. The anaesthetist's viewpoint on the treatment of respiratory complications in poliomyelitis during the epidemic in Copenhagen, 1952. *Proc R Soc Med* 1954; 47: 72–74
- Reisner-Sénélar L. The birth of intensive care medicine: Björn Ibsen's records. *Intensive Care Med* 2011; 37: 1084–1086
- Windisch W. Chronische respiratorische Insuffizienz: Rolle der außerklinischen Beatmung. *Pneumologie* 2010; 64: 600–603
- Esteban A, Anzueto A, Frutos F et al. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA* 2002; 287: 345–355
- Goligher E, Ferguson ND. Mechanical ventilation: epidemiological insights into current practices. *Curr Opin Crit Care* 2009; 15: 44–51
- Esteban A, Alía I, Ibañez J et al. Modes of mechanical ventilation and weaning. A national survey of Spanish hospitals. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Chest* 1994; 106: 1188–1193
- Ely EW, Baker AM, Dunagan DP et al. Effect on the duration of mechanical ventilation of identifying patients capable of breathing spontaneously. *N Engl J Med* 1996; 335: 1864–1869
- Kollef MH, Shapiro SD, Silver P et al. A randomized, controlled trial of protocol-directed versus physician-directed weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1997; 25: 567–574
- Boles JM, Bion J, Connors A et al. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 2007; 29: 1033–1056
- Cohen IL, Booth FV. Cost containment and mechanical ventilation in the United States. *New Horizons* (Baltimore, Md.) 1994; 2: 283–290
- Schönhofer B, Euteneuer S, Nava S et al. Survival of mechanically ventilated patients admitted to a specialised weaning centre. *Intensive Care Med* 2002; 28: 908–916
- Ambrosino N, Vianello A. Where to perform long-term ventilation. *Respir Care Clin N Am* 2002; 8: 463–478
- Warren ML, Jarrett C, Senegal R et al. An interdisciplinary approach to transitioning ventilator-dependent patients to home. *J Nurs Care Qual* 2004; 19: 67–73
- Dettenmeier PA. Planning for successful home mechanical ventilation. *AACN Clin Issues Crit Care Nurs* 1990; 1: 267–279
- Windisch W, Brambring J, Budweiser S et al. Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz S2-Leitlinie herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. *Pneumologie* 2010; 64: 207–240
- Make BJ, Hill NS, Goldberg AI et al. Mechanical ventilation beyond the intensive care unit. Report of a consensus conference of the American College of Chest Physicians. *Chest* 1998; 113: 289S–344S
- Shepperd S, Parkes J, McClaren J et al. Discharge planning from hospital to home. *Cochrane Database Syst Rev* 2004; Ausg. 1: CD000313
- Schönhofer B, Kuhlen R, Neumann P et al. Clinical practice guideline: non-invasive mechanical ventilation as treatment of acute respiratory failure. *Dtsch Arztebl Int* 2008; 105: 424–433
- Schönhofer B, Kuhlen R, Neumann P et al. Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. S3-Leitlinie herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin. *Pneumologie* 2008; 62: 449–479
- Torres A, Gatell JM, Aznar E et al. Re-intubation increases the risk of nosocomial pneumonia in patients needing mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 137–141
- Epstein SK, Ciubotaru RL, Wong JB. Effect of failed extubation on the outcome of mechanical ventilation. *Chest* 1997; 112: 186–192
- Seymour CW, Martinez A, Christie JD et al. The outcome of extubation failure in a community hospital intensive care unit: a cohort study. *Crit Care* 2004; 8: R322–327
- Coplin WM, Pierson DJ, Cooley KD et al. Implications of extubation delay in brain-injured patients meeting standard weaning criteria. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 1530–1536
- Esteban A, Alía I, Tobin MJ et al. Effect of spontaneous breathing trial duration on outcome of attempts to discontinue mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 512–518
- Vallverdú I, Calaf N, Subirana M et al. Clinical characteristics, respiratory functional parameters, and outcome of a two-hour T-piece trial in patients weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1855–1862
- Epstein SK, Nevins ML, Chung J. Effect of unplanned extubation on outcome of mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 1912–1916
- Epstein SK. Decision to extubate. *Intensive Care Med* 2002; 28: 535–546
- Lemaire F. Difficult weaning. *Intensive Care Med* 1993; 19: S69–73
- Epstein SK, Durbin CG jr. Should a patient be extubated and placed on noninvasive ventilation after failing a spontaneous breathing trial? *Respir Care* 2010; 55: 198–206
- Nava S, Ambrosino N, Clini E et al. Noninvasive mechanical ventilation in the weaning of patients with respiratory failure due to chronic obstructive pulmonary disease. A randomized, controlled trial. *Ann Intern Med* 1998; 128: 721–728
- Ferrer M, Valencia M, Nicolas JM et al. Early noninvasive ventilation averts extubation failure in patients at risk: a randomized trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 173: 164–170
- Nava S, Gregoretti C, Fanfulla F et al. Noninvasive ventilation to prevent respiratory failure after extubation in high-risk patients. *Crit Care Med* 2005; 33: 2465–2470
- Esteban A, Frutos-Vivar F, Ferguson ND et al. Noninvasive positive-pressure ventilation for respiratory failure after extubation. *N Engl J Med* 2004; 350: 2452–2460
- Funk GC, Anders S, Breyer MK et al. Incidence and outcome of weaning from mechanical ventilation according to new categories. *Eur Respir J* 2010; 35: 88–94
- Epstein SK, Vuong V. Lack of influence of gender on outcomes of mechanically ventilated medical ICU patients. *Chest* 1999; 116: 732–739
- Esteban A, Frutos F, Tobin MJ et al. A comparison of four methods of weaning patients from mechanical ventilation. Spanish Lung Failure Collaborative Group. *N Engl J Med* 1995; 332: 345–350
- Carson SS, Garrett J, Hanson LC et al. A prognostic model for one-year mortality in patients requiring prolonged mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2008; 36: 2061–2069
- Polverino E, Nava S, Ferrer M et al. Patients' characterization, hospital course and clinical outcomes in five Italian respiratory intensive care units. *Intensive Care Med* 2010; 36: 137–142
- Bellemare F, Grassino A. Effect of pressure and timing of contraction on human diaphragm fatigue. *J Appl Physiol* 1982; 53: 1190–1195
- Jubran A, Tobin MJ. Passive mechanics of lung and chest wall in patients who failed or succeeded in trials of weaning. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 916–921
- Tobin MJ, Laghi F. Monitoring of Respiratory Muscle Function. In: Tobin MJ, ed. *Principle and practice of intensive care monitoring*. New York: McGraw-Hill; 1998
- Vassilakopoulos T, Zakyntinos S, Roussos Ch. Respiratory muscles and weaning failure. *Eur Respir J* 1996; 9: 2383–2400
- Lopata M, Onal E. Mass loading, sleep apnea, and the pathogenesis of obesity hypoventilation. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126: 640–645
- MacIntyre NR, Cook DJ, Ely EW Jr et al. 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* 2001; 120: 375S–379S
- Raju P, Manthous CA. The pathogenesis of respiratory failure: an overview. *Care Clin N Am* 2000; 6: 195–212
- Fishman AP, Turino GM, Bergofsky EH. The syndrome of alveolar hypoventilation. *Am J Med* 1957; 23: 333–339
- Vallverdú I, Mancebo J. Approach to patients who fail initial weaning trials. *Respir Care Clin N Am* 2000; 6: 365–384
- Barrientos-Vega R, Mar Sánchez-Soria M, Morales-García C et al. Prolonged sedation of critically ill patients with midazolam or propofol: impact on weaning and costs. *Crit Care Med* 1997; 25: 33–40
- Wheeler AP. Sedation, analgesia, and paralysis in the intensive care unit. *Chest* 1993; 104: 566–577
- Spitzer AR, Giancarlo T, Maher L et al. Neuromuscular causes of prolonged ventilator dependency. *Muscle Nerve* 1992; 15: 682–686
- De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Sharshar T et al. Does ICU-acquired paresis lengthen weaning from mechanical ventilation? *Intensive Care Med* 2004; 30: 1117–1121
- Hermans G, De Jonghe B, Bruyninckx F et al. Clinical review: Critical illness polyneuropathy and myopathy. *Crit Care* 2008; 12: 238

- 53 *Maher J, Rutledge F, Remtulla H et al.* Neuromuscular disorders associated with failure to wean from the ventilator. *Intensive Care Med* 1995; 21: 737–743
- 54 *Peterson WP, Whiteneck GG, Gerhart KA.* Chest tubes, lung entrapment, and failure to wean from the ventilator. Report of three patients with quadriplegia. *Chest* 1994; 105: 1292–1294
- 55 *Garnacho-Montero J, Madrazo-Osuna J, García-Garmendía JL et al.* Critical illness polyneuropathy: risk factors and clinical consequences. A cohort study in septic patients. *Intensive Care Med* 2001; 27: 1288–1296
- 56 *Bercker S, Weber-Carstens S, Deja M et al.* Critical illness polyneuropathy and myopathy in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 2005; 33: 711–715
- 57 *Garnacho-Montero J, Amaya-Villar R, García-Garmendía JL et al.* Effect of critical illness polyneuropathy on the withdrawal from mechanical ventilation and the length of stay in septic patients. *Crit Care Med* 2005; 33: 349–354
- 58 *Schweickert WD, Hall J.* ICU-acquired weakness. *Chest* 2007; 131: 1541–1549
- 59 *Vassilakopoulos T, Petrof BJ.* Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 169: 336–341
- 60 *Jubran A.* Critical illness and mechanical ventilation: effects on the diaphragm. *Respir Care* 2006; 51: 1054–1061
- 61 *Schild K, Neusch C, Schönhofer B.* Ventilator induzierter Zwerchfellschaden. *Pneumologie* 2008; 62: 33–39
- 62 *Gay PC, Rodarte JR, Hubmayr RD.* The effects of positive expiratory pressure on isovolume flow and dynamic hyperinflation in patients receiving mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139: 621–626
- 63 *Parthasarathy S, Jubran A, Tobin MJ.* Cycling of inspiratory and expiratory muscle groups with the ventilator in airflow limitation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1471–1478
- 64 *Salam A, Tilluckdharry L, Amoateng-Adjepong Y et al.* Neurologic status, cough, secretions and extubation outcomes. *Intensive Care Med* 2004; 30: 1334–1339
- 65 *Epstein SK, Ciubotaru RL.* Independent effects of etiology of failure and time to reintubation on outcome for patients failing extubation. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 489–493
- 66 *Straus C, Louis B, Isabey D et al.* Contribution of the endotracheal tube and the upper airway to breathing workload. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 157: 23–30
- 67 *Rumbak MJ, Walsh FW, Anderson WM et al.* Significant tracheal obstruction causing failure to wean in patients requiring prolonged mechanical ventilation: a forgotten complication of long-term mechanical ventilation. *Chest* 1999; 115: 1092–1095
- 68 *Lemaire F, Teboul JL, Cinotti L et al.* Acute left ventricular dysfunction during unsuccessful weaning from mechanical ventilation. *Anesthesiology* 1988; 69: 171–179
- 69 *Epstein SK.* Etiology of extubation failure and the predictive value of the rapid shallow breathing index. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 545–549
- 70 *Richard C, Teboul JL, Archambaud F et al.* Left ventricular function during weaning of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Intensive Care Med* 1994; 20: 181–186
- 71 *Pinsky MR.* Cardiovascular issues in respiratory care. *Chest* 2005; 128: 592S–597S
- 72 *Buda AJ, Pinsky MR, Ingels NB Jr et al.* Effect of intrathoracic pressure on left ventricular performance. *N Engl J Med* 1979; 301: 453–459
