

1. Intensivbeatmung - von der Technik zur sicheren Anwendung

Peter Kremer, Karlsruhe
Sven Pulletz, Rostock

1.1 Intensivbeatmung - eine Einführung

In den letzten 50 Jahren hat sich die Intensivbeatmung von einer nicht alltäglichen Therapieform an Universitätskliniken zu einer Standardtherapie in der Intensivmedizin entwickelt. So verzeichnen die Krankenblätter der chirurgischen Intensivstation des Universitätsklinikums Erlangen 1960 immerhin zehn Beatmungsfälle, wobei zwei Patienten länger als sechs Tage beatmet wurden. Für das Jahr 2017 erfasste die Gesundheitsberichterstattung des Bundes bereits mehr als 430.000 Beatmungsfälle. (Abbildung 1)

Vordergründig geht es bei der Intensivbeatmung nur um die lebensrettende Sicherstellung der Sauerstoffversorgung und CO₂-Auswaschung auf zellulärer Ebene, welche auf Basis der Blutgasanalyse oder der endtidalen CO₂-Messung in Kombination mit der Puls-oxymetrie gesteuert werden kann.

Im Detail ist die Beatmungstherapie aber deutlich komplexer und erfordert fundamentale Kenntnisse über die Physiologie, Pathophysiologie und die Mess- und Regelungstechnik von Beatmungsgeräten. Ähnlich wie bei anderen unterstützenden Maßnahmen der Intensivversorgung, wie beispielsweise der

Nierenersatztherapie, lässt sich mithilfe der maschinellen Beatmung Zeit gewinnen, bis eine Kausaltherapie wirksam wird, die Lunge heilt, und der Patient seine Atemarbeit wieder komplett übernehmen kann.

In den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts war man selbst bei Vorliegen einer schwer geschädigten Lungenmechanik bestrebt, normale O₂- und CO₂-Blutgaswerte herzustellen. Hierzu wurde mit hohen Volumina und hohen Drücken beatmet, und ausgeprägte Barotraumatata waren so häufig, dass man bei maschinell beatmeten Patienten die präventive Anlage einer Thoraxdrainage erwog.

In den letzten 50 Jahren wurden beachtliche Fortschritte beim Verständnis der Pathophysiologie des ARDS erzielt. Die komplizierten Wechselbeziehungen zwischen Lungenversagen und Intensivbeatmung sind zunehmend klarer geworden, und die im Zusammenhang mit der maschinellen Beatmung auftretenden Komplikationen wurden unter dem Begriff „Beatmungs- oder Respiratorinduzierte Lungenschädigung“ (VILI: ventilator induced lung injury ventilator) zusammengefasst, der 1993 eingeführt wurde. Dieser allgemeine

	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007
Behandlungsfälle mit Beatmung während intensivmedizinischer Versorgung (Gesundheitsberichterstattung Bund)	430.452	425.777	412.923	399.007	403.907	384.349	372.995	359.710	353.481	353.558	337.596
Maßnahmen für das Atemsystem (8.70 – 8.72)	680.815	658.542	623.501	588.057	562.768	545.990	531.773	511.280	496.784	475.714	459.560
davon bei Neugeborene und Säuglinge (8-711)	44.682	41.986	36.966	35.213	32.218	31.214	29.416	29.408	26.632	25.293	24.013
davon bei Kindern und Jugendliche (8-712)	2.498	2.240	840	805	837	751	737	851	-	-	-
davon unter Einsatz von Stickstoff (8-714)	7.939	7.910	7.103	6.792	6.425	6362	6.293	5.869	5.707	5.649	5.875
davon Einstellung häuslichen Beatmung (8-716.0) inklusive Optimierung oder Kontrolle der häuslichen Beatmung (8-716.1)	60.022	57.124	56.198	50.005	44.528	42.457	38.806	36.044	31.827	27.883	24.222
davon Anwendung NAVA (8-719.0)	218	144	141	169	141	107	70	--	--	--	--
Maske für NIV-Beatmung (8-706)	200.209	190.539	180.033	163.058	149.169	134.389	123.266	111.303	100.373	88.363	78.116
Extrakorporale Membranoxygenierung und Prä-ECMO (8-852)	8.208	7.764	6.872	5.949	5.402	3.519	3.100	--	--	--	--

Abbildung 1: Vergleich der intensivmedizinischen Situation auf Grundlage der Gesundheitsberichterstattung des Bundes und der fallpauschalenbezogenen Krankenhausstatistik „Operationen und Prozeduren“ der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern. DRG-Statistik bis zum kodierbaren Endpunkt.

Sammelbegriff deckte ein breites Spektrum von pathologischen Anzeichen ab, die vom einfachen Pneumothorax bis zum atemzyklischen Alveolarkollaps reichte. Dabei ist die teilweise in der Literatur anzutreffende Unterscheidung zwischen beatmungsinduzierter Lungenschädigung (VILI) und beatmungsassoziierter Lungenschädigung (VALI: ventilator associated lung injury) eher akademischer Natur. Ihr kommt in der konkreten Anwendung am Klinikbett eine eher geringe Bedeutung zu. Aus pragmatischen Gründen werden oft VILI und VALI als Sammelbegriffe für Beatmungskomplikationen genutzt.

Trotz mehrerer Jahrzehnte dedizierter Forschung sind die genauen schädlichen Mechanismen der maschinellen Beatmung jedoch immer noch nicht vollständig bekannt. Man muss sich bewusst machen, dass bei allem Zugewinn an beatmungsmedizinischem Knowhow „die“ optimalen Maßnahmen zur Vermeidung von Beatmungskomplikationen bisher noch unbekannt ist. Tatsächlich ist bei aller Routine die Intensivbeatmung ein ziemlich kompliziertes Gefüge, das aus einer Vielzahl von Parametern bzw. Einstellungen besteht, die in Summe einen adäquaten Gasaustausch bei möglichst niedrigem Risiko einer Lungenschädigung gewährleisten sollen: Drücke (z.B. PEEP, Plateau-, Driving- oder transpulmonale Drücke, ...), Tidalvolumen,

Flow, Atemfrequenz und Sauerstoffkonzentration. In Anbetracht der Komplexität des Gesamtsystems, bestehend aus dem respiratorisch insuffizienten Patienten mit seinem jeweils unterschiedlichen Krankheitsbild und dem Beatmungsgerät, ist es schwer vorstellbar, dass in der klinischen Praxis ein einzelner dieser Parameter ausreichend sensitiv und spezifisch wäre, um die Sicherheit der maschinellen Beatmung präzise prognostizieren zu können. In Parallelität existiert auch weiterhin nicht das „eine“ Verfahren für den erfolgreichen Weaningprozess oder „der“ sensitiven Weaningindikator zur erfolgreichen Beendigung des Beatmungsprozesses.

Die Autoren wollen mit diesem Artikel zum Gesamtverständnis für die Intensivbeatmung beitragen. Wesentliche Schwerpunkte sollen hier bei den einstellbaren Parametern, dem Monitoring und den neuen Zusatzfunktionen liegen. Im Sinne der Verständlichkeit werden teilweise vereinfachte Modelle genutzt und Randthemen beschnitten. Die Anwender aus Medizin, Pflege und Atemtherapie sind aufgerufen die hier dargestellten Zusammenhänge kritisch zu hinterfragen und in den klinischen Alltag zu übertragen. Die Literatur liegt bei den Autoren.

