

# Weaning

## Begrifflichkeit und Voraussetzungen

### Definition

Der Begriff Weaning beschreibt die Entwöhnung eines Patienten vom Beatmungsgerät und den Übergang zu Spontanatmung ohne jede mechanische Assistenz. Allerdings beinhaltet diese Definition eine gewisse Unschärfe, da einerseits die Abgrenzung mancher Beatmungsformen von Spontanatmung äusserst schwer fällt und andererseits manche Beatmungsstrategien von vornherein Patientenseitige spontane Aktivitäten voraussetzen.

Es gilt also festzulegen, ob sich Weaning auf die rein technischen Aspekte beim Einsatz eines Beatmungsprogramms bezieht, oder ob die neuromuskulären Fähigkeiten eines Patienten den Prozess im eigentlichen Sinne ausmachen. Aufgrund der genannten Schwierigkeiten, sich dem Begriff Weaning über den Gebrauch eines Spontanatmung zulassenden Beatmungsprogramms zu nähern, werden wir im Weiteren dann von Weaning sprechen, wenn der betroffene Patient nicht in der Lage ist, die zur Befriedigung seiner Stoffwechselbedürfnisse notwendige Atemarbeit selbstständig aufzubringen vermag. Allerdings muss der Patient in der Lage sein, aus eigenem Antrieb und eigener Kraft ein messbares Atemzugvolumen zu realisieren.

Mit dieser Form grenzen wir den Begriff ab von postnarkotischen Verläufen, bei denen es in der Regel eher um den Abbau der Narkotika geht, als um das Trainieren des Atemapparates. Weiterhin sollte auch

nicht vom Weaning gesprochen werden, wenn eine Patient mit selektiven neuromuskulären Störungen mit Hilfe eines Ventilationsmodus beatmet wird, der formal ein spontaner ist, jedoch aufgrund der Parameterwahl vom Patienten nahezu keine Atemarbeit mehr erfordert.<sup>1</sup>

Zusammenfassend gehören zum Weaning folgende Aspekte:

1. Der Patient im Weaningprozess hat die Fähigkeit zur Atmung.
2. Es liegt ein muskuläres Defizit am Atemapparat vor.
3. Der gewählte Beatmungsmodus lässt Spontanatmung zu.

### Patho-physiologische Bedingungen

Zur Einatmung müssen die Atemmuskeln eine ausreichend hohe Kraft zur Überwindung von Strömungs- und elastischen Widerständen aufbringen. Der Strömungswiderstand wird durch die Resistance (R) beschrieben und gibt an, wieviel an Druckdifferenz notwendig ist um in den Atemwegen eine Volumenströmung zu generieren.  $R = \Delta P \cdot t / V$ .<sup>2</sup>

Der elastische oder Gewebewiderstand wird als Compliance (C) bezeichnet und stellt das Verhältnis von einem in der Lunge gehaltenem Volumen zu dem dazu gehörigen Druck dar.  $C = V / \Delta P$ .<sup>3</sup>

Die Summe der Widerstände legt die zur Einatmung notwendige muskuläre Arbeit fest (WoB - Work of Breath). In der Regel erfolgt die Expiration passiv unter Verbrauch der inspiratorisch gespeicherten kinetischen Energie.

Der WoB lässt sich verhältnismässig gut im Druck-Volumen-Diagramm abschätzen, wobei das Flächenintegral des Schleifen-

<sup>1</sup> Hierunter kann beispielsweise ein Pressure Support oder ASB von 25 mbar verstanden werden.

<sup>2</sup>  $\Delta P$ : Druckdifferenz von Mund- zu Alveolardruck in Millibar, t: Zeit in Sekunde, V: Volumen in Liter.

<sup>3</sup> V in Liter, P in Millibar.

zugs mit der Höhe der muskulären Arbeit korreliert.