- 73 *Jubran A, Mathru M, Dries D et al.* Continuous recordings of mixed venous oxygen saturation during weaning from mechanical ventilation and the ramifications thereof. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 158: 1763–1769
- 74 *Vizza CD, Lynch JP, Ochoa LL et al.* Right and left ventricular dysfunction in patients with severe pulmonary disease. *Chest* 1998; 113: 576–583
- 75 *Alpert JS.* Effect of right ventricular dysfunction on left ventricular function. *Adv Cardiol* 1986; 34: 25–34
- 76 *Hubmayr RD, Loosbrock LM, Gillespie DJ et al.* Oxygen uptake during weaning from mechanical ventilation. *Chest* 1988; 94: 1148–1155
- 77 *Tassaux D, Gannier M, Battisti A et al.* Impact of expiratory trigger setting on delayed cycling and inspiratory muscle workload. *Am J Respir Crit Care Med* 2005; 172: 1283–1289
- 78 *Chao DC, Scheinhorn DJ, Stearn-Hassenpflug M.* Patient-ventilator trigger asynchrony in prolonged mechanical ventilation. *Chest* 1997; 112: 1592–1599
- 79 *Schönhofer B, Wenzel M, Geibel M et al.* Blood transfusion and lung function in chronically anemic patients with severe chronic obstructive pulmonary disease. *Crit Care Med* 1998; 26: 1824–1828
- 80 *Silver MR.* Anemia in the long-term ventilator-dependent patient with respiratory failure. *Chest* 2005; 128: 568S–575S
- 81 *Graham RJ, Fleegler EW, Robinson WM.* Chronic ventilator need in the community: a 2005 pediatric census of Massachusetts. *Pediatrics* 2007; 119: e1280–e1287
- 82 *Jardine E, O'Toole M, Paton JY et al.* Current status of long term ventilation of children in the United Kingdom: questionnaire survey. *BMJ* 1999; 318: 295–299
- 83 *Kurachek SC, Newth CJ, Quasney MW et al.* Extubation failure in pediatric intensive care: a multiple-center study of risk factors and outcomes. *Crit Care Med* 2003; 31: 2657–2664
- 84 *Baisch SD, Wheeler WB, Kurachek SC et al.* Extubation failure in pediatric intensive care incidence and outcomes. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6: 312–318
- 85 *Joho-Arreola AL, Bauersfeld U, Stauffer UG et al.* Incidence and treatment of diaphragmatic paralysis after cardiac surgery in children. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; 27: 53–57
- 86 *Nicolai T.* Therapeutic concepts in upper airway obstruction. *Paediatr Respir Rev* 2004; 5: 34–39
- 87 *Corbett HJ, Mann KS, Mitra I et al.* Tracheostomy – a 10-year experience from a UK pediatric surgical center. *J Pediatr Surg* 2007; 42: 1251–1254
- 88 *Kamm M, Burger R, Rimensberger P et al.* Survey of children supported by long-term mechanical ventilation in Switzerland. *Swiss Med Wkly* 2001; 131: 261–266
- 89 *Uhlig S, Frerichs I.* Lung Protective Ventilation – Pathophysiology and Diagnostics. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2008; 43: 438–445
- 90 *Ibrahim EH, Ward S, Sherman G et al.* A comparative analysis of patients with early-onset vs late-onset nosocomial pneumonia in the ICU setting. *Chest* 2000; 117: 1434–1442
- 91 *Quinnell TG, Pilsworth S, Shneerson JM et al.* Prolonged invasive ventilation following acute ventilatory failure in COPD: weaning results, survival, and the role of noninvasive ventilation. *Chest* 2006; 129: 133–139
- 92 *Ely EW, Baker AM, Evans GW et al.* The prognostic significance of passing a daily screen of weaning parameters. *Intensive Care Med* 1999; 25: 581–587
- 93 *S3-Leitlinie Analgesie, Sedierung und Delirmanagement in der Intensivmedizin.* 2009: www.awmf-online.de
- 94 *Kollef MH, Levy NT, Ahrens TS et al.* The use of continuous i.v. sedation is associated with prolongation of mechanical ventilation. *Chest* 1998; 114: 541–548
- 95 *Ramsay MA, Savege TM, Simpson BR et al.* Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone. *Br Med J* 1974; 2: 656–659
- 96 *Riker RR, Picard JT, Fraser GL.* Prospective evaluation of the Sedation-Agitation Scale for adult critically ill patients. *Crit Care Med* 1999; 27: 1325–1329
- 97 *Ely EW, Truman B, Shintani A et al.* Monitoring sedation status over time in ICU patients: reliability and validity of the Richmond Agitation-Sedation Scale (RASS). *JAMA* 2003; 289: 2983–2991
- 98 *Sessler CN, Gosnell MS, Grap MJ et al.* The Richmond Agitation-Sedation Scale: validity and reliability in adult intensive care unit patients. *Am J Respir Crit Care Med* 2002; 166: 1338–1344
- 99 *Martin J, Franck M, Fischer M et al.* Sedation and analgesia in German intensive care units: how is it done in reality? Results of a patient-based survey of analgesia and sedation. *Intensive Care Med* 2006; 32: 1137–1142
- 100 *Payen JF, Bru O, Bosson JL et al.* Assessing pain in critically ill sedated patients by using a behavioral pain scale. *Crit Care Med* 2001; 29: 2258–2263
- 101 *Kress JP, Pohlman AS, O'Connor MF et al.* Daily interruption of sedative infusions in critically ill patients undergoing mechanical ventilation. *N Engl J Med* 2000; 342: 1471–1477
- 102 *Carson SS, Kress JP, Rodgers JE et al.* A randomized trial of intermittent lorazepam versus propofol with daily interruption in mechanically ventilated patients. *Crit Care Med* 2006; 34: 1326–1332
- 103 *Girard TD, Kress JP, Fuchs BD et al.* Efficacy and safety of a paired sedation and ventilator weaning protocol for mechanically ventilated patients in intensive care (Awakening and Breathing Controlled trial): a randomised controlled trial. *Lancet* 2008; 371: 126–134

- 104 Brook AD, Ahrens TS, Schaiff R et al. Effect of a nursing-implemented sedation protocol on the duration of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1999; 27: 2609–2615
- 105 Fragen RJ. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of midazolam given via continuous intravenous infusion in intensive care units. *Clin Ther* 1997; 19: 405–419
- 106 Soliman HM, Mélot C, Vincent JL. Sedative and analgesic practice in the intensive care unit: the results of a European survey. *Br J Anaesth* 2001; 87: 186–192
- 107 Young C, Knudsen N, Hilton A. Sedation in the intensive care unit. *Crit Care Med* 2000; 28: 854–866
- 108 Vasile B, Rasulo F, Candiani A et al. The pathophysiology of propofol infusion syndrome: a simple name for a complex syndrome. *Intensive Care Med* 2003; 29: 1417–1425
- 109 Parke TJ, Stevens JE, Rice AS et al. Metabolic acidosis and fatal myocardial failure after propofol infusion in children: five case reports. *BMJ* 1992; 305: 613–616
- 110 Tobias JD. Tolerance, withdrawal, and physical dependency after long-term sedation and analgesia of children in the pediatric intensive care unit. *Crit Care Med* 2000; 28: 2122–2132
- 111 Ochoa ME, Marín Mdel C, Frutos-Vivar F et al. Cuff-leak test for the diagnosis of upper airway obstruction in adults: a systematic review and meta-analysis. *Intensive Care Med* 2009; 35: 1171–1179
- 112 Esteban A, Alía I, Gordo F et al. Extubation outcome after spontaneous breathing trials with T-tube or pressure support ventilation. The Spanish Lung Failure Collaborative Group. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 156: 459–465
- 113 Yang KL, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting the outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med* 1991; 324: 1445–1450
- 114 Perren A, Domenighetti G, Mauri S et al. Protocol-directed weaning from mechanical ventilation: clinical outcome in patients randomized for a 30-min or 120-min trial with pressure support ventilation. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1058–1063
- 115 Khamiees M, Raju P, DeGirolamo A et al. Predictors of extubation outcome in patients who have successfully completed a spontaneous breathing trial. *Chest* 2001; 120: 1262–1270
- 116 Bach JR, Saporito LR. Criteria for extubation and tracheostomy tube removal for patients with ventilatory failure. A different approach to weaning. *Chest* 1996; 110: 1566–1571
- 117 Namen AM, Ely EW, Tatter SB et al. Predictors of successful extubation in neurosurgical patients. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163: 658–664
- 118 Jubran A, Tobin MJ. Pathophysiologic basis of acute respiratory distress in patients who fail a trial of weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1997; 155: 906–915
- 119 Laghi F, Cattapan SE, Jubran A et al. Is weaning failure caused by low-frequency fatigue of the diaphragm? *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 167: 120–127
- 120 Matic I, Majeric-Kogler V. Comparison of pressure support and T-tube weaning from mechanical ventilation: randomized prospective study. *Croat Med J* 2004; 45: 162–166
- 121 Jones DP, Byrne P, Morgan C et al. Positive end-expiratory pressure vs T-piece. Extubation after mechanical ventilation. *Chest* 1991; 100: 1655–1659
- 122 Haberthür C, Mols G, Elsasser S et al. Extubation after breathing trials with automatic tube compensation, T-tube, or pressure support ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2002; 46: 973–979
- 123 Cohen J, Shapiro M, Grozovski E et al. Prediction of extubation outcome: a randomised, controlled trial with automatic tube compensation vs. pressure support ventilation. *Crit Care* 2009; 13: R21
- 124 Bach JR, Bianchi C, Auffero E. Oximetry and indications for tracheostomy for amyotrophic lateral sclerosis. *Chest* 2004; 126: 1502–1507
- 125 Smina M, Salam A, Khamiees M et al. Cough peak flows and extubation outcomes. *Chest* 2003; 124: 262–268
- 126 Beuret P, Roux C, Auclair A et al. Interest of an objective evaluation of cough during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 2009; 35: 1090–1093
- 127 Jaber S, Chanques G, Matecki S et al. Post-extubation stridor in intensive care unit patients. Risk factors evaluation and importance of the cuff-leak test. *Intensive Care Med* 2003; 29: 69–74
- 128 De Bast Y, De Backer D, Moraine JJ et al. The cuff leak test to predict failure of tracheal extubation for laryngeal edema. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1267–1272
- 129 Fisher MM, Raper RF. The 'cuff-leak' test for extubation. *Anaesthesia* 1992; 47: 10–12
- 130 Sandhu RS, Pasquale MD, Miller K et al. Measurement of endotracheal tube cuff leak to predict postextubation stridor and need for reintubation. *J Am Coll Surg* 2000; 190: 682–687
- 131 Boulain T. Unplanned extubations in the adult intensive care unit: a prospective multicenter study. Association des Réanimateurs du Centre-Ouest. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 157: 1131–1137
- 132 Frutos-Vivar F, Esteban A. When to wean from a ventilator: an evidence-based strategy. *Cleve Clin J Med* 2003; 70: 389, 392–393
- 133 Girard TD, Ely EW. Protocol-driven ventilator weaning: reviewing the evidence. *Clin Chest Med* 2008; 29: 241–252
- 134 Ely EW, Meade MO, Haponik EF et al. Mechanical ventilator weaning protocols driven by nonphysician health-care professionals: evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2001; 120: 454S–463S
- 135 Krishnan JA, Moore D, Robeson C et al. A prospective, controlled trial of a protocol-based strategy to discontinue mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 169: 673–678
- 136 Dries DJ, McGonigal MD, Malian MS et al. Protocol-driven ventilator weaning reduces use of mechanical ventilation, rate of early reintubation, and ventilator-associated pneumonia. *J Trauma* 2004; 56: 943–951
- 137 Tobin MJ, ed. Principles and Practice of Mechanical Ventilation. New York: McGraw-Hill; 1994
- 138 Vassilakopoulos T. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: the clinical relevance of animal models. *Intensive Care Med* 2008; 34: 7–16
- 139 Vassilakopoulos T, Zakyntinos S, Roussos C. Bench-to-bedside review: weaning failure—should we rest the respiratory muscles with controlled mechanical ventilation? *Crit Care* 2006; 10: 204
