




Markieren Sie Begriffe im Text um weitere Informationen zu erhalten.

 Drucken

 Beobachten

 Offline nutzen

Maschinelle Beatmung

 Stephan Dönitz

19.1 Grundlagen der maschinellen Beatmung

- 19.1.1 Einleitung
- 19.1.2 Grundlagen zu Atemmechanik und Beatmung
- 19.1.3 Pathophysiologie der Ateminsuffizienz
- 19.1.4 Maschinelle Beatmung im Rettungsdienst
- 19.1.5 Parameter der Beatmung

19.2 Formen der Beatmung

- 19.2.1 Kontrollierte oder mandatorische Beatmung
- 19.2.2 Unterstützte Spontanatmung
- 19.2.3 Druckunterstützte Spontanatmung (ASB, IPS, PS, PSV)
- 19.2.4 Nichtinvasive Beatmung (NIV)

19.3 Auswirkungen der maschinellen Beatmung

- 19.3.1 Auswirkungen der Überdruckbeatmung für Patienten im Rettungsdienst
- 19.3.2 Beatmungsinduzierte Patientenschäden

19.4 Überwachung der Beatmung

19.5 Respiratoren

Notfallmeldung

Der Rettungsleitstelle wird gegen 10:00 Uhr ein 70-jähriger Patient mit starker Atemnot in einem Einfamilienhaus gemeldet. Daraufhin werden RTW und NEF alarmiert.

Befund am Notfallort

Der RTW trifft 6 Minuten nach Alarmierung ein. Die RTW-Besatzung wird in eine stark nach Zigarettenrauch riechende Wohnung geführt. Dort findet sie einen auf einem Sessel sitzenden Patienten vor. Er ist ziemlich dünn und ringt verzweifelt nach Luft.

Leitsymptome

Starke Atemnot.

Inhaltsübersicht

19.1 Grundlagen der maschinellen Beatmung

- Die Vielzahl an differenzierten Beatmungsmethoden, die moderne Geräte bieten, erfordert ein fundiertes pathophysiologisches Wissen. Dazu gehören Kenntnisse über technische Grenzen/Möglichkeiten des verwendeten Geräts sowie an den Patienten angepasste Einstellungen.
- Zu den wichtigsten Widerständen in der Atemmechanik gehören die Compliance und Resistance. Die Compliance (C) beschreibt die elastischen Widerstände, die Resistance (R) die Strömungswiderstände.
- Bei der maschinellen Beatmung, aber auch bei der maschinell unterstützten Spontanatmung, handelt es sich immer um eine Überdruck(be)atmung, die die physiologischen inspiratorischen Druckverhältnisse umkehrt.
- Vereinfacht besteht das respiratorische System aus der muskulären Atempumpe und dem Lungenparenchym (gasaustauschendes Organ). Daraus ergeben sich bei Störungen dieser Komponenten zwei zu unterscheidende Pathophysiologien, nämlich die ventilatorische Insuffizienz (Versagen der Atempumpe) und die Oxygenierungsstörung (hypoxämische Ateminsuffizienz).

19.2 Formen der Beatmung

- Man unterscheidet die nichtinvasive (NIV) von der invasiven Beatmung. Der wesentliche Unterschied

- zwischen NIV und der invasiven Beatmung ist, dass bei der NIV der Beatmungszugang in Form einer Maske außerhalb des Körpers liegt, bei der invasiven Beatmung befindet er sich im Körper (in den Atemwegen).
- Die maschinelle Unterstützung der Spontanatmung erfolgt stets mit Überdruck, auch die Beatmung mit Respiratoren ist eine Überdruckbeatmung.
 - Unterschiedliche Indikationen bedingen unterschiedliche Zielsetzungen (z. B. Beatmung während der Reanimation, beim Schädel-Hirn-Trauma, beim Thoraxtrauma, bei exazerbierter COPD).
 - Man unterscheidet assistierte und kontrollierte Beatmungsformen, mitunter sind die Übergänge fließend. Bei der kontrollierten Beatmung kann die volumenkontrollierte Beatmung (Volume Controlled Ventilation, VCV) von der druckkontrollierten Beatmung (Pressure Controlled Ventilation, PCV) unterschieden werden.
 - Die maschinell unterstützte Spontanatmung wird im Rettungsdienst meistens als Continuous-Positive-Airway-Pressure-Therapie (CPAP), ggf. kombiniert mit Druckunterstützung (Assisted Spontaneous Breathing, Pressure Support) durchgeführt.
 - Basisparameter der kontrollierten Beatmung sind Atemfrequenz und Atemminutenvolumen bzw. Atemhubvolumen, maximaler Inspirationsdruck (P_{max}), I : E-Verhältnis, Positive Endexpiratory Pressure (PEEP) und inspiratorischer Sauerstoffgehalt (FiO_2), die für jeden Notfallpatienten individuell eingestellt werden müssen.
 - Das Atemhubvolumen (VT) wird mit 6(-8) ml/kg KG (Idealgewicht) kalkuliert. Die Beatmungsfrequenz (f) wird altersgerecht angepasst. Daraus ergibt sich das Atemminutenvolumen ($f \times VT = AMV$).
 - Das Idealgewicht wird grob kalkuliert anhand folgender Formeln: Männer = Körpergröße [in cm] – 100, Frauen = (Körpergröße [in cm] – 100) – 10 %.

19.3 Auswirkungen der maschinellen Beatmung

- Der Grundsatz, dass kaum ein Verfahren oder Medikamenteneinsatz ohne Nebenwirkungen einhergeht, gilt auch für die positive Druckbeatmung.
- Das Ziel bei der PEEP-Einstellung besteht darin, dass der größtmögliche Nutzen für die Lungenfunktion und zugleich der geringstmögliche negative Effekt auf die Kreislauftsituation erfolgt.
- Zu den sog. „Kollateralschäden der Beatmung“ gehören in der Intensivmedizin die beatmungsinduzierte Lungenschädigung (Ventilator Induced Lung Injury, VILI), der beatmungsinduzierte Diaphragmaschaden (Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction, VIDD) und beatmungsinduzierte Pneumonien (Ventilator Associated Pneumonia, VAP).

19.4 Überwachung der Beatmung

- Die Beatmung von Notfallpatienten erfordert eine sorgfältige Beobachtung von Patient und Beatmungsgerät. Außerdem gehören EKG, RR, Pulsoxymetrie und die expiratorische CO_2 -Messung zum zwingend erforderlichen Monitoring.
- Der allerwichtigste Parameter überhaupt ist beim beatmeten Patienten die Kohlendioxidabatemung ($etCO_2$).

Ein Ausbleiben von abgeatmetem CO₂ deutet i. d. R. auf ein lebensbedrohliches Problem hin.

- Die Kapnometrie/-grafie erlaubt nicht nur eine Überwachung der Beatmung, sondern auch eine Einschätzung der Kreislaufsituation, vor allem im zeitlichen Verlauf.
- Das Einstellen von sinnvollen Alarmgrenzen gehört zu einer verantwortungsvollen Durchführung der Beatmung. Wichtige Parameter sind u. a. der maximale inspiratorische Druck P_{max} sowie die untere Grenze für das Atemminutenvolumen (AMV).
- Griffbereit sollen jederzeit ein Handbeatmungsbeutel mit PEEP-Ventil und Sauerstoffquelle (am besten Demandventil) sein.

19.5 Respiratoren

19.1 Grundlagen der maschinellen Beatmung

19.1.1 Einleitung

Sowohl in der Präklinik als auch in Notaufnahme/Schockraum, OP und Intensivmedizin ist die maschinelle Beatmung heutzutage eine der wichtigsten Behandlungsoptionen, was den herausragenden Stellenwert des Beatmungsgeräts (**Respirator, Ventilator**) hervorhebt. In den letzten Jahrzehnten hat die Beatmungstherapie große Fortschritte gemacht und es wurden zahlreiche Erkenntnisse gewonnen.

Moderne Beatmungsgeräte können mehr als lediglich eine bestimmte Menge Atemgas zur Aufrechterhaltung des Gasaustauschs zu liefern: Sie können (und sollen) an die jeweilige Gasaustauschstörung des Patienten angepasst werden. Begriffe wie „lungenprotektive“ Beatmung spiegeln wider, dass die Beatmung heutzutage individuell an den jeweiligen Patienten angepasst wird, um die negativen Auswirkungen, die mit einer Beatmungstherapie verbunden sind, so gut wie möglich zu begrenzen. Zu den gefürchteten „Kollateralschäden“ der Beatmung gehören Krankheitsbilder wie die Beatmungsinduzierte Lungenschädigung (Ventilator Induced Lung Injury, VILI) und die Beatmungsinduzierte Pneumonie (Ventilator Associated Pneumonia, VAP).

Merke

Durch den Zuwachs an Erkenntnissen haben sich auch die Beatmungsgeräte in Klinik und Rettungsdienst erheblich weiterentwickelt. Die Vielzahl an differenzierten Beatmungsmethoden, welche die Geräte bieten, erfordert ein fundiertes pathophysiologisches Wissen. Da die Beatmungstherapie eine Vielzahl potenzieller Gefahren mit sich bringt, ist es erforderlich, dass sich das gesamte Rettungsteam mit dem Thema auseinandersetzt. Dies beinhaltet, neben den gerätetechnischen Aspekten (z. B. Kenntnisse über **technische Grenzen/Möglichkeiten** des verwendeten Geräts sowie an den Patienten **angepasste Einstellungen**) auch Kenntnisse über die Formen der **respiratorischen Insuffizienz** sowie das gesamte Repertoire der **Atemwegsicherung** und präklinischen **Narkose** (Kap. 22).

Wenngleich dieser Abschnitt auf den Einsatz von Beatmungsgeräten fokussiert, so erfordert die Behandlung von Patienten mit Atemnot immer ein **Gesamtkonzept**, welches neben einer geeigneten **Lagerung**, **empfindlicher Zuwendung** und **Sauerstoffgabe** auch den Einsatz von lindernden **Medikamenten** umfasst, z. B. Furosemid und Glyceroltrinitrat (Nitro) beim kardialen Lungenödem oder Salbutamol, Ipratropiumbromid und Prednisolon bei der akut exazerbierten chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (AE-COPD). Insbesondere die nichtinvasive Beatmung (Non-invasive Ventilation, NIV) ist nicht nur eine „Technik“. Eine gefühlvolle Zuwendung zum Patienten entscheidet oft über Erfolg oder Misserfolg der NIV-Masken-Akzeptanz (u. a. [Kap. 19.2.4](#)).

19.1.2 Grundlagen zu Atemmechanik und Beatmung

Damit das Atemzugvolumen bewegt werden kann, muss von der Atemmuskulatur **Arbeit** erbracht werden, um bestimmte Widerstände zu überwinden. Zu den wichtigsten Widerständen in der Atemmechanik gehören die **Compliance** und **Resistance**. Die Compliance (C) beschreibt die **elastischen Widerstände**, die Resistance (R) die **Strömungswiderstände**. Unter physiologischen Bedingungen (normale Ruheatmung) werden etwa 75 % der Atemarbeit gegen elastische Widerstände aufgewendet und nur ca. 25 % gegen Strömungswiderstände.

Compliance

Compliance ist der Fachbegriff für die **Volumendehnbarkeit** der Lunge. Der Begriff Volumendehnbarkeit beschreibt die Veränderung des Volumens in der Lunge in Abhängigkeit zu dem Druck, der hierfür auf die Lunge ausgeübt werden muss.

Ein anschaulicher Vergleich ist ein Luftballon, der aufgeblasen wird ([Abb. 19.1](#)). Hier verändert sich das Volumen innerhalb des Ballons in Abhängigkeit zu dem Druck, der durch das Aufblasen aufgebracht wird. Zu beachten ist hierbei, dass zu Beginn etwas mehr Druck aufgebracht werden muss, um das gleiche Volumen pro Atemzug in den Ballon zu pusten, als später, wenn erst einmal eine gewisse Füllung (Vordehnung) im Ballon erreicht wurde. Ist dann eine bestimmte Füllung erreicht (der Ballon ist aufgeblasen), spürt man wiederum das Phänomen, dass abermals mehr Druck aufgebracht werden muss, um den Ballon mit weiterem Volumen zu füllen.

Compliance am Beispiel eines Luftballons [J787]



Bei der **Volumendehnbarkeit** handelt es sich also um eine dynamische Größe, die sich in Abhängigkeit vieler Einflüsse selbst während eines Atemzugs verändern kann. Je kleiner die Compliance ist, desto mehr Druck muss aufgebaut werden, um den Ballon zu füllen. Je größer die Compliance des Ballons ist, umso leichter lässt er sich aufblasen. Ziehen wir nun die Parallele zur Lunge, kann also gesagt werden: Umso größer die Compliance **der Lunge ist, desto leichter lässt sie sich beatmen**. Die **Formel** zur Berechnung der Compliance lautet:

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta p}$$

In der Formel ist ΔV die Volumenerhöhung (die in die Lunge strömende Gasmenge). ΔP ist die dabei entstehende Druckerhöhung. Beispiel:

$\Delta V = 600$, $\Delta p = 10$, Ergebnis: $C = 60$ ml/mbar

Die Formel besagt: Wenn 600 ml Gas in die Lunge strömen und der Druckanstieg dabei 10 mbar beträgt, dann beträgt die Compliance der Lunge 60 ml/mbar. Der **Normalwert** bei Erwachsenen beträgt 70–100 ml/mbar.

Resistance

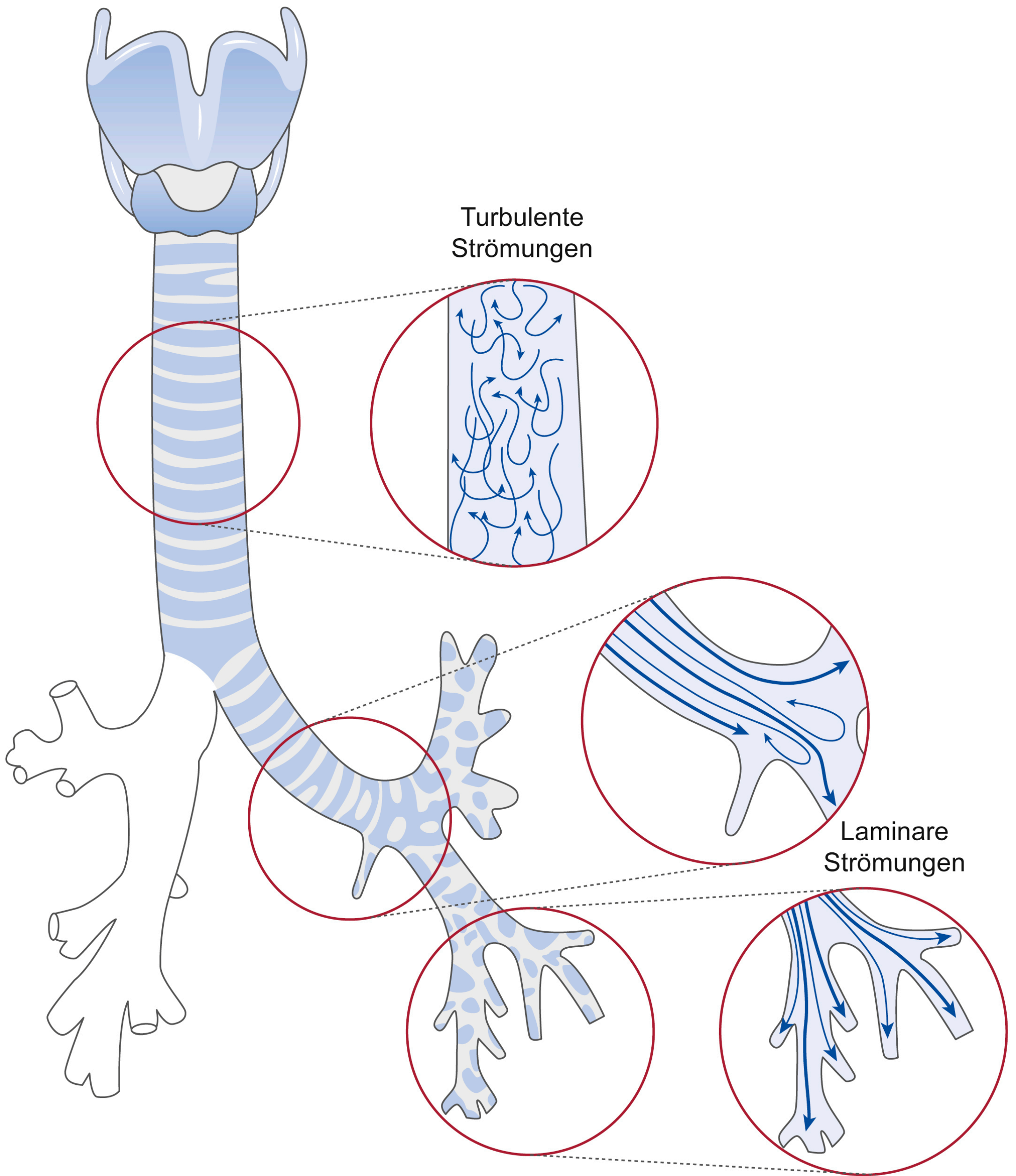
Die Resistance beschreibt den **Strömungswiderstand**, der bei der Atmung bzw. Beatmung überwunden werden muss. Genauer gesagt: Resistance beschreibt das Verhältnis von Druckdifferenz Δp (mbar) zwischen der Atmosphäre (also z. B. im Mund) und den Alveolen (in der Lunge) bei einem definierten Flow. Der **Normalwert** des Strömungswiderstands (R) eines Erwachsenen beträgt etwa 1–2 mbar/(l/s).

$$\dot{V} = \frac{V}{t} \text{ (1 / Sek.)}$$

$$R = \frac{\Delta p}{\dot{V}}$$

Für die Strömungswiderstände ist auch der **Grad der Weitstellung der Atemwege** sehr wichtig. Bei einer Halbierung des Durchmessers einer Röhre nimmt der Widerstand auf das 16-Fache zu. Dies gilt genau genommen jedoch nur bei sog. **laminaren Strömungen**. Laminare Strömungen sind solche, bei denen die Strömungsgeschwindigkeit den Widerstand nicht beeinflusst. In den Atemwegen des Menschen finden sich laminare Strömungen jedoch nur in den kleinen Atemwegen. In den großen Atemwegen (z. B. Trachea, Hauptbronchien), an Gabelungen und an Engstellen handelt es sich um **turbulente Strömungen**, bei denen mit Zunahme der Strömungsgeschwindigkeit der Widerstand zunimmt. Zusammenfassend heißt das, dass in den Atemwegen des Menschen sowohl laminare als auch turbulente Strömungen auftreten ([Abb. 19.2](#)).

Turbulente und laminare Strömungen in den Atemwegen: Turbulente Strömungen treten vorrangig in den großen Atemwegen auf, außerdem an den Gabelungen und Engstellen. In den peripheren Lungenabschnitten handelt es sich vor allem um laminare Strömungen.



Merke

Zu den intrapulmonalen Ursachen für einen Anstieg des Beatmungsdrucks gehören eine **Abnahme der Compliance** (Lungenödem, Pneumonie), eine **Zunahme der Resistance** (Bronchospastik, Sekretretention, Atelektasen), aber auch eine Zunahme der intrathorakalen Drücke (Pneumothorax, Hämatothorax) sowie eine

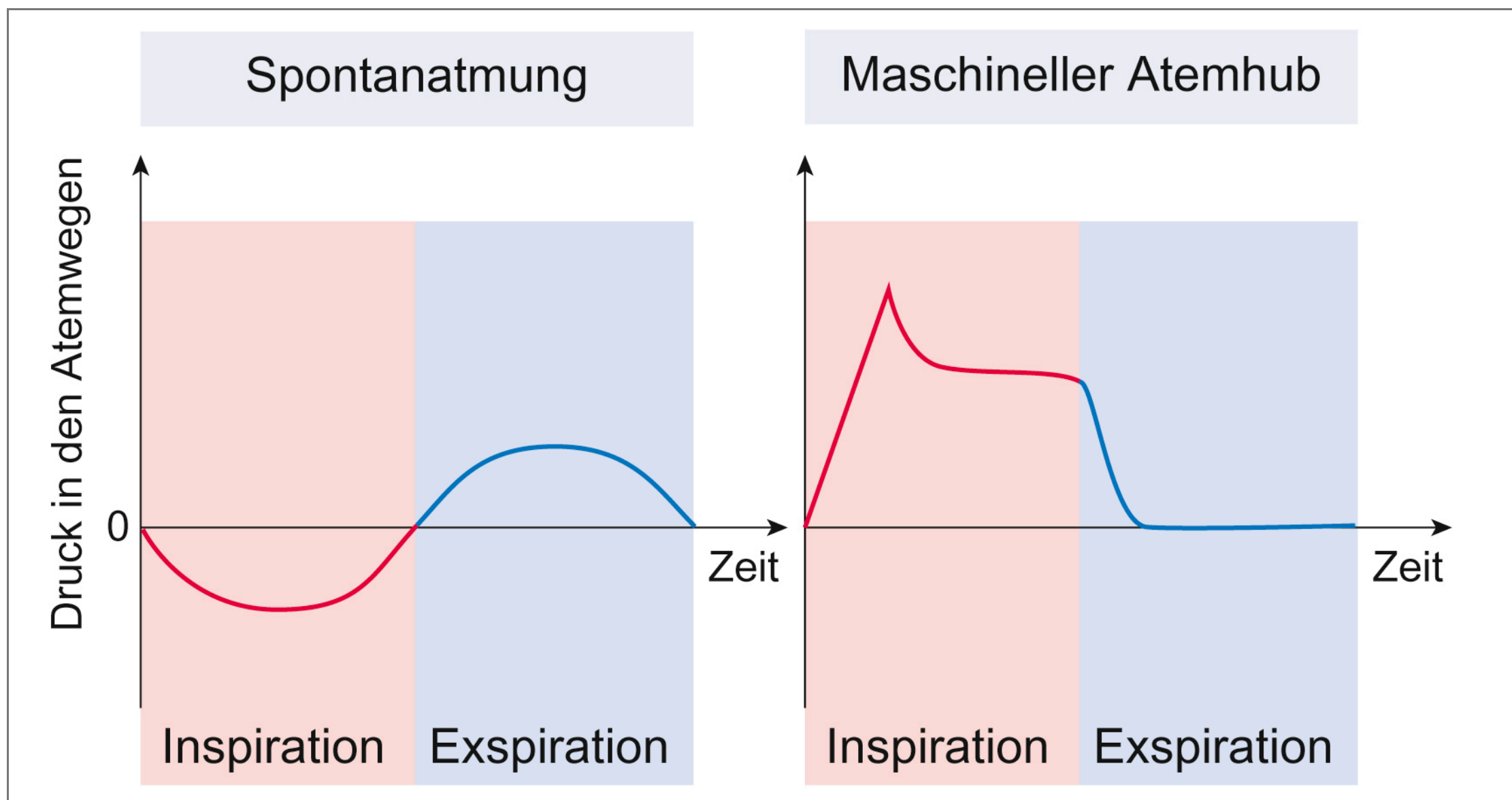
unzureichende Sedierung („Gegenatmen“).

Unterschied zwischen Spontanatmung und maschineller Beatmung

Durch eine Abwärtsbewegung des Zwerchfells und die Kontraktion der Inspirationsmuskeln, welche die Rippen heben, entsteht ein Unterdruck („Sog“) in der Lunge gegenüber der Außenatmosphäre. Das bedeutet, dass es während der Spontanatmung kurze Phasen gibt, in denen der Druck in der Lunge niedriger als der Umgebungsdruck ist. Wenn die Spannung der Inspirationsmuskulatur nachlässt, wird durch elastische Rückstellkräfte das ursprüngliche Lungenvolumen wiederhergestellt. Durch den dabei entstehenden Überdruck strömt die Ausatemluft aus der Lunge heraus (Expiration). Das bedeutet, dass der Hauptanteil der Atemarbeit beim spontan atmenden Patienten während der **Inspiration** aufgebracht werden muss. Man spricht auch von der **muskulären Atempumpe** (19.3.1). Die Ausatmung erfolgt normalerweise passiv, also ohne zu erbringende Arbeit (Abb. 19.3).

Spontanatmung und maschinelle Beatmung: Im zeitlichen Verlauf sind die Druckverhältnisse in den Atemwegen dargestellt, links unter Spontanatmung, rechts unter maschineller Beatmung.

[L190]



Bei der **maschinellen Beatmung**, aber auch bei der **maschinell unterstützten Spontanatmung**, handelt es sich immer um eine **Überdruck(beatmung)**, welche die physiologischen inspiratorischen Druckverhältnisse umkehrt (PPV, Positive Pressure Ventilation; auch: NIPPV, Non-invasive Positive Pressure Ventilation). In den Atemwegen wird durch den Respiator von außen, z. B. über eine Gesichtsmaske oder über einen Endotrachealtubus, ein **Überdruck** angelegt. Dem Druckgefälle folgend strömt das Atemgas in die Lunge des Patienten ein. Dabei werden Lunge und Thorax mit ihren elastischen Rückstellkräften gedehnt. In der Expiration strömt ebenso wie bei der Spontanatmung die

Ausatemluft passiv aus den Lungen heraus. Auch am **Ende der Ausatmung** wird – in Abhängigkeit von den vorgenommenen Einstellungen – vom Beatmungsgerät ein gewisser Druck in den Atemwegen aufrechterhalten. Diesen Atemwegsdruck, der am Ende der Ausatmung weiterhin bestehen bleibt, nennt man **PEEP** (Positive End Expiratory Pressure).

Verbindung zwischen Beatmungsgerät und Patient

Beatmungsschlauch

Die Verbindung zwischen Beatmungsgerät und Patient wird durch einen **Beatmungsschlauch** hergestellt. Es gibt Mehrwegschlauchsysteme (z. B. aus Silikon) und Einwegschlauchsysteme (z. B. aus Polyethylen, PE). Letztere tragen zur Vermeidung von Kreuzinfektionen bei und vereinfachen die Arbeitsprozesse. Außerdem gibt es für manche Beatmungsgeräte spezielle Kinderbeatmungsschläuche ([Abb. 19.4](#)), die für besonders kleine Beatmungsvolumina geeignet sind. Beim Oxylog[®] 3000 plus z. B. können die Kinderschläuche laut Hersteller für Atemhubvolumina im Bereich von 50–250 ml verwendet werden. Dieser Bereich entspricht einem Patientengewicht von etwa 8–40 kg (ausgehend von einem Atemzugvolumen von 6 ml/kg KG).