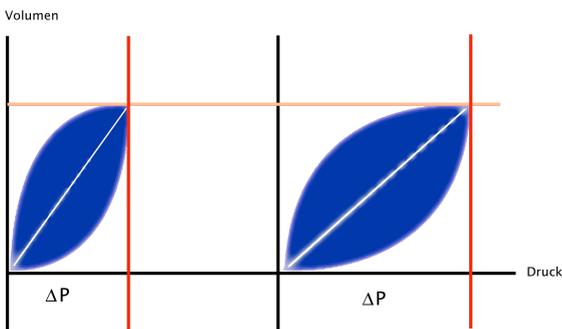


Abb. 1: Zwei Schleifenzüge mit identischem Tidalvolumen jedoch unterschiedlicher Druckdifferenz. Im zweiten PV-Loop ist der WoB deutlich höher.

Bestimmte Erkrankungen der Lunge ziehen Veränderungen von Compliance und/oder Resistance nach sich. So findet man bei Bronchopneumonien eine erhöhte Resistance sowie eine erniedrigte Compliance, während bei der Alveolitis primär nur die Compliance reduziert ist. Eine reine Bronchitis hingegen verändert meist ausschließlich die Resistance.

Sowohl eine erniedrigte Compliance als auch eine erhöhte Resistance vergrößern das Flächenintegral im PV-Loop mit der Folge, dass zur Aufrechterhaltung des Tidalvolumens eine gesteigerte Atemarbeit vonnöten ist. Wenn der Muskelstoffwechsel des Atemapparates nicht mehr in der Lage zur adäquaten Bereitstellung von Energieträgern ist, dekompenziert die Atemfunktion und es wird mechanische Atemhilfe notwendig. Zur Rekompensation müssen primär die Energiespeicher der Atemmuskulatur wieder aufgefüllt werden und es muss ermittelt werden, ob der Patient das zur Ventilation<sup>4</sup> notwendige Atemminutenvolumen erbringen kann.

Häufig liegt bei schwerwiegenden Lungenerkrankungen der erforderliche WoB über den respiratorischen Möglichkeiten der Patienten, so dass über ein geeignetes Beatmungsprogramm die zur Ventilation notwendige mechanische Arbeit als mandatorische<sup>5</sup> Variante vom Beatmungsgerät übernommen wird.

Um von einer mandatorischen Beatmungsform auf eine mit spontanen Anteilen zu wechseln müssen bezüglich der zu Grunde liegenden Erkrankung bestimmte klinische Bedingungen erfüllt sein. Weiterhin ist es unabdingbar, dem Patienten Atemarbeit abzunehmen, um einer katabolen Situation vorzubeugen. Üblicherweise wird unzureichende Atemarbeit mittels Druckunterstützung<sup>6</sup> substituiert.

Allerdings bietet die inspirationssynchrone Druckunterstützung nur wenig Vorteile bei der notwendigen kontinuierlichen Rekrutierung von Ventilationsfläche. Eines der Probleme einer kompromittierten Lunge ist das Vorhandensein von Kompartimenten mit sehr unterschiedlichen Befüllungs- und Entleerungszeiten. Dieser Tatsache sollte durch Ventilationszyklen mit höheren Volumina Rechnung getragen werden. Die intermittierende mandatorische Ventilation (IMV) entspricht diesem Konzept.

### Technische Umsetzung der Druckunterstützung

Da der zur ausreichenden Spontanatmung nicht befähigte Patient die hierzu notwendige Druckdifferenz nicht erreicht, wird die Eigenatmung durch einen vom Beatmungsgerät generierten Druck vertieft. Hierzu ist ein negativer Druckgradient erforderlich, den der Patient selbst zu erbringen hat.

<sup>4</sup> Ventilation wird hier als Synonym für Kohlendioxid-Eliminierung gebraucht.

<sup>5</sup> Mandatorische Ventilationsformen sind jene, bei denen die Dauer eines Inspirationszyklus vom Patienten nicht beeinflusst werden kann. Aus der Wahl der hierzu notwendigen Parameter sollte ein adäquates Atemminutenvolumen resultieren.