- 140 Sassoon CS, Caiozzo VJ, Manka A et al. Altered diaphragm contractile properties with controlled mechanical ventilation. *J Appl Physiol* 2002; 92: 2585–2595
- 141 Levine S, Nguyen T, Taylor N et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med* 2008; 358: 1327–1335
- 142 Kavazis AN, Talbert EE, Smuder AJ et al. Mechanical ventilation induces diaphragmatic mitochondrial dysfunction and increased oxidant production. *Free Radic Biol Med* 2009; 46: 842–850
- 143 Petrof BJ, Jaber S, Matecki S. Ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Curr Opin Crit Care* 2010; 16: 19–25
- 144 Hussain SN, Mofarrah M, Sigala I et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm disuse in humans triggers autophagy. *Am J Respir Crit Care Med* 2010; 182: 1377–1386
- 145 Jaber S, Petrof BJ, Jung B et al. Rapidly progressive diaphragmatic weakness and injury during mechanical ventilation in humans. *Am J Respir Crit Care Med* 2011; 183: 364–371
- 146 Hermans G, Agten A, Testelmans D et al. Increased duration of mechanical ventilation is associated with decreased diaphragmatic force: a prospective observational study. *Crit Care* 2010; 14: R127
- 147 Sassoon CS, Zhu E, Caiozzo VJ. Assist-control mechanical ventilation attenuates ventilator-induced diaphragmatic dysfunction. *Am J Respir Crit Care Med* 2004; 170: 626–632
- 148 De Jonghe B, Bastuji-Garin S, Durand MC et al. Respiratory weakness is associated with limb weakness and delayed weaning in critical illness. *Crit Care Med* 2007; 35: 2007–2015
- 149 Kim WY, Suh HJ, Hong SB et al. Diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography: Influence on weaning from mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2011; 39: 2627–2630
- 150 Watson AC, Hughes PD, Louise Harris M et al. Measurement of twitch transdiaphragmatic, esophageal, and endotracheal tube pressure with bilateral anterolateral magnetic phrenic nerve stimulation in patients in the intensive care unit. *Crit Care Med* 2001; 29: 1325–1331
- 151 Brochard L, Harf A, Lorino H et al. Inspiratory pressure support prevents diaphragmatic fatigue during weaning from mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1989; 139: 513–521
- 152 Nava S, Bruschi C, Rubini F et al. Respiratory response and inspiratory effort during pressure support ventilation in COPD patients. *Intensive Care Med* 1995; 21: 871–879
- 153 Vitacca M, Clini E, Pagani M et al. Physiologic effects of early administered mask proportional assist ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease and acute respiratory failure. *Crit Care Med* 2000; 28: 1791–1797

- 154 Grasso S, Puntillo F, Mascia L et al. Compensation for increase in respiratory workload during mechanical ventilation. Pressure-support versus proportional-assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 819–826
- 155 Kondili E, Prinianakis G, Alexopoulou C et al. Respiratory load compensation during mechanical ventilation–proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors versus pressure support. *Intensive Care Med* 2006; 32: 692–699
- 156 Xirouchaki N, Kondili E, Vaporidi K et al. Proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors in critically ill patients: comparison with pressure support. *Intensive Care Med* 2008; 34: 2026–2034
- 157 Imsand C, Feihl F, Perret C et al. Regulation of inspiratory neuromuscular output during synchronized intermittent mechanical ventilation. *Anesthesiology* 1994; 80: 13–22
- 158 Marini JJ, Smith TC, Lamb VJ. External work output and force generation during synchronized intermittent mechanical ventilation. Effect of machine assistance on breathing effort. *Am Rev Respir Dis* 1988; 138: 1169–1179
- 159 Sulzer CF, Chioldero R, Chassot PG et al. Adaptive support ventilation for fast tracheal extubation after cardiac surgery: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 2001; 95: 1339–1345
- 160 Gruber PC, Gomersall CD, Leung P et al. Randomized controlled trial comparing adaptive-support ventilation with pressure-regulated volume-controlled ventilation with automode in weaning patients after cardiac surgery. *Anesthesiology* 2008; 109: 81–87
- 161 Dongelmans DA, Veelo DP, Paulus F et al. Weaning automation with adaptive support ventilation: a randomized controlled trial in cardiothoracic surgery patients. *Anesth Analg* 2009; 108: 565–571
- 162 Petter AH, Chioldero RL, Cassina T et al. Automatic “respirator/weaning” with adaptive support ventilation: the effect on duration of endotracheal intubation and patient management. *Anesth Analg* 2003; 97: 1743–1750
- 163 Tassaux D, Dalmas E, Grataudour P et al. Patient-ventilator interactions during partial ventilatory support: a preliminary study comparing the effects of adaptive support ventilation with synchronized intermittent mandatory ventilation plus inspiratory pressure support. *Crit Care Med* 2002; 30: 801–807
- 164 Brochard L, Rauss A, Benito S et al. Comparison of three methods of gradual withdrawal from ventilatory support during weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150: 896–903
- 165 Köhler D, Schönhofer B. Weaning nach Langzeitbeatmung bei Patienten mit erschöpfter Atempumpe – ein neues Behandlungskonzept. *Medizinische Klinik* 1994; 89: 11–15
- 166 Martin AD, Davenport PD, Franceschi AC et al. Use of inspiratory muscle strength training to facilitate ventilator weaning: a series of 10 consecutive patients. *Chest* 2002; 122: 192–196
- 167 Martin AD, Smith BK, Davenport PD et al. Inspiratory muscle strength training improves weaning outcome in failure to wean patients: a randomized trial. *Crit Care* 2011; 15: R84
- 168 Jubran A, Van de Graaff WB, Tobin MJ. Variability of patient-ventilator interaction with pressure support ventilation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 1995; 152: 129–136
- 169 Mancebo J. Weaning from mechanical ventilation. *Eur Respir J* 1996; 9: 1923–1931
- 170 Nava S, Bruschi C, Fracchia C et al. Patient-ventilator interaction and inspiratory effort during pressure support ventilation in patients with different pathologies. *Eur Respir J* 1997; 10: 177–183
- 171 Mancebo J, Amaro P, Mollo JL et al. Comparison of the effects of pressure support ventilation delivered by three different ventilators during weaning from mechanical ventilation. *Intensive Care Med* 1995; 21: 913–919
- 172 Dojat M, Harf A, Touchard D et al. Clinical evaluation of a computer-controlled pressure support mode. *Am J Respir Crit Care Med* 2000; 161: 1161–1166
- 173 Lellouche F, Mancebo J, Jolliet P et al. A multicenter randomized trial of computer-driven protocolized weaning from mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2006; 174: 894–900
- 174 Laghi F. Weaning: can the computer help? *Intensive Care Med* 2008; 34: 1746–1748
- 175 Rose L, Presneill JJ, Johnston L et al. A randomised, controlled trial of conventional versus automated weaning from mechanical ventilation using SmartCare/PS. *Intensive Care Med* 2008; 34: 1788–1795
- 176 Burns KE, Meade MO, Lessard MR et al. Wean earlier and automatically with new technology (the WEAN study). A multicenter, pilot randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 187: 1203–1211
- 177 SmartCare: Knowledge based system for clinical guidelines Software 1.1. Addendum to operating instructions Evita XL Software 6.0 or higher. Draeger medical AG and CoKG; 2005
- 178 Bouadma L, Lellouche F, Cabello B et al. Computer-driven management of prolonged mechanical ventilation and weaning: a pilot study. *Intensive Care Med* 2005; 31: 1446–1450
- 179 Fry RW, Morton AR, Keast D. Periodisation of training stress – a review. *Can J Sport Sci* 1992; 17: 234–240
- 180 MacIntyre NR, Epstein SK, Carson S et al. Management of patients requiring prolonged mechanical ventilation: report of a NAMDRG consensus conference. *Chest* 2005; 128: 3937–3954
- 181 Uchiyama A, Imanaka H, Taenaka N et al. Comparative evaluation of diaphragmatic activity during pressure support ventilation and intermittent mandatory ventilation in animal model. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150: 1564–1568
- 182 Brochard L, Rua F, Lorino H et al. Inspiratory pressure support compensates for the additional work of breathing caused by the endotracheal tube. *Anesthesiology* 1991; 75: 739–745
- 183 Diehl JL, El Atrous S, Touchard D et al. Changes in the work of breathing induced by tracheotomy in ventilator-dependent patients. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 159: 383–388
- 184 Dellweg D, Barchfeld T, Haidl P et al. Tracheostomy decannulation: implication on respiratory mechanics. *Head Neck* 2007; 29: 1121–1127
- 185 Thille AW, Lyazidi A, Richard JC et al. A bench study of intensive-care-unit ventilators: new versus old and turbine-based versus compressed gas-based ventilators. *Intensive Care Med* 2009; 35: 1368–1376
- 186 Richard JC, Carlucci A, Breton L et al. Bench testing of pressure support ventilation with three different generations of ventilators. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1049–1057
- 187 Brochard L, Thille AW. What is the proper approach to liberating the weak from mechanical ventilation? *Crit Care Med* 2009; 37: 410–415
- 188 Caroleo S, Agnello F, Abdallah K et al. Weaning from mechanical ventilation: an open issue. *Minerva Anestesiol* 2007; 73: 417–427
- 189 Burns KE, Lellouche F, Loisel F et al. Weaning critically ill adults from invasive mechanical ventilation: a national survey. *Can J Anaesth* 2009; 56: 567–576
- 190 Bapat P, Verghese C. Cuff deflation for easier weaning from ventilation. *Br J Anaesth* 1997; 79: 145
- 191 Shneerson JM. Are there new solutions to old problems with weaning? *Br J Anaesth* 1997; 78: 238–240
- 192 Fornataro-Clerici L, Zajac DJ. Aerodynamic characteristics of tracheostomy speaking valves. *J Speech Hear Res* 1993; 36: 529–532
- 193 Johnson DC, Campbell SL, Rabkin JD. Tracheostomy tube manometry: evaluation of speaking valves, capping and need for downsizing. *Clin Respir J* 2009; 3: 8–14
- 194 Jiang TX, Reid WD, Road JD. Free radical scavengers and diaphragm injury following inspiratory resistive loading. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 164: 1288–1294
- 195 Hubmayr RD, Abel MD, Rehder K. Physiologic approach to mechanical ventilation. *Crit Care Med* 1990; 18: 103–113
- 196 Petrof BJ, Legaré M, Goldberg P et al. Continuous positive airway pressure reduces work of breathing and dyspnea during weaning from mechanical ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1990; 141: 281–289
- 197 Ranieri VM, Giuliani R, Cinnella G et al. Physiologic effects of positive end-expiratory pressure in patients with chronic obstructive pulmonary disease during acute ventilatory failure and controlled mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis* 1993; 147: 5–13
- 198 Reissmann HK, Ranieri VM, Goldberg P et al. Continuous positive airway pressure facilitates spontaneous breathing in weaning chronic obstructive pulmonary disease patients by improving breathing pattern and gas exchange. *Intensive Care Med* 2000; 26: 1764–1772
- 199 Swinamer DL, Fedoruk LM, Jones RL et al. Energy expenditure associated with CPAP and T-piece spontaneous ventilatory trials. Changes following prolonged mechanical ventilation. *Chest* 1989; 96: 867–872
- 200 El-Khatib MF, Zeineldine SM, Jamaledine GW. Effect of pressure support ventilation and positive end expiratory pressure on the rapid shallow breathing index in intensive care unit patients. *Intensive Care Med* 2008; 34: 505–510