Kinderbeatmungsschlauch des Oxylog[®] 3000 plus als Einmalartikel [M840]



Merke

Der Begriff **Atemzugvolumen** wird verwendet, um die eingeatmete Gasmenge während der Spontanatmung zu beschreiben. Bei der maschinellen Beatmung wird stattdessen von **Atemhubvolumen** gesprochen. Der Begriff **Tidalvolumen** (VT) kann hingegen in beiden Fällen Verwendung finden.

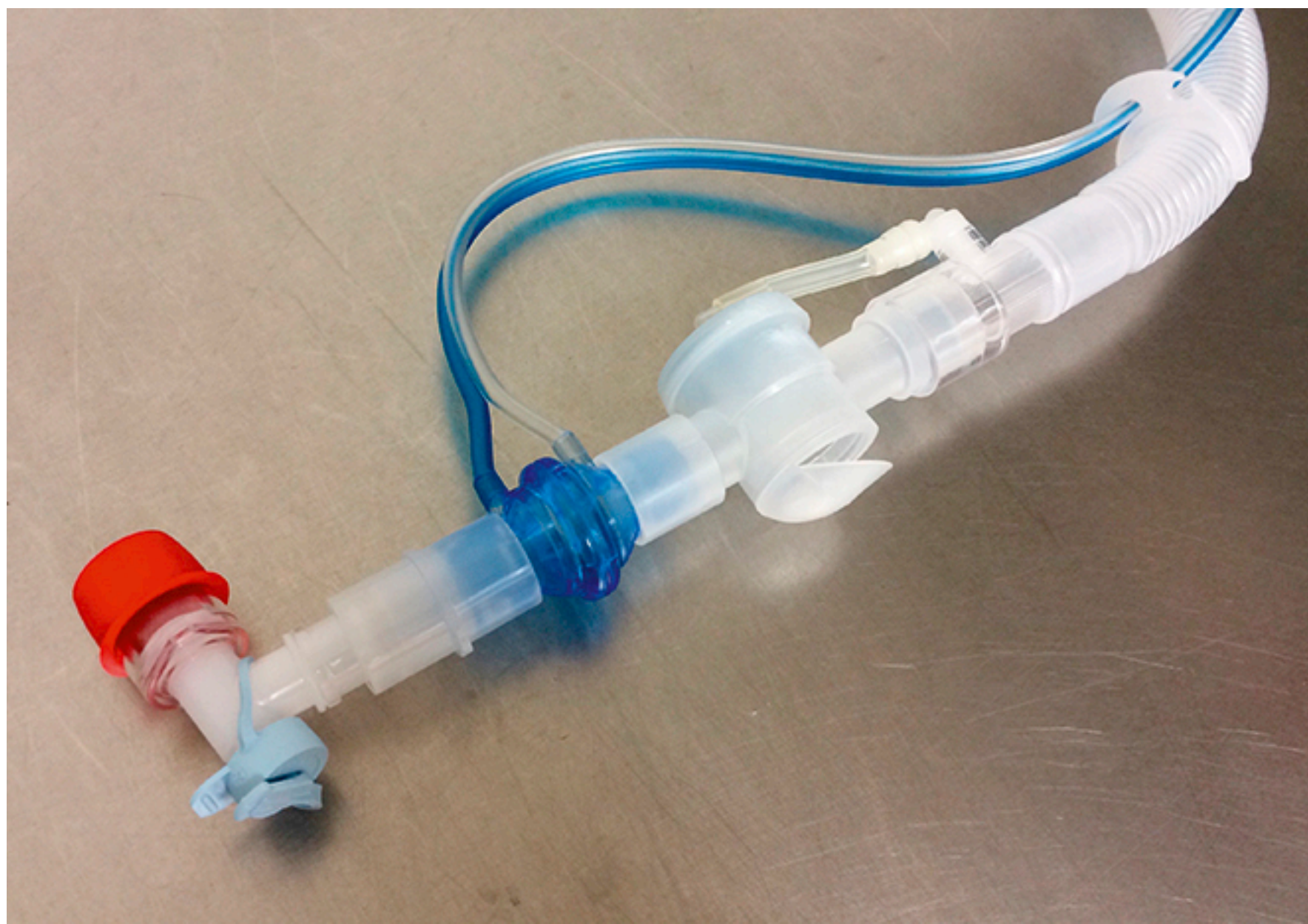
Bei den Narkosekreisteilen im OP ([Abb. 19.5](#)) und den im Intensivbehandlungsbereich verwendeten Respiratoren gibt es einen Inspirations- und einen Expirationsschlauch (Einatmungs- und Ausatemungsschlauch). Diese werden am Inspirations- und Expirations**ventil** aufgesteckt. Dagegen sind die im Rettungsdienst verwendeten Notfallrespiratoren mit **Einschlauchsystemen** ausgestattet. Damit ist nicht gemeint, dass tatsächlich nur ein Schlauch vorhanden ist, denn bei modernen Geräten wie der Dräger Oxylog[®] 2000/3000 Familie ([Abb. 19.6](#)) oder Weinmann Medumat Transport[®] sind weitere dünne Schläuche für die Messung von **Druck** und **Flow** vorhanden. Die Flow-Messung erfolgt über einen distal gelegenen Sensor. Mit Einschlauchsystem ist hier gemeint, dass die Ausatmung des zuvor verabreichten Atemgases über ein **Patientenventil** in die Umgebung (z. B. den RTW) erfolgt. Das Patientenventil ist am patientennahen Ende des Beatmungsschlauches gelegen. Hingegen erfolgt die Ausatmung bei den Anästhesie- und Intensivbehandlungsrespiratoren über einen eigenen Schenkel, den Expirationsschlauch. Die Ausatemluft strömt also wieder zum Respirator bzw. Narkosekreisteil zurück.

Narkosekreisteil mit Inspirations- und Expirationsschlauch [M840]



Patientennahes Ende des Beatmungsschlauches Oxylog® 3000 mit Patientenventil, Flowsenor und Winkelstück (hier als Einmalartikel „disposable“)

[M840]



Beatmungsfilter (Filter/HME)

Am patientenseitigen Ende des Beatmungsschlauches wird ein **Filter** platziert. Umgangssprachlich wird meist von „Beatmungsfilter“ gesprochen, obwohl diese – genau genommen – verschiedene Eigenschaften aufweisen können. Die im Rettungsdienst verwendeten Filter stellen eine **Barriere** gegen Viren und Bakterien dar. Dies trägt wesentlich zur Vermeidung von Kreuzinfektionen bei. Mehrere Arbeitsgruppen und Fachgesellschaften empfehlen, für jeden Patienten sowie nach 24 Stunden Einsatzzeit einen neuen HME-Filter einzusetzen. Eine weitere Eigenschaft kann der Filter **optional** aufweisen. Er kann für eine **Erwärmung und Befeuchtung** des trockenen und kalten Atemgases sorgen. Diese Funktion wird unter physiologischen Bedingungen von der Nase erfüllt. Allerdings wird die Nase im Fall einer Beatmungstherapie umgangen, da der Luftstrom entweder über einen Endotrachealtubus geleitet oder durch eine fest aufsitzende Maske im Fall einer nichtinvasiven Ventilation der Großteil der Luft über den Mundraum in die tiefen Atemwege geleitet wird. Durch diese Eigenschaften der Filter lässt sich deren Bezeichnung HME erklären (**H**eat and **M**oisture **E**xchanger, Wärme- und Feuchtigkeitsaustauscher). Einen reinen Filter ohne HME-Funktion zeigt [Abb. 19.7](#). Für die Beatmung von Kindern existieren spezielle Kinder-HME-Atemfilter ([Abb. 19.8](#)), die einen kleineren Totraum als die Erwachsenenfilter aufweisen ([Tab. 19.1](#)). Die Vorgaben der Hersteller sollen berücksichtigt werden, so empfiehlt Dräger® z. B. entsprechende Filter in Abhängigkeit vom Tidalvolumen-Bereich.

Dräger® SafeStar: Beatmungsfilter für Erwachsene [M840]



Dräger® TwinStar 8: HME-Filter für Neugeborene und Kleinkinder [M840]



Beispiele für HME/Atemfilter Fa. Dräger®

Tab. 19.1

Bezeichnung	Totraum (ml)	Anwendungsbereich	Empfohlenes Tidalvolumen (ml)
TwinStar® 8	8	Neugeborene	30–200

		bis Kleinkinder	
TwinStar® 25	25	Kinder und Jugendliche	75–500
TwinStar® 90	905555	Erwachsene	300–1 500300–1 500300–1 500
TwinStar® 55		Erwachsene	
TwinStar® HEPA		Erwachsene	

Kapnografie

Egal ob nichtinvasiv oder invasiv beatmet wird: Bei Patienten, die an ein Beatmungsgerät angeschlossen werden, soll die Messung des **expiratorischen Kohlendioxids** erfolgen (Kap. 17.4.3). Bei der **invasiven** Beatmung ist diese Messung **zwingend erforderlich**. Manche Beatmungsgeräte bieten optional die Möglichkeit, diese Messung in das Gerät zu integrieren. Oftmals erfolgt die CO₂-Messung jedoch auch über vom Beatmungsgerät unabhängige Geräte, wie z. B. den Corpuls³-Monitor. Beim C³ wird ein sog. Einwegadapter (capONE) an den Filter angeschlossen, der eine CO₂-Messung in Form der sog. Hauptstrommessung ermöglicht. Einwegadapter sollten stets so patientennah wie möglich (z. B. auf den Endotrachealtubus) aufgesteckt werden, dies liefert die genauesten Ergebnisse.

Interface bei der NIV

Bei der nichtinvasiven Beatmung (NIV) besteht die Schnittstelle („Interface“) Beatmungsgerät/Patient in einer geeigneten Gesichtsmaske, die mit elastischen Haltebändern am Kopf des Patienten fixiert wird. Einzelheiten zum Vorgehen finden sich im Abschnitt NIV ([Kap. 19.2.4](#)). Im Krankenhaus werden für die NIV auch Ganzgesichtsmasken, Nasenspitzenmasken und seltener sog. Helme verwendet. Im Rettungsdienst ist dies unüblich. Die Maske sollte komfortabel sein, sich gut platzieren lassen und die gesamte Nasen/Mundregion abdecken. Falls keine sichere Platzierung oder zumindest eine hohe Dichtigkeit erreicht werden kann, ist die NIV nicht durchführbar.

19.1.3 Pathophysiologie der Ateminsuffizienz

Einsätze des Rettungsdienstes mit dem Alarmstichwort „Atemnot“ können eine Vielzahl von zugrunde liegenden Ursachen haben, wobei manche davon akut auftreten können und andere auf einer chronischen Insuffizienz beruhen:

- **Störungen des Atemantriebs**, z. B. durch erhöhten Hirndruck, Hirninfarzierung, Enzephalopathie, zentralnervös dämpfende Medikamente, kongenitales Hypoventilationssyndrom (z. B. das sog. Ondines-Fluch-Syndrom)
- **Beeinträchtigung der Signalübertragung von Nerven auf die Atemmuskulatur (neuromuskuläre Erkrankungen)**, z. B. bei amyotropher Lateralsklerose (ALS), Muskeldystrophie Duchenne, spinale Muskelatrophie, hoher Querschnittlähmung, Phrenikusparese, Poliomyelitis, Post-Poliomyelitis-Syndrom, Guillain-Barré-Syndrom, Myasthenia gravis
- **Beeinträchtigte Kraftübertragung der Atemmuskulatur („Atempumpe“) auf den regelhaft**

konfigurierten knöchernen Brustkorb, z. B. bei COPD, Asthma bronchiale

- **Thoraxdeformierungen** (z. B. Torsionsskoliosen, Post-TBC-Syndrom), Obesitas-Hypoventilationssyndrom (OHS), Unterernährung, progressive Muskeldystrophie
- **Störungen von normal weiten Atemwegen**, z. B. beim Asthma bronchiale, Lungenemphysem, Anaphylaxie
- **Funktionsverlust des Lungenparenchyms (Gasaustauschstörungen)**, z. B. beim kardialen Lungenödem, schwerer Pneumonie

Merke

Die primäre Aufgabe der Atmung ist es, die Zufuhr von Sauerstoff und die Abgabe von CO₂ sicherzustellen. Vereinfacht ausgedrückt besteht das respiratorische System aus zwei voneinander unabhängigen Komponenten: der **muskulären Atempumpe** und der Lunge, genauer gesagt dem **Lungenparenchym (gasaustauschendes Organ)**. Daraus ergeben sich bei Störungen dieser Komponenten zwei zu unterscheidende pathophysiologische Vorgänge, nämlich die **ventilatorische Insuffizienz** (Versagen der Atempumpe) und die **Oxygenierungsstörung** (hypoxämische Ateminsuffizienz).

Ventilatorische Ateminsuffizienz

Um das Atemzugvolumen zu bewegen, muss die Atemmuskulatur Arbeit leisten. Dadurch werden die elastischen Widerstände und die Strömungswiderstände überwunden. In Ruhe wird unter normalen Bedingungen der Hauptteil der Atemarbeit bei der Einatmung gegen elastische Widerstände aufgewendet. Nur ein Viertel der Atemarbeit wird aufgewendet, um Strömungswiderstände zu überwinden ([Kap. 19.1.2](#)).

Störungen der Atempumpe entstehen auf dem Boden einer **überlasteten Atemmuskulatur**. Durch zunehmende Erschöpfung kann es zur vital bedrohlichen Insuffizienz der Atempumpe kommen. Klinisch erkennt man diese an einer schnellen, flachen Atmung („rapid shallow breathing“) und einem vermehrten Einsatz der Atemhilfsmuskulatur. Man spricht daher von **ventilatorischer Insuffizienz**. Sie geht bei der akuten Form mit einem Anstieg des CO₂-Gehalts im Blut (Hyperkapnie) und daraus resultierender respiratorischer Azidose einher. Aufgrund der Hyperkapnie wird auch von **hyperkapnischer akuter respiratorischer Insuffizienz** (ARI) gesprochen. Eine der häufigsten Ursachen hierfür ist im Rettungsdienst die COPD. Allerdings macht die Bezeichnung **ventilatorische Insuffizienz** deutlicher, worin die therapeutische Konsequenz besteht, weswegen manche Fachleute den Begriff bevorzugen.

Hypoxämische Ateminsuffizienz

Funktionseinschränkungen der Lunge, die zur **Hypoxämie** führen, also Störungen an der Gasaustauschfläche, können in **kardiale** (z. B. kardiales Lungenödem) und **nichtkardiale Ursachen** (z. B. Pneumonie, ARDS) unterteilt werden. Bei der hypoxämischen ARI, bei der es sich um eine primäre **Oxygenierungsstörung** handelt, spielen

unterschiedliche pathophysiologische Vorgänge eine Rolle.

Bei kardialer Ursache kommt es z. B. durch eine Linksherzinsuffizienz zum Rückstau des Blutes mit daraus resultierendem Austritt von Flüssigkeit in die Alveolen, was wiederum zu einer Gasaustauschstörung (pulmonale Diffusionsstörung) führt. Bei nicht kardialer Ursache basiert die Gasaustauschstörung typischerweise auf einer Atelektasenbildung (pulmonale Verteilungsstörung) mit Vergrößerung des pulmonalen Rechts-links-Shunts ([19.2.2](#)). Während die pulmonale Diffusionsstörung einigermaßen gut auf die Verabreichung von Sauerstoff anspricht, hilft bei einer pulmonalen Verteilungsstörung, die auf Atelektasen beruht, die Gabe von Sauerstoff wenig.

Darüber hinaus gibt es **Mischformen**, bei denen es aufgrund der Hypoxie kompensatorisch zur Hyperventilation kommt und dadurch sekundär eine Überlastung der Atempumpe auftritt. In manchen Fällen genügt die Verabreichung von Sauerstoff über eine Maske mit Reservoir/Nicht-Rückatem-Ventil, um den Zustand des Patienten zu verbessern. In den Fällen, wo dies nicht (mehr) ausreicht, muss die Entscheidung getroffen werden, ob eine nichtinvasive Unterstützung der Spontanatmung ausreicht oder ob eine invasive Sicherung des Atemwegs erforderlich ist ([Abb. 19.9](#)). Die beiden Letztgenannten sind, mit Ausnahme einfacher Systeme wie dem Boussignac-CPAP-System, stets die Domäne der maschinellen Beatmung ([19.2](#)).

CPAP-Therapie ohne Beatmungsgerät [J747]



Das **Boussignac-CPAP-System** ist ein Einmalartikel und erlaubt eine CPAP-Anwendung ohne ein Beatmungsgerät. Neben dem System wird lediglich eine Sauerstoffquelle benötigt. Der Sauerstoff strömt durch ein sog. virtuelles Ventil. In Abhängigkeit von der Sauerstoffdurchflussrate (l/Min.) resultiert ein entsprechender endexpiratorischer positiver Druck (CPAP bzw. PEEP), er entsteht durch Verwirbelungen im Ventil. Vorteilhaft ist, dass kein Beatmungsgerät für die CPAP-Behandlung benötigt wird. Nachteilhaft sind ein hoher Sauerstoffverbrauch sowie die fehlende Möglichkeit, die CPAP-Atmung mit einer Druckunterstützung zu kombinieren.

Eine akute Ateminsuffizienz kann aus einer Störung der Atempumpe, einer Oxygenierungsstörung oder aus einer Kombination beider bestehen. Daraus ergibt sich, dass die maschinelle Beatmung, vereinfacht dargestellt, prinzipiell **zwei Ziele** verfolgt:

- Verminderung der Atemarbeit
- Verbesserung der Oxygenierung

19.1.4 Maschinelle Beatmung im Rettungsdienst

Im Rettungsdienst lassen sich zwei Formen der maschinellen Beatmung unterscheiden:

Nichtinvasive Beatmung (NIV, NIPPV)

Die **nichtinvasive Beatmung** ist eine apparative Unterstützung der Spontanatmung ohne Intubation oder sonstigen künstlichen Atemweg. Gebräuchlich ist die Abkürzung NIV (Non-invasive Ventilation). Unüblich, aber auch korrekt, ist die Bezeichnung NIPPV (Non-invasive Positive Pressure Ventilation). Die NIV kann im Rettungsdienst mit leistungsfähigen Notfallrespiratoren (z. B. Oxylog[®] 2000 plus, Oxylog[®] 3000 plus, Medumat Transport[®]) über eine Gesichtsmaske durchgeführt werden. Eine CPAP-Therapie kann auch mit einfachen Hilfsmitteln durchgeführt werden, z. B. in Form des Boussignac-Systems. Dies ist allerdings keine NIV.

Invasive Beatmung

Die invasive Beatmung erfolgt über einen Endotrachealtubus, ein Tracheostoma oder über einen supraglottischen Atemweg (z. B. Larynxmaske, Larynxtubus). In der Akutmedizin ist dazu zuvor i. d. R. eine Narkoseeinleitung (Kap. 22) erforderlich. Die einzige Ausnahme ist die Atemwegssicherung im Rahmen einer Reanimation. Sie kann ohne Narkose erfolgen.

Patienten bei Intensivverlegungen werden oft maschinell beatmet. Gerade bei diesen Patienten, die eine schlechte Lungenfunktion aufweisen (z. B. beim akuten Lungenversagen), kann sich die Beatmung als schwierig und sehr anspruchsvoll erweisen. Im Regelfall gilt für Patientenverlegungen, dass die in der Klinik begonnene Beatmungsstrategie übernommen werden sollte.

Der **wesentliche Unterschied** zwischen NIV und der invasiven Beatmung ist, dass bei der NIV der

Beatmungszugang in Form einer Maske außerhalb des Körpers liegt, bei der invasiven Beatmung befindet sich der Beatmungszugang im Körper (in den Atemwegen).

Im Operationssaal lernt der angehende Notfallsanitäter Grundlagen der Beatmung kennen. Dort findet die Sicherung der Atemwege und die Beatmung regelhaft im Rahmen von Wahleingriffen statt. In diesem Kontext handelt es sich meist um lungengesunde Patienten.

Anders, als dies normalerweise im OP der Fall ist, wird die maschinelle Beatmung in der Notfallmedizin durchgeführt, um die lebensnotwendige Funktion der Atempumpe und/oder des pulmonalen Gasaustauschs bei einem kritisch verletzten oder erkrankten Patienten sicherzustellen, weil dieser plötzlich dazu nicht mehr in der Lage ist.

Wenn ein Patient maschinell beatmet werden muss, müssen Parametereinstellungen am Beatmungsgerät vorgenommen werden. Im folgenden Abschnitt werden die wählbaren Einstellungen am Beatmungsgerät vorgestellt.

19.1.5 Parameter der Beatmung

Inspiratorische Sauerstoffkonzentration

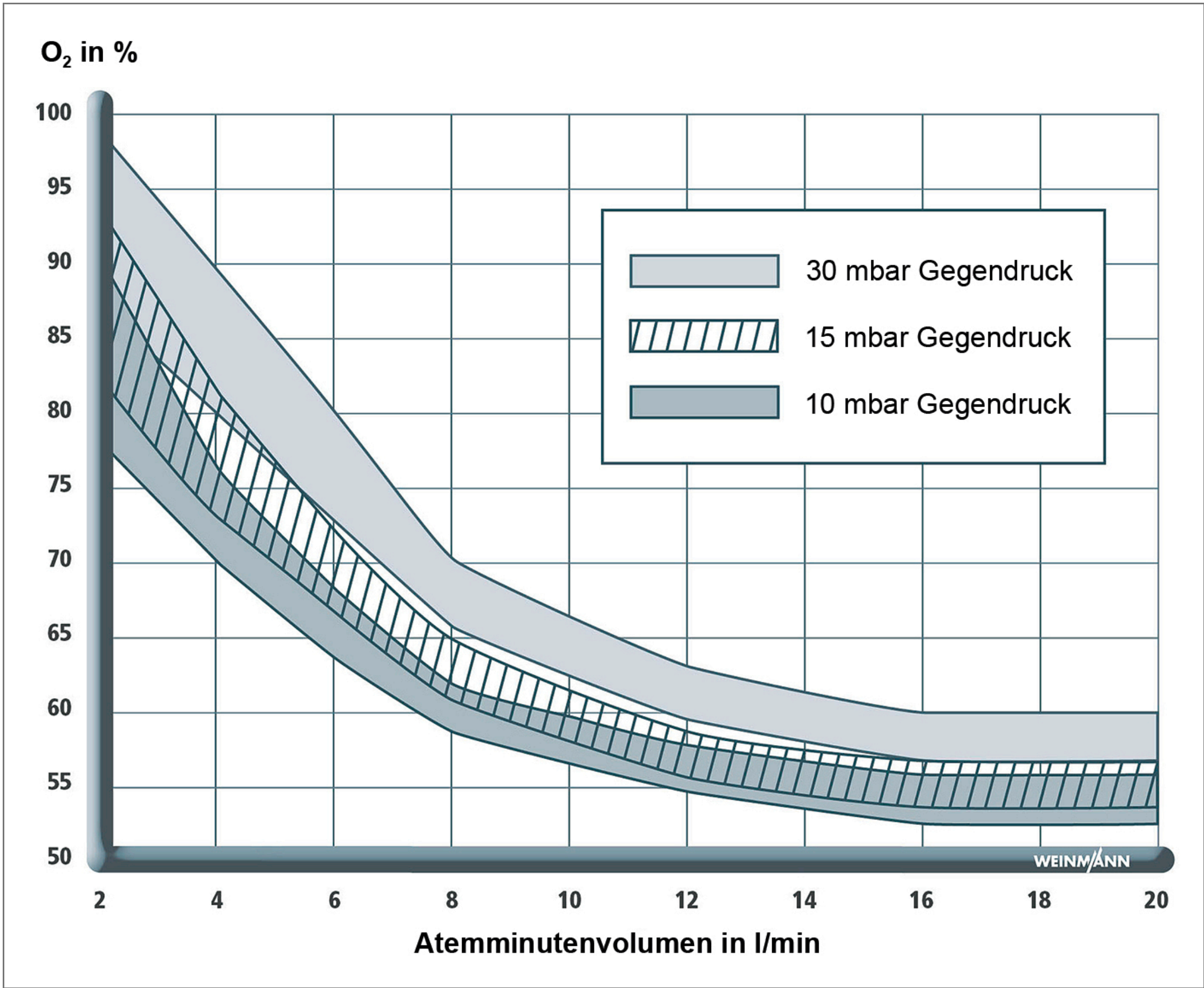
Der Begriff inspiratorische Sauerstoffkonzentration sagt aus, wie hoch der Sauerstoffanteil im Atemgas ist, mit dem der Patient beatmet wird. Die normale Raumluft enthält rund 21 % Sauerstoff. Bei der maschinellen Beatmung eines Patienten ist diese Konzentration jedoch nicht ausreichend. Ein Grund dafür ist, dass das zugrunde liegende Krankheits- oder Verletzungsbild regelhaft erfordert, dass der Patient höhere Sauerstoffmengen angeboten bekommt.

In der Notfallmedizin wird initial fast immer mit **100 % Sauerstoff** beatmet. In besonderen Fällen kann davon abgewichen werden, z. B. im Fall eines Patienten, der reanimiert wurde, anschließend wieder Spontankreislauf (ROSC, Return of Spontaneous Circulation) hat, und bei dem die inspiratorische Sauerstoffkonzentration des Beatmungsgeräts reduziert wird, um den Wert der SpO_2 an die Vorgaben des ERC (Kap. 23) anzupassen. Hier z. B. Zielwert 94–98 % SpO_2 .