<sup>6</sup> Synonyme sind Pressure Support (PS) und Assisted Spontaneous Breathing (ASB)

Bei druckunterstützter Spontanatmung intendiert der Patient eine Atemanstrengung mit dem Ziel der Inspiration eines notwendigen Tidalvolumens. Hierzu erzeugt er negative Pleura- und Atemwegsdrücke unter Einsatz seiner Muskulatur. Je höher die Druckunterstützung gewählt wird, desto geringer kann die eigene Atemarbeit und der aufzubringende Betrag an Atemarbeit des Patienten ausfallen. Im Extremfall kann sich diese auf das Auslösen der Druckunterstützung reduzieren. Da am Ende der druckunterstützten Inspiration ein positiver Druck herrscht, bleibt der Pleuradruck auf dem Systemdruck.

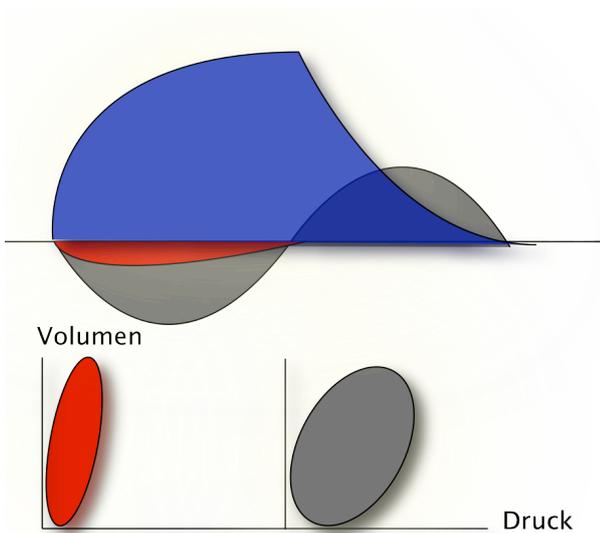


Abb. 2: Der graue Bereich markiert den Pleuradruck während eines spontanen Atemzugs, der PV-Loop gibt den erforderlichen Grad an Atemarbeit an. Die rote Fläche zeigt den Pleuradruck bei einem Druck unterstützten Atemzug mit dem dazu gehörigen blauen Atemwegsdruck.

Die Druckunterstützung bietet im Weaning folgende Aspekte:

1. Atemarbeit wird graduell einstellbar ersetzt.
2. Der Patient hat die volle Kontrolle über seine Atemfrequenz.
3. Die Expiration ist passiv.

Nachteilig an der inspirationssynchronen Druckunterstützung ist die Schwierigkeit

den notwendigen Substitutionsgrad abzuschätzen. Hilfreich wären mathematische Verfahren, die in Echtzeit aus dem PV-Loop den WoB ableiten. Allerdings müsste hierzu auf Grund des positiven Inspirationsdrucks der Pleura- oder alternativ der Ösophagusdruck ermittelt werden, ein Verfahren, das in der klinischen Routine nur schwer umzusetzen ist.

Bislang ist als einziges Echtzeitverfahren die Messung des Okklusionsdruckes anwendbar. Bei dieser Messung werden die Maschinenventile zu Beginn der Inspiration für 0,1 Sekunde verschlossen. In dieser Zeit gleicht sich der Atemwegsdruck dem negativen Pleuradruck an und spiegelt somit die aktuelle Atemanstrengung des Patienten wieder.

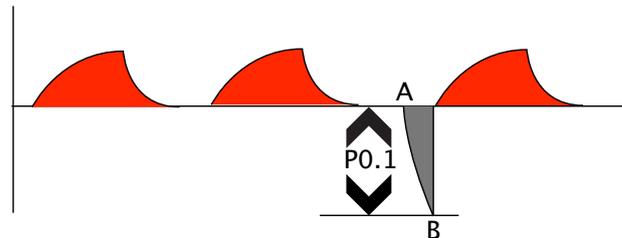


Abb. 3: Messung des Okklusionsdrucks während druckunterstützter Spontanatmung (rot). Am Punkt A werden sämtliche Ventile verschlossen, der Druck im Atemwegssystem entspricht dem Pleuradruck. nach 0,1 Sekunde wird an B die Inspiration begonnen. Somit ist der  $P_{0.1}$  B-A.