Peter Kremeier, Karlsruhe
Sven Pulletz, Rostock

1.2 Maschinelle Beatmung – von der Unterdruck- zur Überdruckbeatmung

Anfang der fünfziger Jahre des letzten Jahrhunderts grassierte in Europa eine Polio-Epidemie. Für die Therapie ateminsuffizienter Patienten wurde seit 1929 die sogenannte „eiserne Lunge“ als Beatmungsapparat eingesetzt. Dabei lag bei den Tankrespiratoren der Patient bis auf den Kopf komplett in einem Hohlkörper, welcher durch Unterdruck den Brustkorb dehnte und eine fast physiologische Einatmung über Nase und Mund erlaubte. Aufgrund der Vielzahl an beatmungspflichtigen Patienten standen jedoch nicht genügend Beatmungsmöglichkeiten zur Verfügung. Daraufhin organisierte der schwedische Beatmungsmediziner Carl-Gunnar Engström kurzerhand 1400 Medizinstudenten und stellte die Ventilation über Wochen im Schichtsystem mittels Handbeatmungsbeutel sicher. Eine begleitende wissenschaftliche Studie widerlegte die damaligen Vorbehal-

te gegenüber der Überdruckbeatmung durch Senkung der Sterblichkeit um rund 25% und trug zu der Einführung der heutigen Überdruckbeatmungsgeräte mit bei.

Die ersten Überdruckbeatmungsgeräte ahmten die Handbeatmung mittels einer mechanischen Umschaltdose nach und erlaubten die direkte Zumischung von Sauerstoff. Spontane Atemzüge des zumeist tracheotomierten Patienten mussten meistens durch Sedierung oder das 1951 eingeführte Succinylcholin unterdrückt werden. 1972 wurde der erste Ventilator mit Servoventilen kommerziell angeboten, was technisch die Möglichkeit der druckunterstützten Spontanatmung im Klinikalltag erlaubte. In den ersten Jahren wurde diese assistierte mechanische Beatmung im Wesentlichen als kurzfristige Zwischenlösung zwischen der kontrollierten mecha-

nischen Beatmung und Extubation des Patienten eingesetzt. Bei einer versuchsweisen fehlgeschlagenen Entwöhnung („Probeextubation“) wurde der Patient meistens erneut intubiert und die kontrollierte mechanische Beatmung wieder aufgenommen.

Inzwischen wird der Spontanatmung ein deutlich höherer Stellenwert sowohl in der akuten respiratorischen Insuffizienz als auch innerhalb des Weaningprozesses zugemessen, und PSV (Pressure Support Ventilation) gilt nahezu als Synonym für die Spontanatmung. Dabei dient PSV zur Druckunterstützung einer insuffizienten Spontanatmung und soll somit die erhöhte Atemarbeit des Patienten kompensieren. Die Vertiefung der Patientenatmung durch die eingestellte Druckunterstützung übernimmt damit einen entsprechenden Anteil an der zu erbringenden Atemarbeit (Work of Breathing). Die Atemfrequenzen werden vom Patienten durch erfolgreiches Auslösen des Triggers bestimmt.

Der Einzug von Computertechnik, bessere Ventiltechniken und schnellere Sensoren erlaubten zunehmend neue Beatmungsmodi, schnellere Patiententrigger und ein umfangreiches Monitoring.

Die positive Überdruckbeatmung gilt heutzutage weltweit als Standard. Die Frage, welcher Beatmungsmodus am besten für die akute respiratorische Insuffizienz geeignet ist, bleibt allerdings weiterhin unbeantwortet.

Aktuell lassen sich klinische Beatmungsgeräte in folgende Kategorien einteilen:

- Langzeitbeatmungsgeräte
- Neonaten-Beatmungsgeräte / Hochfrequenzbeatmungsgeräte
- Narkosebeatmungsgeräte / Narkosegeräte
- Transport- / Notfallbeatmungsgeräte
- MRT-taugliche Beatmungsgeräte.

Dabei können Beatmungsgeräte an die zentra-

le Gasversorgung (Druckluft- und Sauerstoff) angeschlossen werden, oder verfügen über eine integrierte Turbine zur geräteseitigen Erzeugung der Druckluft.

1.2.1 Technische Aspekte von Beatmungsgeräten

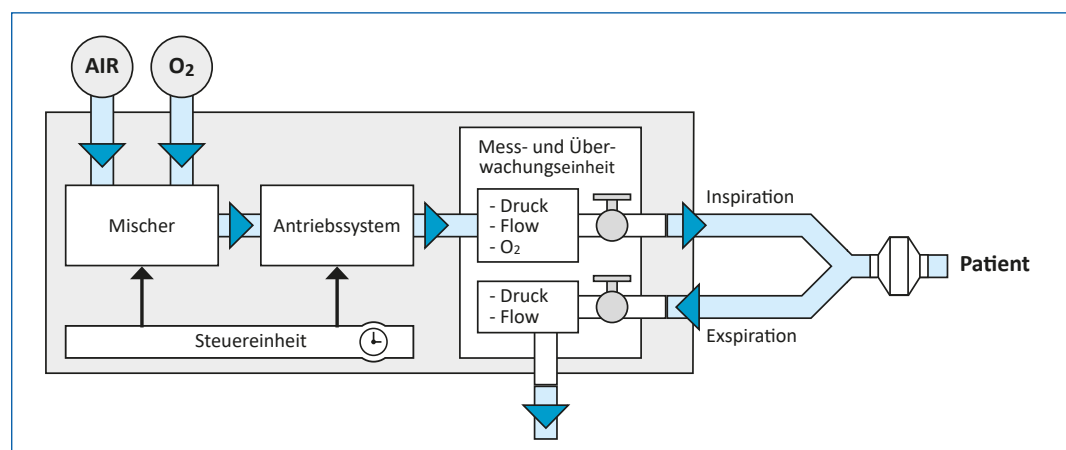
Beatmungsgeräte bestehen aus dem luftführenden System („Pneumatik“) und der Bedieneinheit („Bildschirm“). Zunehmend umfassen Beatmungsgeräte mehrere Rechereinheiten. Die Rechereinheiten steuern nicht nur die Ventile, sondern ermöglichen auch die Darstellung von Messwerten, Kurven und Trends. Gleichzeitig benötigen moderne Bildschirmseinheiten die Mikroprozessortechnik für die Eingabe von Einstellungen. Ein Kommunikationswächter überwacht die Kommunikation zwischen Hauptmaschine und der Bedieneinheit. Gleichzeitig stellt der Kommunikationswächter die Übereinstimmung der Funktionen sicher und greift bei Unstimmigkeiten in das System ein. Druckluft und Sauerstoff werden aus der zentralen Gasversorgung entnommen und in der Hauptmaschine auf einen geringeren Arbeitsdruck reduziert. (Abbildung 2)

Je nach Modell und Hersteller werden nun beide Gase:

- entsprechend der eingestellten Sauerstoffkonzentration in einem Tank gemischt und über eine Antriebseinheit oder ein Proportionalventil abgegeben oder
- über zwei Proportionalventile direkt in Abhängigkeit der eingestellten Parameter appliziert und dabei gemischt.

Dabei passt sich die Abgabe der Atemgase an die jeweilig eingestellten Parameter bzw. den Beatmungsmodus an. Sensoren im Bereich der in- und expiratorischen Schenkel erfassen fortlaufend die Drucksituation, den

Abbildung 2



Atemgasflow und das Volumen. Zusätzliche Module ermöglichen Funktionen wie das transpulmonale Druckmonitoring, die CO₂-Messung oder die Cuffüberwachung.