Im Rahmen der Beatmung wird die inspiratorische Sauerstoffkonzentration als F_iO_2 bezeichnet. Diese gängige Bezeichnung steht für den englischen Begriff „**F**raction of **I**nspired **O**xygen (**O**₂)“. Der Begriff Fraktion (lat.: fractio) steht im hier verwendeten Kontext für Bruch oder Bruchteil. Dabei steht die Zahl „1“ für eine Sauerstoffkonzentration von 100 %, dementsprechend würde man 50 % Sauerstoffgehalt mit „ $F_iO_2 = 0,5$ “ angeben.

Bei einfacheren Beatmungsgeräten besteht lediglich die Wahl, den Sauerstoffanteil während der Beatmung in „Air-Mix“ und „No Air-Mix“ einzustellen. Wie die folgende Abbildung zeigt, ist der F_iO_2 im Air-Mix Betrieb je nach Gerät variabel ([Abb. 19.10](#)).

Sauerstoffgehalt bei Air-Mix Betrieb: Die Grafik zeigt, dass der tatsächliche inspiratorische Sauerstoffgehalt in Abhängigkeit von den Geräteeinstellungen von dem eingestellten Wert abweichen kann. Die Abbildung ist der Bedienungsanleitung des Medumat Standard² entnommen.



WEINM/ANN

Atemfrequenz (Beatmungsfrequenz)

Bei **Erwachsenen** liegt die Beatmungsfrequenz (f) meist im Bereich von 10–16/Min. Als Basiseinstellung für die Frequenz wird am Beatmungsgerät ein Bereich von 10–12/Min. gewählt. Einen groben Anhalt für die Beatmung von **Kindern** gibt [Tab. 19.2](#).

Beatmungsfrequenzen für maschinelle Beatmung im Kindesalter

Tab. 19.2

Alter	Frequenz/Min.
Neugeborenes	40
1 Jahr	30
5 Jahre	20

Diese Angaben sind ein grober Rahmen zur raschen Orientierung. Die Beatmung ist immer den Bedürfnissen des Einzelfalls anzupassen. Gute Hilfen bieten z. B. pädiatrische Lineale etc.

Merke

Falls ein Patient eine Erkrankung hat, bei der es durch Kompensationsversuche zu einer Hyperventilation kommt, sollte, falls eine Beatmung notwendig wird, auch eine maschinelle Beatmung mit höherer Frequenz durchgeführt werden. Ein Beispiel ist ein Patient mit einem ketoazidotischen hyperglykämischen Koma. Aufgrund der metabolischen Azidose versucht der Körper, durch schnellere, tiefe Atmung (Kußmaul-Atmung) die Azidose zu begrenzen. Wird bei solch einem Patienten eine maschinelle Beatmung erforderlich, sollte die Beatmungsfrequenz diesen Umstand berücksichtigen.

Atemzeitverhältnis (I : E)

Der Atemzyklus ist die Zeitspanne vom Beginn der Inspiration bis zum Ende der Expiration. Das **Atemzeitverhältnis** beschreibt das zeitliche Verhältnis von Einatmung zu Ausatmung (bzw. Inspiration : Expiration, I : E). Normalerweise dauert die Ausatmung etwas länger als die Einatmung. **Ein Atemzeitverhältnis im Bereich von 1 : 1,5 bis 1 : 2 ist physiologisch.** Einige Beispiele sollen das Zusammenspiel von Frequenz und Atemzeitverhältnis verdeutlichen, da diese sich wechselseitig beeinflussen:

- Wird ein Patient mit einer Frequenz von $f = 10/\text{Min.}$ beatmet, hat die Beatmungsmaschine pro Atemzyklus 6 Sekunden Zeit ($60 \text{ Sek.} \div 10 = 6$). Bei einem I : E-Verhältnis von 1 : 2 bedeutet das, dass von diesen 6 Sekunden zwei für die Inspiration und vier für die Expiration zur Verfügung stehen.
- Wird der Patient jedoch mit einer Frequenz von $f = 12/\text{Min.}$ beatmet, stehen pro Atemzyklus nur noch 5 Sekunden zur Verfügung ($60 \text{ Sek.} \div 12 = 5$). Bei einem I : E-Verhältnis von 1 : 2 bleiben dann „nur“ noch 1,66 Sekunden Zeit für die Inspiration anstatt zwei Sekunden wie oben.
- Wird eine Beatmungsfrequenz von $f = 15/\text{Min.}$ gewählt, so stehen pro Atemzyklus der Beatmungsmaschine nur noch 4 Sekunden zur Verfügung ($60 \text{ Sek.} \div 15 = 4$). Bei einem I : E-Verhältnis von 1 : 2 stehen für die Inspiration 1,33 Sekunden zur Verfügung. Würde man das Atemzeitverhältnis auf 1 : 1 ändern, hätte das Beatmungsgerät 2 Sekunden Zeit für die Inspiration und 2 Sekunden für die Expiration.

Die Auswirkung der Atemfrequenz auf das Atemzeitverhältnis verdeutlicht folgende Annahme: Patienten mit obstruktiven Lungenerkrankungen benötigen eine verlängerte Zeit, um auszuatmen. Steht diese Ausatemzeit im Rahmen einer Beatmung nicht zur Verfügung, kann es dazu kommen, dass noch ein Rest des Tidalvolumens in der Lunge verblieben ist und nicht abgeatmet werden konnte, bevor der nächste maschinelle Beatmungshub erfolgt. Die Folge ist eine zunehmende Überblähung der Lunge. Dieses Phänomen nennt man „Air Trapping“. Beatmet man z. B.

einen Patienten mit einer schweren obstruktiven Lungenerkrankung, und man möchte die Expirationszeit verlängern, z. B. auf 1 : 3, dann verkürzt sich dadurch die Zeit, die für die Inspiration zur Verfügung steht, erheblich.

Stellen wir uns vor, der Patient wird mit einer Frequenz von $f = 15/\text{Min.}$ beatmet. 4 Sekunden stehen dann pro Atemzyklus zur Verfügung. Bei einem Atemzeitverhältnis von 1 : 3 steht dem Beatmungsgerät nun lediglich noch 1 Sekunde Zeit für die Inspiration zur Verfügung. Das wird jedoch zu wenig sein, um die Lunge des Patienten adäquat belüften zu können. Beatmet man diesen Patient nun mit einer niedrigeren Frequenz, z. B. mit $f = 10/\text{Min.}$, dann stehen zwar 6 Sekunden pro Atemzyklus zur Verfügung. Aber selbst bei der Einstellung des Atemzeitverhältnisses von 1 : 3 hat das Beatmungsgerät nur 1,5 Sekunden Zeit für die Inspiration. Wenn man den Patienten womöglich nur mit einer Frequenz von $f = 8/\text{Min.}$ beatmet, stehen zwar 7,5 Sekunden pro Atemzyklus zur Verfügung, für die Inspiration hätte das Gerät aber dennoch nur 1,875 Sekunden Zeit. Da das Ziel der Beatmung neben der Sauerstoffgabe auch in der Elimination von Kohlendioxid (CO_2) besteht, kann man die Beatmungsfrequenz natürlich nicht beliebig reduzieren.

Atemhubvolumen und Atemminutenvolumen

Früher wurden Patienten mit einem recht hohen Atemhubvolumen (V_T) von 10–15 ml/kg KG Idealgewicht (ohne PEEP) beatmet. Als ein Meilenstein müssen die Ergebnisse der ARDS-Network-Studie angesehen werden, die im Jahr 2000 veröffentlicht wurden. In der Gruppe, die mit einem niedrigen Atemhubvolumen von 6 ml/kg KG Idealgewicht beatmet wurden, war das Sterberisiko um 25 % reduziert. Die Studie wurde sogar vorzeitig abgebrochen, weil man es für unethisch hielt, sie fortzuführen und die Patienten in der Gruppe mit hohem Atemhubvolumen weiter zu schädigen. Die Anwendung eines Atemhubvolumens von 6 ml/kg KG ist seitdem eine der wenigen evidenzbasierten Leitlinien bei der Behandlung von akutem Lungenversagen. Sie stellt zugleich die Grundlage für das Konzept der lungenprotektiven Beatmung dar. In der Folge kam es dazu, dass zunehmend auch Patienten im Rahmen der Allgemeinanästhesie (bei Operationen) mit niedrigem Atemhubvolumen beatmet wurden. Dies lenkte das Interesse auf die Fragestellung, ob die Übertragung der lungenprotektiven Beatmung auf Operationspatienten Vorteile oder Nachteile bringen würde. In einer aktuellen Metaanalyse wurden 19 Studien zu dem Thema ausgewertet. Die Autoren folgerten, dass niedrigere Atemhubvolumina das Risiko für Lungenschäden und Infektionen senken. Eine andere Studie hingegen kam zu gegenteiligen Ergebnissen. Hier führten niedrige Atemhubvolumen zu einer erhöhten Sterblichkeit. Die Autoren erklären dies damit, dass während der Narkose, anders als in der ARDS-Network-Studie, häufig kein oder nur ein niedriger PEEP verwendet wird. Hierzu fehlen weitere Studien. Eine Interpretation der Ergebnisse kann zu folgender Schlussfolgerung führen:

Merke

Ein PEEP von 5–10 mbar in Verbindung mit einem Atemhubvolumen von 6(–8) ml/kg KG und eine Vermeidung von Beatmungsspitzen drücken oberhalb von 30 mbar ist eine sinnvolle Einstellung, egal ob der Patient pulmonal krank ist oder aufgrund anderer Ursache beatmet wird.

Maximaler Inspirationsdruck (P_{\max})

Während bei der druckkontrollierten Beatmung der Inspirationsdruck (P_{insp}) durch den Anwender vorgegeben wird, ergibt sich bei der volumenkontrollierten Beatmung der **inspiratorische Spitzendruck** aus dem vorgegebenen Atemhubvolumen. Gerade bei einer vorgeschädigten Lunge ist aber auf die Vermeidung von zu hohen Beatmungsdrücken zu achten. Generell gilt, **dass bei Erwachsenen ein Beatmungsdruck von 30 mbar dauerhaft nicht überschritten** werden sollte. Daher ist dringend anzuraten, eine **inspiratorische Druckbegrenzung (P_{\max})** einzustellen. Als Anhaltswert gilt, dass diese auf den Wert eingestellt werden sollte, der 10 mbar oberhalb des Drucks liegt, der mit einem normalen Beatmungshub erzielt wird. Andere Experten empfehlen hingegen aus Gründen der Patientensicherheit, die inspiratorische Druckbegrenzung so niedrig wie möglich einzustellen.

Flow (Inspirationsflow)

Der englische Begriff **Flow** heißt so viel wie Fluss und bezeichnet hier die **Geschwindigkeit**, mit der das Atemgas in die Lunge hinein- oder herausströmt. Der Flow wird in **l/Min.** angegeben. Ein Vergleich verdeutlicht, was dieser im Kontext zur Atmung/Beatmung bedeutet: Wenn man sehr ruhig atmet, strömt die Luft langsam in die Lunge hinein und heraus. Dementsprechend liegt ein niedriger Flow vor. Wenn wir bewusst sehr kräftig atmen, ist der Flow höher. Der Flow kann aber im Rahmen von krankhaften Prozessen verlangsamt sein, z. B. beim Asthmatiker, der langsamer ausatmet, weil der Atemwegswiderstand erhöht ist (erhöhte Resistance, [Kap. 19.1.2](#)).

Zugleich ist der Flow jedoch auch ein Parameter, der bei leistungsfähigeren Beatmungsgeräten vom Anwender eingestellt werden kann, er wird dann **Inspirationsflow** (auch: Peak Flow) genannt.

Merke

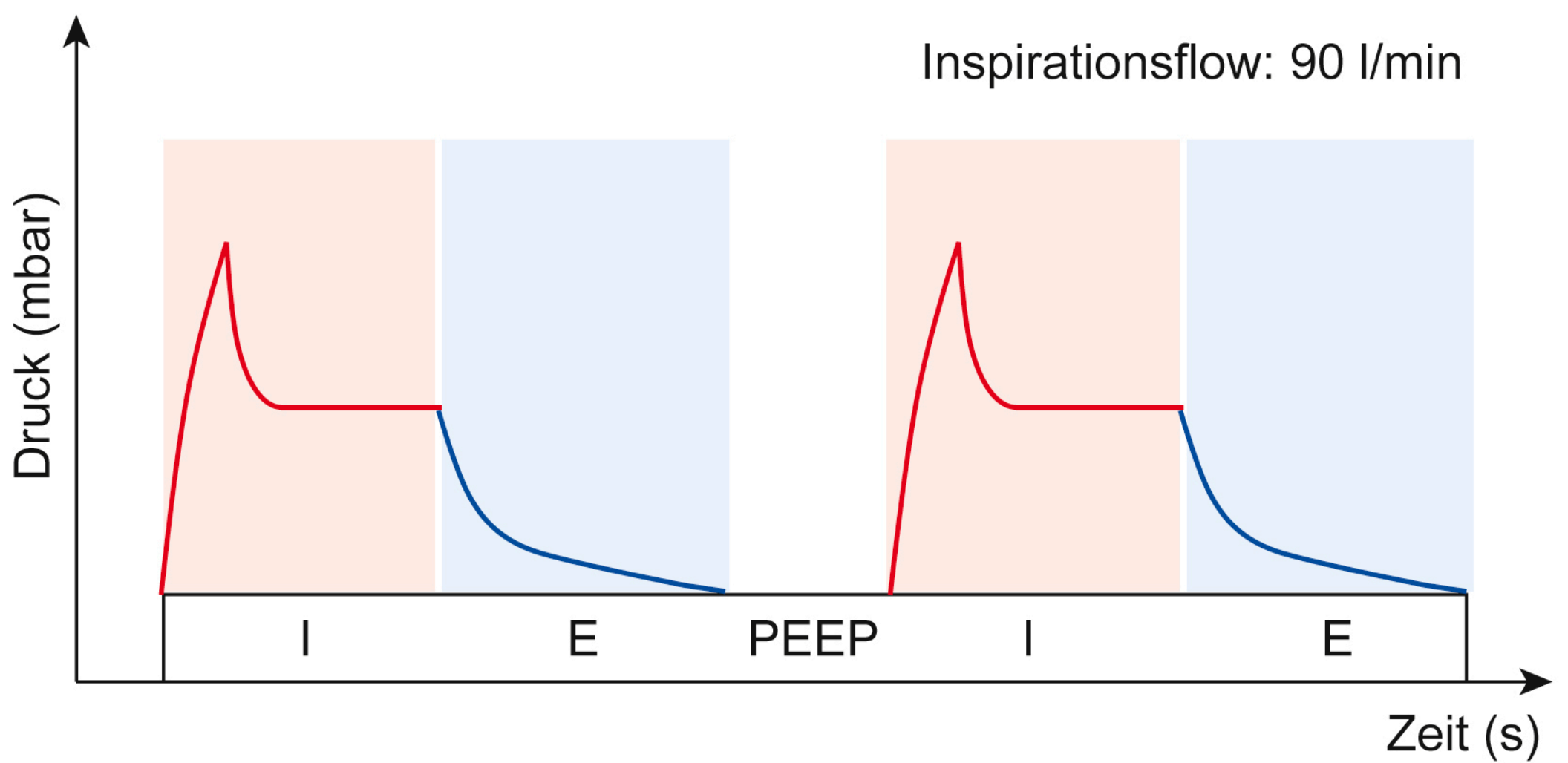
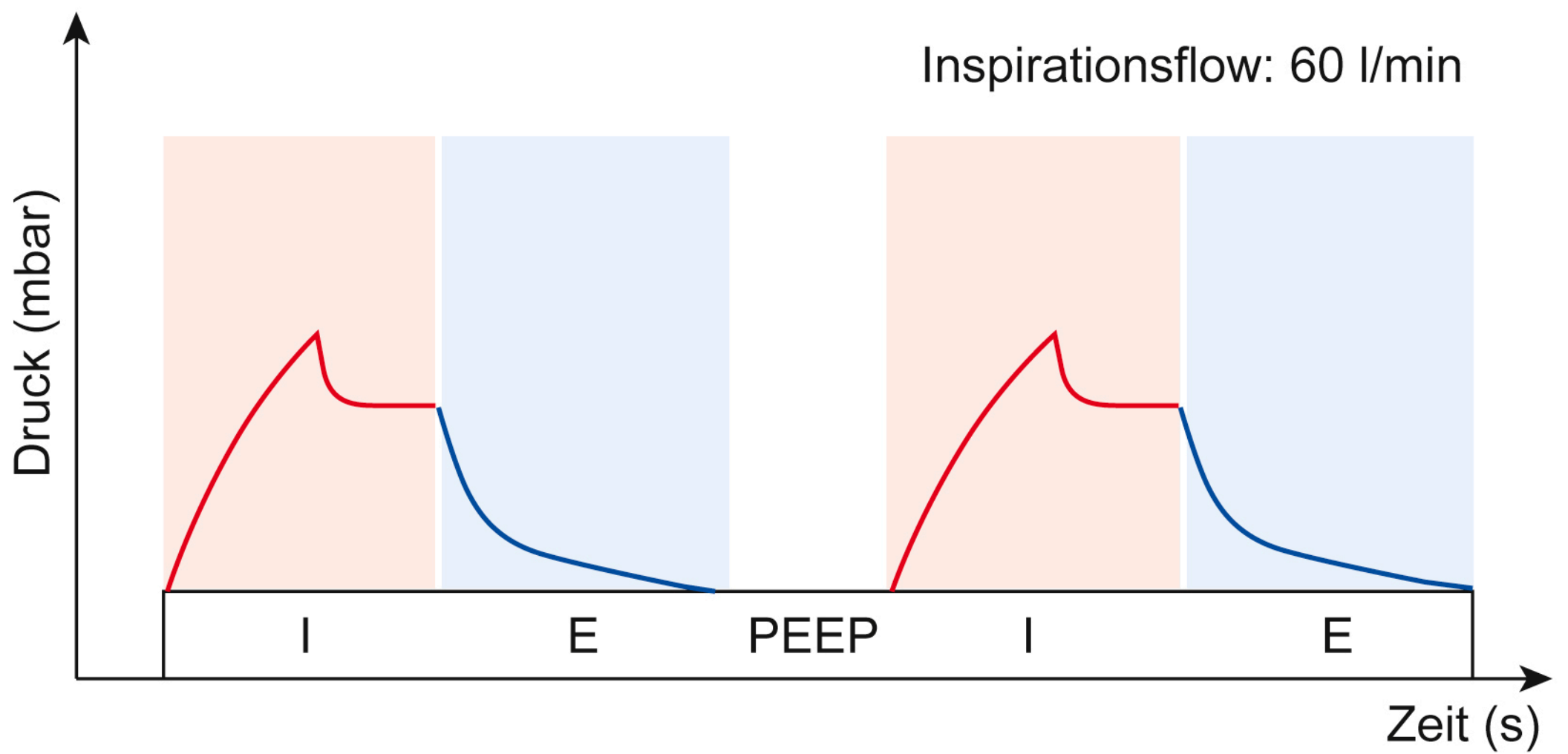
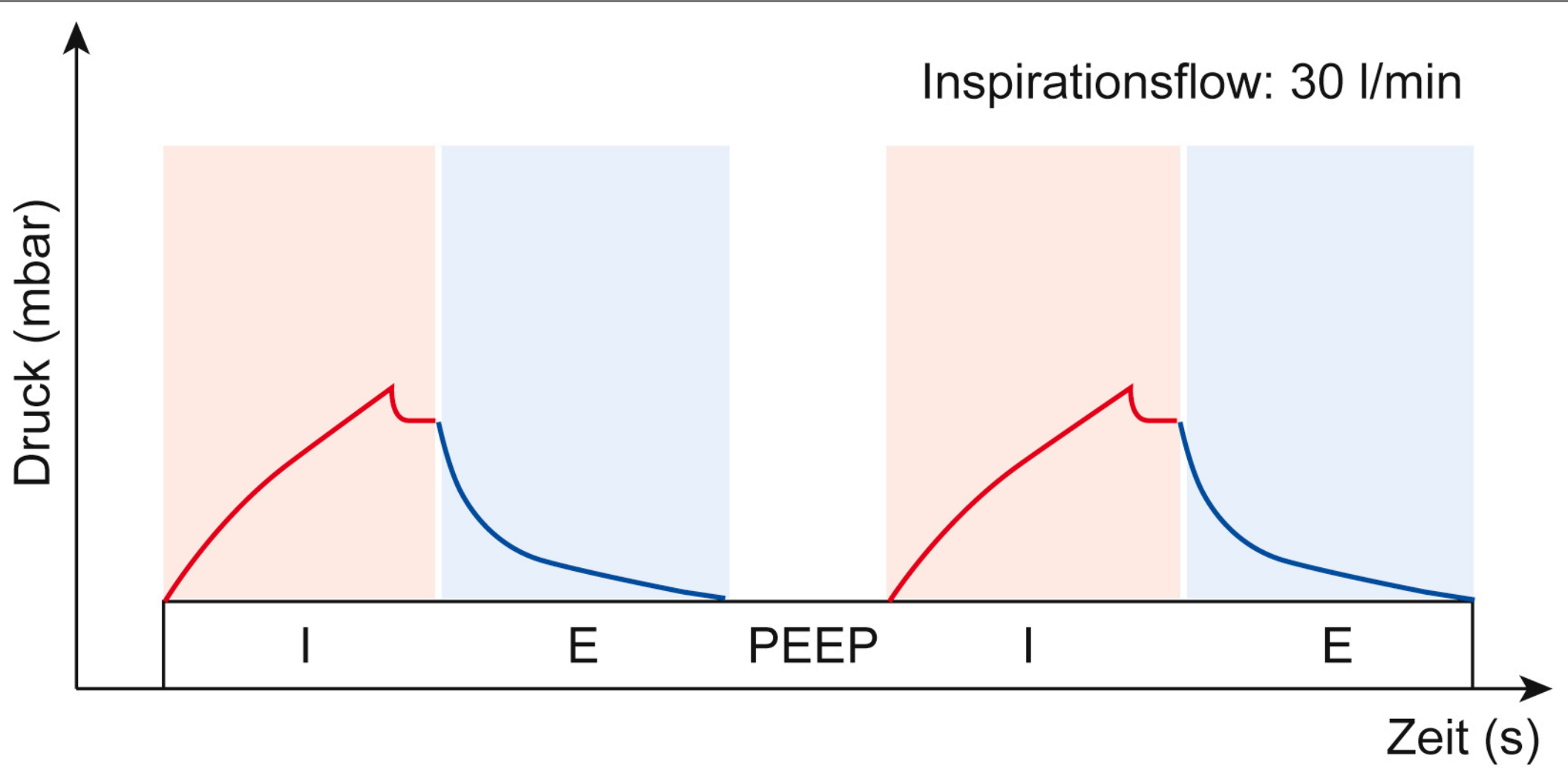
Der Inspirationsflow ist nur bei **volumenkontrollierten** Beatmungsmustern einstellbar, während bei druckkontrollierten Beatmungen die **Druckanstiegszeit** (sog. **Rampe**, empfohlene Standardeinstellung: 0,2 Sek.) eingestellt werden kann. Im Prinzip bewirkt eine kurze Druckanstiegszeit den gleichen Effekt wie ein hoher Inspirationsflow.

Ein niedriger Inspirationsflow ermöglicht eine Beatmung mit niedrigen Drücken. Je niedriger der Flow ist, mit dem das vorgegebene Atemhubvolumen in der vorgegebenen Zeit erreicht werden kann, desto besser. Je höher der Flow ist, umso schneller füllt sich die Lunge mit dem Atemgas, und desto höher ist auch der inspiratorische Spitzendruck (was unerwünscht ist, [Abb. 19.11](#)). Außerdem führt ein hoher Inspirationsflow zu einer ungleichmäßigen (inhomogenen) Verteilung des Atemgases, sodass es in den „schnellen“ Lungenabschnitten zu einer Überblähung, in den „langsamen“ Lungenabschnitten zu einer unzureichenden Belüftung kommen kann. Empfohlen wird für kontrollierte (mandatorische) Beatmungsformen ein Inspirationsflow im Bereich von 30–50 l/Min., für Spontanatmungsformen 45–

90 Liter/Min. Oft arbeitet man bei der Beatmung von Notfallpatienten im Rettungsdienst mit der vom Gerätehersteller vorgegebenen Einstellung. Der Oxylog[®] 2000 plus bietet (je nach Versorgungsdruck) z. B. einen maximalen Flow von 80 l/Min. bzw. 100 l/Min.

Einfluss des Inspirationsflows auf den inspiratorischen Spitzendruck: Die Grafik verdeutlicht, wie sich der Beatmungsdruck bei einer volumenkontrollierten Beatmung in Abhängigkeit vom Inspirationsflow verändert. Man erkennt in der oberen Grafik einen flachen Druckanstieg und ein sehr kurzes endinspiratorisches Plateau. In den anderen Grafiken (Mitte, unten) ist ein zunehmend steiler Druckanstieg zu beobachten, außerdem nimmt der Atemwegspitzendruck zu und die Plateauphase wird länger.