Die Messung wird von den Patienten gut toleriert, allerdings sind die Ergebnisse bei COPD-Patienten wegen deren extrem langsamen Lunge und der damit zu kurzen Zeit zur Druckanpassung kritisch zu interpretieren.

### Umsetzung des IMV-Konzepts

Das Konzept Intermittent Mandatory Ventilation sieht einen mandatorischen Beatmungsmodus vor, in dem zum Ende der maschinellen Inspirationsphase auf eine spontane Ventilationsform umgeschaltet wird. Um dem Patienten Atmung überhaupt erst zu ermöglichen, sollten die Expirationszeiten auf Kosten der Frequenz verlängert werden. In der Regel wird man unter einem IMV-Modus mandatorische

Frequenzen kleiner als 8 wählen, um Spontanatemzeiten von mindestens 6 Sekunden zu realisieren.

Die spontanen Atemanteile werden in der Regel druckunterstützt sein. Bei fehlender Druckunterstützung liegt CPAP<sup>7</sup> vor.

Ein zentrales Problem beim IMV-Einsatz zum Weaning liegt in der Synchronisation von spontanen und mandatorischen Atemanteilen. Prinzipiell sollte der Patient durch die mandatorischen Anteile eine Volumenunterstützung erhalten, jedoch nicht aus seiner eigenen Atemsignatur herausgerissen werden. Aus diesem Grund müssen eine Reihe von Synchronisationsmaßnahmen getroffen werden.

1. Phasensynchronisation: Mandatorische und spontane Atemanteile müssen phasensynchron sein. Erreicht wird dies über eine zeitliche Latenz zu Beginn des mandatorischen Zyklus. Wahlweise kann die Steuerung unter IMV den Zyklus vor- oder nachziehen.
2. Flowsynchronisation: Falls eine spontane Inspiration eine mandatorische Phase triggert, wird von der Maschine bis zum Rückgang des spontanen Flows kein mandatorischer Flow geliefert. Erst bei einem Rückgang der spontanen Inspirationsströmung setzt das Beatmungsgerät mit Flowförderung ein.
3. Volumensynchronisation: Diese ähnelt der Flowsynchronisation, da das spontan geatmete Volumen mit dem verrechnet wird, das der Respirator unter IMV entsprechend den gewählten Parametern liefern könnte.
4. Synchronisation der Inspirationszeit: Das Beatmungsgerät verkürzt die vorgegebene Inspirationszeit, wenn kein Volumen mehr gefördert wird.

Bis auf Punkt vier sind die entsprechenden technischen Umsetzungen in die meisten neueren Beatmungsgeräte implementiert. Es versteht sich von selbst, dass diese Anforderungen bei volumenkonstanten mandatorischen IMV-Anteilen nicht zu realisieren sind. In der Regel wird man also für die mandatorischen IMV-Anteile einen zeitgesteuerten und druckkonstanten Modus wählen.<sup>8</sup>