- 201 Schmidt GB, Bombeck CT, Bennett EJ et al. Continuous positive airway pressure in the prophylaxis of the adult respiratory distress syndrome (ARDS). *Langenbecks Arch Chir* 1975; 439–442
- 202 Ferreyra GP, Baussano I, Squadrone V et al. Continuous positive airway pressure for treatment of respiratory complications after abdominal surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ann Surg* 2008; 247: 617–626
- 203 Shapiro M, Wilson RK, Casar G et al. Work of breathing through different sized endotracheal tubes. *Crit Care Med* 1986; 14: 1028–1031
- 204 Natalini G, Tuzzo DM, Comunale G et al. Work of breathing-tidal volume relationship: analysis on an in vitro model and clinical implications. *J Clin Monit Comput* 1999; 15: 119–123
- 205 Wilson AM, Gray DM, Thomas JG. Increases in endotracheal tube resistance are unpredictable relative to duration of intubation. *Chest* 2009; 136: 1006–1013
- 206 Boqué MC, Gualis B, Sandiumenge A et al. Endotracheal tube intraluminal diameter narrowing after mechanical ventilation: use of acoustic reflectometry. *Intensive Care Med* 2004; 30: 2204–2209
- 207 Kumar PD, Rainey J, Kotton B. Tracheoesophageal fistula and massive pneumoperitoneum after prolonged mechanical ventilation. *South Med J* 2001; 94: 1027–1029
- 208 Malingue S, Prunier F, EgretEAU JP. Four cases of tracheoesophageal fistula associated with prolonged ventilation. *Ann Anesthesiol Fr* 1978; 19: 539–544
- 209 Moons P, Sels K, De Becker W et al. Development of a risk assessment tool for deliberate self-extubation in intensive care patients. *Intensive Care Med* 2004; 30: 1348–1355
- 210 Pandey CK, Singh N, Srivastava K et al. Self-extubation in intensive care and re-intubation predictors: a retrospective study. *J Indian Med Assoc* 2002; 100: 14–16
- 211 Hewitt MS, Garland DE, Ayyoub Z. Heterotopic ossification complicating prolonged intubation: case report and review of the literature. *J Spinal Cord Med* 2002; 25: 46–49
- 212 Honig EG, Francis PB. Persistent tracheal dilatation: onset after brief mechanical ventilation with a “soft-cuff” endotracheal tube. *South Med J* 1979; 72: 487–490
- 213 Holzapfel L, Chevret S, Madinier G et al. Influence of long-term oro- or nasotracheal intubation on nosocomial maxillary sinusitis and pneumonia: results of a prospective, randomized, clinical trial. *Crit Care Med* 1993; 21: 1132–1138
- 214 Nordin U. The trachea and cuff-induced tracheal injury. An experimental study on causative factors and prevention. *Acta Otolaryngol Suppl* 1977; 345: 1–71
- 215 Pierson DJ. Tracheostomy and weaning. *Respir Care* 2005; 50: 526–533
- 216 Ceriana P, Carlucci A, Navalesi P et al. Physiological responses during a T-piece weaning trial with a deflated tube. *Intensive Care Med* 2006; 32: 1399–1403
- 217 Dezfulian C, Shojania K, Collard HR et al. Subglottic secretion drainage for preventing ventilator-associated pneumonia: a meta-analysis. *Am J Med* 2005; 118: 11–18
- 218 Dragoumanis CK, Vretzakis GI, Papaioannou VE et al. Investigating the failure to aspirate subglottic secretions with the Evac endotracheal tube. *Anesth Analg* 2007; 105: 1083–1085
- 219 Pneumatikos IA, Dragoumanis CK, Bouros DE. Ventilator-associated pneumonia or endotracheal tube-associated pneumonia? An approach to the pathogenesis and preventive strategies emphasizing the importance of endotracheal tube. *Anesthesiology* 2009; 110: 673–680
- 220 Körber W. Translaryngeal intubation in long-term ventilation. *Internist* 1998; 39: 521–522
- 221 Berra L, Curto F, Li Bassi G et al. Antimicrobial-coated endotracheal tubes: an experimental study. *Intensive Care Med* 2008; 34: 1020–1029
- 222 Rotstein C, Evans G, Born A et al. Clinical practice guidelines for hospital-acquired pneumonia and ventilator-associated pneumonia in adults. *Can J Infect Dis Med Microbiol* 2008; 19: 19–53
- 223 Caruso P, Denari S, Ruiz SA et al. Saline instillation before tracheal suctioning decreases the incidence of ventilator-associated pneumonia. *Crit Care Med* 2009; 37: 32–38
- 224 Tsai HH, Lin FC, Chang SC. Intermittent suction of oral secretions before each positional change may reduce ventilator-associated pneumonia: a pilot study. *Am J Med Sci* 2008; 336: 397–401
- 225 Kollef MH, Afessa B, Anzueto A et al. Silver-coated endotracheal tubes and incidence of ventilator-associated pneumonia: the NASCENT randomized trial. *JAMA* 2008; 300: 805–813
- 226 Bouza E, Pérez MJ, Muñoz P et al. Continuous aspiration of subglottic secretions in the prevention of ventilator-associated pneumonia in the postoperative period of major heart surgery. *Chest* 2008; 134: 938–946
- 227 Muscedere J, Dodek P, Keenan S et al. Comprehensive evidence-based clinical practice guidelines for ventilator-associated pneumonia: prevention. *J Crit Care* 2008; 23: 126–137
- 228 Tantipong H, Morkhareonpong C, Jaiyindee S et al. Randomized controlled trial and meta-analysis of oral decontamination with 2% chlorhexidine solution for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *Infect Control Hosp Epidemiol* 2008; 29: 131–136
- 229 Lorente L, Blot S, Rello J. Evidence on measures for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *Eur Respir J* 2007; 30: 1193–1207
- 230 Berra L, De Marchi L, Panigada M et al. Evaluation of continuous aspiration of subglottic secretion in an in vivo study. *Crit Care Med* 2004; 32: 2071–2078
- 231 Heffner JE. Tracheal intubation in mechanically ventilated patients. *Clin Chest Med* 1988; 9: 23–35
- 232 Heuer B, Deller A. Early and long-term results of percutaneous dilatation tracheostomy (PDT Ciaglia) in 195 intensive care patients. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1998; 33: 306–312
- 233 Muttini S, Melloni G, Gemma M et al. Percutaneous or surgical tracheotomy. Prospective, randomized comparison of the incidence of early and late complications. *Minerva Anesthesiol* 1999; 65: 521–527
- 234 Dulguerov P, Gysin C, Perneger TV et al. Percutaneous or surgical tracheostomy: a meta-analysis. *Crit Care Med* 1999; 27: 1617–1625
- 235 Delaney A, Bagshaw SM, Nalos M. Percutaneous dilatational tracheostomy versus surgical tracheostomy in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care* 2006; 10: R55
- 236 Higgins KM, Punthakee X. Meta-analysis comparison of open versus percutaneous tracheostomy. *Laryngoscope* 2007; 117: 447–454
- 237 Byhahn C, Wilke HJ, Halbig S et al. Percutaneous tracheostomy: ciaglia blue rhino versus the basic ciaglia technique of percutaneous dilatational tracheostomy. *Anesth Analg* 2000; 91: 882–886
- 238 Griggs WM, Worthley LI, Gilligan JE et al. A simple percutaneous tracheostomy technique. *Surg Gynecol Obstet* 1990; 170: 543–545
- 239 Fantoni A, Ripamonti D. A non-derivative, non-surgical tracheostomy: the translaryngeal method. *Intensive Care Med* 1997; 23: 386–392
- 240 Frova G, Quintel M. A new simple method for percutaneous tracheostomy: controlled rotating dilation. A preliminary report. *Intensive Care Med* 2002; 28: 299–303
- 241 Gromann TW, Birkelbach O, Hetzer R. Balloon dilatational tracheostomy: initial experience with the Ciaglia Blue Dolphin method. *Anesth Analg* 2009; 108: 1862–1866
- 242 Romero CM, Marambio A, Larrondo J et al. Swallowing dysfunction in nonneurologic critically ill patients who require percutaneous dilatational tracheostomy. *Chest* 2010; 137: 1278–1282
- 243 McGregor IA, Neill RS. Tracheostomy and the Björk flap. *Lancet* 1983; 2: 1259
- 244 Price DG. Techniques of tracheostomy for intensive care unit patients. *Anaesthesia* 1983; 38: 902–904
- 245 Heffner JE, Hess D. Tracheostomy management in the chronically ventilated patient. *Clin Chest Med* 2001; 22: 55–69
- 246 Cox CE, Carson SS, Holmes GM et al. Increase in tracheostomy for prolonged mechanical ventilation in North Carolina, 1993–2002. *Crit Care Med* 2004; 32: 2219–2226
- 247 Heffner JE, Zamora CA. Clinical predictors of prolonged translaryngeal intubation in patients with the adult respiratory distress syndrome. *Chest* 1990; 97: 447–452
- 248 Sellers BJ, Davis BL, Larkin PW et al. Early prediction of prolonged ventilator dependence in thermally injured patients. *J Trauma* 1997; 43: 899–903
- 249 Troché G, Moine P. Is the duration of mechanical ventilation predictable? *Chest* 1997; 112: 745–751
- 250 Möller MG, Slaikeu JD, Bonelli P et al. Early tracheostomy versus late tracheostomy in the surgical intensive care unit. *Am J Surg* 2005; 189: 293–296
- 251 Rumbak MJ, Newton M, Truncala T et al. A prospective, randomized, study comparing early percutaneous dilatational tracheostomy to prolonged translaryngeal intubation (delayed tracheostomy) in critically ill medical patients. *Crit Care Med* 2004; 32: 1689–1694

- 252 Hsu CL, Chen KY, Chang CH et al. Timing of tracheostomy as a determinant of weaning success in critically ill patients: a retrospective study. *Crit Care* 2005; 9: R46–52
- 253 Brook AD, Sherman G, Malen J et al. Early versus late tracheostomy in patients who require prolonged mechanical ventilation. *Am J Crit Care* 2000; 9: 352–359
- 254 Blot F, Similowski T, Trouillet JL et al. Early tracheotomy versus prolonged endotracheal intubation in unselected severely ill ICU patients. *Intensive Care Med* 2008; 34: 1779–1787
- 255 Sugerman HJ, Wolfe L, Pasquale MD et al. Multicenter, randomized, prospective trial of early tracheostomy. *J Trauma* 1997; 43: 741–747
- 256 Griffiths J, Barber VS, Morgan L et al. Systematic review and meta-analysis of studies of the timing of tracheostomy in adult patients undergoing artificial ventilation. *BMJ* 2005; 330: 1243
- 257 Dunham CM, Ransom KJ. Assessment of early tracheostomy in trauma patients: a systematic review and meta-analysis. *Am Surg* 2006; 72: 276–281
- 258 Maziak DE, Meade MO, Todd TR. The timing of tracheotomy: a systematic review. *Chest* 1998; 114: 605–609
- 259 Terragni PP, Antonelli M, Fumagalli R et al. Early vs late tracheotomy for prevention of pneumonia in mechanically ventilated adult ICU patients: a randomized controlled trial. *JAMA* 2010; 303: 1483–1489
- 260 Marchese S, Corrado A, Scala R et al. Tracheostomy in patients with long-term mechanical ventilation: a survey. *Respir Med* 2010; 104: 749–753
- 261 Rosenblüh J, Schönhofer B, Kemper P et al. Bedeutung von Platzhaltern tracheotomierter Patienten während der Entwöhnungsphasen nach Langzeitbeatmung. *Medizinische Klinik* 1994; 89: 61–63
- 262 Ferrer M, Esquinas A, Arancibia F et al. Noninvasive ventilation during persistent weaning failure: a randomized controlled trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2003; 168: 70–76
- 263 Girault C, Daudenthun I, Chevron V et al. Noninvasive ventilation as a systematic extubation and weaning technique in acute-on-chronic respiratory failure: a prospective, randomized controlled study. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 160: 86–92
- 264 Ferrer M, Sellarés J, Valencia M et al. Non-invasive ventilation after extubation in hypercapnic patients with chronic respiratory disorders: randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 374: 1082–1088
- 265 Bach JR, Goncalves M. Ventilator weaning by lung expansion and decannulation. *Am J Phys Med Rehabil* 2004; 83: 560–568
- 266 Bach JR, Gonçalves MR, Hamdani I et al. Extubation of patients with neuromuscular weakness: a new management paradigm. *Chest* 2010; 137: 1033–1039
- 267 Lin MC, Liaw MY, Huang CC et al. Bilateral diaphragmatic paralysis – a rare cause of acute respiratory failure managed with nasal mask bilevel positive airway pressure (BiPAP) ventilation. *Eur Respir J* 1997; 10: 1922–1924