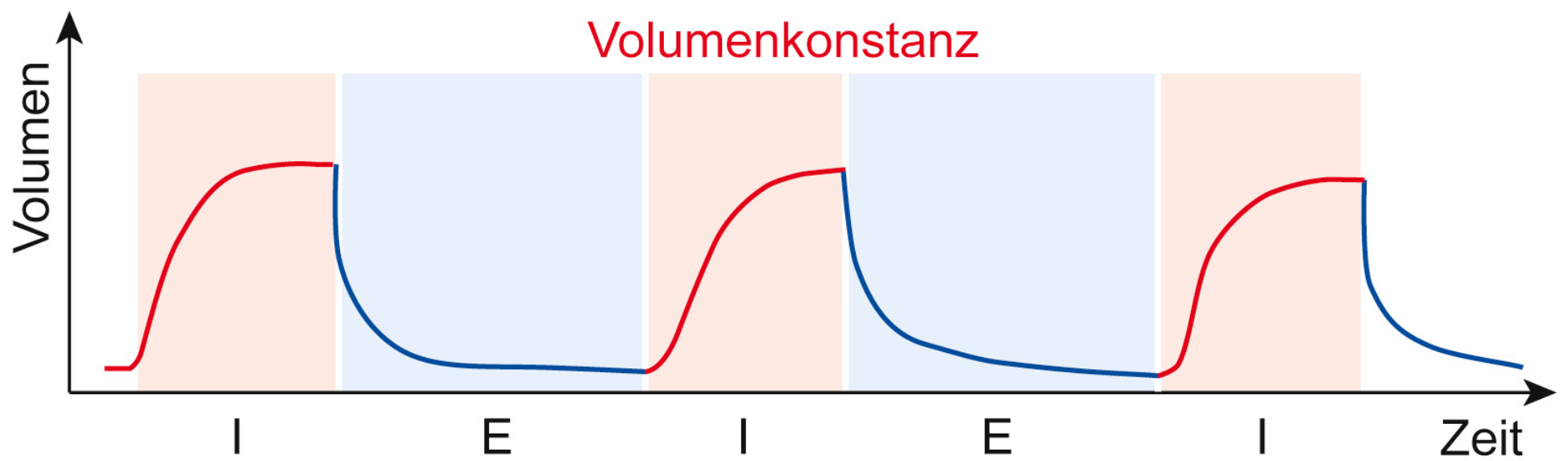
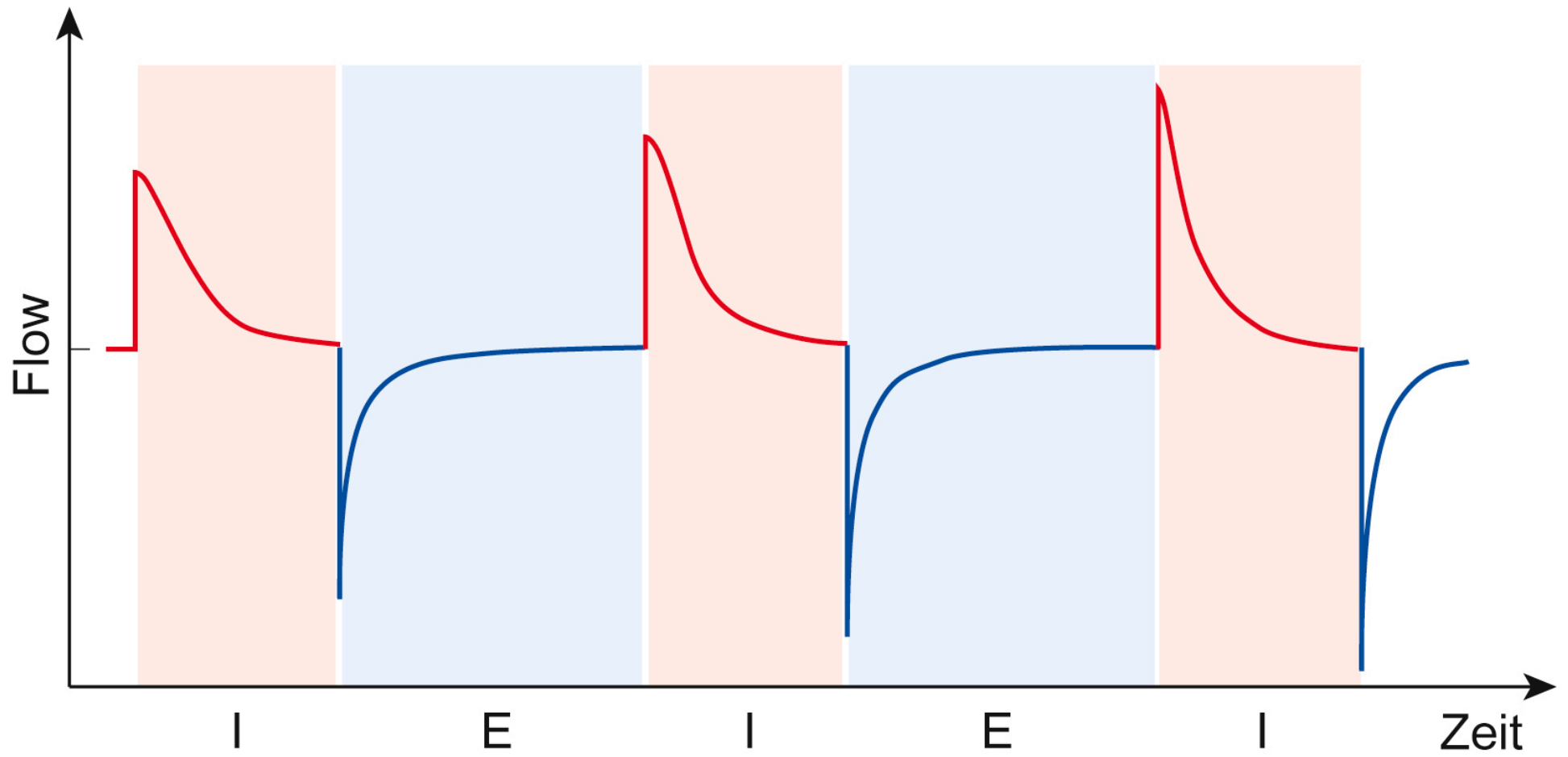
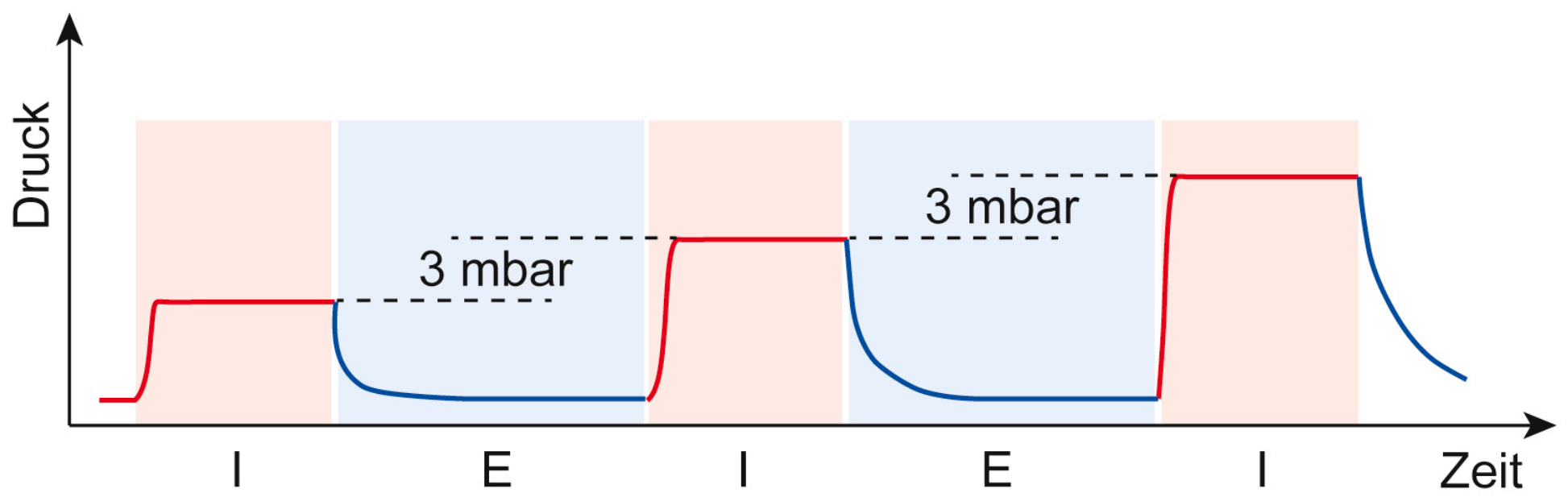
[L143]



AutoFlow[®] ist eine Zusatzoption der Dräger Evita, im Rettungsdienst ist der Oxylog[®] 3000 plus damit optional ausrüstbar. Mit AutoFlow[®] wird der Inspirationsflow im Rahmen der volumenkontrollierten Beatmung **automatisch** gesteuert. Das Beatmungsgerät passt den Inspirationsflow an die Lungensituation so an, dass er einerseits so niedrig ist, dass hohe Spitzendrücke vermieden werden, und dass er andererseits so hoch ist, dass das eingestellte Atemhubvolumen erreicht wird. Somit handelt es sich um eine **druckregulierte volumenkonstante** Beatmung ([Abb. 19.12](#)). Wie bei der druckkontrollierten Beatmung resultiert ein **dezelerierendes** Flowmuster. Eine manuelle Einstellung des Inspirationsflows entfällt. Außerdem kann der Patient während des gesamten Atemzyklus mitatmen.

Druck-, Flow- und Volumenkurve einer druckregulierten volumenkonstanten Beatmung: Wird das eingestellte Atemhubvolumen nicht erreicht, passt das Beatmungsgerät den Plateaudruck beim folgenden Atemhub an, indem dieser z. B. nach und nach erhöht wird. Die druckregulierte volumenkonstante Beatmung wird auch Pressure Regulated Volume Controlled Ventilation (PRVC) genannt.

[L143]



Beim Oxylog[®] 3000 plus hat der P_{\max} -Regler bei Verwendung von AutoFlow[®] folgende Funktion: Der inspiratorische Druck steigt nicht höher als auf einen Druck von 5 mbar unterhalb der oberen Alarmgrenze für den Atemwegsdruck. Kann das festgelegte VT aufgrund dieser Druckgrenze nicht erreicht werden, löst AutoFlow[®] den Alarm „VT tief“ aus und eine entsprechende Meldung wird angezeigt.

Die Effekte einer PEEP-Anwendung (bzw. CPAP) sind ausführlich in [19.3.1](#) besprochen. Angemerkt sei, dass aus atemphysiologischen Überlegungen auch bei der Beatmung eines lungengesunden Patienten ein PEEP von ≥ 5 mbar eingestellt werden sollte, da dies zur Aufrechterhaltung der funktionellen Residualkapazität (FRC) beiträgt. Bei Patienten mit Adipositas sind PEEP-Werte ≥ 8 mbar indiziert, da hier die FRC schon deutlich herabgesetzt ist. Im hämorrhagischen Schock sollte bis zur Stabilisierung des Kreislaufs auf einen PEEP verzichtet werden. Bei Patienten, bei denen die Gefahr einer Hirndruckerhöhung besteht, sollte ein PEEP im niedrigen Bereich von z. B. 5 mbar gehalten werden.

Merke

Der Inspirationsdruck öffnet die Lunge, der PEEP hält die Lunge offen. In der intensivmedizinischen Praxis kommen PEEP-Werte bis zu 20 mbar zur Anwendung.

Trigger

Der **Trigger** soll eine Interaktion zwischen Patient und Beatmungsgerät ermöglichen. Als „triggern“ oder „Triggerung“ bezeichnet man es, wenn der Patient den **maschinellen Atemhub** innerhalb eines kontrollierten Beatmungsmusters selbst **auslöst**. Das setzt voraus, dass das Beatmungsgerät erkennt, dass der Patient versucht, spontan einzuatmen (= einen **Unterdruck aufzubauen**), wozu ein gewisses Maß an Kraft vom Patienten aufgebracht werden muss. Falls der Patient das Beatmungsgerät nicht triggert, erfolgt die Beatmung zeitgesteuert, also maschinell. Die Beatmung kann dabei je nach Einstellung volumen- oder druckkontrolliert erfolgen. Aufgrund der oben beschriebenen Eigenschaften spricht man von **assistierter kontrollierter** Beatmung. Ziel ist es, die Synchronisierung zwischen Patient und Beatmungsgerät zu verbessern. Zu diesen Beatmungsformen gehören

- VC-AC = Volume Controlled-Assist Control Ventilation,
- S-CMV = Synchronized Continuous Mandatory Ventilation,
- S-IPPV = Synchronized Intermittent Positive Pressure Ventilation und
- IPPV-Assist = Intermittent Positive Pressure Ventilation-Assist.

Technisch gesehen unterscheidet man zwischen dem **Drucktrigger** und dem **Flowtrigger**. Die Empfindlichkeit kann, sofern das Beatmungsgerät die Option bietet, vom Anwender eingestellt werden. Der Oxylog[®] 3000 plus (Flowtrigger) ist werksseitig z. B. auf einen Trigger von 3 l/Min. eingestellt.

Merke

„Die Triggerschwelle ist der Betrag, um den der Druck unter den Bezugsdruck (= PEEP) abfallen muss, damit

eine Inspiration ausgelöst wird (= Drucktrigger). Bei einem Flowtrigger wird die Triggerschwelle als Flowäquivalent in l/Min. eingestellt.“ (Rathgeber et al., 2010)

In modernen Geräten verwendet man vorrangig Flowtrigger, da die zu ihrer Auslösung erforderliche Atemarbeit (Triggerarbeit) geringer ist.

Empfohlene Triggerschwelle:

- Drucktrigger < 1 mbar unter PEEP
- Flowtrigger 2–5 l/Min.

Oxygenierungsparameter und Ventilationsparameter

Bei der Einstellung des Beatmungsgeräts muss zwischen Oxygenierungsparametern und Ventilationsparametern unterschieden werden (Tab. 19.3).

Ventilations- und Oxygenierungsparameter unter maschineller Beatmung

Tab. 19.3

Ventilationsparameter	Oxygenierungsparameter
Steuerung des CO ₂ -Gehalts	Steuerung des Sauerstoffgehalts
<ul style="list-style-type: none">• Atemhubvolumen (VT)• Inspiratorische Druckdifferenz ($P_{\text{insp}} - \text{PEEP}$)• Atemfrequenz (f)	<ul style="list-style-type: none">• $F_i\text{O}_2$• PEEP• I : E-Verhältnis

19.2 Formen der Beatmung

Die Anzahl der Beatmungsformen und die Einstellungsmöglichkeiten an modernen Respiratoren sind groß. Nicht umsonst gibt es zahlreiche Fachbücher, die sich ausschließlich mit der Beatmung beschäftigen. Dieses Kapitel soll ein allgemeines Verständnis für die Funktionsweise und die Unterschiede zwischen den im Rettungsdienst verwendeten Beatmungsformen vermitteln. Damit soll ermöglicht werden, die erworbenen Kenntnisse unabhängig vom Hersteller für die jeweiligen Geräte auf die Praxis zu übertragen.

Merke

Für die **Beatmungsformen** werden auch im deutschsprachigen Raum meistens – nicht immer – englische Begriffe bzw. deren Abkürzungen verwendet. In der Praxis hat es sich eingebürgert, diese Begriffe deutsch

auszusprechen, obwohl dies sprachlich nicht korrekt ist.

Bislang gibt es leider **keine einheitliche Terminologie** rund um die Beatmung eines Patienten. Es gibt zwar Bemühungen um eine Vereinheitlichung, aber sowohl der Begriff der künstlichen Beatmung (engl.: Artificial Respiration) als auch der Begriff der maschinellen Beatmung (engl.: Mechanical Ventilation) werden verwendet. Für den Anwender ist es hilfreich zu wissen, dass der englische Begriff „ventilation“ für Beatmung steht, während Ventilation im Deutschen eher als Oberbegriff für die Belüftung der Lungen, also Spontanatmung und Beatmung, gemeinsam genutzt wird.

Merke

Es gibt rund um die Beatmung verschiedene Begriffe, die z. T. das Gleiche bedeuten können. Die Abkürzungen PSV, ASB, PS und SPN-PS stehen alle für druckkontrollierte, patientengetriggerte und gesteuerte Beatmungsformen (Pressure Support Ventilation).

BIPAP, Bi-Level, Duo-PAP, Bi-Vent stehen für druckorientierte Beatmungsformen (Pressure Controlled Ventilation, [Kap. 19.2.1](#)), bei denen Höhe und Dauer beider Druckniveaus variabel und unabhängig voneinander eingestellt werden können.

Als Anwender muss man sich daher intensiv mit seinen Geräten beschäftigen, insbesondere dann, wenn man mit Geräten verschiedener Hersteller arbeitet. Deshalb ist es wichtig, die **Funktionsweise** der Beatmungsformen zu verstehen.

Die modernen Beatmungsgeräte, die im Krankenhaus Verwendung finden, sowie die komplexeren Notfallbeatmungsgeräte (z. B. Oxylog[®] 2000 plus/3000/3000 plus, Medumat Transport[®]) ermöglichen einen „fließenden“ Übergang von der kontrollierten Beatmung (der Patient hat keinen eigenen Atemantrieb) bis hin zur unterstützten Spontanatmung (der Patient hat einen eigenen Atemantrieb). Dies kann mit verschiedensten **Beatmungsformen** ([Tab. 19.4](#)) und Einstellungen realisiert werden, wobei viele davon im Rettungsdienst eine untergeordnete oder gar keine Rolle spielen. Einige Grundlagen soll der Notfallsanitäter jedoch kennen:

Formen der Atmung/Beatmung (nach Deden K. Beatmungsmodi in der Intensivmedizin)

Tab. 19.4

Atmung/Beatmung	Atemantrieb	Atemmuskulatur
Spontanatmung	Intakt	Suffizient
Unterstützte Spontanatmung	Intakt	Geschwächt
Mischventilation	Eingeschränkt bzw. instabil	Geschwächt
Kontrollierte Beatmung	Nicht vorhanden	Intakt oder gelähmt

- Kontrollierte oder mandatorische Beatmungsformen:
 - Volumenkontrolliert
 - Druckkontrolliert
- Spontanatmung: unterstützte Spontanatemmodi

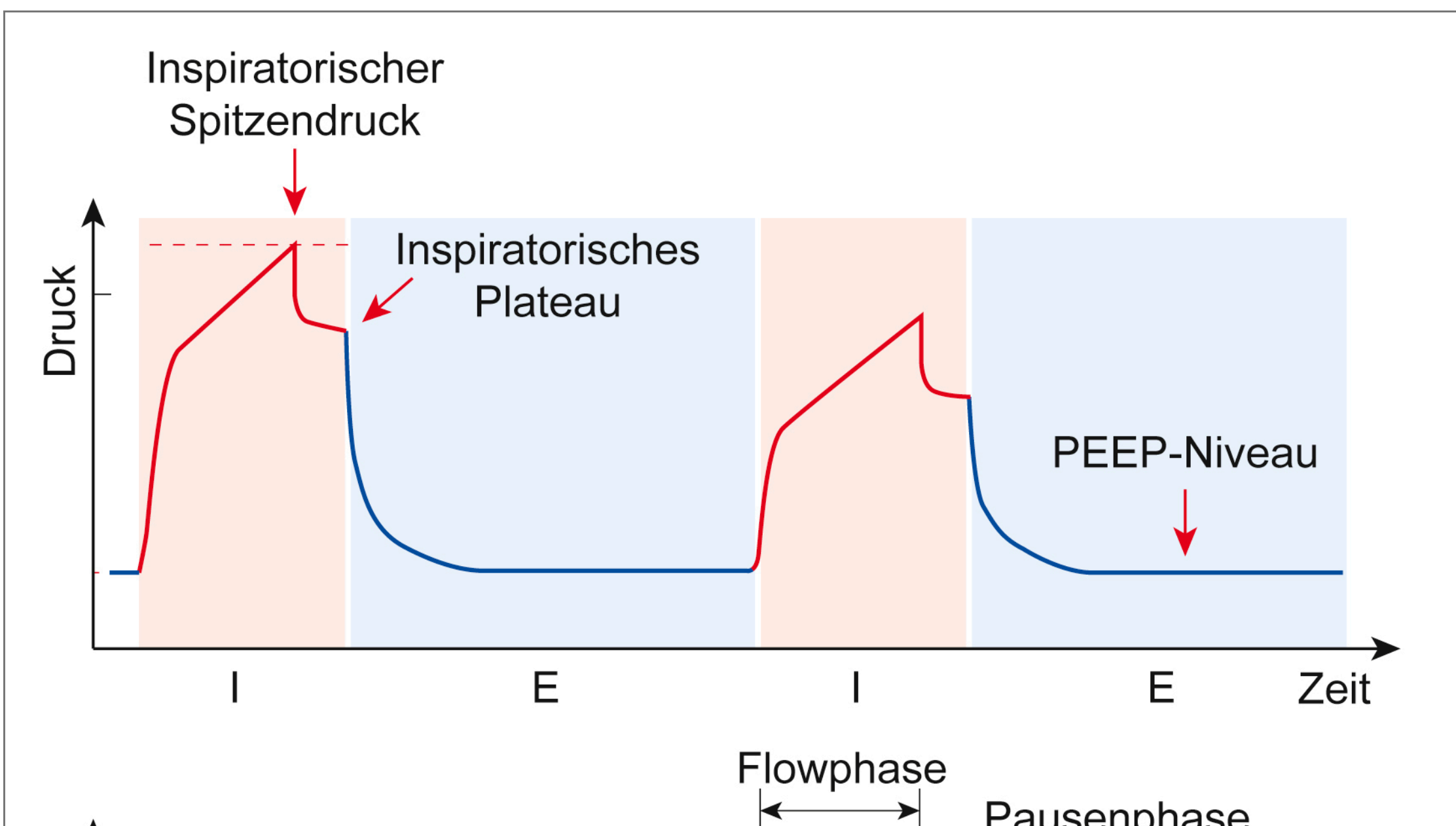
19.2.1 Kontrollierte oder mandatorische Beatmung

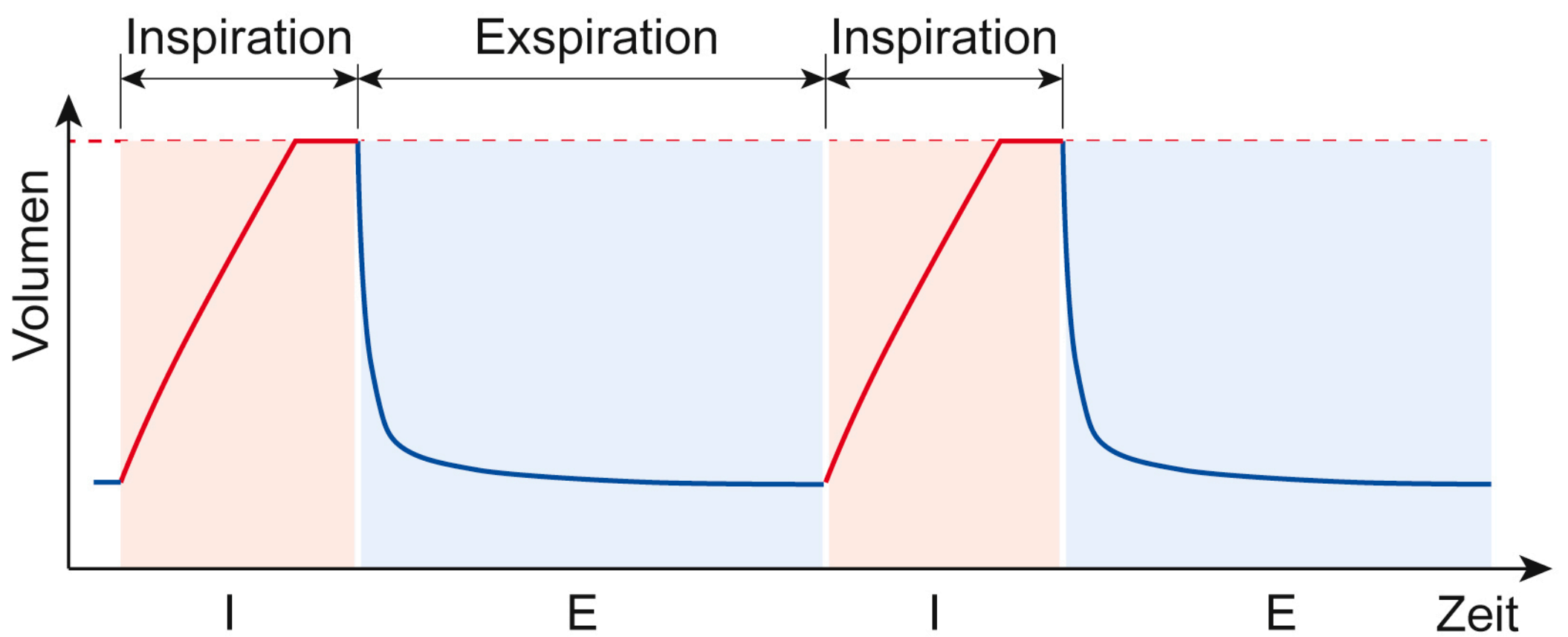
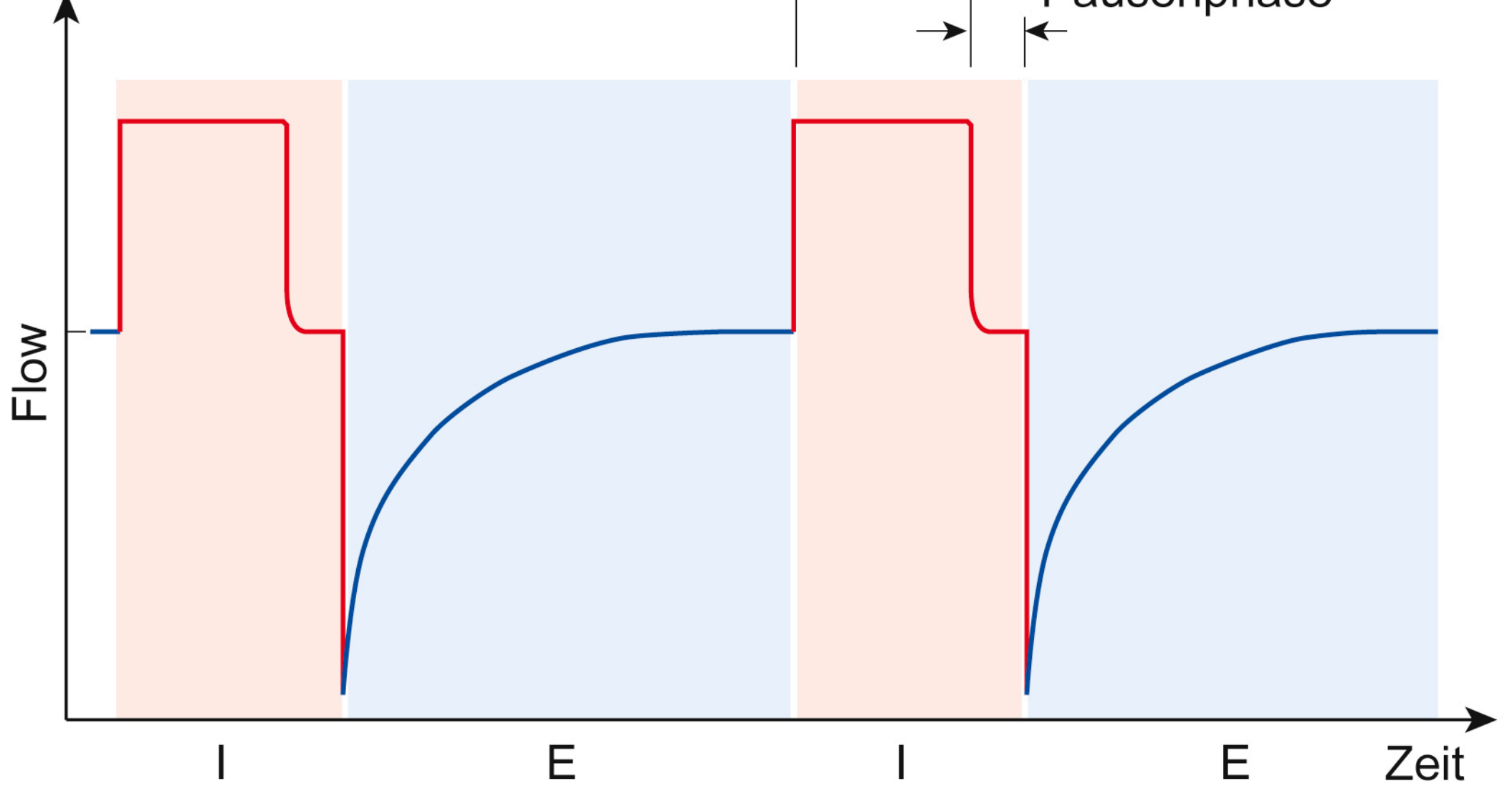
Bei der kontrollierten/mandatorischen Beatmung (Continuous Mandatory Ventilation, CMV) übernimmt das Beatmungsgerät vollständig die Beatmung der Lungen. Anders gesagt: „Das Beatmungsgerät macht alles, der Patient macht nichts“. Als unerwünschte Variante ist denkbar, dass der Patient „gegen die Maschine atmet“, etwa bei einer zu flachen Narkose. Im Rahmen einer CMV ist dies jedoch unerwünscht, da eine fehlende Synchronisierung zwischen Gerät und Patient für den Patient immer Stress bedeutet.