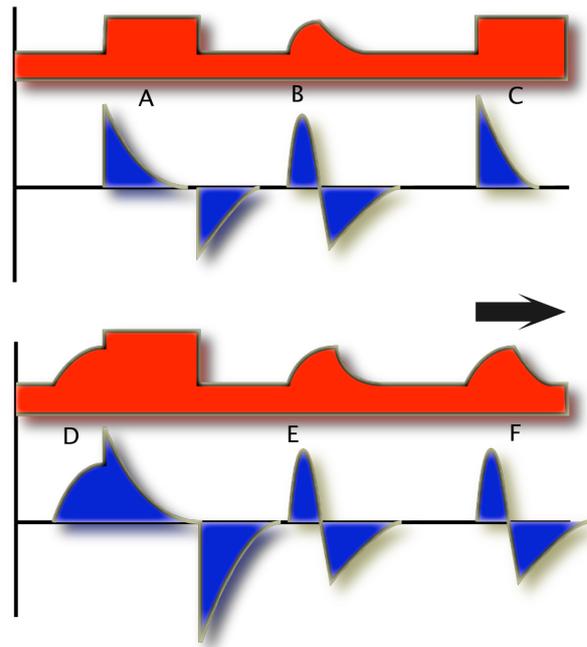


Abb. 4: IMV mit druckunterstützten spontanen Atemzyklen. Druckverlauf ist in Rot, Flowverlauf in Blau dargestellt. Im oberen Verlauf ist keine Synchronisation vonnöten. A und C: IMV-Zyklen, B: spontaner Zyklus. Im unteren Verlauf findet eine Flow- und Volumensynchronisation (D) statt. Der spontane Atemanteil geht in den IMV-Zyklus über. E und F: Spontane Zyklen mit einer Phasensynchronisation (F). Der Pfeil weist auf eine Verschiebung des IMV-Teils hin.

Die Implementierung einer hochgradig synchronisierenden Steuerung erfordert von der Hardware des Beatmungsgerätes sehr schnell ansprechende Ventile und kurze Latenzzeiten. Weiterhin sollte im Monitoring Abfragen enthalten sein, über die sich die Atemarbeit eines Patienten im Weaning abschätzen lässt.

<sup>7</sup> CPAP: Continuous Positive Airway Pressure - Spontanatmung unter demandatorischer Volumenlieferung auf einem supra-atmosphärischem Druckniveau.

<sup>8</sup> Diese heißen dann je nach Hersteller Biphasic Positive Airway Pressure (BIPAP) oder einfach BiLevel.

## Einstellungen

### Wahl des Weaning-Modus

Für die Entwöhnung eines lungenkompromittierten Patienten von einem mandatorischen Verfahren hin zu einer spontanisierenden Variante bieten sich drei mögliche Konstellationen an:

1. IMV mit CPAP.
2. IMV mit Druckunterstützung.
3. Reine druckunterstützte Spontanatmung.<sup>9</sup>

Die IMV/CPAP setzt Patienten voraus, die keine inspiratorische Assistenz benötigen, deren Atemleistung also ausreichend ist. Allerdings benötigt diese Gruppe intermittierend höhere Volumina, um bei einem instabilen Alveolarsystem regelmäßig Ventilationsfläche zu rekrutieren und zu erhalten.

IMV/Druckunterstützung wird wohl die häufigste Strategie im Weaningprozess sein. Die Patienten benötigen aufgrund ihrer pathologisch veränderten Atemmechanik inspiratorische Druckunterstützung und sind auf zusätzliche Rekrutierungsvolumina angewiesen.

Bei Patienten mit einem ausschließlichen Defizit bei der Erbringung der Atemarbeit bietet sich inspiratorische Druckunterstützung ohne IMV-Elemente an. Die Patienten zeigen keinerlei Hinweise auf einen Verlust an Ventilationsfläche.

Die Wahl des entsprechenden Entwöhnungsverfahrens setzt also eine Diagnose der atemmechanischen Leistung des Patienten voraus. Nachstehende Punkte sollten berücksichtigt und in das Entscheidungsschema mit einbezogen werden:

1. Verlust an Ventilationsfläche oder rezipitierende Atelektasen, Surfactantstörungen: IMV
2. Defizit der respiratorischen Leistung, reduzierte Compliance, erhöhte Resistance: Druckunterstützung

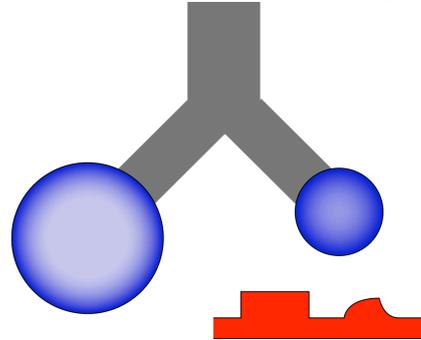


Abb. 5: Die Kombination aus gestörter Atemmechanik und reduzierter Atemleistung macht die Kombination von IMV mit inspiratorischer Druckunterstützung notwendig.