- 268 Pilcher DV, Bailey MJ, Treacher DF et al. Outcomes, cost and long term survival of patients referred to a regional weaning centre. *Thorax* 2005; 60: 187–192
- 269 Schönhofer B. Weaning vom Respirator beginnt mit der Intubation. Aktuelle Konzepte der Beatmungsentwöhnung. *Der Pneumologe* 2008; 5: 150–162
- 270 Bundesärztekammer, ed. Querschnitts-Leitlinien (BÄK) zur Therapie mit Blutkomponenten und Plasmaderivaten. 4. Auflage. 2008; 105: A2121
- 271 Hébert PC, Wells G, Blajchman MA et al. Transfusion Requirements in Critical Care Investigators, Canadian Critical Care Trials Group. A multicenter, randomized, controlled clinical trial of transfusion requirements in critical care. *N Engl J Med* 1999; 340: 409–417
- 272 Hébert PC, Blajchman MA, Cook DJ et al. Do blood transfusions improve outcomes related to mechanical ventilation? *Chest* 2001; 119: 1850–1857
- 273 Hendrickson JE, Hillyer CD. Noninfectious serious hazards of transfusion. *Anesth Analg* 2009; 108: 759–769
- 274 Yazer MH, Triulzi DJ, Shaz B et al. Does a febrile reaction to platelets predispose recipients to red blood cell alloimmunization? *Transfusion* 2009; 49: 1070–1075
- 275 Claridge JA, Sawyer RG, Schulman AM et al. Blood transfusions correlate with infections in trauma patients in a dose-dependent manner. *Am Surg* 2002; 68: 566–572
- 276 Taylor RW, Manganaro L, O'Brien J et al. Impact of allogenic packed red blood cell transfusion on nosocomial infection rates in the critically ill patient. *Crit Care Med* 2002; 30: 2249–2254
- 277 Taylor RW, O'Brien J, Trottier SJ et al. Red blood cell transfusions and nosocomial infections in critically ill patients. *Crit Care Med* 2006; 34: 2302–2308
- 278 Shorr AF, Duh MS, Kelly KM et al. Red blood cell transfusion and ventilator-associated pneumonia: A potential link? *Crit Care Med* 2004; 32: 666–674
- 279 Earley AS, Gracias VH, Haut E et al. Anemia management program reduces transfusion volumes, incidence of ventilator-associated pneumonia, and cost in trauma patients. *J Trauma* 2006; 61: 1–5
- 280 Gong MN, Thompson BT, Williams P et al. Clinical predictors of and mortality in acute respiratory distress syndrome: potential role of red cell transfusion. *Crit Care Med* 2005; 33: 1191–1198
- 281 Kahn JM, Caldwell EC, Deem S et al. Acute lung injury in patients with subarachnoid hemorrhage: incidence, risk factors, and outcome. *Crit Care Med* 2006; 34: 196–202
- 282 Zilberberg MD, Carter C, Lefebvre P et al. Red blood cell transfusions and the risk of acute respiratory distress syndrome among the critically ill: a cohort study. *Crit Care* 2007; 11: R63
- 283 Yilmaz M, Keegan MT, Iscimen R et al. Toward the prevention of acute lung injury: protocol-guided limitation of large tidal volume ventilation and inappropriate transfusion. *Crit Care Med* 2007; 35: 1660–1666
- 284 Gajic O, Rana R, Winters JL et al. Transfusion-related acute lung injury in the critically ill: prospective nested case-control study. *Am J Respir Crit Care Med* 2007; 176: 886–891
- 285 Nishizawa M, Hirayama F, Matsuyama N et al. Transfusion-related acute lung injury with anti-leukocyte antibodies identified both in patient's serum and in red cell concentrate. *Rinsho Ketsueki* 2009; 50: 16–22
- 286 Rael LT, Bar-Or R, Ambruso DR et al. The effect of storage on the accumulation of oxidative biomarkers in donated packed red blood cells. *J Trauma* 2009; 66: 76–81
- 287 Win N, Chapman CE, Bowles KM et al. How much residual plasma may cause TRALI? *Transfus Med* 2008; 18: 276–280
- 288 Seitz R, Heiden M. Quality and Safety in Blood Supply in 2010. *Transfus Med Hemother* 2010; 37: 112–117
- 289 Nathens AB, Nester TA, Rubenfeld GD et al. The effects of leukoreduced blood transfusion on infection risk following injury: a randomized controlled trial. *Shock* 2006; 26: 342–347
- 290 Watkins TR, Rubenfeld GD, Martin TR et al. Effects of leukoreduced blood on acute lung injury after trauma: a randomized controlled trial. *Crit Care Med* 2008; 36: 1493–1499
- 291 Llewelyn CA, Taylor RS, Todd AA et al. The effect of universal leukoreduction on postoperative infections and length of hospital stay in elective orthopedic and cardiac surgery. *Transfusion* 2004; 44: 489–500
- 292 Beekes M. Die variante Creutzfeldt-Jakob-Krankheit (vCJK). *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 2010; 53: 597–605
- 293 McLellan SA, Walsh TS, McLellan DB. II: Should we demand fresh red blood cells for perioperative and critically ill patients? *Br J Anaesth* 2002; 89: 537–540
- 294 Messana I, Ferroni L, Misiti F et al. Blood bank conditions and RBCs: the progressive loss of metabolic modulation. *Transfusion* 2000; 40: 353–360
- 295 Walsh TS, McArdle F, McLellan SA et al. Does the storage time of transfused red blood cells influence regional or global indexes of tissue oxygenation in anemic critically ill patients? *Crit Care Med* 2004; 32: 364–371
- 296 Oud L, Kruse JA. Progressive gastric intramucosal acidosis follows resuscitation from hemorrhagic shock. *Shock* 1996; 6: 61–65
- 297 Saltzman DJ, Toth A, Tsai AG et al. Oxygen tension distribution in post-capillary venules in resting skeletal muscle. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2003; 285: H1980–H1985
- 298 Tsai AG, Arfors KE, Intaglietta M. Spatial distribution of red blood cells in individual skeletal muscle capillaries during extreme hemodilution. *Int J Microcirc Clin Exp* 1991; 10: 317–334
- 299 Wettstein R, Tsai AG, Erni D et al. Improving microcirculation is more effective than substitution of red blood cells to correct metabolic disorder in experimental hemorrhagic shock. *Shock* 2004; 21: 235–240
- 300 Hébert PC, McDonald BJ, Timmouth A. Clinical consequences of anemia and red cell transfusion in the critically ill. *Crit Care Clin* 2004; 20: 225–235
- 301 Schulman CI, Nathe K, Brown M et al. Impact of age of transfused blood in the trauma patient. *J Trauma* 2002; 52: 1224–1225

- 302 *Napolitano L.* Cumulative risks of early red blood cell transfusion. *J Trauma* 2006; 60: S26–34
- 303 *Viires N, Sillye G, Aubier M et al.* Regional blood flow distribution in dog during induced hypotension and low cardiac output. Spontaneous breathing versus artificial ventilation. *J Clin Invest* 1983; 72: 935–947
- 304 *Wang JK, Klein HG.* Red blood cell transfusion in the treatment and management of anaemia: the search for the elusive transfusion trigger. *Vox Sang* 2010; 98: 2–11
- 305 *Klein HG, Spahn DR, Carson JL.* Red blood cell transfusion in clinical practice. *Lancet* 2007; 370: 415–426
- 306 *Weiskopf RB, Viele MK, Feiner J et al.* Human cardiovascular and metabolic response to acute, severe isovolemic anemia. *JAMA* 1998; 279: 217–221
- 307 *Lieberman JA, Weiskopf RB, Kelley SD et al.* Critical oxygen delivery in conscious humans is less than  $7.3 \text{ ml O}_2 \times \text{kg}(-1) \times \text{min}(-1)$ . *Anesthesiology* 2000; 92: 407–413
- 308 *Geha AS, Baue AE.* Graded coronary stenosis and coronary flow during acute normovolemic anemia. *World J Surg* 1978; 2: 645–651
- 309 *Spahn DR, Smith LR, Veronee CD et al.* Acute isovolemic hemodilution and blood transfusion. Effects on regional function and metabolism in myocardium with compromised coronary blood flow. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1993; 105: 694–704
- 310 *Carson JL, Duff A, Poses RM et al.* Effect of anaemia and cardiovascular disease on surgical mortality and morbidity. *Lancet* 1996; 348: 1055–1060
- 311 *Beattie WS, Karkouti K, Wijesundera DN et al.* Risk associated with preoperative anemia in noncardiac surgery: a single-center cohort study. *Anesthesiology* 2009; 110: 574–581
- 312 *Carrascal Y, Maroto L, Rey J et al.* Impact of preoperative anemia on cardiac surgery in octogenarians. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2010; 10: 249–255
- 313 *De Santo L, Romano G, Della Corte A et al.* Preoperative anemia in patients undergoing coronary artery bypass grafting predicts acute kidney injury. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; 138: 965–970
- 314 *Karkouti K, Wijesundera DN, Beattie WS et al.* Risk associated with preoperative anemia in cardiac surgery: a multicenter cohort study. *Circulation* 2008; 117: 478–484
- 315 *Wu WC, Schiffner TL, Henderson WG et al.* Preoperative hematocrit levels and postoperative outcomes in older patients undergoing noncardiac surgery. *JAMA* 2007; 297: 2481–2488
- 316 *Rao SV, Jollis JG, Harrington RA et al.* Relationship of blood transfusion and clinical outcomes in patients with acute coronary syndromes. *JAMA* 2004; 292: 1555–1562
- 317 *Schönhofer B, Böhler H, Köhler D.* Blood transfusion facilitating difficult weaning from the ventilator. *Anaesthesia* 1998; 53: 181–184
- 318 *Cornet AD, Zwart E, Kingma SD et al.* Pulmonary effects of red blood cell transfusion in critically ill, non-bleeding patients. *Transfus Med* 2010; 20: 221–226
- 319 *Zilberberg MD, Stern LS, Wiederkehr DP et al.* Anemia, transfusions and hospital outcomes among critically ill patients on prolonged acute mechanical ventilation: a retrospective cohort study. *Crit Care* 2008; 12: R60
- 320 *Zilberberg MD, Shorr AF.* Effect of a restrictive transfusion strategy on transfusion-attributable severe acute complications and costs in the US ICUs: a model simulation. *BMC Health Serv Res* 2007; 7: 138
- 321 *Vallet B, Adamczyk S, Barreau O et al.* Physiologic transfusion triggers. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2007; 21: 173–181
- 322 *Adamczyk S, Robin E, Barreau O et al.* Contribution of central venous oxygen saturation in postoperative blood transfusion decision. *Ann Fr Anesth Reanim* 2009; 28: 522–530
- 323 *Vallet B, Robin E, Lebuffe G.* Venous oxygen saturation as a physiologic transfusion trigger. *Crit Care* 2010; 14: 213
- 324 *Orlov D, O'Farrell R, McCluskey SA et al.* The clinical utility of an index of global oxygenation for guiding red blood cell transfusion in cardiac surgery. *Transfusion* 2009; 49: 682–688
- 325 *Vuille-Lessard E, Boudreault D, Girard F et al.* Red blood cell transfusion practice in elective orthopedic surgery: a multicenter cohort study. *Transfusion* 2010; 50: 2117–2124
- 326 *Hébert PC, Tinmouth A, Corwin HL.* Controversies in RBC transfusion in the critically ill. *Chest* 2007; 131: 1583–1590
- 327 *Blumberg N, Heal JM, Gettings KF et al.* An association between decreased cardiopulmonary complications (transfusion-related acute lung injury and transfusion-associated circulatory overload) and implementation of universal leukoreduction of blood transfusions. *Transfusion* 2010; 50: 2738–2744
- 328 *Gajic O, Gropper MA, Hubmayr RD.* Pulmonary edema after transfusion: how to differentiate transfusion-associated circulatory overload from transfusion-related acute lung injury. *Crit Care Med* 2006; 34: 109–113
- 329 *Rana R, Fernández-Pérez ER, Khan SA et al.* Transfusion-related acute lung injury and pulmonary edema in critically ill patients: a retrospective study. *Transfusion* 2006; 46: 1478–1483
- 330 *Bux J.* Transfusion-related acute lung injury (TRALI): a serious adverse event of blood transfusion. *Vox Sang* 2005; 89: 1–10
- 331 *Valeri CR, Ragno G.* An approach to prevent the severe adverse events associated with transfusion of FDA-approved blood products. *Transfus Apher Sci* 2010; 42: 223–233
- 332 *Valeri CR, Pivacek LE, Cassidy GP et al.* The survival, function, and hemolysis of human RBCs stored at 4 degrees C in additive solution (AS-1, AS-3, or AS-5) for 42 days and then biochemically modified, frozen, thawed, washed, and stored at 4 degrees C in sodium chloride and glucose solution for 24 hours. *Transfusion* 2000; 40: 1341–1345