Mit dem Begriff **mandatorisch** wird ausgedrückt, dass die Parameter ausschließlich im Mandat des Anwenders liegen. Wie oben beschrieben, kann man bei der kontrollierten Beatmung je nach der Zielgröße die **volumenkontrollierte** Beatmung (Volume Controlled Ventilation, VCV, [Abb. 19.13](#) und [Tab. 19.5](#)) von der **druckkontrollierten** Beatmung (Pressure Controlled Ventilation, PCV) unterscheiden. Im Folgenden werden VCV und PCV näher vorgestellt.

Druck-, Flow- und Volumenkurve einer volumenkontrollierten Beatmung mit PEEP: Bei dieser Beatmungsform ist das konstante Tidalvolumen der Zielparameter. Je nachdem, wie sich Compliance und/oder Resistance verändern, verändert sich auch der Beatmungsdruck.

[L143]





Volumenkontrollierte Beatmung VC-CMV bzw. CPPV: Beispiel für eine Grundeinstellung bei einem 80 kg schweren Patient

Tab. 19.5

Parameter	Eingestellter Wert
Inspiratorischer Sauerstoffgehalt (FiO₂)	100 % (F _i O ₂ = 1,0)
Beatmungsfrequenz f/Min.	10–12
Atemhubvolumen VT *	6 ml/kg KG = ca. 500 ml
Atemminutenvolumen *	5–6 l
Inspirationsflow	30–40 l/Min.
Maximaler Inspirationsdruck Pmax	30 mbar

Atemzeitverhältnis I : E	1 : 1,5–1 : 2
PEEP	5–8 mbar

* Beachten Sie die unterschiedlichen Gerätephilosophien: Man stellt im CPPV-/VC-CMV-Modus entweder Frequenz und Atem**hub**volumen (z. B. Oxylog[®] 2000 plus/Oxylog[®] 3000 plus, Medumat[®] Transport) oder Frequenz und Atem**minuten**volumen (z. B. Medumat[®] Standard, Oxylog[®] 1000) ein. Im letzteren Fall ergibt sich das Atem**hub**volumen, indem das Atem**minuten**volumen durch die Frequenz geteilt wird.

Volumenkontrollierte Beatmung (VCV)

Merke

Die **volumenkontrollierte Beatmung** ist dadurch charakterisiert, dass stets das gleiche Atemhubvolumen (VT) verabreicht wird. Man nennt sie daher auch **volumenkonstante Beatmung**. Da die volumenkonstante Beatmung für Patienten gedacht ist, die keinen eigenen Atemantrieb mehr haben, z. B. in Narkose, ist ein weiterer Parameter die **Beatmungsfrequenz** (f/Min.). Man spricht daher auch von **Zeitsteuerung**. Somit ist ein häufig verwendetes Charakteristikum von einfacheren Notfallbeatmungsgeräten, dass sie **volumenkonstant** und **zeitgesteuert** arbeiten.

Wie oben erwähnt ist die **Zielgröße** der VCV die Verabreichung eines vom Anwender vorgegebenen **Atemhubvolumens**, das auch als Tidalvolumen (VT, V_T) bezeichnet wird. Bei manchen Beatmungsgeräten ist der entsprechende Regler daher mit „VT“ beschriftet (Dräger Oxylog[®] 2000 plus, Oxylog[®] 3000 plus). Das Beatmungsgerät liefert das VT mit einem konstanten Flow. In Abhängigkeit von der Lungenmechanik und natürlich der Größe des eingestellten VT entsteht daraus der **Inspirationsdruck**. Der Anwender stellt außerdem ein, mit welcher Frequenz (f/Min.) die mandatorischen Hübe verabreicht werden. Je nach Ausstattung des Geräts ist das Atemzeitverhältnis (I : E-Verhältnis) fest vorgegeben und nicht veränderbar (z. B. 1 : 1,5 beim Oxylog[®] 1000, 1 : 1,67 beim Medumat[®] Standard, 1 : 1,7 beim Medumat[®] Standard²). Bei den leistungsfähigeren Geräten ist das Atemzeitverhältnis einstellbar, teilweise schon in Bereiche hinein, deren Sinn schwer nachvollziehbar ist. Darüber hinaus wird vom Anwender aus Gründen der Sicherheit ein **maximaler inspiratorischer Atemwegsdruck** P_{max} am Gerät eingestellt. Wird dieser Druck erreicht, gibt das Gerät Alarm. Je nach Gerät besteht außerdem die Möglichkeit, eine **Plateauzeit** (T_{plat}) einzustellen, die in % der Inspirationszeit angegeben ist.

Merke

Zu den **Vorteilen** der volumenkontrollierten Beatmung gehört, dass diese eine volumenkonstante (und somit

„einfache und sichere“) Beatmung gewährleistet. Dies ist gerade in der Notfallmedizin oft gewünscht und beim lungengesunden Patienten auch „ausreichend“. Bei bestimmten Patienten ist die Konstanthaltung des CO₂-Partialdrucks im Blut wichtig, etwa beim Schädel-Hirn-Trauma.

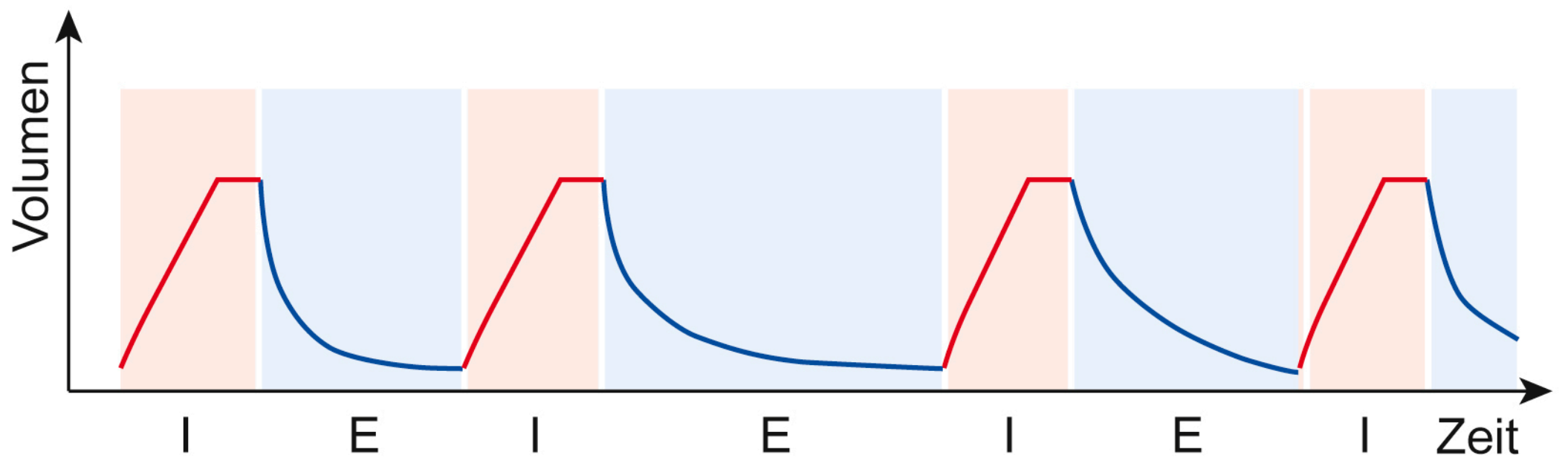
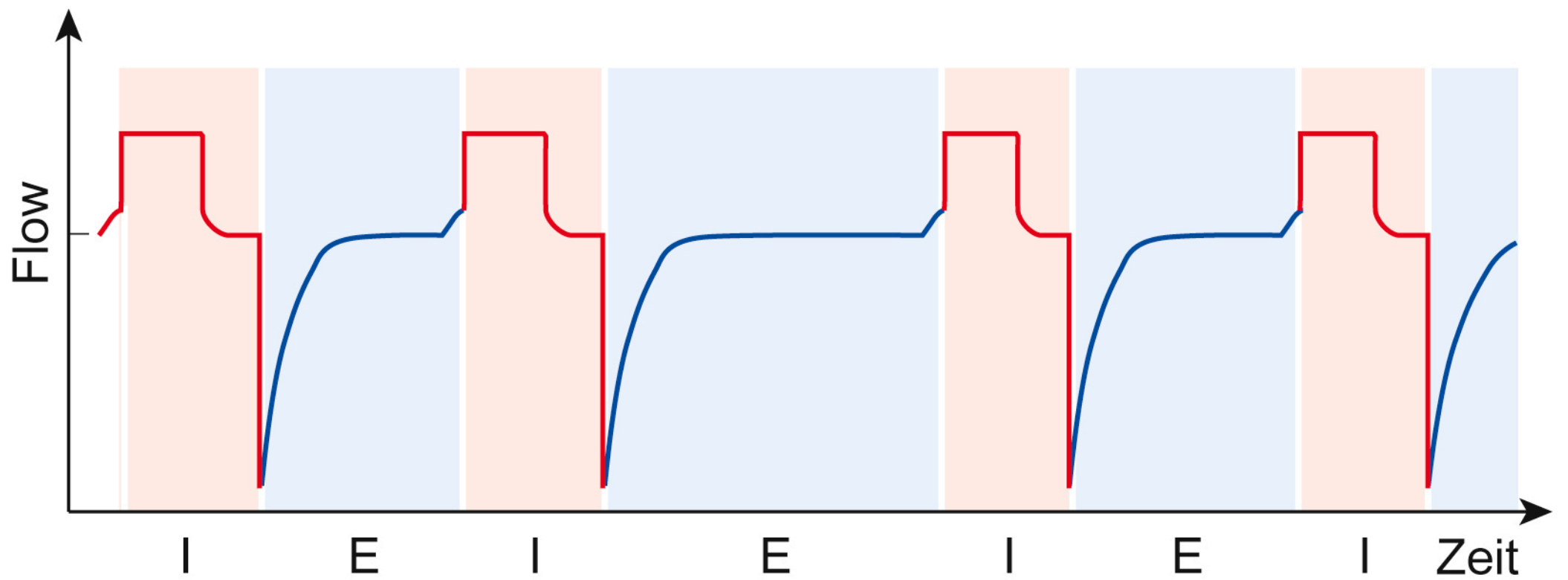
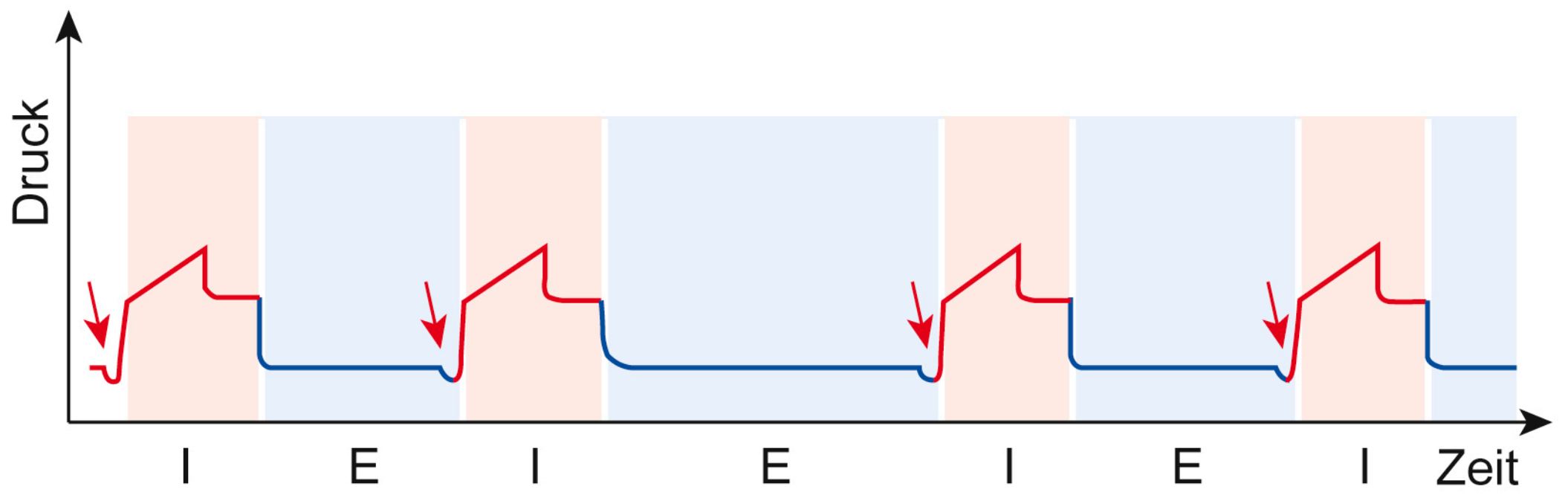
Zu den **Nachteilen** gehört, dass eine verschlechterte Lungensituation zu einer Erhöhung des Beatmungsdrucks führt und damit zu einer Erhöhung des Drucks im Brustkorb. Dies kann den Kreislauf beeinträchtigen, vor allem aber fürchtet man die inhomogene Atemgasverteilung mit daraus resultierenden Lungenschäden. Bei obstruktiven Ventilationsstörungen gilt die volumenkontrollierte Beatmung sogar als kontraindiziert, da die Gefahr besteht, dass sich ein intrinsischer PEEP entwickelt.

Um den Beatmungsmodus genauer zu beschreiben, verwendet man mitunter Zusätze zum Akronym. So heißt es dann z. B. bei den neueren Dräger-Beatmungsgeräten VC-CMV (volumenkontrollierte maschinelle Beatmung) oder VC-AC (volumenkontrollierte assistierte maschinelle Beatmung). Andere ältere, jedoch noch geläufige Bezeichnungen sind IPPV (Intermittent Positive Pressure Ventilation) bzw. IPPV-Assist oder CPPV (Continuous Positive Pressure Ventilation, dies entspricht einer IPPV mit PEEP).

Ein volumenkontrolliertes Beatmungsmuster, welches eine etwas bessere Synchronisierung zwischen Patient und Beatmungsgerät erreichen soll, ist VC-AC (AC = Assist/Control). Hierbei werden dem Patienten ebenfalls mandatorische Beatmungshübe verabreicht, jedoch mit dem Unterschied, dass der Patient diese selbst auslösen (triggern) kann. Tut der Patient dies nicht, werden die Beatmungshübe vom Beatmungsgerät zeitgesteuert verabreicht ([Abb. 19.14](#)).

Volumenkontrollierte assistierte maschinelle Beatmung (VC-AC): Der Patient kann die maschinellen Beatmungshübe selbst triggern, eine weitergehende Beeinflussung durch ihn ist nicht möglich.

[L143]



Druckkontrollierte Beatmung (PCV, PC-CMV)

Gängige Bezeichnungen sind **Pressure Controlled Ventilation** (PCV) oder **Pressure Controlled Continuous Mandatory Ventilation** (PC-CMV). Hierbei ist die vom Anwender einzustellende **Zielgröße** der **Inspirationsdruck**. Sobald dieser Druck erreicht ist, wird er für die **Dauer der Inspirationszeit** aufrechterhalten. Der anfangs hohe **Flow** (= Geschwindigkeit des vom Respirator gelieferten Frischgases in l/Min.) nimmt mit zunehmender Füllung der Lunge

ab. Das erreichte Atemhubvolumen (VT) hängt in diesem Fall davon ab, wie die Atemmechanik der Lunge beschaffen ist. Je nach eingestelltem inspiratorischen Druckniveau verändert sich das VT: je höher der Druck, umso höher das applizierte Volumen (zumindest in gewissen Grenzen). Änderungen der Lungenmechanik führen zu Änderungen des verabreichten Atemhubvolumens. Das bedeutet, dass druckkontrollierte Beatmungen stets **volumeninkonstant** sind und man die verabreichten Volumina unbedingt beobachten muss. Sinnvollerweise geschieht dies durch Einstellung geeigneter Alarmgrenzen am Respirator. Es gilt auch hier: Angestrebt wird ein VT von 6 ml/kg KG Idealgewicht.

Merke

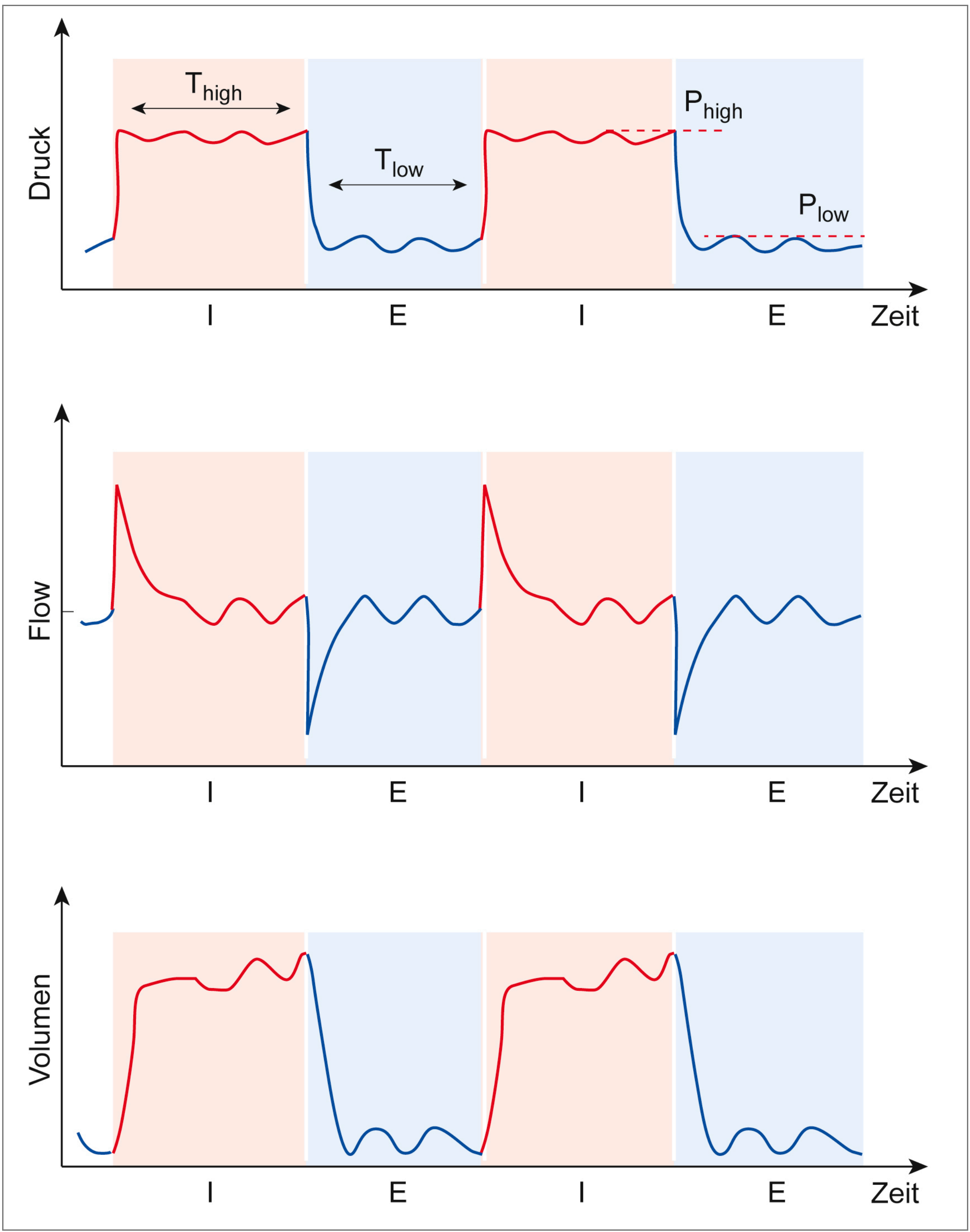
Betrachtet man bei einer druckkontrollierten Beatmung die **Flowkurve**, kann man erkennen, dass bei gleichbleibendem Inspirationsdruck der Flow im Lauf der Inspiration abnimmt. Daher wird er als **dezelerierender** (abnehmender) Flow bezeichnet. Viele Experten glauben, dass sich dadurch das verabreichte Gas in der Lunge schonender und besser verteilt, als bei der volumenkonstanten Beatmung mit kontinuierlichem Flow. Die druckkontrollierte Beatmung gilt als die **Beatmungsform der Wahl** der kranken Lunge.

Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP)

Eine verbreitete Variante der druckkontrollierten Beatmung ist **Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP)**. Andere Begriffe sind Bi-Level, Duo-PAP und Bi-Vent.

Das Besondere an BIPAP ist, dass der Patient im Vergleich zur „herkömmlichen“ druckkontrollierten Beatmung **spontan atmen** kann (aber nicht muss). Somit kann BIPAP einerseits in einer „Die Maschine macht alles, der Patient nichts“-Situation (z. B. als kontrollierte Beatmungsform in der Intensivmedizin), als auch im Rahmen der NIV angewendet werden, bei der der Patient **wach** ist. Dies ist der wesentliche Unterschied zur „herkömmlichen“ druckkontrollierten Beatmung, bei der ein spontanes Mitatmen nicht möglich ist. Bei der BIPAP-Beatmung wird mit zwei Druckniveaus beatmet, deren Höhe und Dauer variabel einstellbar sind. Dadurch, dass sowohl Inspirations- als auch Expirationsventil während des gesamten Atemzyklus virtuell geöffnet bleiben, kann der Patient jederzeit auf beiden Druckniveaus atmen. Der Respirator erkennt spontane Atembemühungen und regelt den Gasfluss entsprechend, sodass der obere und der untere Atemwegsdruck erhalten bleibt. Motto: „Mitatmen statt dagegen atmen“. BIPAP kombiniert im Grunde zwei unterschiedliche CPAP-Niveaus miteinander. Es gilt jedoch: Sofern der Patient keine Spontanatmung hat, ist BIPAP eine druckkontrollierte Beatmung ([Abb. 19.15](#) und [Tab. 19.6](#)).

Druck-, Flow- und Volumenkurve von BIPAP (Bi-Level, Duo-PAP, Bi-Vent): Hierbei wechseln sich zwei unterschiedliche Druckniveaus ab, die sowohl hinsichtlich der Höhe der beiden Drücke als auch ihres zeitlichen Verlaufs variabel eingestellt werden können. Der Patient kann jederzeit mitatmen.