1.2.2 Beatmungsmodi – Definitionen

Der Herausgeber eines deutschsprachigen Standardbuches der Beatmung definiert Beatmungsmuster, als Beschreibung des zeitlichen Verlaufs von Druck, Volumen und Flow. Durch diese Parameter wird letztlich die alveoläre Ventilation beeinflusst. Dem gegenüber definiert Wolfgang Oczenski die Beatmungsform, synonym zum Beatmungsmodus, als Beschreibung des Anteils der Atemarbeit, die das Beatmungsgerät übernimmt, der Interaktion zwischen Patienten und Beatmungsgerät, sowie der Freiheitsgrade während der Beatmung. Auch Jörg Rathgeber nutzt diese Definitionen und konkretisiert, dass die Beatmungsform den zeitlichen Verlauf des Atemzykluses, den Anteil der respiratorischen Eigenleistung sowie den Auslösemechanismus für die Einatmung und Ausatmung darstellt.

Entsprechend kann man unter Beatmungsmuster das Grundmuster verstehen, **das den zeitlichen Verlauf von Druck, Volumen und Flow bestimmt**. Der konkrete Beatmungsmodus beschreibt die konkrete Beatmungsform, welche alle Steuerungs- und Regelmechanismen beinhaltet. In der Anfangszeit wurde vielfach eine einfache Klassifizierung der Beatmungsmodi angewendet, welche auch heute noch in den Beatmungsbüchern zu finden ist. Dabei werden die konkreten Beatmungsmodi nach dem Umfang der Übernahme der Atemarbeit durch das Beatmungsgerät bzw. den

Patienten zugeordnet:

- Kontrollierte Beatmung: 100% Übernahme der Atemarbeit durch das Beatmungsgerät
- Spontanatmung: 100% Übernahme der Atemarbeit durch den Patienten
- Mischbeatmung oder augmentierende Beatmung: teilweise Übernahme der Atemarbeit durch das Beatmungsgerät und den Patienten (Abbildung 3)

Während der Anfangsjahre war diese einfache Art der Klassifizierung wahrscheinlich ausreichend, damit der Anwender den jeweiligen Modus verstehen konnten. In der Marktübersicht für die verfügbaren Beatmungsgeräte der Gesellschaft für Systemforschung und Dienstleistungen Berlin wurden in den 70er und Anfang der 80er Jahre maximal neun Beatmungsmodi aufgeführt.

Exemplarische lassen sich diese wie folgt zuordnen:

Beatmungsmodus:	Klassifizierung nach Atemarbeit:
Spontan	Spontanatmung
IPPV	Kontrollierte Beatmung
CPPV (IPPV + PEEP)	Kontrollierte Beatmung
S-IPPV (IPPV mit Triggeroption)	Kontrollierte Beatmung
S-CPPV (IPPV mit Triggeroption & PEEP)	Kontrollierte Beatmung
SIMV	Mischbeatmung
HFJV	Kontrollierte Beatmung
EMMV	Mischbeatmung
IHS (= PSV)	Spontan

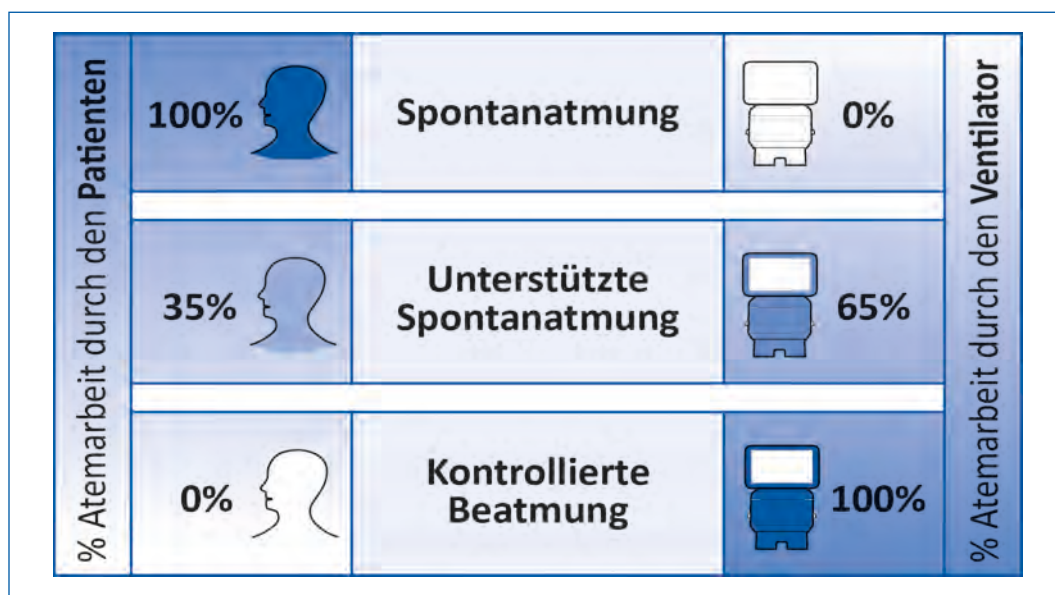


Abbildung 3

Klassifizierung von Beatmungsmodi anhand des Grades der Übernahme der Atemarbeit

Die Anzahl der Beatmungsmodi ist in den letzten 30 Jahren exponentiell gestiegen. Chatburn fand 2009 in einem gängigen Lehrbuch Beschreibungen von über 174 einzelnen Beatmungsmodi. Was die tatsächliche Zahl der einzelnen Modi angeht, ist die Komplexität jedoch in der Praxis viel ausgeprägter. Die meisten Beatmungsgeräte ermöglichen es dem Anwender, verschiedene Funktionen zu aktivieren, die einen bestimmten Modus modifizieren und diesen letztlich in einen anderen Modus umwandeln.

Daher gibt es erheblich mehr individuelle Modi (was die verschiedenen Muster der Interaktion zwischen Patienten und Respirator angeht) als entsprechende Bezeichnungen auf dem Respirator, in Benutzerhandbüchern oder in Fachbüchern angegeben sind. Entsprechend fordert die American Association for Respiratory Care (AARC) für Beatmungsmediziner, dass sie alle derzeit verfügbaren Beatmungsmodi auf allen invasiven und nicht-invasiven mechanischen Beatmungsgeräten sowie alle Zusatzfunktionen in der Praxis anwenden können. Diese Forderung impliziert, dass Beatmungsmediziner in der Zukunft in der Lage sein müssen, die funktionalen Unterschiede zwischen den einzelnen Modi zu kennen und unterscheiden zu können. Diese Forderung lässt sich auch auf alle Anwender am Krankenbett übertragen.

1.2.3 Mandatorische Beatmung

Die Beatmungsmodi beschreiben üblicherweise auch Teile der technischen Realisierung. So versteht man unter einer volumenkontrollierten Beatmung die Eingabe der bestimmten Parameter wie Atemfrequenz (Häufigkeit der Atemzyklen pro Minute), ein Tidalvolumen (applizierte Volumen pro Atemzug), die Inspirationszeit und das auslösende Kriterium für den Inspirationsbeginn wie Zeit oder patientenseitige Atemaktivität. Aufbauend auf diese eingestellten Parameter kann nun das Beatmungsgerät die Ventile für die Inspiration und Expiration entsprechend öffnen und das Volumen applizieren sowie für die eingestellte Inspirationszeit halten. Übernimmt das Beatmungsgerät die komplette Atemarbeit, das heißt, ist allein verantwortlich für die Gewährleistung der Oxygenierung und CO₂-Elimination, so spricht man von einer mandatorischen Beatmung. In den Standardwerken der Beatmung werden unterschiedliche Zielgrößen für mandatorische Beatmungsmodi beschrieben. Diese Zielgrößen sind vielfach die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zwischen den unterschiedlichen mandatorischen Modi. (Abbildung 4)

1.2.4 Spontanatmung

Auch die Spontanatmung kann unterschiedlich unterstützt oder vertieft werden. Das Spektrum reicht vom Realisieren eines positiven Druckes bis hin zur aktiven Vertiefung der Atemaktivität der Spontanatmung. Im Unterschied zur mandatorischen Beatmung kann der beatmete Patient durch seine Ein- und Ausatembemühungen die Dauer des Atemzyklus und die Größe des Tidalvolumens beeinflussen. In den Standardwerken der Beatmung werden unterschiedliche Zielgrößen für spontane Beatmungsmodi beschrieben. Diese Zielgrößen sind vielfach die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zwischen den unterschiedlichen Spontanatemmodi. (Abbildung 5)

1.2.5 Mischformen

Mischbeatmungsmodi bestehen aus einer mandatorischen und einer spontanatmenden Komponente. Diese Kombination erlaubt die Sicherstellung des notwendigen Minutenvolumens durch Ergänzung mit mandatorischen Anteilen bei noch nicht komplett ausreichender Spontanatmung. Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal bei Mischkomponenten besteht üblicherweise aus:

- der Art des mandatorischen Anteils
- der Art des Spontanatemanteils
- und der Art der Koordination zwischen der mandatorischen und den spontanatmenden Anteilen.