Da in der Regel sowohl eine Störung der alveolaren Stabilität als auch der respiratorischen Leistung vorliegt, sollte die Variante IMV/Druckunterstützung zum Einsatz kommen.

### Methoden zur Abschätzung des notwendigen Unterstützungsgrades

Ohne exaktes Monitoring muss die Wahl des Niveaus zur inspiratorischen Druckunterstützung nach klinischen Gesichtspunkten erfolgen. Hierbei sollte das Tidalvolumen die zu beurteilende Zielgröße sein. Das physiologische Tidalvolumen für einen entsprechenden Patienten lässt sich dem Nomogramm entnehmen.

Ein einfacher Algorithmus sieht die Erhöhung der Unterstützung bei abnehmenden Tidalvolumen und die Erhöhung im gegenteiligen Fall vor. Bei dieser Beurteilung bleiben Atemfrequenz und auch Minutenvolumen unberücksichtigt, da von der Annahme ausgegangen wird, dass ein

<sup>9</sup> Airway Pressure Release Ventilation (APRV) stellt einen Sonderfall dar, da die Atemunterstützung expiratorisch wirkt.

Rückgang des Tidalvolumens einen Rückgang der Atemleistung bedeutet.

Allerdings muss für die Benutzung dieses Algorithmus das Tidalvolumen als Trend gesehen werden, um kurzfristigen und nicht angebrachten Korrekturen vorzubeugen.<sup>10</sup> Außerdem sollte der Wachheitsgrad des Patienten beachtet werden, da in Ruhephasen der Grundumsatz und somit das benötigte Tidalvolumen physiologischerweise absinken.

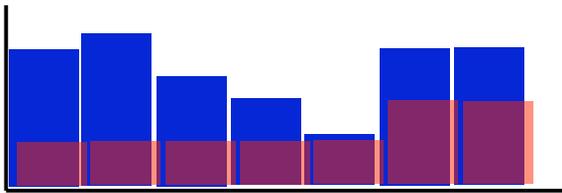


Abb. 6: Tidalvolumen (blau) und inspiratorische Druckunterstützung (rot) im zeitlichen Verlauf. Das im Trend feststellbare Absinken des Tidalvolumens kehrt sich bei der Erhöhung der Druckunterstützung um.

Einfacher gestaltet sich die Wahl der Druckunterstützung durch die Messung des Okklusionsdrucks (P0.1). Hierzu wird ein Referenzintervall bestehend aus oberer und unterer tolerierbarer Grenze für den P0.1. Verlässt der Okklusionsdruck den Referenzbereich, so wird die Druckunterstützung entsprechend angepasst.

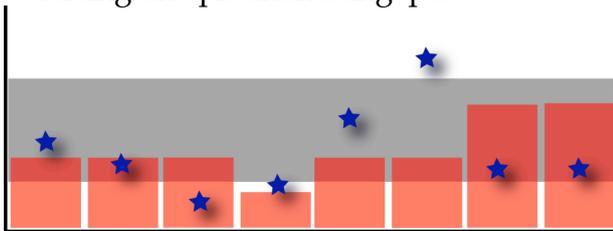


Abb. 7: Okklusionsdruck (Stern) und Druckunterstützung im Verlauf. Der Referenzbereich ist hellgrau dargestellt.

Dabei entspricht ein niedriger P0.1 einem hohen Substitutionsgrad an Atemarbeit,

während ein hoher P0.1 für eine große Atemleistung seitens des Patienten spricht.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, dass der Okklusionsdruck bei Patienten mit Erkrankungen, die zu einer langsamen Lunge<sup>11</sup> führen (COPD), möglicherweise einen für den Patienten zu günstigen Wert ergibt.