Druckkontrollierte Beatmung – hier mit PC-BIPAP (Bi-Level, Duo-PAP, Bi-Vent): Beispiel für eine Grundeinstellung bei

Tab. 19.6

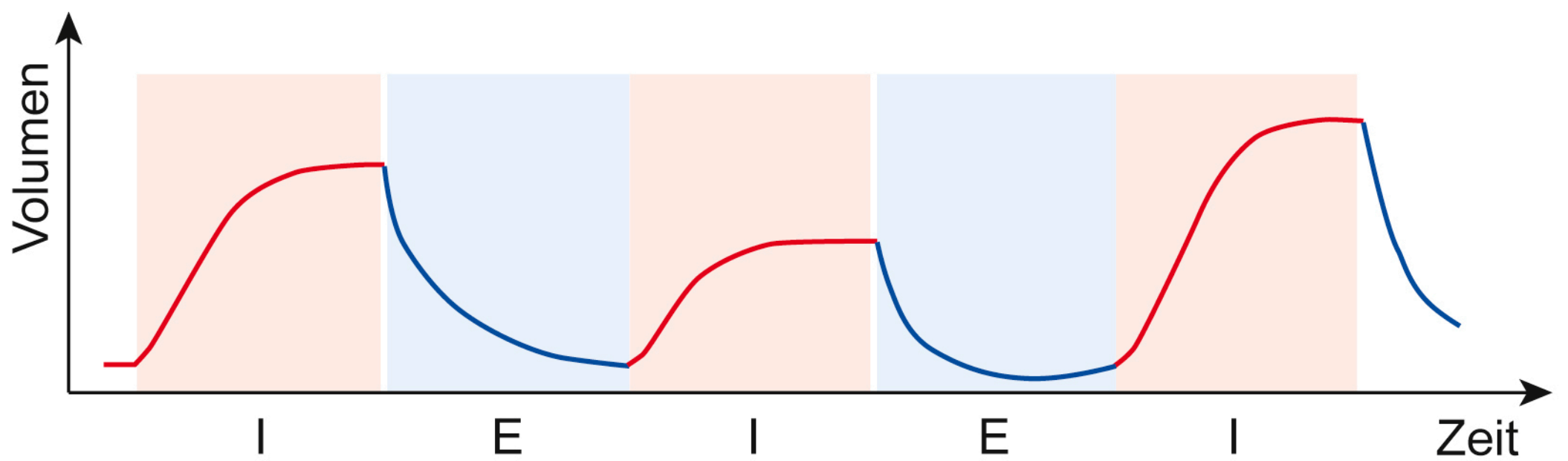
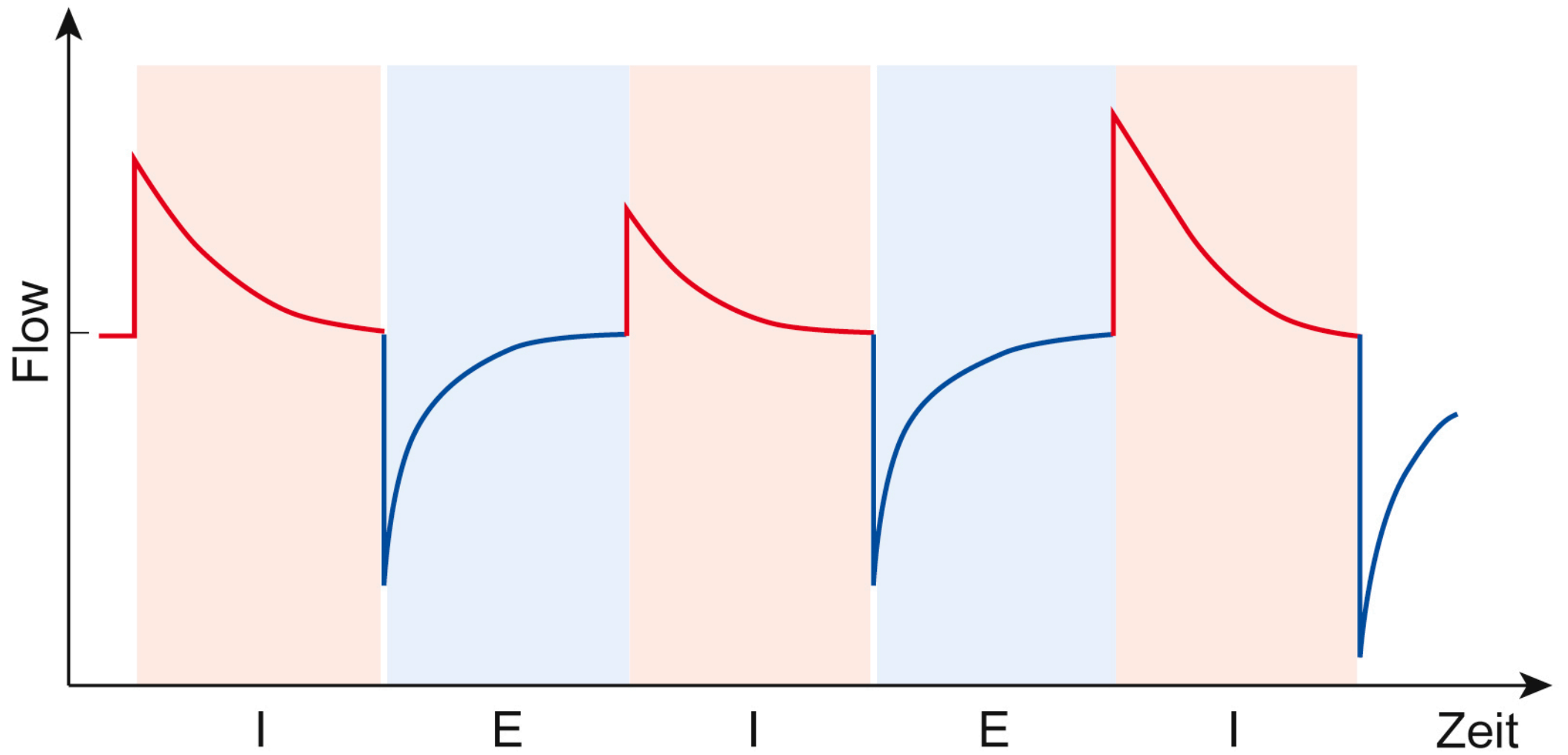
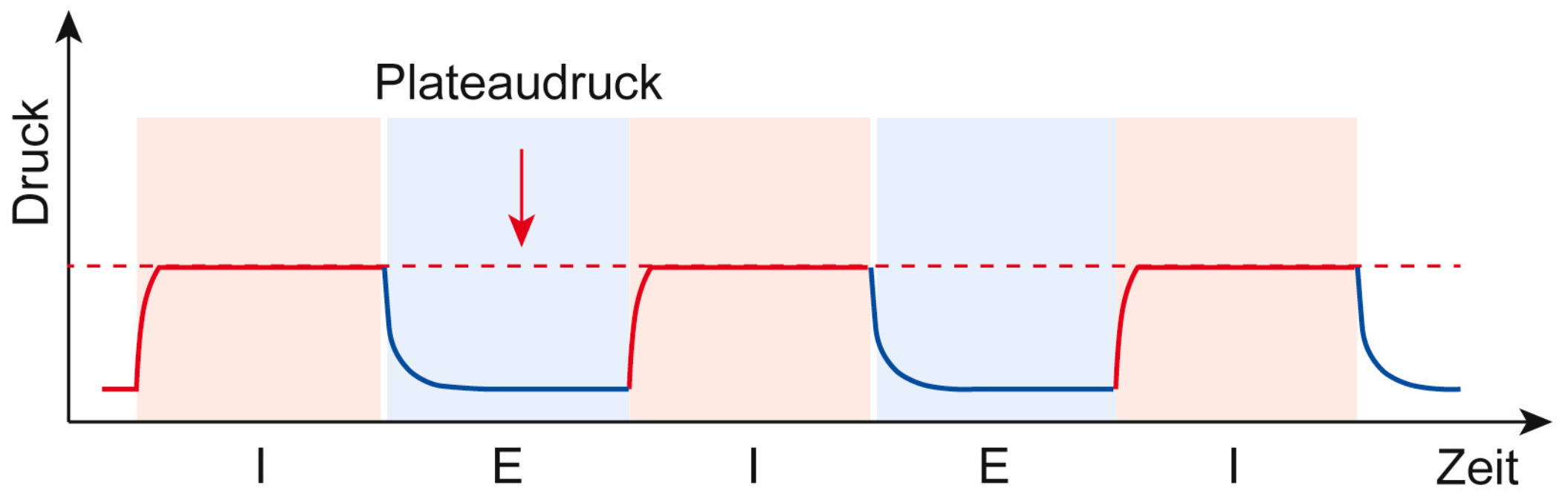
Parameter	Eingestellter Wert
Inspiratorischer Sauerstoffgehalt (FiO₂)	100 % (F _i O ₂ = 1,0)
Beatmungsfrequenz f/Min.	10–12
Oberes Druckniveau (P_{insp})[*]	10–15 mbar über PEEP
Unteres Druckniveau (= PEEP)	5–8 mbar
Druckanstiegszeit („Rampe“)	0,2 Sek.
Atemzeitverhältnis I : E	1 : 1,5 bis 1 : 2

* Das obere Druckniveau wird so eingestellt, dass das hierdurch verabreichte Atem**hub**volumen etwa 6 ml/kg **Ideal**-KG entspricht, also wie bei CPPV bzw. VC-CMV. Bei einer druckkontrollierten Beatmung sollte genau beobachtet werden, wie sich das Atemhubvolumen verhält. Nimmt die Compliance ab und/oder die Resistance zu, führt das dazu, dass weniger Volumen mit dem eingestellten Druck erreicht wird.

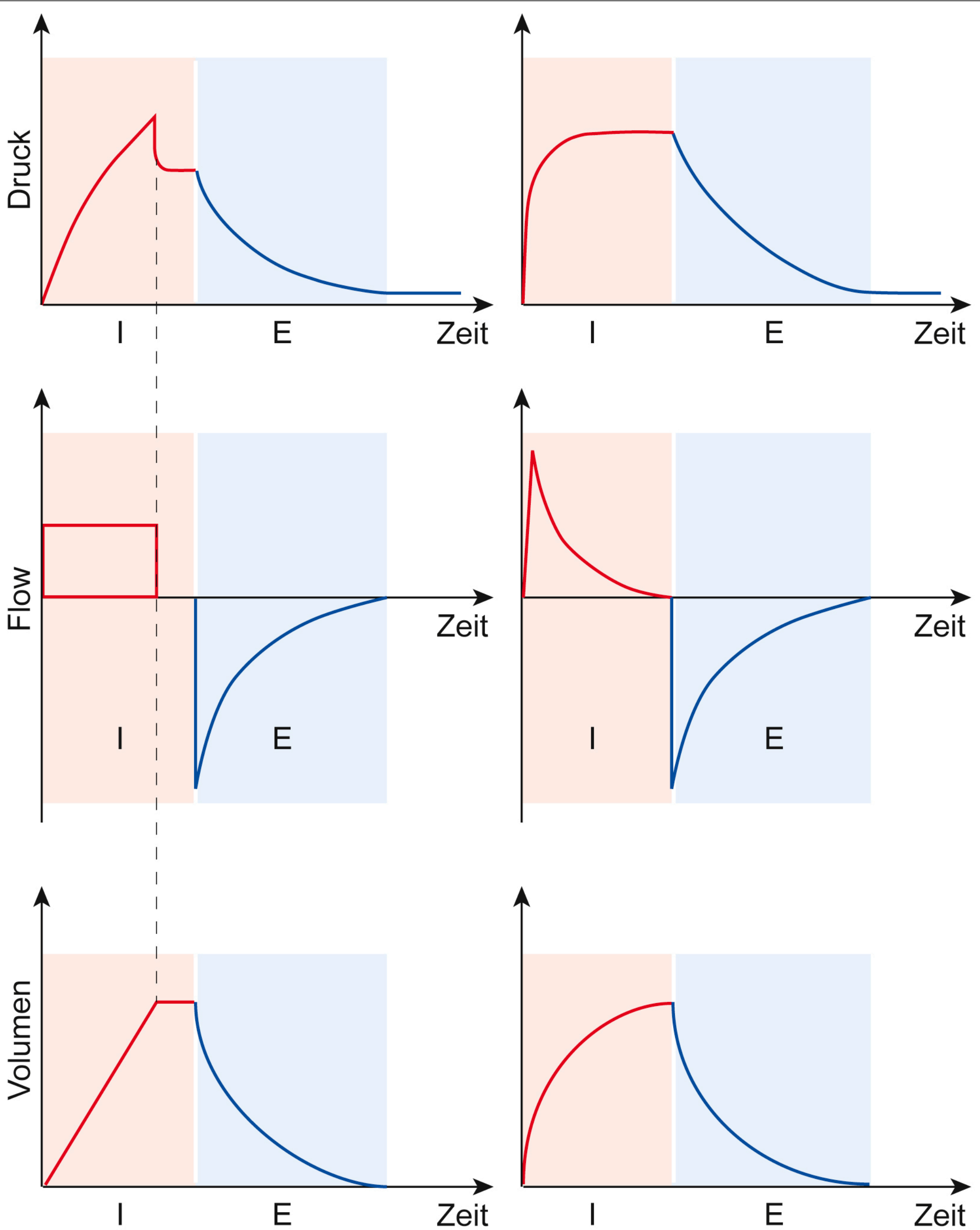
Herkömmliche druckkontrollierte Beatmung

Ein wesentlicher Unterschied zu BIPAP (Bi-Level, Duo-PAP, Bi-Vent) besteht bei der Pressure Controlled Ventilation (PCV) darin, dass der Patient nicht spontan mitatmen kann. Ansonsten ist auch hier die Zielgröße der **Inspirationsdruck**. Weitere vom Anwender einzustellende Werte sind die Atemfrequenz, PEEP, das I : E-Verhältnis und der F_iO₂. Ein typisches Beispiel für PCV ist die Beatmung während der Narkose, sofern der Anästhesist druckkontrolliert beatmen möchte, jedoch keine Spontanatmung stattfindet ([Abb. 19.16](#) und [Abb. 19.17](#)).

Druck-, Flow- und Volumenkurve einer druckkontrollierten Beatmung: Hierbei ist der Druck die Zielgröße. Sobald der vom Anwender eingestellte Plateaudruck erreicht wurde, nimmt der Flow kontinuierlich ab: Er dezeleriert. Je nachdem, wie sich die Compliance und/oder Resistance verändern, verändert sich auch das applizierte Tidalvolumen. Es ist daher stets volumen**in**konstant.



Volumen- und druckkontrollierte Beatmung im Vergleich: Dargestellt ist die Druck-, Flow- und Volumenkurve einer volumenkontrollierten Beatmung (links) und einer druckkontrollierten Beatmung (rechts).



Merke

Die Zielgröße ist nicht gleich der Steuergröße. Bei der maschinellen Beatmung gibt es verschiedene Steuergrößen. Betrachten wir eine Steuergröße, die bestimmend dafür ist, dass die **Inspiration beginnt**. Den

Inspirationsreiz kann der Patient selbst setzen (vorausgesetzt, er schafft das). Das Gerät erkennt hier seinen Versuch, einzuatmen (**patientengetriggerte** Hübe). Den Beginn der Inspiration kann aber auch die Maschine festlegen. Hier erfolgt die Abgabe des Atemhubs ohne Aktivität des Patienten (**maschinengetriggerte** Hübe). Letzteres ist bei der kontrollierten Beatmung gegeben (z. B. VC-CMV, IPPV, CPPV), etwa im Rahmen der Intubationsnarkose. Hier übernimmt das Beatmungsgerät 100 % der Arbeit (Tab. 19.5). In diesem Fall ist der Umschaltmechanismus stets die **Zeitsteuerung** (die sich z. B. über die eingestellte Beatmungsfrequenz $f/\text{Min.}$ ergibt). Die **Zielgröße** hingegen ist bei einer **volumenkontrollierten** Beatmungsform das **Tidalvolumen** (VT) und bei einer **druckkontrollierten Beatmungsform** der Inspirationsdruck.

19.2.2 Unterstützte Spontanatmung

Bei der maschinell unterstützten Spontanatmung wird die Belüftung der Lungen, und damit die Atemarbeit, zu einem Teil von der Maschine unterstützt. Ein gewisser Atemanteil, der allerdings ziemlich **variieren** kann, wird noch vom spontan atmenden Patienten aufgebracht. Formen der maschinell unterstützten Spontanatmung gibt es in der Intensivmedizin sehr viele. Für den Rettungsdienst sind nur wenige interessant.

CPAP

Aus Sicht des Notfallsanitäters besteht die apparative (z. B. mit Boussignac-System) oder maschinelle Unterstützung der Spontanatmung (mit dafür geeigneten Beatmungsgeräten) vor allem in der Anwendung von **CPAP**, da die Kenntnis dieser Beatmungsform zum Ausbildungskatalog gehört, und die Anwendung je nach regionalem Protokoll auch für den Notfallsanitäter freigegeben ist. Eine sinnvolle Ergänzung der CPAP-Anwendung kann darin bestehen, wenn man diese mit einer Druckunterstützung kombiniert. Manche Protokolle (SOP) beinhalten, dass der Notfallsanitäter auch die Druckunterstützung im Rahmen der NIV anwenden darf.

Obwohl die **reine CPAP-Therapie** (ohne Druckunterstützung) noch **keine** Form der nichtinvasiven Beatmung (NIV, NIPPV) ist, hat es sich eingebürgert, die CPAP-Therapie im Rettungsdienst schon als nichtinvasive Beatmungsform zu bezeichnen. Da dies nicht korrekt ist, wird in diesem Kapitel die **CPAP-Therapie** auch nicht als NIV bezeichnet.

Merke

CPAP ist eine **reine Spontanatmung** auf einem vom Anwender vorgegebenen kontinuierlich erhöhten Druckniveau in den Atemwegen. Die „einzige“ Unterstützung des Patienten besteht in einer kontinuierlichen Erhöhung des Druckniveaus mit den entsprechenden Effekten.

Wird CPAP mit einer darüber hinausgehenden **maschinellen Unterstützung** (Assisted Spontaneous Breathing [ASB] bzw. Pressure Support [PS] etc.) kombiniert (Kap. 19.2.3), müsste das CPAP als PEEP bezeichnet werden, denn PEEP ist dadurch charakterisiert, dass der Druck lediglich **am Ende der**

Ausatmung anliegt. Umgangssprachlich wird der Begriff des Ausgangsmodus meist beibehalten, z. B. spricht man von CPAP/ASB oder CPAP/PS oder SPN-CPAP/PS beim NIV, aber vom PEEP bei anderen Beatmungsformen.

Die maschinelle Unterstützung der Spontanatmung kann auf drei verschiedene Weisen erfolgen:

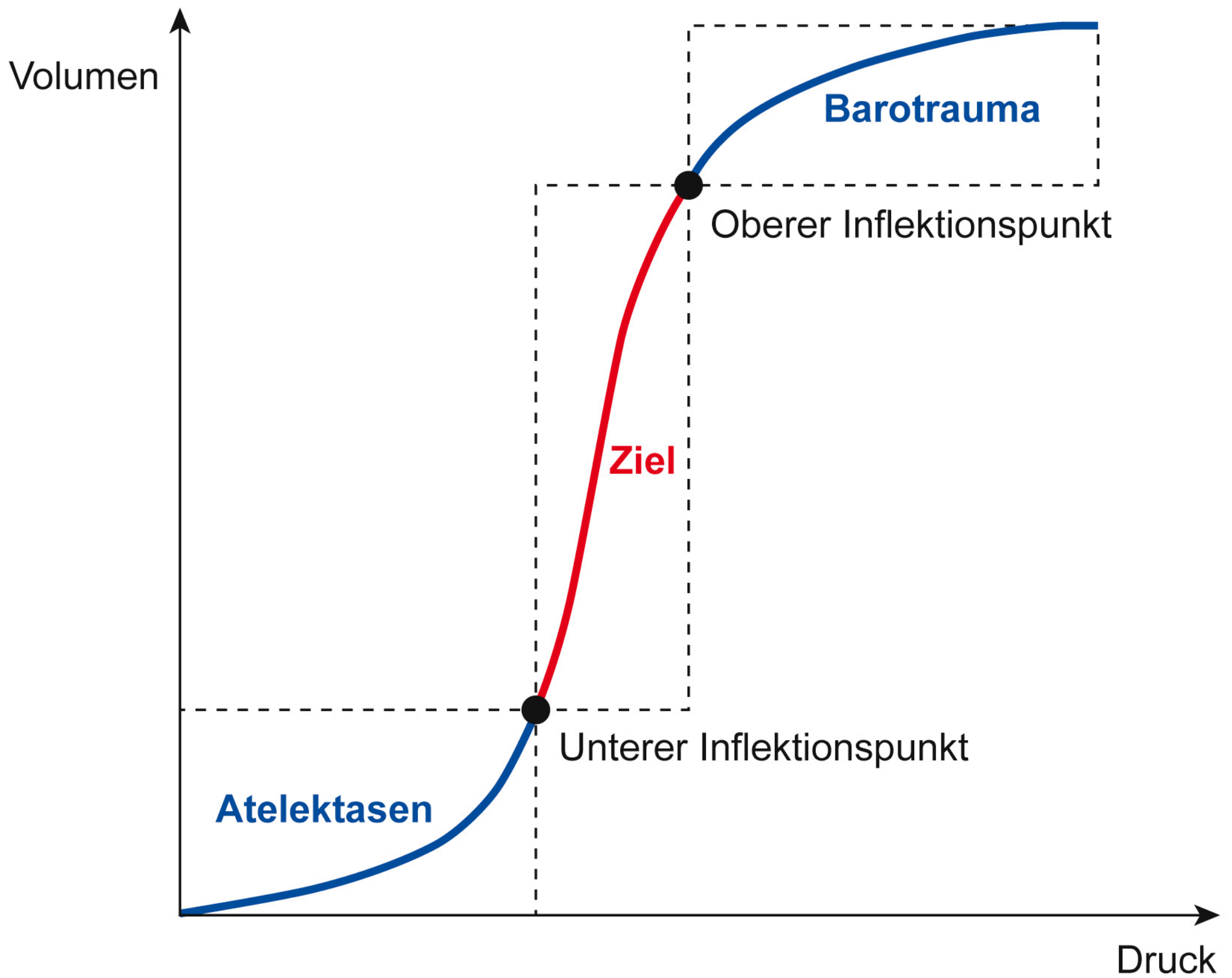
- **Unterstützung jedes einzelnen Atemzugs**
- **Intermittierende mandatorische Beatmungshübe**
- **Unterstützung jedes einzelnen Atemzuges + intermittierende mandatorische Beatmungshübe**

Ein typisches Beispiel für eine Unterstützung jedes einzelnen Atemzuges ist die druckunterstützte Spontanatmung (Pressure Support Ventilation [PSV] [Kap. 19.2.2](#)). Weitere Synonyme hierfür sind ASB (Assisted Spontaneous Breathing), IPS (Inspiratory Pressure Support), IA (Inspiratory Assist), IFA (Inspiratory Flow Assistance) und PS (Pressure Support). Neuere Geräte der Fa. Dräger verwenden das Prinzip, alle **Spontanatemmodi** mit dem Begriff „**Spn**“ zu kennzeichnen, und dann Zusätze zu verwenden, z. B. SpnCPAP, SpnCPAP/PS.

CPAP und PEEP

Wenngleich **CPAP** (Continuous Positive Airway Pressure) und **PEEP** (Positive End Expiratory Pressure) nicht exakt das gleiche sind, gibt es doch viele Gemeinsamkeiten. Deshalb werden hier beide gemeinsam vorgestellt. Um zu verstehen, was CPAP/PEEP bewirken, betrachten wir zunächst noch einmal die Compliance der Lunge. Die Grafik verdeutlicht die **(nichtlineare) Volumendehnbarkeit** in der Lunge ([Abb. 19.18](#)). Wenn die Lunge wie im Beispiel mit dem Luftballon schon etwas vorgedehnt ist ([Kap. 19.1.2](#)), z. B. durch eine CPAP-Einstellung von 5 mbar, gelangt man in den steileren Bereich der Kurve. Das bedeutet, dass im mittleren Bereich der Kurve für einen bestimmten Volumenzuwachs weniger Druck erforderlich ist. Daraus folgt eine **Erleichterung der Atemarbeit**.