Die Koordination zwischen den zwei Komponenten kann auf Grundlage des gemessenen Minutenvolumens, der Zykluszeit oder einer festen Zeitvorgabe erfolgen. (Abbildung 6)

1.2.6 Beatmungsmodi - erste Versuche einer Vereinheitlichung

Für den klinischen Anwender macht die Vielzahl an unternehmensspezifischen Benennungen die eindeutige Zuordnung der Beatmungsmodi nicht einfacher. Erste Publikationen auf dem Weg zu einer Vereinheitlichung der Benennungen von Beatmungsmodi finden sich bereits in den 1990er Jahren. Robert L. Chatburn, Beatmungsmediziner und Hochschullehrer, beschrieb 1992 eine eher technisch orientierte Klassifizierung der Beatmungsmodi, welche einen wissenschaftlichen Vergleich und die Anwendung in der Praxis erleichtern sollte.

Eine Überarbeitung dieser Nomenklatur im Jahre 2007 findet zumindest bei ersten Firmen zum Teil Berücksichtigung bei der Be-

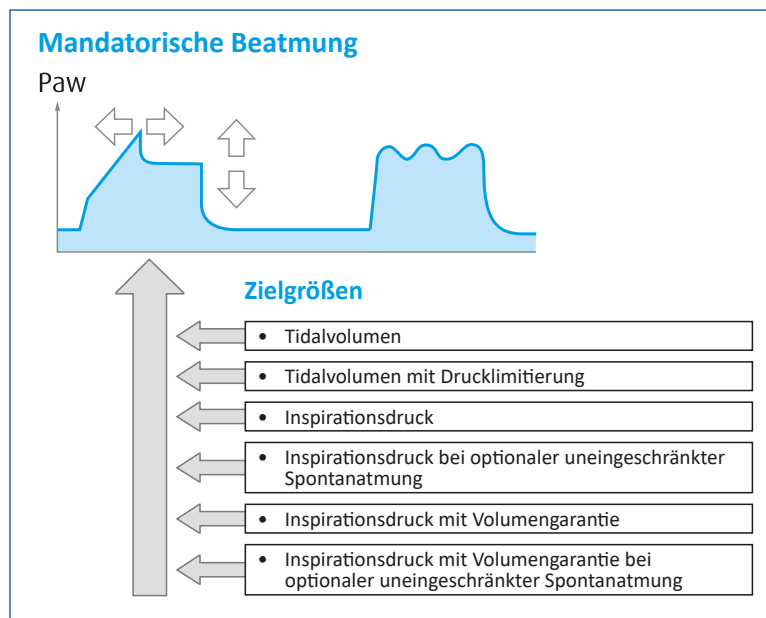


Abbildung 4

Spektrum mandatorischer Beatmungsmodi

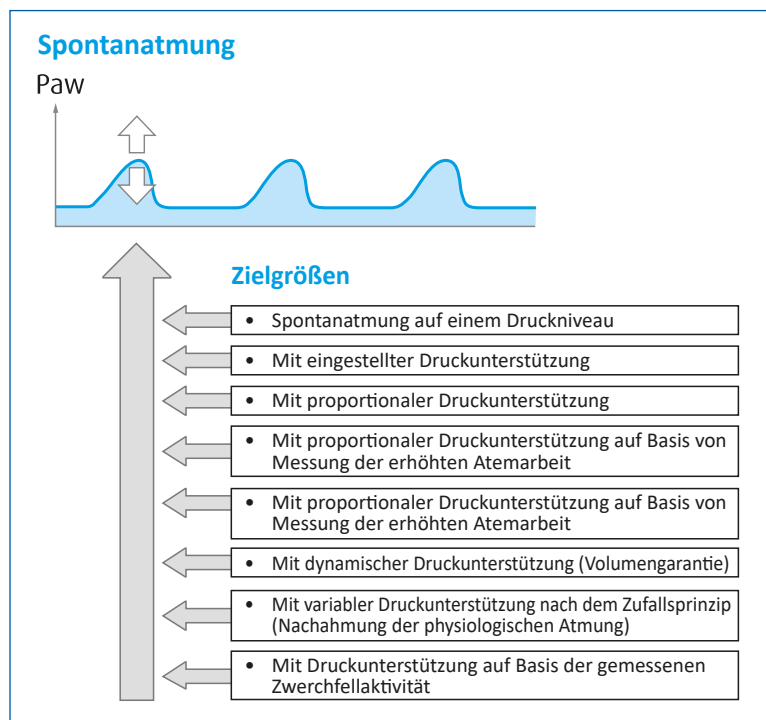


Abbildung 5

Spektrum spontaner Beatmungsmodi

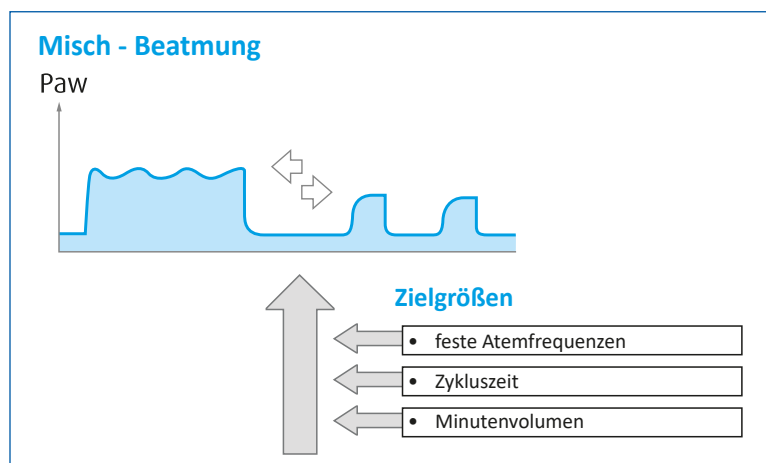
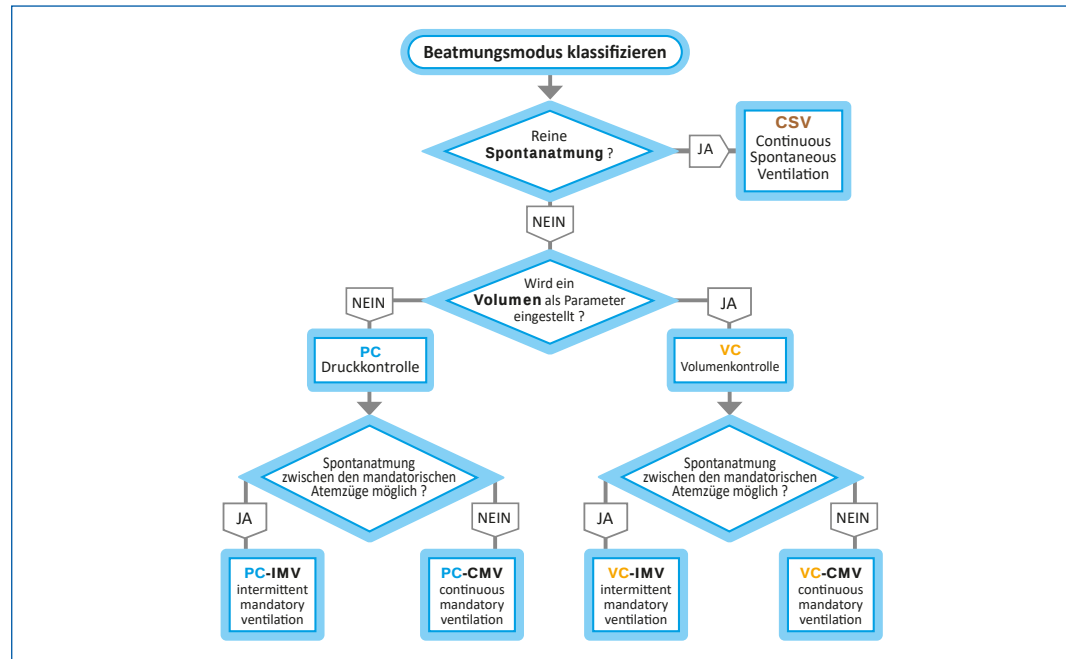