- 333 *Köhler D.* Analogien zwischen Herz- und Atemmuskelinsuffizienz. Bedeutung in der Klinik. *Dtsch Med Wochenschr* 2009; 134: 147–153
- 334 *Köhler D.* CaO<sub>2</sub>-Wert zur Beurteilung der Sauerstoff-Organversorgung: Klinische Bedeutung des Sauerstoffgehaltes. *Dtsch Arztebl* 2005; 102: A2026–A2030
- 335 *Kulier A, Levin J, Moser R et al.* Impact of preoperative anemia on outcome in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Circulation* 2007; 116: 471–479
- 336 *Wu WC, Smith TS, Henderson WG et al.* Operative blood loss, blood transfusion, and 30-day mortality in older patients after major noncardiac surgery. *Ann Surg* 2010; 252: 11–17
- 337 *Wu WC, Rathore SS, Wang Y et al.* Blood transfusion in elderly patients with acute myocardial infarction. *N Engl J Med* 2001; 345: 1230–1236
- 338 *Cahill NE, Dhaliwal R, Day AG et al.* Nutrition therapy in the critical care setting: what is “best achievable practice”? An international multicenter observational study. *Crit Care Med* 2010; 38: 395–401
- 339 *Hill GL.* Impact of nutritional support on the clinical outcome of the surgical patient. *Clin Nutr* 1994; 13: 331–340
- 340 *Plank LD, Hill GL.* Energy balance in critical illness. *Proc Nutr Soc* 2003; 62: 545–552
- 341 *Herve P, Simonneau G, Girard P et al.* Hypercapnic acidosis induced by nutrition in mechanically ventilated patients: glucose versus fat. *Crit Care Med* 1985; 13: 537–540
- 342 *al-Saady NM, Blackmore CM, Bennett ED.* High fat, low carbohydrate, enteral feeding lowers PaCO<sub>2</sub> and reduces the period of ventilation in artificially ventilated patients. *Intensive Care Med* 1989; 15: 290–295
- 343 *van den Berg B, Bogaard JM, Hop WC.* High fat, low carbohydrate, enteral feeding in patients weaning from the ventilator. *Intensive Care Med* 1994; 20: 470–475
- 344 *Kostadima E, Kaditis AG, Alexopoulos EI et al.* Early gastrostomy reduces the rate of ventilator-associated pneumonia in stroke or head injury patients. *Eur Respir J* 2005; 26: 106–111
- 345 *Peterson SJ, Tsai AA, Scala CM et al.* Adequacy of oral intake in critically ill patients 1 week after extubation. *J Am Diet Assoc* 2010; 110: 427–433
- 346 *Kreymann G, Adolph M, Mueller MJ et al.* Energy expenditure and energy intake - Guidelines on Parenteral Nutrition, Chapter 3. *Ger Med Sci* 2009; 7: Doc25
- 347 *Gadek JE, DeMichele SJ, Karlstad MD et al.* Enteral Nutrition in ARDS Study Group. Effect of enteral feeding with eicosapentaenoic acid, gamma-linolenic acid, and antioxidants in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care Med* 1999; 27: 1409–1420
- 348 *Singer P, Theilla M, Fisher H et al.* Benefit of an enteral diet enriched with eicosapentaenoic acid and gamma-linolenic acid in ventilated patients with acute lung injury. *Crit Care Med* 2006; 34: 1033–1038
- 349 *Pontes-Arruda A, Demichele S, Seth A et al.* The use of an inflammation-modulating diet in patients with acute lung injury or acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis of outcome data. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2008; 32: 596–605
- 350 *Pontes-Arruda A, Aragão AM, Albuquerque JD.* Effects of enteral feeding with eicosapentaenoic acid, gamma-linolenic acid, and antioxidants in mechanically ventilated patients with severe sepsis and septic shock. *Crit Care Med* 2006; 34: 2325–2333

- 351 *Marik PE, Zaloga GP.* Immunonutrition in critically ill patients: a systematic review and analysis of the literature. *Intensive Care Med* 2008; 34: 1980–1990
- 352 *McClave SA, Martindale RG, Vanek VW et al.* 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.). *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 2009; 33: 277–316
- 353 *Kreymann KG, Berger MM, Deutz NE et al.* ESPEN Guidelines on Enteral Nutrition: Intensive care. *Clin Nutr* 2006; 25: 210–223
- 354 *Reinhart K, Brunkhorst FM, Bone H-G et al.* Prävention, Diagnose, Therapie und Nachsorge der Sepsis Erste Revision der S2k-Leitlinien der Deutschen Sepsis-Gesellschaft e.V. (DSG) und der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 2010; 47: 185–207
- 355 *Rice TW, Wheeler AP, Thompson BT et al.* Enteral omega-3 fatty acid, gamma-linolenic acid, and antioxidant supplementation in acute lung injury. *JAMA* 2011; 306: 1574–1581
- 356 *Luxenberg JS.* Differentiating behavioral disturbances of dementia from symptoms of delirium. *Int Psychogeriatr* 1996; 8: 425–427
- 357 *Ceriana P, Fanfulla F, Mazzacane F et al.* Delirium in patients admitted to a step-down unit: analysis of incidence and risk factors. *J Crit Care* 2010; 25: 136–143
- 358 *Figueroa-Ramos MI, Arroyo-Novoa CM, Lee KA et al.* Sleep and delirium in ICU patients: a review of mechanisms and manifestations. *Intensive Care Med* 2009; 35: 781–795
- 359 *Ouimet S, Kavanagh BP, Gottfried SB et al.* Incidence, risk factors and consequences of ICU delirium. *Intensive Care Med* 2007; 33: 66–73
- 360 *Bergeron N, Dubois MJ, Dumont M et al.* Intensive Care Delirium Screening Checklist: evaluation of a new screening tool. *Intensive Care Med* 2001; 27: 859–864
- 361 *Ely EW, Margolin R, Francis J et al.* Evaluation of delirium in critically ill patients: validation of the Confusion Assessment Method for the Intensive Care Unit (CAM-ICU). *Crit Care Med* 2001; 29: 1370–1379
- 362 *Schönhofer B.* Der gestörte Schlaf auf der Intensivstation. *Somnologie* 2012; 16: 5–9
- 363 *Bosma K, Ferreyra G, Ambrogio C et al.* Patient-ventilator interaction and sleep in mechanically ventilated patients: pressure support versus proportional assist ventilation. *Crit Care Med* 2007; 35: 1048–1054
- 364 *Ntoumenopoulos G, Presneill JJ, McElhoolm M et al.* Chest physiotherapy for the prevention of ventilator-associated pneumonia. *Intensive Care Med* 2002; 28: 850–856
- 365 *Templeton M, Palazzo MG.* Chest physiotherapy prolongs duration of ventilation in the critically ill ventilated for more than 48 hours. *Intensive Care Med* 2007; 33: 1938–1945
- 366 *Thomas DC, Kreizman IJ, Melchiorre P et al.* Rehabilitation of the patient with chronic critical illness. *Crit Care Clin* 2002; 18: 695–715
- 367 *Morris PE, Goad A, Thompson C et al.* Early intensive care unit mobility therapy in the treatment of acute respiratory failure. *Crit Care Med* 2008; 36: 2238–2243
- 368 *Schweickert WD, Pohlman MC, Pohlman AS et al.* Early physical and occupational therapy in mechanically ventilated, critically ill patients: a randomised controlled trial. *Lancet* 2009; 373: 1874–1882
- 369 *Gosselink R, Bott J, Johnson M et al.* Physiotherapy for adult patients with critical illness: recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients. *Intensive Care Med* 2008; 34: 1188–1199
- 370 *Zanotti E, Felicetti G, Maini M et al.* Peripheral muscle strength training in bed-bound patients with COPD receiving mechanical ventilation: effect of electrical stimulation. *Chest* 2003; 124: 292–296
- 371 *Chiang LL, Wang LY, Wu CP et al.* Effects of physical training on functional status in patients with prolonged mechanical ventilation. *Phys Ther* 2006; 86: 1271–1281
- 372 *Porta R, Vitacca M, Gilè LS et al.* Supported arm training in patients recently weaned from mechanical ventilation. *Chest* 2005; 128: 2511–2520
- 373 *Barchfeld T, Schönhofer B, Wenzel M et al.* Atemarbeit zur Differenzierung verschiedener Formen der schlafbezogenen Atmungsstörungen. *Pneumologie* 1997; 51: 931–935
- 374 *Aldrich TK, Karpel JP, Uhrlass RM et al.* Weaning from mechanical ventilation: adjunctive use of inspiratory muscle resistive training. *Crit Care Med* 1989; 17: 143–147
- 375 *Sprague SS, Hopkins PD.* Use of inspiratory strength training to wean six patients who were ventilator-dependent. *Phys Ther* 2003; 83: 171–181
- 376 *Branson RD.* Secretion management in the mechanically ventilated patient. *Respir Care* 2007; 52: 1328–1342
- 377 *McCarren B, Alison JA.* Physiological effects of vibration in subjects with cystic fibrosis. *Eur Respir J* 2006; 27: 1204–1209
- 378 *Clini EM, Antoni FD, Vitacca M et al.* Intrapulmonary percussive ventilation in tracheostomized patients: a randomized controlled trial. *Intensive Care Med* 2006; 32: 1994–2001
- 379 *Bellone A, Spagnolatti L, Massobrio M et al.* Short-term effects of expiration under positive pressure in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease and mild acidosis requiring non-invasive positive pressure ventilation. *Intensive Care Med* 2002; 28: 581–585
- 380 *Bach JR.* Update and perspective on noninvasive respiratory muscle aids. Part 2: The expiratory aids. *Chest* 1994; 105: 1538–1544
- 381 *Chatwin M, Ross E, Hart N et al.* Cough augmentation with mechanical insufflation/exsufflation in patients with neuromuscular weakness. *Eur Respir J* 2003; 21: 502–508
- 382 *Leder SB.* Incidence and type of aspiration in acute care patients requiring mechanical ventilation via a new tracheotomy. *Chest* 2002; 122: 1721–1726
- 383 *Donzelli J, Brady S, Wesling M et al.* Effects of the removal of the tracheotomy tube on swallowing during the Fiberoptic Endoscopic Exam of the Swallow (FEES). *Dysphagia* 2005; 20: 283–289
- 384 *Terk AR, Leder SB, Burrell MI.* Hyoid bone and laryngeal movement dependent upon presence of a tracheotomy tube. *Dysphagia* 2007; 22: 89–93
- 385 *Donzelli J, Brady S, Wesling M et al.* Simultaneous modified Evans blue dye procedure and video nasal endoscopic evaluation of the swallow. *Laryngoscope* 2001; 111: 1746–1750
- 386 *Hiss SG, Postma GN.* Fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing. *Laryngoscope* 2003; 113: 1386–1393
- 387 *Schönhofer B, Barchfeld T, Haidl P et al.* Scintigraphy for evaluating early aspiration after oral feeding in patients receiving prolonged ventilation via tracheostomy. *Intensive Care Med* 1999; 25: 311–314
- 388 *Rosenbek JC, Robbins JA, Roecker EB et al.* A penetration-aspiration scale. *Dysphagia* 1996; 11: 93–98
- 389 *Harrop JS, Sharan AD, Scheid EH Jr et al.* Tracheostomy placement in patients with complete cervical spinal cord injuries: American Spinal Injury Association Grade A. *J Neurosurg* 2004; 100: 20–23
- 390 *Hirschfeld S, Exner G, Tiedemann S et al.* Langzeitbeatmung querschnittgelähmter Patienten. Ergebnisse und Ausblicke aus 25 Jahren Erfahrung mit klinischer und außerklinischer Beatmung. *Trauma und Berufskrankheit* 2010; 3: 177–181
- 391 *Chiodo AE, Scelza W, Forchheimer M.* Predictors of ventilator weaning in individuals with high cervical spinal cord injury. *J Spinal Cord Med* 2008; 31: 72–77
- 392 *Fromm B, Hundt G, Gerner HJ et al.* Management of respiratory problems unique to high tetraplegia. *Spinal Cord* 1999; 37: 239–244
- 393 *Popa C, Popa F, Grigorean VT et al.* Vascular dysfunctions following spinal cord injury. *J Med Life* 2010; 3: 275–285
- 394 *Gondim FA, Lopes AC Jr, Oliveira GR et al.* Cardiovascular control after spinal cord injury. *Curr Vasc Pharmacol* 2004; 2: 71–79
- 395 *Tiedemann S, Thietje R, Hirschfeld S.* Lebenslange Nachsorge in Querschnittgelähmtenzentren. *Kompodium Außerklinische Beatmung im Kindes- und Erwachsenenalter.* Dresden: Kleanthes Verlag; 2013: 196–201
- 396 *McCool D, Ayas N, Brown R.* Mechanical ventilation and disuse atrophy of the diaphragm. *N Engl J Med* 2008; 359: 89
- 397 *Faulkner JA, Maxwell LC, Ruff GL et al.* The diaphragm as a muscle. Contractile properties. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119: 89–92
- 398 *Mantilla CB, Seven YB, Zhan WZ et al.* Diaphragm motor unit recruitment in rats. *Respir Physiol Neurobiol* 2010; 173: 101–106
- 399 *Salmons S.* Functional adaptation in skeletal muscle. *Trends Neurosciences* 1980; 3: 134–137