### IMV-Parameter

Unter IMV in einem zeitgesteuerten und druckkontrollierten Modus<sup>12</sup> sind folgende Parameter einzugeben:

1. Inspirationsdruck
2. Inspirationszeit
3. Frequenz

Der Inspirationsdruck sollte so gewählt werden, dass das aus dem  $\Delta P$  resultierende Volumen über dem der spontanen Atemzyklen liegt. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, den Inspirationsdruck über den der spontanen Druckunterstützung zu legen. Dennoch sollte das Tidalvolumen in den IMV-Zyklen 10 ml je Kilogramm Körpergewicht nicht regelmäßig überschreiten.

Da die Patienten auch in den IMV-Zyklen aufgrund des demandatorischen Flowsystems atmen können, sollten lediglich Inspirationen durchgeführt werden. Wenn der Patient in der IMV-Phase expiriert, nimmt das resultierende Volumen ab und die gewünschten Effekte des IMV-Modus stellen sich nicht ein. Damit ist die Länge der Inspiration so kurz zu wählen, dass der Patient nur einatmen, jedoch nicht mehr ausatmen kann. Dies ist nur mit Inspirationszeiten von maximal 1,5 Sekunden zu realisieren. Allerdings sollte die Inspiration

<sup>10</sup> Manche Änderungen der Atemtiefe können Ursachen wie psychosoziale Phänomene oder Schmerz als Ursache haben.

<sup>11</sup>  $R \cdot C = t$ ; ein hohes R sowie C ergibt eine hohe Befüllungs- und Entleerungszeit.

<sup>12</sup> Das bedeutet den Einsatz von BIPAP oder BiLevel. Eine volumenkonstante IMV-Variante ist nicht sinnvoll.

vollständig sein.

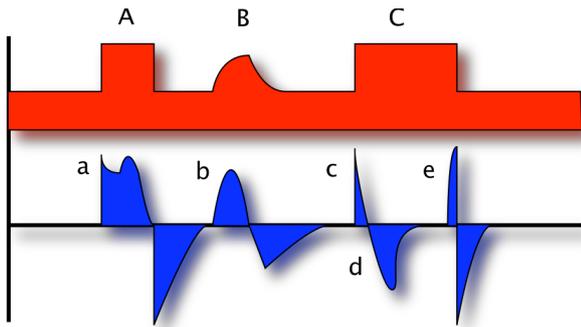


Abb. 8: Druck (rot) und Flow (blau) im Verlauf. A, C stellen je zwei IMV-Zyklen dar, wobei die Inspirationszeit von C deutlich länger ist. B ist ein druckunterstützter spontaner Atemzug. In a ist zu sehen, wie der Patient während der IMV-Phase aktiv mitatmet; das resultierende Tidalvolumen erhöht sich. Der Flow dezelleriert vollständig gegen 0 l/min. Teil b stellt die Flowkurve zu B dar. In C führt die Druckerhöhung in der IMV-Phase primär zu einer Flowförderung (c), jedoch atmet der Patient noch während der IMV-Phase gegen den Inspirationsdruck aus (d). Die anschließende erneute spontane Inspiration wird durch das Ende des IMV-Zyklus abgebrochen. Fazit: Die Inspirationszeit ist zu lang.

Die Phasen zur Spontanatmung zwischen den IMV-Zyklen sollten sechs Sekunden nicht unterschreiten. Diese Forderung impliziert Frequenzen, die durch maximal 8 IMV-Zyklen realisiert werden.<sup>13</sup>

Solange eine Instabilität der Lunge vorliegt, sollte mindestens ein IMV-Zyklus pro Minute erhalten bleiben. Abnehmende Volumina sowohl der Spontanatmungs- als auch der IMV-Phasen weisen auf einen Verlust an Ventilationsfläche hin.

<sup>13</sup>  $T_{\text{spontan}}/\text{Zyklus} = 60 - (f_{\text{IMV}} \cdot T_{\text{insp}}) / f_{\text{IMV}}$