Abbildung 6

Koordinierungskriterien zwischen mandatorischer und spontaner Beatmungsanteilen

Abbildung 7



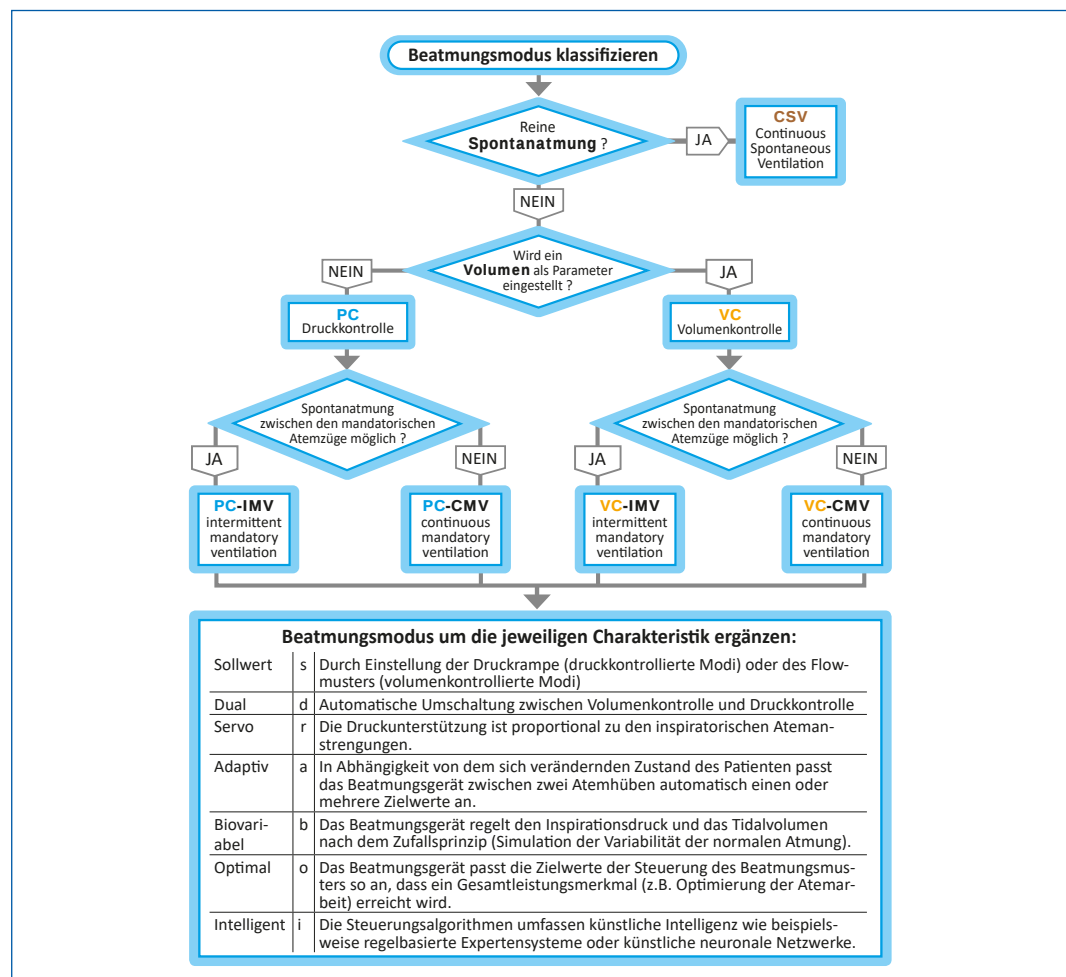
nennung von Modi und findet Eingang auch in die deutschsprachige Literatur.

Die Benennung basiert auf verschiedenen Klassifizierungsregeln wie Art und Umfang der Unterstützung. (Abbildung 7)

Eine deutliche Konkretisierung dieser Klas-

sifizierungsmethode im Jahre 2014 fand zwar wiederum Einzug auch in die deutschsprachige Fachliteratur, wurde aber auch in den Arbeitsgruppen der DGAI zur Entwicklung der S3 Leitlinie als klinisch wenig sinnvoll verworfen. Chatburn ergänzt dabei die No-

Abbildung 8



menklatur schwerpunktmäßig um die Art der Steuerung und der Zielvariablen. Eine Unterteilung in „Set-point“, „Servo“, „Dual“, „Adaptive“, „Optimal“ und „Intelligent“ beschreibt diese Unterteilung. (Abbildung 8)

1.2.7 Beatmungsmodi – Ist-Situation

Auch in Deutschland zeigen sich die Probleme der fehlenden einheitlichen Nomenklatur für Beatmungsmodi. So wurde im Dezember 2017 die S3-Leitlinie „Invasive Beatmung und Einsatz extrakorporaler Verfahren bei akuter respiratorischer Insuffizienz“ veröffentlicht. Die Probleme wie eindeutige Definition des einzelnen Beatmungsmodus und herstellerunabhängige Benennungen werden exemplarisch mit der Veröffentlichung dieser neuen S3 Leitlinie offensichtlich. Zwar beschreiben die Autoren der Leitlinie Aspekte der Chatburn-Taxonomie und auch der bekannte Problemkreis der fehlenden Einheitlichkeit wird gestreift. Die Autoren der Leitlinie kommen jedoch zu dem Schluss, dass „von dieser technischen Kategorisierung in Teilen“ abgewichen werden muss und ein

„Kompromiss zwischen den objektiv technischen Kriterien und einer klinisch sinnvollen Einteilung der Beatmungsverfahren“ geschaffen wurde. Aufbauend auf der bereits dargestellten Einteilung der Beatmungsmodi nach dem Umfang der Übernahme der Atemarbeit durch das Beatmungsgerät bzw. den Patienten wurde ein neues Cluster entwickelt und publiziert:

- Kontrollierte Beatmungsverfahren
- Tidalvolumen unterstützende Beatmungsverfahren zur Unterstützung der Spontanatmung
- Atemminutenvolumen unterstützende Beatmungsverfahren zur Unterstützung der Spontanatmung
- Adaptive Beatmungsverfahren zur Unterstützung der Spontanatmung
- Hybride Beatmungsverfahren
- Spezielle Beatmungsverfahren