- 400 *Hirschfeld S, Exner G, Luukkaala T et al.* Mechanical ventilation or phrenic nerve stimulation for treatment of spinal cord injury-induced respiratory insufficiency. *Spinal Cord* 2008; 46: 738–742
- 401 *Roussos CS, Macklem PT.* Diaphragmatic fatigue in man. *J Appl Physiol* 1977; 43: 189–197
- 402 *Edwards RHT.* The diaphragm as a muscle: Mechanics underlying fatigue. *Am Rev Respir Dis* 1979; 119: 81–84

- 403 Walker DJ, Walterspacher S, Schlager D et al. Characteristics of diaphragmatic fatigue during exhaustive exercise until task failure. *Respir Physiol Neurobiol* 2011; 176: 14–20
- 404 American Spinal Injury Association. Reference Manual of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. Chicago, IL: American Spinal Injury Association; 2003
- 405 Gutierrez CJ, Harrow J, Haines F. Using an evidence-based protocol to guide rehabilitation and weaning of ventilator-dependent cervical spinal cord injury patients. *J Rehabil Res Dev* 2003; 40: 99–110
- 406 Schultz TR, Lin RJ, Watzman HM et al. Weaning children from mechanical ventilation: a prospective randomized trial of protocol-directed versus physician-directed weaning. *Respir Care* 2001; 46: 772–782
- 407 Foronda FK, Troster EJ, Farias JA et al. The impact of daily evaluation and spontaneous breathing test on the duration of pediatric mechanical ventilation: a randomized controlled trial. *Crit Care Med* 2011; 39: 2526–2533
- 408 Hughes MR, Smith CD, Tecklenburg FW et al. Effects of a weaning protocol on ventilated pediatric intensive care unit (PICU) patients. *Top Health Inf Manage* 2001; 22: 35–43
- 409 Restrepo RD, Fortenberry JD, Spainhour C et al. Protocol-driven ventilator management in children: comparison to nonprotocol care. *Intensive Care Med* 2004; 19: 274–284
- 410 Randolph AG, Wypij D, Venkataraman ST et al. Effect of mechanical ventilator weaning protocols on respiratory outcomes in infants and children: a randomized controlled trial. *JAMA* 2002; 288: 2561–2568
- 411 Bach JR, Niranjan V, Weaver B. Spinal muscular atrophy type 1: A non-invasive respiratory management approach. *Chest* 2000; 117: 1100–1105
- 412 Venkataraman ST. Weaning and extubation in infants and children: religion, art, or science. *Pediatr Crit Care Med* 2002; 3: 203–205
- 413 Newth CJ, Venkataraman S, Willson DF et al. Weaning and extubation readiness in pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med* 2009; 10: 1–11
- 414 Randolph AG, Forbes PW, Gedeit RG et al. Cumulative fluid intake minus output is not associated with ventilator weaning duration or extubation outcomes in children. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6: 642–647
- 415 Foland JA, Fortenberry JD, Warshaw BL et al. Fluid overload before continuous hemofiltration and survival in critically ill children: a retrospective analysis. *Crit Care Med* 2004; 32: 1771–1776
- 416 Goldstein SL, Somers MJ, Baum MA et al. Pediatric patients with multi-organ dysfunction syndrome receiving continuous renal replacement therapy. *Kidney Int* 2005; 67: 653–658
- 417 Curley MA, Harris SK, Fraser KA et al. State Behavioral Scale: a sedation assessment instrument for infants and young children supported on mechanical ventilation. *Pediatr Crit Care Med* 2006; 7: 107–114
- 418 Franck LS, Harris SK, Soetenga DJ et al. The Withdrawal Assessment Tool-1 (WAT-1): an assessment instrument for monitoring opioid and benzodiazepine withdrawal symptoms in pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med* 2008; 9: 573–580
- 419 Alexander E, Carnevale FA, Razack S. Evaluation of a sedation protocol for intubated critically ill children. *Intensive Crit Care Nurs* 2002; 18: 292–301
- 420 Deeter KH, King MA, Ridling D et al. Successful implementation of a pediatric sedation protocol for mechanically ventilated patients. *Crit Care Med* 2011; 39: 683–688
- 421 Gupta K, Gupta VK, Muralindharan J et al. Randomized controlled trial of interrupted versus continuous sedative infusions in ventilated children. *Pediatr Crit Care Med* 2012; 13: 131–135
- 422 Farias JA, Retta A, Alía I et al. A comparison of two methods to perform a breathing trial before extubation in pediatric intensive care patients. *Intensive Care Med* 2001; 27: 1649–1654
- 423 Farias JA, Alía I, Retta A et al. An evaluation of extubation failure predictors in mechanically ventilated infants and children. *Intensive Care Med* 2002; 28: 752–757
- 424 Chavez A, dela Cruz R, Zaritsky A. Spontaneous breathing trial predicts successful extubation in infants and children. *Pediatr Crit Care Med* 2006; 7: 324–328
- 425 Baumeister BL, el-Khatib M, Smith PG et al. Evaluation of predictors of weaning from mechanical ventilation in pediatric patients. *Pediatr Pulmonol* 1997; 24: 344–352
- 426 Thiagarajan RR, Bratton SL, Martin LD et al. Predictors of successful extubation in children. *Am J Respir Crit Care Med* 1999; 160: 1562–1566
- 427 Venkataraman ST, Khan N, Brown A. Validation of predictors of extubation success and failure in mechanically ventilated infants and children. *Crit Care Med* 2000; 28: 2991–2996
- 428 Khan N, Brown A, Venkataraman ST. Predictors of extubation success and failure in mechanically ventilated infants and children. *Crit Care Med* 1996; 24: 1568–1579
- 429 Manczur TI, Greenough A, Pryor D et al. Comparison of predictors of extubation from mechanical ventilation in children. *Pediatr Crit Care Med* 2000; 1: 28–32
- 430 Noizet O, Leclerc F, Sadik A et al. Does taking endurance into account improve the prediction of weaning outcome in mechanically ventilated children? *Crit Care* 2005; 9: R798–807
- 431 Leclerc F, Lecine T, Riou Y et al. Multi-parameter indices of weaning from mechanical ventilation in children. *Rev Mal Respir* 2002; 19: 53–61
- 432 Harikumar G, Egberongbe Y, Nadel S et al. Tension-time index as a predictor of extubation outcome in ventilated children. *Am J Respir Crit Care Med* 2009; 180: 982–988
- 433 Ferguson LP, Walsh BK, Munhall D et al. A spontaneous breathing trial with pressure support overestimates readiness for extubation in children. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12: e330–335
- 434 Moraes MA, Bonatto RC, Carpi MF et al. Comparison between intermittent mandatory ventilation and synchronized intermittent mandatory ventilation with pressure support in children. *J Pediatr (Rio J)* 2009; 85: 15–20
- 435 Foland JA, Super DM, Dahdah NS et al. The use of the air leak test and corticosteroids in intubated children: a survey of pediatric critical care fellowship directors. *Respir Care* 2002; 47: 662–666
- 436 Mhanna MJ, Zamel YB, Tichy CM et al. The “air leak” test around the endotracheal tube, as a predictor of postextubation stridor, is age dependent in children. *Crit Care Med* 2002; 30: 2639–2643
- 437 Wratney AT, Benjamin DK Jr, Slonim AD et al. The endotracheal tube air leak test does not predict extubation outcome in critically ill pediatric patients. *Pediatr Crit Care Med* 2008; 9: 490–496
- 438 Markovitz BP, Randolph AG, Khemani RG. Corticosteroids for the prevention and treatment of post-extubation stridor in neonates, children and adults. *Cochrane Database Syst Rev* 2008; Aug. 2: CD001000
- 439 Markovitz BP, Randolph AG. Corticosteroids for the prevention of re-intubation and postextubation stridor in pediatric patients: A meta-analysis. *Pediatr Crit Care Med* 2002; 3: 223–226
- 440 Tibballs J, Shann FA, Landau LI. Placebo-controlled trial of prednisolone in children intubated for croup. *Lancet* 1992; 340: 745–748
- 441 Kemper KJ, Benson MS, Bishop MJ. Predictors of postextubation stridor in pediatric trauma patients. *Crit Care Med* 1991; 19: 352–355
- 442 Kemper KJ, Ritz RH, Benson MS et al. Helium-oxygen mixture in the treatment of postextubation stridor in pediatric trauma patients. *Crit Care Med* 1991; 19: 356–359
- 443 Gupta VK, Cheifetz IM. Heliox administration in the pediatric intensive care unit: an evidence-based review. *Pediatr Crit Care Med* 2005; 6: 204–211
- 444 Carron JD, Derkay CS, Strobe GL et al. Pediatric tracheotomies: changing indications and outcomes. *Laryngoscope* 2000; 110: 1099–1104
- 445 Lewis CW, Carron JD, Perkins JA et al. Tracheotomy in pediatric patients: a national perspective. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2003; 129: 523–529
- 446 Lee W, Koltai P, Harrison AM et al. Indications for tracheotomy in the pediatric intensive care unit population: a pilot study. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2002; 128: 1249–1252
- 447 Da Silva PS, Waisberg J, Paulo CS et al. Outcome of patients requiring tracheostomy in a pediatric intensive care unit. *Pediatr Int* 2005; 47: 554–559
- 448 Wootten CT, French LC, Thomas RG et al. Tracheotomy in the first year of life: outcomes in term infants, the Vanderbilt experience. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2006; 134: 365–369
- 449 Essouri S, Chevret L, Durand P et al. Noninvasive positive pressure ventilation: five years of experience in a pediatric intensive care unit. *Pediatr Crit Care Med* 2006; 7: 329–334
- 450 Mayordomo-Colunga J, Medina A, Rey C et al. Non invasive ventilation after extubation in paediatric patients: a preliminary study. *BMC Pediatr* 2010; 10: 29
- 451 Vianello A, Arcaro G, Braccioni F et al. Prevention of extubation failure in high-risk patients with neuromuscular disease. *J Crit Care* 2011; 26: 517–524

- 452 Fauroux B, Leboulanger N, Roger G et al. Noninvasive positive-pressure ventilation avoids recannulation and facilitates early weaning from tracheotomy in children. *Pediatr Crit Care Med* 2010; 11: 31–37
- 453 Lindsay ME, Bijwadia JS, Schauer WW et al. Shifting care of chronic ventilator-dependent patients from the intensive care unit to the nursing home. *Jt Comm J Qual Saf* 2004; 30: 257–265
- 454 Bach JR, Intintola P, Alba AS et al. The ventilator-assisted individual. Cost analysis of institutionalization vs rehabilitation and in-home management. *Chest* 1992; 101: 26–30
- 455 McKim DA, Road J, Avendano M et al. Home mechanical ventilation: A Canadian Thoracic Society clinical practice guideline. *Can Respir J* 2011; 18: 197–215
- 456 Stieglitz S, Randerath W. Weaning failure: follow-up care by the weaning centres – home visits to patients with invasive ventilation. *Pneumologie* 2012; 66: 39–43
- 457 Farre R, Lloyd-Owen SJ, Ambrosino N et al. Quality control of equipment in home mechanical ventilation: a European survey. *Eur Respir J* 2005; 26: 86–94
- 458 Randerath WJ, Kamps N, Brambring J et al. Durchführungsempfehlungen zur invasiven außerklinischen Beatmung. Gemeinsame Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie (DGP), der Deutschen Interdisziplinären Gesellschaft für Außerklinische Beatmung (DIGAB), des Medizinischen Dienstes des Spitzenverbandes Bund der Krankenkassen e.V. (MDS) und des AOK-Bundesverbandes (AOK-BV). *Pneumologie* 2011; 65: 72–88
- 459 Donner CF, Howard P, Robert D. Patient selection and techniques for home mechanical ventilation. *Eur Respir J* 1993; 6: 3–4
- 460 Midgren B, Olofson J, Harlid R et al. Swedish Society of Chest Medicine. Home mechanical ventilation in Sweden, with reference to Danish experiences. *Respir Med* 2000; 94: 135–138
- 461 Gilmartin M. Transition from the intensive care unit to home: patient selection and discharge planning. *Respir Care* 1994; 39: 456–477
- 462 Lindahl B, Sandman PO, Rasmussen BH. Meanings of living at home on a ventilator. *Nurs Inq* 2003; 10: 19–27
- 463 Fitch MI, Ross E. Living at home on a ventilator. *Off J Can Assoc Crit Care Nurs* 1998; 9: 18–24