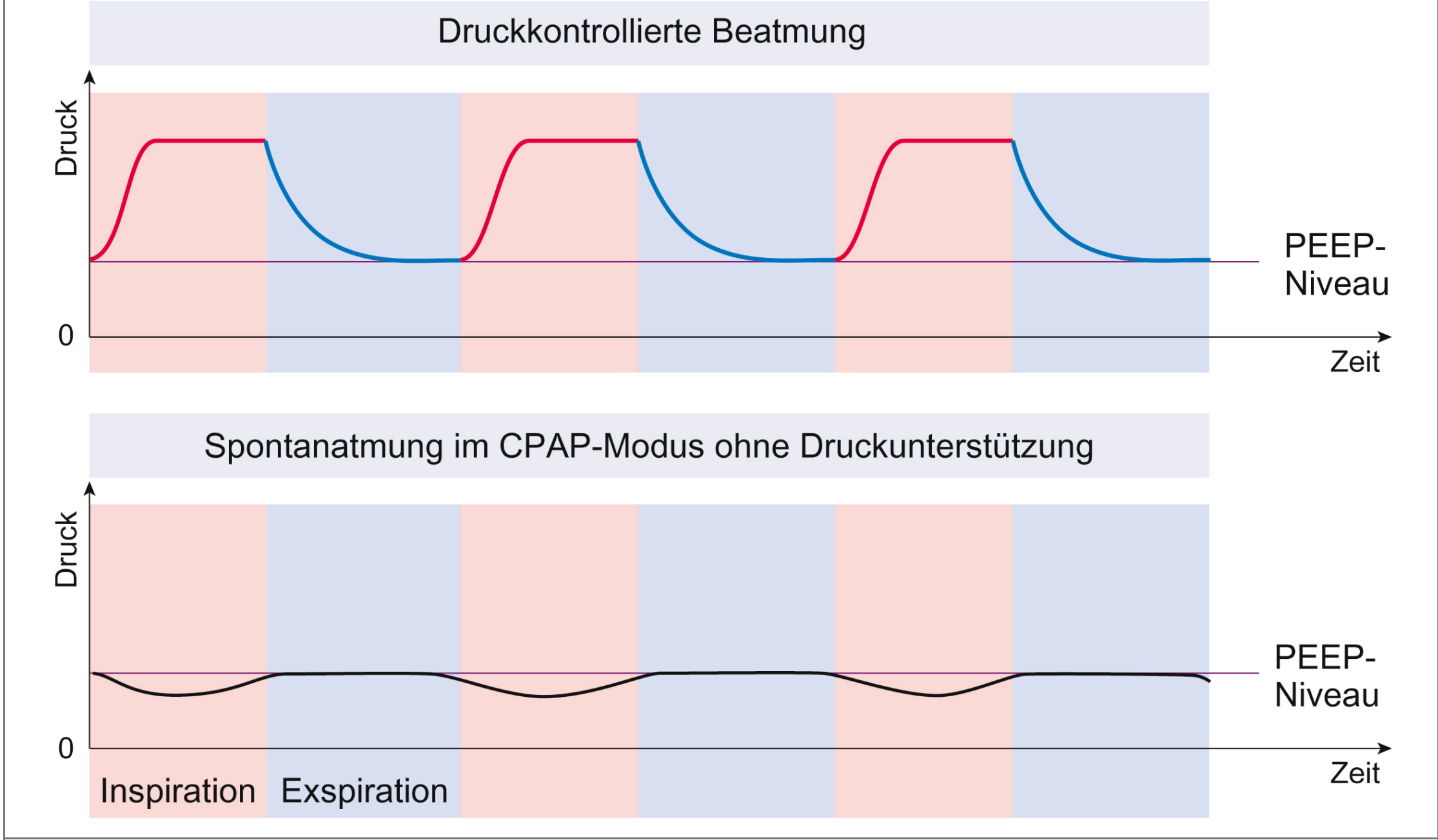
Compliance-Kurve der Lunge [L143]



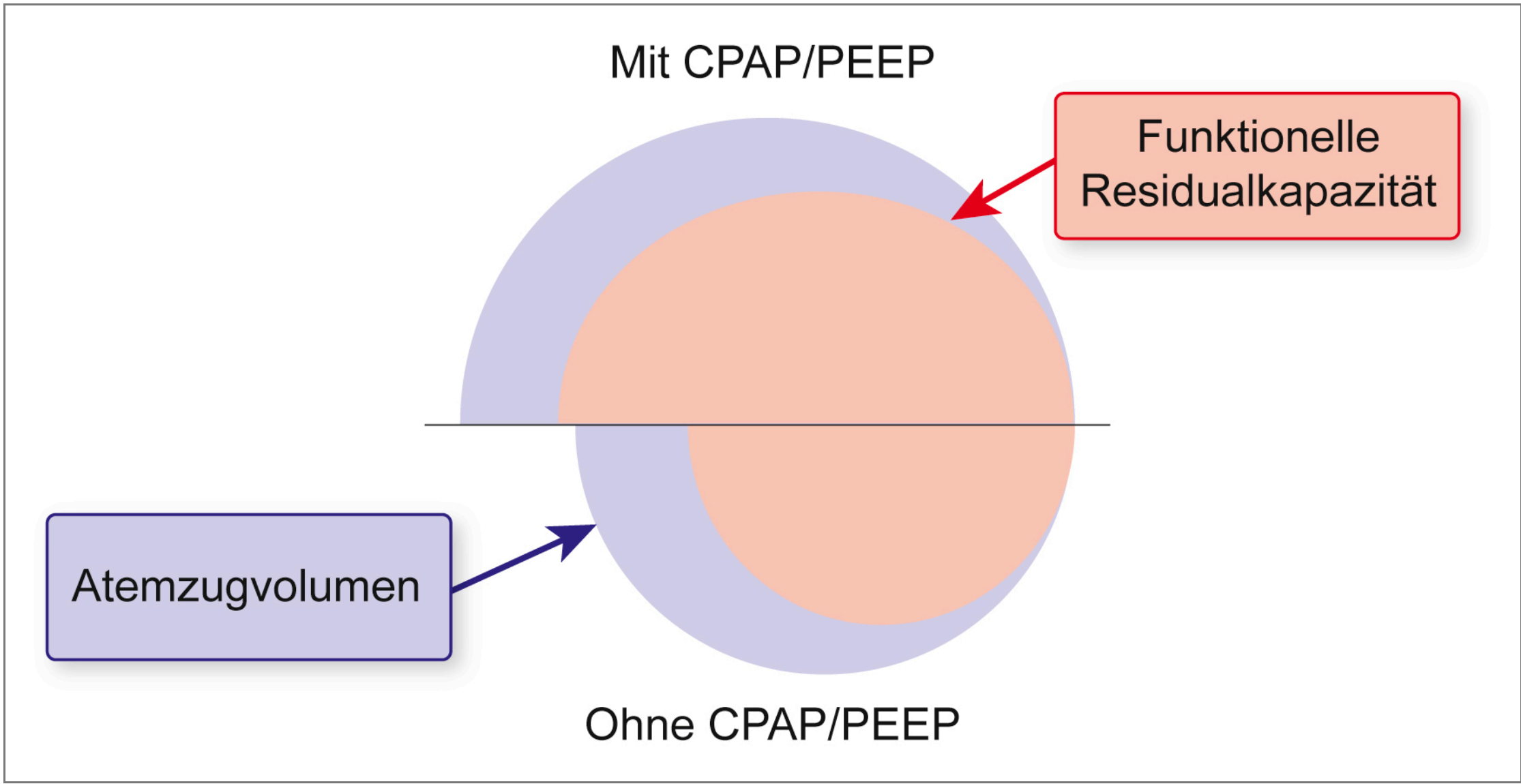
Atelektasen (intrapulmonaler Rechts-links-Shunt)

Atelektasen sind charakterisiert durch ein Missverhältnis von Ventilation zu Perfusion. Sie können im Rahmen der Erkrankung des Patienten bereits bestehen. Sie können aber auch erst im Rahmen einer Beatmungstherapie auftreten. Hier spielt nun **CPAP/PEEP** eine wichtige Rolle ([Abb. 19.19](#) und [Abb. 19.20](#)).

Vergleich PCV mit CPAP: Unterschied zwischen druckkontrollierter Beatmung (PCV) und CPAP-Atmung ohne Druckunterstützung



Erhöhung der funktionellen Residualkapazität durch CPAP [L143]



Shunt und Mismatch

Die Atmung und das Herz-Kreislauf-System sind anatomisch und funktionell eng miteinander verbunden. Selbst beim Gesunden gibt es eine geringe Menge Blut, welches zum linken Herzen gelangt, ohne am Gasaustausch teilgenommen zu haben. Dieses Blut bleibt daher sauerstoffarm und mischt sich mit dem sauerstoffreichen Blut, das in den

Körperkreislauf gelangt. Man nennt dies den **physiologischen oder anatomischen intrapulmonalen Rechts-links-Shunt**. Der Begriff kommt zustande, weil auf dem Weg vom rechten Herzen (durch die Lunge) zum linken Herzen eine „Kurzschlussverbindung“, ein **Shunt**, besteht (d. h., das Blut hat nicht am Gasaustausch teilgenommen).

Es gibt auch einen **pathophysiologischen Rechts-links-Shunt**, der dadurch zustande kommt, dass gewisse Abschnitte der Alveolen z. B. als Auswirkung einer Erkrankung nicht belüftet werden. Dadurch erhöht sich der Anteil des Blutes, der nicht am Gasaustausch in der Lunge teilnimmt, und somit ebenfalls als sauerstoffarmes Blut zum linken Herzen gelangt. Es handelt sich demnach um ein Missverhältnis zwischen **Ventilation** (Belüftung) und **Perfusion** (Durchblutung), ein sog. „**mismatch**“.

Atelektase

Diese Bereiche, die zwar durchblutet, aber nicht belüftet werden, nennt man **Atelektase(n)**. Atelektasen können im Rahmen bestimmter Erkrankungen der Lunge auftreten, z. B. bei der eitrigen Bronchitis, der Pneumonie u. v. a. Allerdings können Atelektasen auch durch die Beatmung eines Patienten entstehen, sogar bei der Narkose eines lungengesunden Patienten, etwa im Rahmen eines Wahleingriffs. Der Grund dafür ist, dass sich das Zwerchfell bei einem kontrolliert beatmeten Patienten **passiv** bewegt und nicht aktiv kontrahiert wird. Dies führt zu einem geänderten Bewegungsablauf des Zwerchfells, der nicht mehr den physiologischen Gegebenheiten entspricht. Die Folge: Die dorsalen Lungenabschnitte werden schlechter belüftet als zuvor. Ungünstigerweise sind das die Bereiche, die in Rückenlage des Patienten besser durchblutet sind. Auch dies erhöht den intrapulmonalen Rechts-links-Shunt.

Merke

Die Anwendung des **kontinuierlich erhöhten Drucks** in den Atemwegen erfolgt einerseits, um das Auftreten von Atelektasen schon im Vorhinein zu verhindern, andererseits sollen bereits vorhandene Atelektasen wiedereröffnet werden (**Recruitment**). Im intensivmedizinischen Kontext kennt man auch noch weitere Recruitment-Manöver. Diese spielen allerdings im Rettungsdienst nur eine untergeordnete Rolle. CPAP/PEEP hingegen spielt eine wichtige Rolle zur Prävention von beatmungsassoziierten Folgeschäden.

19.2.3 Druckunterstützte Spontanatmung (ASB, IPS, PS, PSV)

Je nach Hersteller wird die **Druckunterstützung** z. B. als **Pressure Support (PS)**, **Pressure Support Ventilation (PSV)**, **Inspiratory Pressure Support (IPS)** oder **Assisted Spontaneous Breathing (ASB)** bezeichnet.

Der Begriff Druckunterstützung besagt, dass dem Patienten zum Zeitpunkt seiner spontanen Einatmung eine zusätzliche Atemunterstützung gegeben wird, indem vom Gerät ein voreingestellter **Überdruck** aufgebaut wird. Die Höhe dieses Überdrucks und damit auch das Ausmaß der Unterstützung wird vom Anwender ausgewählt. Stellt der Anwender z. B. CPAP auf 5 mbar und die Druckunterstützung auf 10 mbar, dann wird zum Zeitpunkt der Einatmung vom Beatmungsgerät eine Druckunterstützung von 10 mbar aufgebaut. Da bei diesem Beispiel am Ende der

Ausatmung ein Druck von 5 mbar in den Atemwegen anliegt (CPAP = 5 mbar), resultiert aus der Druckunterstützung von 10 mbar ein Spitzendruck von 15 mbar.

Achtung

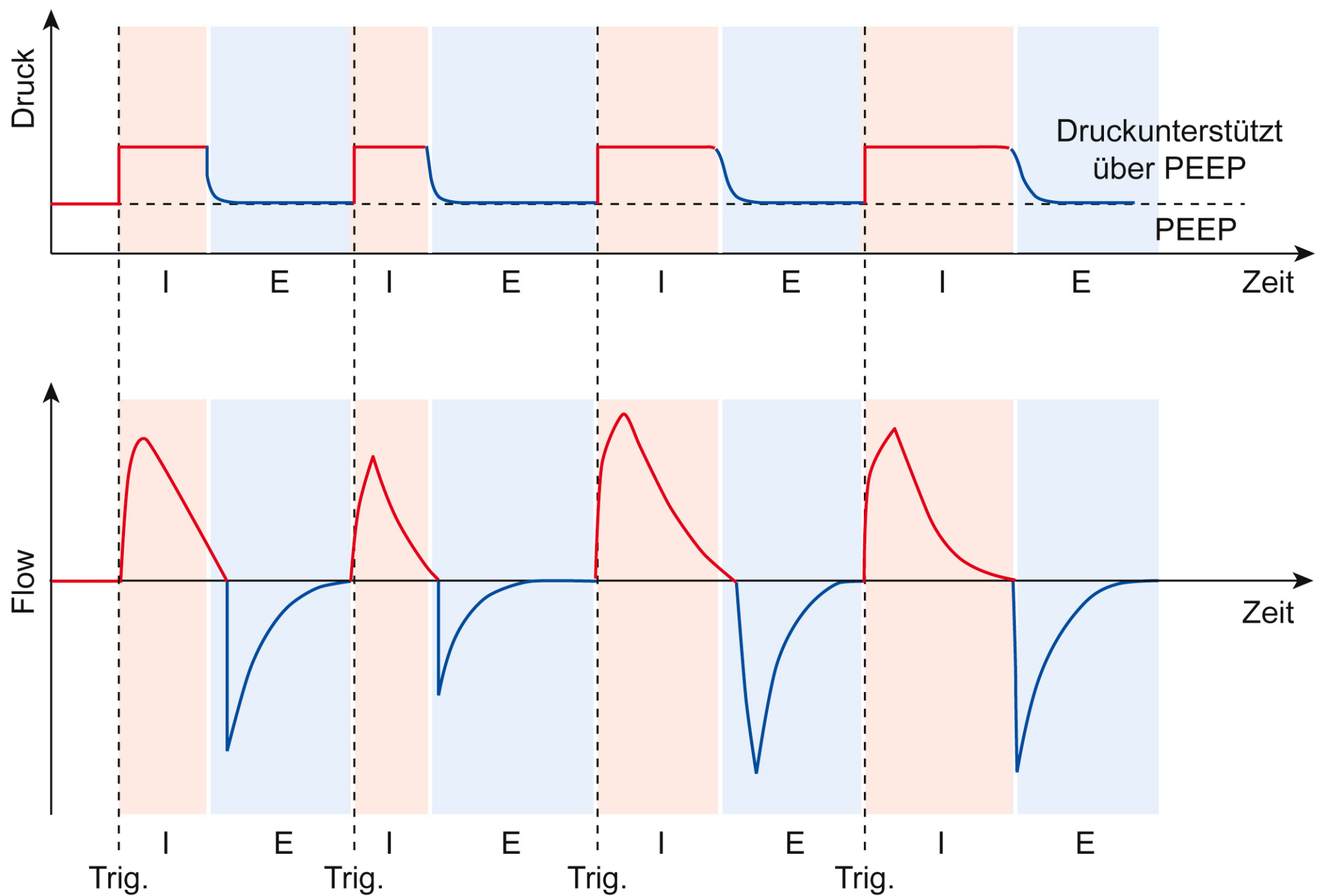
Selbst bei Geräten desselben Herstellers kann es unterschiedliche Philosophien geben! Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Der Patient soll eine Druckunterstützung (PS, Pressure Support) von 10 mbar erhalten. Diese soll mit einem PEEP von 5 mbar kombiniert werden. Exemplarisch der Vergleich von Evita 2 und Evita 4 von der Fa. Dräger:

- Bei der Evita 2 würde die Einstellung PEEP = 5 mbar und PS = 10 mbar bewirken, dass der **Spitzendruck** auf 10 mbar begrenzt wird. Der **Hilfsdruck**, also der Wert oberhalb des PEEP, würde in diesem Beispiel nur 5 mbar betragen.
- Bei der Evita 4 würde die Einstellung PEEP = 5 mbar und PS = 10 mbar hingegen bewirken, dass der PS zum PEEP addiert wird. Es würde also ein **Spitzendruck** von 15 mbar resultieren. In diesem Beispiel beträgt der **Hilfsdruck** (oberhalb des PEEP) tatsächlich 10 mbar.

Dieses Beispiel bezieht sich zwar auf Intensivrespiratoren, verdeutlicht aber, dass man sich als Anwender in jedem Fall intensiv mit seinen Geräten beschäftigen muss!

Die Anwendung einer **Druckunterstützung** setzt voraus, dass der Patient noch über **Spontanatmung** verfügt ([Abb. 19.21](#)). Damit ist nicht nur gemeint, dass der Patient noch einen eigenen Atemtrieb hat, sondern er muss noch ein gewisses Maß an Kraft zur Einatmung aufbringen können. Damit sich das Beatmungsgerät an die Spontanatmung des Patienten anpassen kann, ohne dass es für den Patient zu Stress kommt, muss das Beatmungsgerät den Zeitpunkt erkennen, wo der Patient versucht einzusatmen. Falls der Patient so erschöpft ist, dass er selbst dieses geringe Maß an Kraft nicht mehr aufbringen kann, sind die Grenzen der Druckunterstützung erreicht. In einem derartigen Fall kann erwogen werden, eine invasive Beatmung zu umgehen, indem der Patient nichtinvasiv mit **BIPAP** beatmet wird.

Druck- und Flowkurve einer druckunterstützten Spontanatmung mit PEEP (CPAP/ASB bzw. CPAP/PS) [L143]



Praxistipp

Bei der akut exazerbierten COPD kommt es zur Erschöpfung der muskulären Atempumpe (**ventilatorische Insuffizienz**). Hier profitiert der Patient davon, wenn CPAP mit der **Druckunterstützung** kombiniert wird, um die erschöpfte **Atempumpe zu entlasten**. Der Patient muss jedoch zumindest noch über die Kraft verfügen, die Druckunterstützung selbst **triggern** (auslösen) zu können. Daher kann es sinnvoll sein, die Triggerempfindlichkeit am Beatmungsgerät auf einen niedrigen Wert einzustellen.

19.2.4 Nichtinvasive Beatmung (NIV)

Historischer Rückblick

Historisch betrachtet war die **Negativdruckbeatmung** (NPV, Negative Pressure Ventilation) im Rahmen der Poliomyelitisepidemie in den 1950er-Jahren die erste nichtinvasive Beatmung (NIV) in größerem Umfang. Es handelte sich damals um eine Negativdruckbeatmung mit **Tankrespiratoren**, besser bekannt auch als „eiserne Lunge.“ Damit war eine Langzeitbeatmung der ateminsuffizienten Patienten möglich.

Bekannt waren die Tankrespiratoren schon lange zuvor. Ausführlich beschrieben wurden sie erstmals im Jahr 1929. Eines der Probleme mit diesen Geräten war die weitgehende Immobilität der Patienten. Außerdem sind sie ungeeignet bei Patienten, die aufgrund einer pulmonalen Indikation beatmet werden müssen. Die hohe Atemarbeit, die infolge einer verminderten Compliance oder erhöhten Resistance erforderlich ist, vermögen die Tankrespiratoren nur unzureichend zu leisten. Der Anästhesist Björn Ibsen verwendete im Rahmen der Poliomyelitisepidemie im Jahr 1952 erstmals eine **Positivdruckbeatmung** über ein Tracheostoma. Seitdem wurde die Negativdruckbeatmung mit der „eisernen Lunge“ nach und nach von der Positivdruckbeatmung abgelöst.

Die Entwicklung der invasiven Beatmungsverfahren und -maschinen führte dazu, dass die NIV in Vergessenheit geriet. Anfang der 1980er-Jahre wurde **CPAP** (Continuous Positive Pressure Ventilation) über Gesichtsmaske zur Behandlung der obstruktiven Schlafapnoe (OSA) eingeführt. Damit wurde es auch möglich, eine nichtinvasive Beatmung (NIV, NIPPV) über Gesichtsmaske außerklinisch durchzuführen. Eine nichtinvasive Beatmung findet seitdem in zunehmendem Maße auch bei bestimmten Indikationen in häuslicher Umgebung statt. Somit ist die CPAP-Therapie bzw. NIV in der jüngeren Vergangenheit ursprünglich eine Domäne der Schlafmedizin und Heimbeatmung gewesen. Heutzutage finden sich auch im Rettungsdienst, der Notaufnahme und der Intensivmedizin immer mehr Indikationen.

NIV im Rettungsdienst

Seit mehreren Jahren hat die NIV auch Einzug in den Rettungsdienst gehalten. Sofern keine Kontraindikationen bestehen, bietet das Verfahren mehrere Vorteile ([Tab. 19.7](#)). So können z. B. die mit einer Narkose und der Atemwegsicherung einhergehenden Risiken vermieden werden. Andererseits kann die NIV Erfolg versprechen, wenn eine alleinige Sauerstoffinhalation nicht ausreicht ([Tab. 19.8](#)).

Anwendungsmöglichkeiten für NIV nach Krankheitsbildern und Vorteile gegenüber invasiver Ventilation

Tab. 19.7

Anwendungsmöglichkeiten	Vorteile gegenüber invasiver Beatmung
<ul style="list-style-type: none"> • Kardiales Lungenödem * • Akut exazerbierte COPD * • Einsatz beim Weaning von Problempatienten (innerklinisch) * • Asthmaanfall • Pneumonie • Neuromuskuläre Erkrankungen • Mechanische Störung der Atemexkursion • Palliative Anwendung bei infaustem Leiden mit respiratorischer Insuffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine Sedierung** bzw. Narkose erforderlich (daher z. B. keine Kreislaufdepression) • Natürliche Barrierefunktion der Schleimhaut des oberen Atemwegtrakts bleibt erhalten → dadurch seltener nosokomiale Infektionen • Kürzere Beatmungszeit • Geringerer Intensivaufenthalt • Patient kann kommunizieren

* hohe Evidenz für NIV

** mitunter ist eine leichte Sedierung, z. B. mit Morphin, hilfreich

Indikationen und Kontraindikationen für NIV

Tab. 19.8

Indikation	Kontraindikationen
<ul style="list-style-type: none">• SpO₂ < 90 % trotz Sauerstoffgabe ≥ 6 l/Min.• AF > 25/Min.• Einsatz der Atemhilfsmuskulatur• Einziehungen	Absolut: <ul style="list-style-type: none">• Atem- oder Kreislaufstillstand• Fehlende Kooperation des Patienten aufgrund neurologischer oder psychiatrischer Störungen• Deutliche Bewusstseinsminderung des Patienten*• Fehlende Schluck- und Hustenreflexe• Maligne Herzrhythmusstörung• Schwere gastrointestinale oder pulmonale Blutung• Gesichtstrauma• Gesicherter Pneumothorax

* Manche Experten sehen eine Vigilanzminderung im Rahmen der Ateminsuffizienz nicht als KI, sofern ein erfahrener Therapeut zugegen ist.

Die nichtinvasive Beatmung ist immer Teil eines **Gesamtkonzepts**, dem die Lagerung des Patienten, die hoch dosierte Sauerstoffgabe und die Verabreichung von Medikamenten vorausgeht. Wird die Indikation zur nichtinvasiven Beatmung gestellt, gibt es zwei Möglichkeiten der Durchführung:

- Zum einen kann man beim Patienten eine CPAP-Therapie mit einfachen Systemen (Boussignac) durchführen,
- zum anderen kann man mit dafür geeigneten Beatmungsgeräten eine CPAP-Therapie beginnen.

Wichtig: Der Umgang mit dem Material muss dem Anwender gut vertraut sein ([Tab. 19.9](#)).

Vorbereitung und Start der NIV-Therapie durch Notfallsanitäter

Tab. 19.9

Geeigneter Patient? Indikationen und Kontraindikationen beachten	Tab. 19.7 Tab. 19.8
Vorbereitung des Beatmungsgeräts	<ul style="list-style-type: none">• Sauerstoffvorrat ausreichend? Gegebenenfalls Ersatzflasche bereithalten (v. a. das Boussignac-System verbraucht viel O₂)• HME/Filter und Kapnometrie/-grafie am Beatmungsschlauch angeschlossen

	<ul style="list-style-type: none"> • Gegebenenfalls Gänsegurgel verwenden • Auswahl der korrekten Maske für den Patienten (geeignete Größe)
Einstellungen am Beatmungsgerät vornehmen	<ul style="list-style-type: none"> • FiO₂ zu Beginn auf 1,0 = 100 % • CPAP (PEEP) zu Beginn = 5 mbar • Druckunterstützung zu Beginn auf 5 mbar* • Trigger auf niedrigsten Wert einstellen • NIV-Modus wählen (Leckagekompensation)
Start der Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> • Patienten das Vorgehen erklären („Maske wird aufs Gesicht gesetzt und leicht angedrückt.“) • Maske zu Beginn manuell aufsetzen (noch nicht die Festhaltebänder einsetzen) • Eventuell den Patienten selbst die Maske halten lassen • Bei Agitation seitens des Patienten titrierte Gabe von Morphin i. v. bis zu 5 mg erwägen*
Verlauf	<p>Effektivitätskontrolle:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Akzeptanz durch Patienten • Keine zunehmende Unruhe • Keine Maskenleckage • SpO₂-Anstieg im Verlauf • Abnahme der Atemnot • Abnahme von Atem- und Herzfrequenz im Verlauf • Zunehmende Vigilanz <p>Weitere Maßnahmen**:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Schrittweise Steigerung der Druckunterstützung auf 10 mbar* • Schrittweise Steigerung des CPAP-(PEEP)-Niveaus auf 10 mbar • Anpassung des FiO₂, Ziel SpO₂ > 90 % <p>Abbruchkriterien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Keine verbesserte Oxygenierung trotz FiO₂ = 1,0 • Zunehmende Bewusstseinsverschlechterung • Schwere Kooperationsprobleme • Nicht beherrschbare Aerophagie

- Regurgitation/Erbrechen
- Aspiration

Falls die Kombination aus CPAP und Druckunterstützung keine Besserung bringt, kann durch den Notarzt eine nichtinvasive Ventilation im BIPAP-Modus erwogen werden. Je erfahrener das Team ist, umso eher kann eine nur zögerliche Verbesserung des Patientenzustands toleriert werden. **Cave:** Eine invasive Beatmung sollte dem Patienten nicht vorenthalten werden, sobald sich das Scheitern der NIV abzeichnet.

* Falls nach lokalem Protokoll für Notfallsanitäter zugelassen, ansonsten verstehen sich die Angaben als mögliche Vorgehensweise im Beisein des Notarztes.

** Bei der schrittweisen Erhöhung von CPAP und/oder Druckunterstützung gilt, dass der höchste vom Patienten noch als komfortabel empfundene Wert gewählt werden sollte. Falls der Patient mit der schrittweisen Erhöhung nicht zurechtkommt, sollte die Einstellung wieder auf den Wert reduziert werden, den der Patient noch als angenehm empfindet.

19.3 Auswirkungen der maschinellen Beatmung

Der Grundsatz, dass kaum ein Verfahren oder Medikamenteneinsatz ohne **Nebenwirkungen** einhergeht, gilt auch für die positive Druckbeatmung. Manche Nebenwirkungen der Beatmung können schon im Rettungsdienst Relevanz haben, andere erst bei längerer Beatmung und somit im Krankenhaus.

19.3.1 Auswirkungen der Überdruckbeatmung für Patienten im Rettungsdienst

Die **Überdruckbeatmung** bewirkt eine Verminderung des venösen Rückstroms zum Herzen. Besteht gleichzeitig ein **Volumenmangel**, kann durch den bestehenden positiven endexpiratorischen Druck (PEEP) im Brustkorb eine unerwünschte Verminderung des Herzzeitvolumens hervorgerufen werden. Eine verminderte Organperfusion von Nieren, Leber, Hirn und Zwerchfell wäre die Folge. Das **Ziel** muss daher sein, einen PEEP-Wert zu wählen, der den größtmöglichen Nutzen für die Lungenfunktion und zugleich den geringstmöglichen negativen Effekt auf die Kreislaufsituation aufweist.