Dieses im Zuge des Konsensusverfahrens entwickelte Cluster deckt sich nicht mit den bisher bekannten Taxonomien oder Modellen, bzw. berücksichtigt nicht die Festlegungen der geplanten Norm für die Benennung von Beatmungsmodi:

Kontrollierte Beatmungsverfahren (= mandatorische Modi)		
Modus	Abkürzung	Steuerung
Volumenkontrollierte Beatmung (Volume controlled ventilation)	VCV	„set-point targeting“: Applikation einer volumenkontrollierten Beatmung auf der Basis eingestellter Zielvariablen.
Druckkontrollierte Beatmung (Pressure controlled ventilation)	PCV	„set-point targeting“: Applikation einer druckkontrollierten Beatmung auf der Basis eingestellter Zielvariablen.
Volumenkonstante druckregulierte Beatmung (Pressure regulated volume control)	PRVC	Set-point / adaptiv: Volumenkontrollierte Beatmung mit adaptiver Druckanpassung.
Tidalvolumen unterstützende Beatmungsverfahren zur Unterstützung der Spontanatmung		
Modus	Abkürzung	Steuerung
Synchronisierte kontrollierte mandatorische Beatmung (Assist-Control Ventilation)	A/C VC-CMVs	„set-point targeting“: Applikation einer (patientengetriggerten) volumenkontrollierten Beatmung auf der Basis eingestellter Zielvariablen.
Druckunterstützte Beatmung (Pressure-Support Ventilation) Synonym: Assisted Spontaneous Breathing, ASB	PSV	„set-point targeting“: Spontanatmung wird durch eingestellte Druckunterstützung assistiert
Variable druckunterstützte Beatmung (variable pressure support)	noisy PSV	„set-point targeting“: Automatische Variation der Höhe der Druckunterstützung
Atemminutenvolumen unterstützende Beatmungsverfahren zur Unterstützung der Spontanatmung		
Modus	Abkürzung	Steuerung
Volumenkontrollierte synchronisierte intermittierende mandatorische Beatmung (Volume Controlled Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation)	VC-SIMV	Automatische Anpassung des inspiratorischen Beatmungsdrucks zur Erreichung eines Ziel VT

Druckkontrollierte Beatmung mit Möglichkeit der Spontanatmung in Inspiration und Expiration (z.B.: Biphase Positive Airway Pressure (BIPAP), Airway Pressure Release Ventilation (APRV), Synonym: DuoPAP, BI-LEVEL BI-VENT etc.	APRV BIPAP	„Set-point targeting“: Zeitgesteuerte druckkontrollierte Beatmung mit der Möglichkeit der Spontanatmung
Druckkontrollierte synchronisierte intermittierende mandatorische Beatmung (Pressure Controlled Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation)	PC-SIMV	Automatische Anpassung des Tidalvolumens zur Erreichung eines Zielatemwegsdruckes
Adaptive Beatmungsverfahren zur Unterstützung der Spontanatmung		
Modus	Abkürzung	Steuerung
Adaptive Support Ventilation	ASV	„Adaptive oder optimal targeting“: Variable druckkontrollierte, bzw. druckunterstützte Beatmung in Abhängigkeit Atemantrieb von Lungenmechanik und Atemarbeit
Intellivent-ASV	Intellivent-ASV	„Adaptive oder intelligent targeting“: Kombination von ASV mit zusätzlichen Behandlungskorridoren
Neural regulierte Beatmungshilfe (Neurally Adjusted Ventilatory Assist)	NAVA	Adaptive oder servo-targeting: Proportional zur Atembemühung, ermittelt anhand der elektrischen Aktivierung des Zwerchfells, applizierter Beatmungsdruck
SmartCare/PS	SmartCare/PS	Automatische Anpassung der Druckunterstützung mit dem Ziel den Patienten im Zielkorridor einer Komfortzone zu halten.
Proportional Assist Ventilation und Proportional Assist Ventilation plus		
Synonym: Proportional Pressure Support, PPS	PAV und PAV+	Die Höhe der Unterstützung/Leistung des Beatmungsgerätes wird automatisch an die Anforderung/Atemanstrengung angepasst
Hybride Beatmungsverfahren		
• Intermittierende mandatorische Beatmung mit druckunterstützter Beatmung (IMV+PSV), • Intermittierende mandatorische Beatmung mit automatischer Tubuskompensation (IMV+ATC), • Biphasischer positiver Beatmungsdruck mit druckunterstützter Beatmung (BIPAP+PSV), • Biphasischer positiver Beatmungsdruck mit automatischer Tubuskompensation (BIPAP+ATC), • Druckunterstützte Beatmung mit automatischer Tubuskompensation (PSV+ATC) und • Proportional Assist Ventilation mit automatischer Tubuskompensation (PAV+ATC).		
Spezielle Beatmungsverfahren		
Modus	Abkürzung	Steuerung
Hochfrequenz Oszillationsbeatmung (High Frequency Oscillation Ventilation)	HFOV	Hochfrequente volumenkonstante Aufrechterhaltung eines kontinuierlich hohen Atemwegsdruckes

In Anlehnung an die tabellarische Übersicht der Beatmungsformen der S3-Leitlinie (DGAI 2017, Tabelle 3.1)

Das Ausmaß einer fehlenden einheitlichen Beatmungsnomenklatur zeigt sich auch daran, dass hier nicht nur Benennungen aus den unterschiedlichen Taxonomien herangezogen

wurden. Ferner werden einige Bezeichnungen wie beispielsweise BIPAP oder ATC genutzt, welche unter dem Markenschutz einzelner Hersteller stehen.

1.3 Beatmungsmodi – eine Übersicht

1.3.1 Einleitung

Ein Atemzug ist ein Zyklus bestehend aus einem positiven (Inspiration) und einem negativen Fluss (Expiration), definiert als Flow-Zeit-Kurve. Konventionsgemäß wird ein positiver Fluss (d.h. Flowwerte größer Null) als Inspiration bezeichnet. Ein negativer Flow (Werte kleiner Null) bezeichnet die Expiration. Die Inspirationszeit ist definiert als der Zeitraum vom Beginn des positiven Flows bis zum Beginn des negativen Flows.

Die Expirationszeit ist definiert als der Zeitraum vom Beginn des negativen Flows bis zum Beginn des positiven Flows. Ein kompletter Atemzyklus ist die Summe aus inspiratorischer und expiratorischer Zeit. Er verhält sich außerdem umgekehrt zur Atemfrequenz (komplette Zykluszeit = $1/\text{Frequenz}$, in der

Regel ausgedrückt als $60 \text{ s/Atemzüge/min}$). Das Inspirations-Expirations-Verhältnis ist als Verhältnis der Inspirations- zur Expirationszeit definiert. Der Arbeitszyklus (oder Inspirationszeit in Prozent) wird definiert als das Verhältnis der Inspirationszeit zur kompletten Zykluszeit. Das Atemzugvolumen (V_T) ist das Integral des Flusses über die Zeit. Bei konstantem Inspirationsfluss ist dieses ganz einfach das Produkt aus Fluss und Inspirationszeit.

Beatmungsmodi sind vereinfachte Algorithmen, die auf Basis der eingestellten Parameter den Atemzyklus starten (Zeitsteuerung oder erfolgreiche Patiententriggerung), das Atemmuster regeln und die Umstellung auf das Expirationsventil realisieren.