- 464 Vitacca M, Escarabill J, Galavotti G et al. Home mechanical ventilation patients: a retrospective survey to identify level of burden in real life. *Monaldi Arch Chest Dis* 2007; 67: 142–147
- 465 Vitacca M, Grassi M, Barbano L et al. Last 3 months of life in home-ventilated patients: the family perception. *Eur Respir J* 2010; 35: 1064–1071
- 466 Murphy J. Medically stable children in PICU: better at home. *Paediatr Nurs* 2008; 20: 14–16
- 467 Jardine E, Wallis C. UK Working Party on Paediatric Long Term Ventilation. Core guidelines for the discharge home of the child on long-term assisted ventilation in the United Kingdom. *Thorax* 1998; 53: 762–767
- 468 Hammer J. Home mechanical ventilation in children: indications and practical aspects. *Schweiz Med Wochenschr* 2000; 130: 1894–1902
- 469 Margolan H, Fraser J, Lenton S. Parental experience of services when their child requires long-term ventilation. Implications for commissioning and providing services. *Child Care Health Dev* 2004; 30: 257–264
- 470 Ziring PR, Brazdziunas D, Cooley WC et al. American Academy of Pediatrics. Committee on Children With Disabilities. Care coordination: integrating health and related systems of care for children with special health care needs. *Pediatrics* 1999; 104: 978–981
- 471 Gansweid B, Albert A, Deitrich G et al. Rahmenkonzept für Einrichtungen zur stationären Versorgung langzeitbeatmeter Kinder und Jugendlicher. SEG2 - Pflege; Medizinischer Dienst der Krankenkassen; 2008
- 472 Bigatello LM, Stelfox HT, Berra L et al. Outcome of patients undergoing prolonged mechanical ventilation after critical illness. *Crit Care Med* 2007; 35: 2491–2497
- 473 Ferrand E, Robert R, Ingrand P et al. Withholding and withdrawal of life support in intensive-care units in France: a prospective survey. French LATAREA Group. *Lancet* 2001; 357: 9–14
- 474 Keenan SP, Busche KD, Chen LM et al. A retrospective review of a large cohort of patients undergoing the process of withholding or withdrawal of life support. *Crit Care Med* 1997; 25: 1324–1331
- 475 Sprung CL, Cohen SL, Sjøkvist P et al. End-of-life practices in European intensive care units: the Ethicus Study. *JAMA* 2003; 290: 790–797
- 476 Wunsch H, Harrison DA, Harvey S et al. End-of-life decisions: a cohort study of the withdrawal of all active treatment in intensive care units in the United Kingdom. *Intensive Care Med* 2005; 31: 823–831
- 477 Cook D, Rocker G, Marshall J et al. Withdrawal of mechanical ventilation in anticipation of death in the intensive care unit. *N Engl J Med* 2003; 349: 1123–1132
- 478 Sprung CL, Woodcock T, Sjøkvist P et al. Reasons, considerations, difficulties and documentation of end-of-life decisions in European intensive care units: the ETHICUS Study. *Intensive Care Med* 2008; 34: 271–277
- 479 Lloyd CB, Nietert PJ, Silvestri GA. Intensive care decision making in the seriously ill and elderly. *Crit Care Med* 2004; 32: 649–654
- 480 Yaguchi A, Truog RD, Curtis JR et al. International differences in end-of-life attitudes in the intensive care unit: results of a survey. *Arch Intern Med* 2005; 165: 1970–1975
- 481 Bundesärztekammer, ed. Grundsätze der Bundesärztekammer zur ärztlichen Sterbebegleitung. *Dtsch Arztebl* 2011; 108: A346–A348
- 482 Bundesgesetzblatt 2009: Drittes Gesetz zur Änderung des Betreuungsrechtes vom 29. Juli 2009. 29. 07. 2009: www.bundesgesetzblatt.de
- 483 Camhi SL, Mercado AF, Morrison RS et al. Deciding in the dark: advance directives and continuation of treatment in chronic critical illness. *Crit Care Med* 2009; 37: 919–925
- 484 White DB, Evans LR, Bautista CA et al. Are physicians' recommendations to limit life support beneficial or burdensome? Bringing empirical data to the debate. *Am J Respir Crit Care Med* 2009; 180: 320–325
- 485 Sprung CL, Maia P, Bulow HH et al. The importance of religious affiliation and culture on end-of-life decisions in European intensive care units. *Intensive Care Med* 2007; 33: 1732–1739
- 486 Campbell ML, Bizek KS, Thill M. Patient responses during rapid terminal weaning from mechanical ventilation: a prospective study. *Crit Care Med* 1999; 27: 73–77
- 487 Schneiderman LJ, Gilmer T, Teetzel HD. Impact of ethics consultations in the intensive care setting: a randomized, controlled trial. *Crit Care Med* 2000; 28: 3920–3924
- 488 Dowdy MD, Robertson C, Bander JA. A study of proactive ethics consultation for critically and terminally ill patients with extended lengths of stay. *Crit Care Med* 1998; 26: 252–259
- 489 White DB, Curtis JR, Lo B et al. Decisions to limit life-sustaining treatment for critically ill patients who lack both decision-making capacity and surrogate decision-makers. *Crit Care Med* 2006; 34: 2053–2059
- 490 White DB, Curtis JR, Wolf LE et al. Life support for patients without a surrogate decision maker: who decides? *Ann Intern Med* 2007; 147: 34–40
- 491 Curtis JR, Engelberg RA, Nielsen EL et al. Patient-physician communication about end-of-life care for patients with severe COPD. *Eur Respir J* 2004; 24: 200–205
- 492 Cohen S, Sprung C, Sjøkvist P et al. Communication of end-of-life decisions in European intensive care units. *Intensive Care Med* 2005; 31: 1215–1221
- 493 Azoulay E, Pochard F, Chevret S et al. Half the family members of intensive care unit patients do not want to share in the decision-making process: a study in 78 French intensive care units. *Crit Care Med* 2004; 32: 1832–1838
- 494 Lilly CM, De Meo DL, Sonna LA et al. An intensive communication intervention for the critically ill. *Am J Med* 2000; 109: 469–475
- 495 Hsieh HF, Shannon SE, Curtis JR. Contradictions and communication strategies during end-of-life decision making in the intensive care unit. *J Crit Care* 2006; 21: 294–304
- 496 White DB, Engelberg RA, Wenrich MD et al. Prognostication during physician-family discussions about limiting life support in intensive care units. *Crit Care Med* 2007; 35: 442–448
- 497 Curtis JR, Engelberg RA, Wenrich MD et al. Studying communication about end-of-life care during the ICU family conference: development of a framework. *J Crit Care* 2002; 17: 147–160
- 498 Thornton JD, Pham K, Engelberg RA et al. Families with limited English proficiency receive less information and support in interpreted intensive care unit family conferences. *Crit Care Med* 2009; 37: 89–95
- 499 Nava S, Sturani C, Hartl S et al. End-of-life decision-making in respiratory intermediate care units: a European survey. *Eur Respir J* 2007; 30: 156–164
- 500 Asch DA, Faber-Langendoen K, Shea JA et al. The sequence of withdrawing life-sustaining treatment from patients. *Am J Med* 1999; 107: 153–156

- 501 Gerstel E, Engelberg RA, Koepsell T et al. Duration of withdrawal of life support in the intensive care unit and association with family satisfaction. *Am J Respir Crit Care Med* 2008; 178: 798–804
- 502 Sprung CL, Ledoux D, Bulow HH et al. Relieving suffering or intentionally hastening death: where do you draw the line? *Crit Care Med* 2008; 36: 8–13
- 503 Hall RI, Rocker GM. End-of-life care in the ICU: treatments provided when life support was or was not withdrawn. *Chest* 2000; 118: 1424–1430
- 504 O'Mahony S, McHugh M, Zallman L et al. Ventilator withdrawal: procedures and outcomes. Report of a collaboration between a critical care division and a palliative care service. *J Pain Symptom Manage* 2003; 26: 954–961
- 505 Kompanje EJ. 'Death rattle' after withdrawal of mechanical ventilation: practical and ethical considerations. *Intensive Crit Care Nurs* 2006; 22: 214–219
- 506 Holzapfel L, Demingon G, Piralla B et al. A four-step protocol for limitation of treatment in terminal care. An observational study in 475 intensive care unit patients. *Intensive Care Med* 2002; 28: 1309–1315
- 507 Sedillot N, Holzapfel L, Jacquet-Francillon T et al. A five-step protocol for withholding and withdrawing of life support in an emergency department: an observational study. *Eur J Emerg Med* 2008; 15: 145–149
- 508 Treece PD, Engelberg RA, Crowley L et al. Evaluation of a standardized order form for the withdrawal of life support in the intensive care unit. *Crit Care Med* 2004; 32: 1141–1148
- 509 Kirchhoff KT, Anumandla PR, Foth KT et al. Documentation on withdrawal of life support in adult patients in the intensive care unit. *Am J Crit Care* 2004; 13: 328–334
- 510 Lautrette A, Darmon M, Megarbane B et al. A communication strategy and brochure for relatives of patients dying in the ICU. *N Engl J Med* 2007; 356: 469–478
- 511 Davidson JE, Powers K, Hedayat KM et al. Clinical practice guidelines for support of the family in the patient-centered intensive care unit: American College of Critical Care Medicine Task Force 2004-2005. *Crit Care Med* 2007; 35: 605–622
- 512 Cherny NI, Radbruch L. Board of the European Association for Palliative Care. European Association for Palliative Care (EAPC) recommended framework for the use of sedation in palliative care. *Palliat Med* 2009; 23: 581–593
- 513 Deutsche Gesellschaft für Medizinrecht. Grenzen ärztlicher Behandlungspflicht bei schwerstgeschädigten Neugeborenen. Einbecker Empfehlungen. Schriftenreihe Medizinrecht MedR 1986; 281: sowie MedR 1992, 206; <http://www.uk-koeln.de/dgmr/empfehlungen/empfp1.shtml>
- 514 Merkel R. Früheuthanasie. Rechtsethische und strafrechtliche Grundlagen ärztlicher Entscheidungen über Leben und Tod in der Neonatalmedizin. In: Merkel R, Hrsg. Früheuthanasie. Baden-Baden: Nomos-Verlag; 2001
- 515 Garros D, Rosychuk RJ, Cox PN. Circumstances surrounding end of life in a pediatric intensive care unit. *Pediatrics* 2003; 112: e371
- 516 Livingston MH, Rosenbaum PL, Russell DJ et al. Quality of life among adolescents with cerebral palsy: what does the literature tell us? *Dev Med Child Neurol* 2007; 49: 225–231
- 517 Lumeng JC, Warschausky SA, Nelson VS et al. The quality of life of ventilator-assisted children. *Pediatr Rehabil* 2001; 4: 21–27
- 518 Paditz E, Zieger S, Bickhardt J et al. Self-reported quality of life in home mechanical ventilation in childhood, adolescence and young adulthood: Differences between parents and children. *Somnologie* 2009; 4: 13–19
- 519 Masri C, Farrell CA, Lacroix J et al. Decision making and end-of-life care in critically ill children. *J Palliat Care* 2000; 16: 45–52
- 520 Giannini A, Messeri A, Aprile A et al. End-of-life decisions in pediatric intensive care. Recommendations of the Italian Society of Neonatal and Pediatric Anesthesia and Intensive Care (SARNePI). *Paediatr Anaesth* 2008; 18: 1089–1095
- 521 Weidner NJ, Cameron M, Lee RC et al. End-of-life care for the dying child: what matters most to parents. *J Palliat Care* 2011; 27: 279–286
- 522 Michelson KN, Emanuel L, Carter A et al. Pediatric intensive care unit family conferences: one mode of communication for discussing end-of-life care decisions. *Pediatr Crit Care Med* 2011; 12: e336–343
- 523 Oberender F, Tibballs J. Withdrawal of life-support in paediatric intensive care – a study of time intervals between discussion, decision and death. *BMC Pediatr* 2011; 11: 39
- 524 Wild C, Narath M. Evidenzbasierte Intensivbettenplanung. Eine Übersicht zu rezenten internationalen Planungen und Planungsansätzen. *Intensivmed* 2003; 40: 412–419
- 525 Schönhofer B, Berndt C, Achtzehn U et al. Entwöhnung von der Beatmungstherapie. Eine Erhebung zur Situation pneumologischer Beatmungszentren in Deutschland. *Dtsch Med Wochenschr* 2008; 133: 700–704
- 526 Schönhofer B, Pfeifer M, Köhler D. Protrahierte respiratorische Insuffizienz – Epidemiologie und Netzwerk zur Respiratorentwöhnung (Weaning) nach prolongierter Beatmung. *Pneumologie* 2010; 64: 595–599