Für die Rettungsdienstpraxis ergibt sich, dass bei Patienten mit einer pulmonalen Schädigung ein PEEP sinnvoll ist. Bei Patienten mit ausgeprägtem Volumenmangel hingegen wird ein Verzicht auf PEEP nützlich sein. Hat ein Patient eine schwere Lungenfunktionseinschränkung und einen Volumenmangel (etwa beim Polytrauma mit starkem Blutverlust und einem schwerem Thoraxtrauma), obliegt es der Einzelfallentscheidung des Notarztes, die Vor- und Nachteile des PEEP gegeneinander abzuwägen.

Weitere Komplikationen, die durch die invasive Beatmung entstehen können, sind die Entstehung eines Pneumothorax bzw. Spannungspneumothorax. Sie können nicht nur bei Thoraxtraumata auftreten, sondern auch unabhängig davon durch hohe Beatmungsdrücke bei Patienten mit Lungenemphysem, COPD oder schwerem Asthmaanfall.

19.3.2 Beatmungsinduzierte Patientenschäden

In der Intensivmedizin beschäftigt man sich seit Längerem mit den unerwünschten Auswirkungen einer maschinellen

Beatmung. So sprechen Experten z. B. von den erheblichen „Kollateralschäden“ einer Beatmung. Dazu gehören:

- **Beatmungsinduzierte Lungenschädigung** (Ventilator Induced Lung Injury, VILI)
- **Beatmungsinduzierter Diaphragmaschaden** (Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction, VIDDD)
- **Beatmungsinduzierte Pneumonien** (Ventilator Associated Pneumonia, VAP)

Beatmungsinduzierte Lungenschädigung (Ventilator Induced Lung Injury, VILI)

Man nimmt an, dass die Schädigung vor allem bei vorgeschädigter Lunge und durch Verwendung hoher Tidalvolumina auftritt. Für die Entstehung eines VILI werden vier Mechanismen verantwortlich gemacht:

- das **Barotrauma** (Schädigung durch hohe inspiratorische Drücke > 35 mbar),
- das **Volutrauma** (Überdehnung der Alveole),
- das **Biotrauma** (Freisetzung schädlicher Zytokine durch „aggressive“ Beatmung) und
- das **Atelektrauma** (abwechselnde Dehnung und Kollaps von Alveolen, v. a. durch zu niedrigen PEEP).

Beatmungsinduzierter Diaphragmaschaden (Ventilator Induced Diaphragmatic Dysfunction, VIDDD)

Neben den o. g. Problemen rückt in den letzten Jahren ein weiteres Problem in den Fokus. Studien zeigen, dass bereits nach 12–24 Stunden kontrollierter Beatmung gravierende Funktionsverluste am Zwerchfell (Diaphragma) auftreten. Zum einen verliert das Zwerchfell an Kontraktionskraft, zum anderen ist eine Faseratrophie zu beobachten. Aus diesen Gründen wird angestrebt die kontrollierte Beatmung so rasch wie möglich zu beenden und zur (unterstützten) Spontanatmung zurückzukehren.

Merke

Nach Bein (2014) besteht Akzeptanz, dass in Anlehnung an VILI „*die (kontrollierte) positive Druckbeatmung nicht nur das Lungenparenchym, sondern die muskuläre Atempumpe nachhaltig schädigt (VIDDD). Die Ausprägung all dieser beschriebenen ‚Kollateralschäden‘ der maschinellen Beatmung ist abhängig vom Grad der Beatmungsinvasivität sowie von Dauer und Schwere der zugrunde liegenden Erkrankung. In einer großen prospektiven Kohortenstudie an über 2 000 beatmeten Patienten konnte gezeigt werden, dass die Dauer der Beatmung per se – unabhängig von der Grunderkrankung – ein mortalitätserhöhender Faktor ist.*“

Beatmungsinduzierte Pneumonien (Ventilator Associated Pneumonia, VAP)

Die beatmungsinduzierte Lungenentzündung (VAP) ist eine weitere Komplikation, die der Patient infolge einer invasiven Beatmung (Endotrachealtubus) erleiden kann. Es handelt sich um eine häufige Infektion in der Intensivmedizin.

Ursache ist eine Aspiration von Erregern aus den oberen Atemwegen, am Cuff des Tubus vorbei, in die unteren Atemwege (sog. Mikroaspirationen von Sekret, welches dem Cuff auflagert). Die VAP verlängert die Beatmungszeit, die Intensivbehandlungszeit und erhöht die Sterblichkeit der Patienten. Ein Ansatz zur **Prophylaxe** der VAP besteht daher in einer Verkürzung der invasiven Beatmungszeit. Zu **evidenzbasierten Präventionsmaßnahmen** gehören v. a.

- Händedesinfektion,
- orale Mundpflege,
- subglottische Absaugung,
- Sedierungs- und Weaningprotokolle sowie
- Fortbildungen und
- sog. „Bundles“.

Merke

Nach Deja et al. (2011) sind Bundles „*Gruppen von Maßnahmen, die – wenn sie zusammen und zuverlässig durchgeführt werden – das Outcome des Patienten verbessern können (Institute for Healthcare Improvement, www.ihc.org). In ihnen werden Schlüsselstrategien zur Infektionsprävention zusammengefasst. Gemeinsam mit Fortbildungen sollen sie die Umsetzung evidenzbasierter klinischer Empfehlungen in den Alltag bewirken.*“

Wann immer möglich sollten die Patienten nicht flach gelagert werden.

Weitere Auswirkungen der Beatmung

Dazu zählen Irritationen laryngealer und trachealer Strukturen, Folgeschäden der Sedierung (Hypotonie, Entzugssyndrom, Delir) und allgemeine Folgen der Immobilisierung.

19.4 Überwachung der Beatmung

Zur Überwachung während einer Beatmung werden **Parameter des Beatmungsgeräts**, wie Angaben zu Volumina und Beatmungsdrücken, sowie **patientenseitige Parameter** wie EKG, Blutdruck und periphere Sauerstoffsättigung (SpO₂), verwendet. In der Notfallmedizin erfolgt die Indikation zu einer maschinellen Beatmung aufgrund einer vitalen Funktionsstörung des Patienten, z. B. fehlende Schutzreflexe oder eine Ateminsuffizienz. Sehr häufig fällt die Wahl der Beatmungsform daher auf eine kontrollierte Beatmung. Die notwendige Überwachung einer Beatmung dient dabei vor allem dazu, folgende Komplikationen zu vermeiden bzw. umgehend zu erkennen:

- Der Patient wird gar nicht beatmet (z. B. Geräteausfall, fehlender Gasfluss, Diskonnektion, akzidentelle Extubation).
- Der Patient wird unzureichend beatmet (Atemhubvolumen bzw. Atemminutenvolumen reicht nicht mehr aus).

Die meisten Probleme lassen sich umgehend dadurch erkennen, dass einerseits eine **Überwachung mittels**

Kapnometrie/-grafie erfolgt und andererseits die **Alarmgrenzen am Beatmungsgerät** an den jeweiligen Patienten angepasst werden. Die Überwachungsalarmlinien erlauben in „Echtzeit“ das Erkennen von lebensgefährlichen Problemen während der Beatmung.

Praxistipp

Der **wichtigste** Parameter beim beatmeten Patienten ist die Überwachung der Kohlendioxidabatemung (etCO₂). Ein Ausbleiben von abgeatmetem CO₂ deutet i. d. R. auf ein **lebensbedrohliches Problem** hin, z. B. eine Fehlintubation in den Ösophagus, den Ausfall oder die Diskonnektion des Beatmungsgeräts oder eine akzidentelle Extubation. **Beim Ausbleiben einer CO₂-Abatemung niemals einen Gerätedefekt unterstellen! Die Ursache dafür muss unverzüglich gesucht werden (Tab. 19.10)!**

Einflussfaktoren auf den etCO₂

Tab. 19.10

etCO ₂ -Wert	Kreislauf (Zirkulation)	Beatmung (Ventilation)	Stoffwechsel (Metabolismus)
Nimmt zu	<ul style="list-style-type: none"> • Blutdruck steigt • Wiederkehr von Spontankreislauf (ROSC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypoventilation 	<ul style="list-style-type: none"> • Hyperthermie • Narkose zu flach (Stress ↑, Schmerzen ↑ = Stoffwechsel ↑)
Nimmt ab, geht gegen null	<ul style="list-style-type: none"> • Blutdruck sinkt (z. B. Schock) • Kreislaufstillstand 	<ul style="list-style-type: none"> • Hyperventilation • Ausfall Beatmungsgerät • Beatmungsschlauch oder Tubus abgeknickt • Akzidentelle Extubation 	<ul style="list-style-type: none"> • Hypothermie

Die Kapnometrie/-grafie ist nicht nur als reines Beatmungsmonitoring zu verstehen. Ein typischer Fehler des Unerfahrenen besteht darin, die etCO₂-Werte unabhängig von der Kreislauftsituation zu werten.

Die Durchblutung der Lunge hängt von der Kreislauftsituation ab, ein Phänomen, welches sehr gut bei der Reanimation zu beobachten ist. Während der Thoraxkompressionen ist der gemessene etCO₂-Wert recht niedrig, z. B. im Bereich von etwa 10–20 mmHg. Bekommt der Patient einen Spontankreislauf (ROSC), steigt der etCO₂-Wert rasch auf z. B. 50–60 mmHg an. Umgekehrt hat ein Blutdruckabfall auch einen Abfall des etCO₂-Wertes zur Folge. Wird z. B. während einer Narkose beobachtet, dass der etCO₂-Wert bei unveränderter Beatmungseinstellung sinkt, ist eine sehr

wahrscheinliche – wenn auch nicht die einzige – Ursache ein Blutdruckabfall. Es wäre in diesem Fall nicht sinnvoll, die Beatmung so anzupassen, dass der etCO_2 -Wert wieder in den gewünschten Bereich kommt. Steigt hingegen der etCO_2 -Wert im Verlauf der Narkose an und ist zugleich ein Anstieg von Blutdruck und ggf. Herzfrequenz zu beobachten, dann spricht dies für eine zu flache Narkose. In diesem Fall ist das sinnvolle Vorgehen eine Vertiefung der Narkose und keine Anpassung der Beatmung.

Praxistipp

Die **Kapnometrie/-grafie** erlaubt nicht nur eine Überwachung der **Beatmung**, sondern auch eine Einschätzung der **Kreislaufsituation**, vorallem im zeitlichen Verlauf (Trend). Ein Blutdruckabfall hat auch immer einen Abfall des etCO_2 -Wertes zur Folge. Auch ein plötzlich auftretender **Kreislaufstillstand** resultiert in einen zügigen etCO_2 -Abfall, der Richtung null tendiert. Allerdings sollte dies auch anhand der EKG-Überwachung sofort erkannt werden

Eine **Ausnahme** ist die **Lungenembolie**, bei der der Abfall des etCO_2 -Wertes darauf beruht, dass die Lunge durch den Gefäßverschluss weniger durchblutet wird. ([Tab. 19.10](#)).

Das Einstellen von sinnvollen **Alarmgrenzen** gehört ebenfalls zu einer verantwortungsvollen Durchführung der Beatmung. Der Parameter des **maximalen inspiratorischen Drucks** P_{max} dient dazu, Gefährdungen zu erkennen, die das Potenzial für eine Lungenschädigung durch zu hohe Atemwegsdrücke aufweisen. Eine typische Situation wäre eine zu flache Narkose, die ein Husten und Gegenatmen des Patienten gegen das Beatmungsgerät nach sich ziehen kann. Dies führt zu einem Erreichen des P_{max} -Wertes und somit zu einem umgehenden Alarm des Geräts, zumindest bei den modernen Ausführungen. Der maximale inspiratorische Druck P_{max} sollte auf einen Alarmwert eingestellt werden, der 10 mbar oberhalb des Wertes liegt, der mit einem normalen volumenkontrollierten Beatmungshub erzielt wird. Eine weitere wichtige Einstellung ist die **untere Alarmgrenze für das Atemminutenvolumen** (AMV). Wenn der Patient z. B. mit einer $\text{AF} = 12/\text{Min.}$ und einem $\text{VT} = 500 \text{ ml}$ beatmet wird, ergibt dies ein Atemminutenvolumen von 6 l. In diesem Beispiel würde es Sinn machen, den unteren AMV-Grenzwert z. B. auf etwa 5,5 l einzustellen (ca. 10 % unterhalb des beabsichtigten AMV). Wird dieser Wert unterschritten, löst das Beatmungsgerät einen Alarm aus.

Achtung

Moderne Beatmungsgeräte versuchen bei Erreichen des P_{max} -Wertes, durch bestimmte Anpassungen das vom Anwender gewünschte Atemhubvolumen vollständig zu verabreichen. Einfache, ältere Beatmungsgeräte (Medumat Standard[®], Oxylog[®] 1000), die durchaus heute noch Verwendung finden, reagieren auf das Erreichen des P_{max} -Wertes, in dem die Beatmung abgebrochen wird oder das Gerät die Druckspitze „abbläst“. Dies kann zu einer unzureichenden Beatmung des Patienten führen.

Merke

Der maschinell beatmete Patient ist in **potenzieller Lebensgefahr**, wenn das Beatmungsgerät ausfällt. Für die Fehlersuche hat man in dieser Situation nur wenig Zeit. Aus diesem Grund muss beim **Transport beatmeter Patienten**, insbesondere auch außerhalb des Fahrzeugs bzw. Hubschraubers, immer ein **Beatmungsbeutel** mitgeführt werden. Falls der Patient maschinell mit einem hohen PEEP beatmet wird, empfiehlt es sich dringend, auch an den Beatmungsbeutel ein PEEP-Ventil anzuschließen. Anderenfalls kann eine Beatmung mit Beatmungsbeutel und dem damit einhergehenden PEEP-Abfall einen kritischen SpO_2 -Abfall hervorrufen. Für spezielle Anforderungen (z. B. im Intensivtransport) gibt es auch PEEP-Ventile, die den Bereich bis 20 mbar abdecken. Das Standard-PEEP-Ventil deckt nur den Bereich bis 10 mbar ab ([Abb. 19.22](#)).

PEEP-Ventil als Zubehör für Beatmungsbeutel [M840]






19.5 Respiratoren

Einen Überblick über handelsübliche Respiratoren, ihre Besonderheiten und Einstelloptionen gibt [Tab. 19.11](#).



Respiratoren: Modelle, Charakteristika, Einstelloptionen

Tab. 19.11

Bezeichnung	Hersteller	Charakteristik	Beatmungsformen	Ausgewählte Einstelloptionen bzw. fixe Einstellungen
Oxylog® 1000 [V162] 	Dräger	<ul style="list-style-type: none">• Notfallbeatmungsgerät• Hinweis: rein pneumatisch	Volumenkontrollierte Beatmung IPPV (nach aktueller	<ul style="list-style-type: none">• $F_i\text{O}_2$: Air-Mix/No Air-Mix

		betrieben (kein Akku)	Firmenphilosophie VC-CMV genannt), HLW-Modus	<ul style="list-style-type: none"> • I : E (Atemzeitverhältnis): 1 : 1,5 (fix) • Beatmungsfrequenz: 4–54/Min. • Atemminutenvolumen: 3–20 l/Min. • PEEP: Nur über externes, optionales PEEP-Ventil
Oxylog® 2000 plus [V162] 	Dräger	Notfallbeatmungsgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Volumenkontrollierte und assistierte volumenkontrollierte Beatmung, VC-CMV, VC-AC, VC-SIMV, SpnCPAP (Apnoe Ventilation), HLW-Modus • Optional: NIV und Pressure Support 	<ul style="list-style-type: none"> • F_iO₂: Air-Mix/No Air-Mix • I : E (Atemzeitverhältnis): 1 : 4–3 : 1 • Inspirationszeit T_i: 0,2–10 Sek. • Beatmungsfrequenz: <ul style="list-style-type: none"> ◦ 2–50/Min. (VC-SIMV) ◦ 5–50/Min. (VC-CMV, VC-AC) ◦ 12–50/Min. bei Apnoeventilation • Atemhubvolumen: 100–2 000 ml • Druckunterstützung: 0–35 mbar (relativ zum PEEP) • PEEP: 0–20 mbar
Oxylog® 3000 plus [V162] 	Dräger	<ul style="list-style-type: none"> • Notfall- und Intensivtransportbeatmungsgerät • Hinweis: Kinderbeatmungsschläuche empfohlen bis zu einem VT < 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumenkontrollierte und assistierte volumenkontrollierte Beatmung, VC-CMV, VC-AC, VC-SIMV/PS, 	<ul style="list-style-type: none"> • F_iO₂: 40–100 % • I : E (Atemzeitverhältnis): 1 : 100 bis 50 : 1

		250 ml	<p>SpnCPAP, SpnCPAP/PS, PC-BIPAP, PC-BIPAP/PS, Apnoe-Ventilation, NIV, HLW-Modus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optional: AutoFlow[®] für VC-CMV, VC-AC und VC-SIMV (VC-SIMS/PS), Anwendung mit Inhalationsmaske, CO₂-Messung 	<ul style="list-style-type: none"> • Inspirationszeit T_i: 0,2–10 Sek. • Beatmungsfrequenz <ul style="list-style-type: none"> ◦ 2–60/Min. (VC-SIMV, PC-BIPAP) ◦ 5–60/Min. (VC-CMV, VC-AC) ◦ 12–60/Min. bei Apnoeventilation • Atemhubvolumen: 50–2000 ml • Druckunterstützung: 0–35 mbar (relativ zum PEEP) • PEEP: 0–20 mbar
Medumat Standard[®]	Weinmann Emergency	Notfallbeatmungsgerät	Volumenkontrollierte Beatmung	<ul style="list-style-type: none"> • F_iO₂: Air-Mix/No Air-Mix • I : E (Atemzeitverhältnis): 1 : 1,67 (fix) • Beatmungsfrequenz: 8–40/Min. • Atemminutenvolumen: 3–20 l/Min. • PEEP: nur über externes PEEP-Ventil
Medumat Standard a[®] [V083] 	Weinmann Emergency	Notfallbeatmungsgerät	Volumenkontrollierte Beatmung, assistierte volumenkontrollierte Beatmung	<ul style="list-style-type: none"> • F_iO₂: Air-Mix/No Air-Mix • I : E (Atemzeitverhältnis): <ul style="list-style-type: none"> ◦ 1 : 1,67 (fix) ◦ Bei assistierter Beatmung 1 : 1–1 : 2,33 variabel

				<ul style="list-style-type: none"> • Beatmungsfrequenz: 8–40/Min. • Atemminutenvolumen: 3–20 l/Min. • Max. Beatmungsdruck P_{max}: 20–60 mbar • PEEP: nur über externes, optionales PEEP-Ventil
Medumat Standard 2® [V083] 	Weinmann Emergency	Notfallbeatmungsgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Volumenkontrollierte Beatmung: <ul style="list-style-type: none"> ◦ IPPV ◦ CPR ◦ SIMV (optional) ◦ S-IPPV (optional) ◦ RSI ◦ Inhalation (optional) • Unterstützte Spontanatmung: CPAP 	<ul style="list-style-type: none"> • F_iO_2: Air-Mix/No Air-Mix • I : E (Atemzeitverhältnis): <ul style="list-style-type: none"> ◦ 1 : 1,7 (mandatorisch = fix) ◦ sonst triggerabhängig (\pm 10 %) • Beatmungsfrequenz: 5–50/Min. • Tidalvolumen: 50–2 000 ml (\pm 450 ml) oder (\pm 20 %) • PEEP: 0–20 mbar
Medumat Transport® [V083] 	Weinmann Emergency	Notfall- und Intensivtransportbeatmungsgerät	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen- und druckkontrollierte Beatmung (jeweils auch assistiert), IPPV, S-IPPV, SIMV, PCV, aPCV, BiLevel/ASB, PRVC, CPAP/ASB, NIV. • Optional: Präoxygenierung, Sauerstoffinhalation 	<ul style="list-style-type: none"> • F_iO_2: Zwischen 40 % und 100 % (einstellbar in 10 %-Schritten) • I : E (Atemzeitverhältnis): 59 : 1–1 : 59 • Beatmungsfrequenz: 0–60/Min. • Tidalvolumen: 50–2 000 ml • Druckunterstützung: 0–

Wiederholungsfragen

1. Wie unterscheiden sich Spontanatmung und maschinelle Beatmung ([Kap. 19.1](#), [Kap. 19.2](#))?
2. Was ist der Unterschied zwischen Compliance und Resistance ([Kap. 19.1.2](#))?
3. Was sind die Basisparameter der kontrollierten Beatmung ([Kap. 19.1.5](#))?
4. Wie kalkuliert man das Atemhubvolumen ([Kap. 19.1.5](#))?
5. Wie ist die Grundeinstellung des Beatmungsgeräts für eine volumenkontrollierte Beatmung ([Kap. 19.2.1](#))?
6. Wie ist die Grundeinstellung des Beatmungsgeräts für eine BIPAP-Beatmung ([Kap. 19.2.1](#))?
7. Inwiefern führt eine CPAP-Therapie zur Erleichterung der Atemarbeit ([Kap. 19.2.2](#))?
8. Wie ist die Grundeinstellung des Beatmungsgeräts für eine NIV ([Kap. 19.2.4](#))?
9. Was sind Kontraindikationen für eine nichtinvasive Ventilation (NIV, [Kap. 19.2.4](#))?
10. Was sind Erfolgskriterien für eine NIV ([Kap. 19.2.2](#))?
11. Welche Ursachen kann ein Anstieg bzw. Abfall des endtidalen CO₂-Gehalts haben ([Kap. 19.4](#))?

Auflösung Fallbeispiel

Verdachtsdiagnosen

- Exazerbierte COPD
- Asthmaanfall
- Lungenödem

Erstmaßnahmen

Der Patient hat einen freien Atemweg, die Atmung ist tachypnoisch mit flachen Atemzügen. Die Lungen sind beidseits gut belüftet, allerdings sind am Brustkorb deutliche Einziehungen sichtbar.

Der Patient erhält umgehend hoch dosiert (15 l/Min.) Sauerstoff über eine Sauerstoffmaske mit Reservoirsystem. Der periphere Puls ist gut tastbar und rhythmisch, die Rekapillarisierungszeit liegt bei ca. 2–3 Sekunden. Die Haut des Patienten fühlt sich warm und feucht an. Er ist zeitlich und örtlich orientiert, die Pupillen sind unauffällig.

Bei der Erhebung der SAMPLER-Anamnese berichtet der Patient, dass er seit Jahren eine COPD (chronisch

obstruktive Lungenerkrankung) – aktuell Stadium GOLD III – hat. Den Rettungsdienst habe er alarmiert, weil die Atemnot heute besonders schlimm sei.

Das Rettungsteam legt sich auf die Verdachtsdiagnose „akut exazerbierte COPD“ (AE-COPD) fest. Der Patient erhält daraufhin Salbutamol und Ipratropiumbromid über eine Verneblermaske. Bis jetzt geht es dem Patienten nicht besser. Die exakte Erhebung der Vitalparameter ergibt eine Atemfrequenz von 30/Min., die Herzfrequenz liegt bei 110/Min. Die Sauerstoffsättigung ergibt einen Wert von 85 %. Das angelegte EKG zeigt einen Sinusrhythmus.

Der mittlerweile eingetroffene Notarzt bestätigt die Verdachtsdiagnose der RTW-Besatzung. Der Patient erhält zur Linderung seiner Atemnot und zur leichten Sedierung fraktioniert 5 mg Morphin i. v. Außerdem bekommt er 250 mg Prednisolon i. v. Die nichtinvasive Beatmung wird vorbereitet und dem Patienten die beabsichtigte Maßnahme erklärt. Vorsorglich wird das Material für eine Intubationsnarkose vorbereitet. Der Notarzt entscheidet sich initial für den Modus CPAP/PS/NIV mit einem PEEP-Niveau von 5 mbar und einer Druckunterstützung (PS) von 5 mbar. Die Maske wird dem Patienten zunächst von Hand sanft auf das Gesicht gedrückt. Im Verlauf kann der PEEP auf 8 mbar und die Druckunterstützung auf 10 mbar erhöht werden. Diese Einstellung empfindet der Patient als angenehm. Atemfrequenz und Herzfrequenz nehmen ab, nach einer Weile beträgt die $SpO_2 = 92\%$. Inzwischen toleriert der Patient die Befestigung der Maske mit den Gummihaltebändern.

Nach erfolgter Anmeldung in der nächsten Klinik mit internistischer Intensivstation wird der Patient unter Fortführung der NIV-Therapie in den RTW gebracht. Der Transport verläuft komplikationslos, die Übergabe erfolgt bei deutlich gebessertem Zustand.

Diagnose

Akut exazerbierte COPD.

Weiterführende Literatur

 **Oczenski and Hörmann, 2012**

 W. Oczenski

 Ch. Hörmann

ÖGARI-Leitlinien zur invasiven Beatmung von Intensivpatienten (2012) Download von:

http://www.oegari.at/web_files/dateiarchiv/editor/leitlinie_invasiven_beatmung_von_intensivpatienten_2012.pdf

 **Rathgeber et al., 2010**

 J. Rathgeber

Grundlagen der maschinellen Beatmung

2., vollständig überarbeitete und erweiterte Aufl. 2010, Thieme-Verlag Stuttgart

 **Von Hintzenstern and Bein, 2015**

 U. Von Hintzenstern

 T. Bein

Praxisbuch Beatmung 6. Aufl. 2015, Elsevier/Urban & Fischer München

Medizinwelten

Abrechnung

Akupunktur

Allgemeinmedizin

Chirurgie

Gynäkologie

Heilpraktiker

Homöopathie

Innere Medizin

Klinikleitfaden

Naturheilverfahren

Onkologie

Osteopathie

Psychiatrie

Psychosomatik

Psychotherapie

Pädiatrie

Rettungsdienst

Sprachtherapie



ELSEVIER

Rechtliches

[Impressum](#)
[Datenschutz](#)
[User Guide](#)
[Elsevier AGB](#)

Links

[Customer Service](#)
[Elsevier Portal](#)
[Elsevier Webshop](#)