1.3.2 Beschreibung einzelner Modi

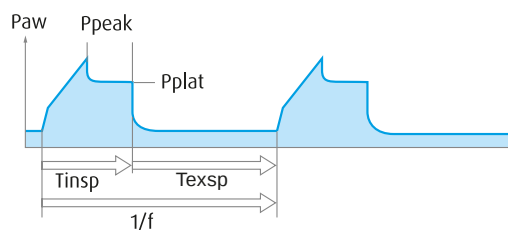
VCV: Volumenkontrollierte Beatmung

Chatburn Taxonomie: VC-CMV

Vergleichbare Modi:

VCV, A/C:VC, IPPV, IPPV ass, VC-CMV, CMV, VC, V-A/C, A/C-VCV, (A) VCV, V(A)C, VCV / VCV(A)

Klassische zeitgesteuerte volumenkontrollierte Beatmung mit festem, mandatorischem Minutenvolumen. Die komplette Atemarbeit wird dabei durch den Intensivventilator übernommen. Durch Aktivierung des Triggers und Einstellen des Triggerniveaus werden die mandatorischen Hübe mit den spontanen Atembemühungen synchronisiert und können ggfs. zusätzliche mandatorische Atemhübe ausgelöst werden. Eine therapeutisch angestrebte kontrollierte Hyperventilation ergibt sich aus dem gesicherten Atemminutenvolumen (Atemfrequenz x Tidalvolumen) bei entsprechend angepasster Analgosedierung.



Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- PEEP
- Tidalvolumen (V_T)
- Druckbegrenzung (P_{max})
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- Trigger
- Atemzeitverhältnis (I:E), oder Inspirationszeit (T_{insp})
- Inspiratorischer Flow (Strömungsgeschwindigkeit) oder inspiratorische Pause

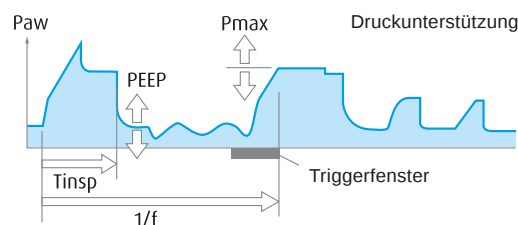
VC-SIMV: Synchronisierte, volumenkontrollierte Beatmung

Chatburn Taxonomie: VC-IMs,s

Vergleichbare Modi:

SIMV, SIMV:VC, VC-SIMV, SIMV-VC, V-SIMV, SIMV-VCV, VCV-SIMV

Kombination von volumenkontrollierter zeitgesteuerter Beatmung mit der Möglichkeit der Spontanatmung. Die maschinellen Beatmungsteile dienen der Sicherstellung eines Mindestgasaustausches oder der teilweisen Übernahme der Atemarbeit. Zwischen den eingestellten maschinellen Beatmungshüben kann der Patient spontan atmen. Die Spontanatmung kann mit einer einstellbaren Druckunterstützung (PSV) zur Reduzierung der patientenseitigen Atemarbeit kombiniert werden.



Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Tidalvolumen (Vt)
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (Tinsp)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O₂)
- PEEP
- Druckunterstützung (PS)
- Druckbegrenzung (Pmax)
- Trigger
- Inspiratorischer Flow (Strömungsgeschwindigkeit) oder inspiratorische Pause

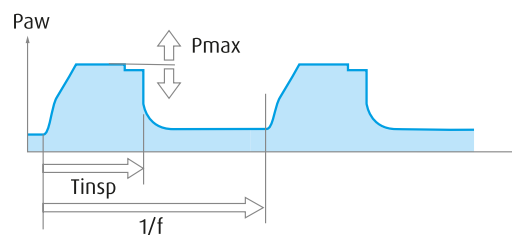
PLV: Druckbegrenzte Beatmung

Chatburn Taxonomie: VC-CMVd

Vergleichbare Modi:

VCV (Flow-Form), A/C:VC, IPPV, IPPV ass (Pmax), VC-CMV (Pmax), VCV (Plimit), CMV (Flow Pattern), V-A/C (Plimit), A/C-VCV (fallende Flowrichtung), VCV mit Plimit, PLV

Die PLV-Beatmung ist eine Sonderform der klassischen volumenkontrollierten Beatmung VCV. Durch Einstellung der Drucklimitierung Pmax können inspiratorische Druckspitzen vermieden werden. Mit Erreichen der eingestellten Drucklimitierung Pmax reduziert sich der Flow (= dezelerierender Flow). Das Tidalvolumen bleibt konstant, solange sich noch ein kurzes Druckplateau erkennen lässt.



Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Tidalvolumen (Vt)
- Druckbegrenzung (Pmax)
- Atemzeitverhältnis (I:E), oder Inspirationszeit (Tinsp.)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O₂) PEEP

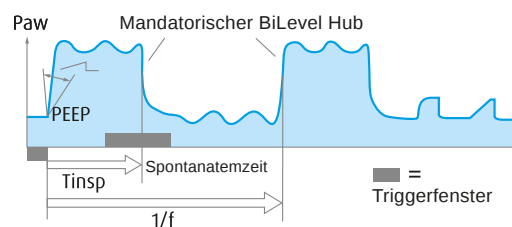
BiLevel: Druckkontrollierte Beatmung mit der Möglichkeit der jederzeitigen Spontanatmung

Chatburn Taxonomie: PC-IMs,s

Vergleichbare Modi:

DUO-LEVELS, BIPAP, PC-BIPAP, DuoPAP, BiVent, DuoLevel

Kombination von druckkontrollierter zeitgesteuerter Beatmung mit der Möglichkeit der Spontanatmung auf beiden Druckniveaus. Beim Wechsel vom unteren Druckniveau (PEEP) zum oberen Druckniveau (Pinsp) erhält der Patient einen maschinellen Atemzug, dessen Tidalvolumen abhängig ist von der Differenz der beiden Druckniveaus und der Dehnungsfähigkeit (Compliance) der Lunge. Die Spontanatmung auf dem unteren Druckniveau kann mit einer einstellbaren Druckunterstützung (PSV) kombiniert werden.



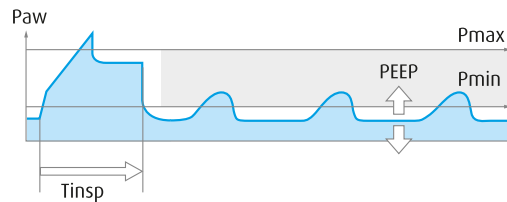
Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Oberes Druckniveau (Pinsp)
- Druckanstieg (Rampe)
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (Tinsp)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O₂)
- PEEP
- Druckunterstützung (PS)
- Trigger

Flex. VCV: Flexibles VCV

Chatburn Taxonomie: VC-IMVa,a

Weiterentwicklung des optionalen VCV-Modus mit einer Volumengarantie für den druckunterstützten Spontanatemteil. Als Steuergröße wird nicht die eingestellte Atemfrequenz, sondern das eingestellte Mindestminutenvolumen ($f \times V_t$) herangezogen. Die patientenseitige Spontanatmung wird laufend bilanziert und ständig mit dem eingestellten Minutenvolumen verglichen. Wird durch die Spontanatmung das Mindestminutenvolumen nicht erreicht, wird ein maschineller Hub ausgelöst. Bei ausreichender Spontanatmung werden keine maschinellen Beatmungshübe appliziert, sondern der Spontanatemmodus mit einstellbarer dynamischer Druckunterstützung fortgeführt. Bei vollständig ausbleibender Spontanatmung wird der Patient komplett mandatorisch ($f \times V_t$) beatmet. Bei zeitweiligen Atemaussetzern dient der mandatorische Beatmungsanteil als intelligente Apnoe-Ventilation. Somit kombiniert das Flexible VCV die Funktionalität des Optionalen VCV mit der Funktionalität des Dynamischen PSV.



Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Tidalvolumen (V_t) auch als Zielvolumen für die druckunterstützte Spontanatmung
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (T_{insp})
- Gasflussgeschwindigkeit (Flow)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Druckbegrenzung (P_{max})
- Trigger

PCV: Druckkontrollierte Beatmung

Chatburn Taxonomie: PC-CMVa

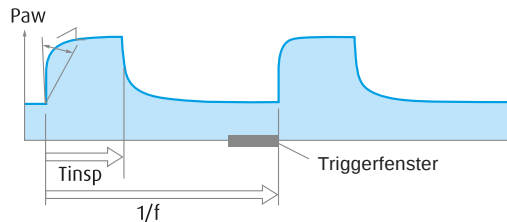
Vergleichbare Modi:

PCV, A/C:PC, PC-CMV, PC, P-A/C, A/C-PCV, A(PCV), T, aPCV, APCV/PCV

Klassische druckkontrollierte Beatmung. Durch Einstellung eines oberen und unteren Druckniveaus ergibt sich in Abhängigkeit der Gesamt-Compliance des Patienten das Tidalvolumen. Das obere Druckniveau wird über die gesamte Inspirationszeit konstant gehalten. Im Gegensatz zum BiLevel ist eine freie Spontanatmung auf dem oberen Druckniveau nicht möglich.

Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Oberes Druckniveau (P_{insp})
- Druckanstieg (Rampe)
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (T_{insp})
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Trigger



Charakteristik & Anwendungen

Klassische volumenkontrollierte Beatmung mit Option zur Vermeidung hoher Druckspitzen (= Drucklimitierung)

Vorteile:

- Vermeidung von Barotraumen durch Reduzierung möglicher Spitzendrücke
- Reduziert die Überblähung von Alveolen bei Verteilungsstörungen durch den mit der Drucklimitierung (P_{max}) einhergehenden dezelerierenden Flow
- Volumenkonstanz (solange der P_{max} oberhalb des endinspiratorischen Plateaudrucks liegt)

PCV ST

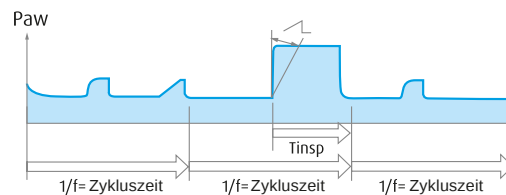
Chatburn Taxonomie: PC-IMVs,s

Vergleichbare Modi:

NIV-ST, Automode, PSV-S/T, S/T, ST, ST auto ST-Modus

Weiterentwicklung des klassischen druckkontrollierten Modus. In Abhängigkeit der Spontanatemaktivität innerhalb der eingestellten Zykluszeit wird die mandatorische Beatmung oder die Spontanatmung realisiert. Durch die Einstellung der Atemfrequenz wird eine Atemzykluszeit ($60/f$) definiert. Löst der Patient während der Zykluszeit das Triggerkriterium aus, erfolgt die Spontanatmung, welche mit einer einstellbaren Druckunterstützung kombiniert werden kann. Erfolgt innerhalb der Zykluszeit keine Spontanatmung, wird am Ende der rechnerischen Zykluszeit ein klassischer PCV-Hub ausgelöst.

Bei vollständig ausbleibender Spontanatmung wird der Patient komplett mit der eingestellten Atemfrequenz mandatorisch beatmet. Bei zeitweiligen Atemaussetzern wirken die mandatorischen Beatmungsanteile als intelligente Apnoe-Ventilation. Dieser Modus wird oft bei der nichtinvasiven Beatmung oder bei der postoperativen Nachbeatmung eingesetzt.



Der Algorithmus gewährleistet eine gesicherte minimale Atemfrequenz und damit CO_2 -Auswaschung, welche in Abhängigkeit der jeweiligen Spontanatemaktivität mit Druckunterstützung oder als mandatorischer druckkontrollierter Beatmungshub realisiert wird.

Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Oberes Druckniveau (Pinsp)
- Druckanstieg (Rampe)
- Druckunterstützung (PS)
- Atemzeitverhältnis (I:E)
- Trigger
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (FiO_2)
- PEEP

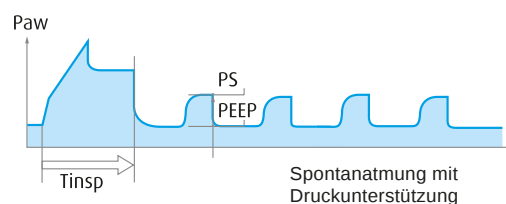
Opt. VCV: Optionales VCV

Chatburn Taxonomie: VC-IMVs,s

Vergleichbare Modi:

MMV, VC-MMV

Weiterentwicklung des volumenkontrollierten SIMV-Modus. Als Regelgröße wird jedoch nicht die eingestellte Atemfrequenz, sondern das eingestellte Mindestminutenvolumen ($f \times V_t$) herangezogen. Die patientenseitige Spontanatmung wird laufend bilanziert und ständig mit dem eingestellten Minutenvolumen verglichen. Wird durch die Spontanatmung das Mindestminutenvolumen nicht erreicht, wird ein maschineller Hub ausgelöst. Bei ausreichender Spontanatmung werden keine maschinellen Beatmungshübe appliziert, sondern der Spontanatemmodus meistens mit Druckunterstützung fortgeführt. Bei vollständig ausbleibender Spontanatmung wird der Patient komplett mandatorisch ($f \times V_t$) beatmet. Bei zeitweiligen Atemaussetzern dient der mandatorische Beatmungsanteil als intelligente Apnoe-Ventilation.



Einstellbare Basisparameter:

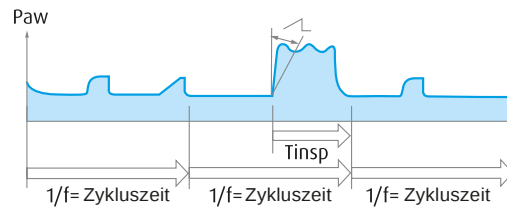
- Atemfrequenz (f)
- Tidalvolumen (V_t)
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (Tinsp)
- Gasflussgeschwindigkeit (Flow)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Druckunterstützung (PS)
- Druckbegrenzung (P_{max})
- Trigger

BiLevel ST

Chatburn Taxonomie: PC-IMVs,s

Weiterentwicklung des klassischen BiLevel-Modus. In Abhängigkeit der Spontanatemaktivität innerhalb der eingestellten Zykluszeit wird die mandatorische Beatmung oder die Spontanatmung realisiert. Durch die Einstellung der Atemfrequenz wird eine Atemzykluszeit ($60/f$) definiert. Löst der Patient während der Zykluszeit das Triggerkriterium aus, erfolgt die Spontanatmung, welche mit einer einstellbaren Druckunterstützung kombiniert werden kann. Erfolgt innerhalb der Zykluszeit keine Spontanatmung, wird am Ende der rechnerischen Zykluszeit ein klassischer BiLevel-Hub ausgelöst.

Bei vollständig ausbleibender Spontanatmung wird der Patient komplett mit der eingestellten Atemfrequenz mandatorisch beatmet. Bei zeitweiligen Atemaussetzern wirken die mandatorischen Beatmungsanteile als intelligente Apnoe-Ventilation. Dieser Modus wird oft bei der nichtinvasiven Beatmung oder bei der postoperativen Nachbeatmung eingesetzt.



Der Algorithmus gewährleistet eine gesicherte minimale Atemfrequenz und damit CO_2 -Auswaschung, welche in Abhängigkeit der jeweiligen Spontanatemaktivität mit Druckunterstützung oder als mandatorischer druckkontrollierter Beatmungshub realisiert wird.

Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Oberes Druckniveau (P_{insp})
- Druckanstieg (Rampe)
- Druckunterstützung (PS)
- Atemzeitverhältnis (I:E)
- Trigger
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (FiO_2)
- PEEP

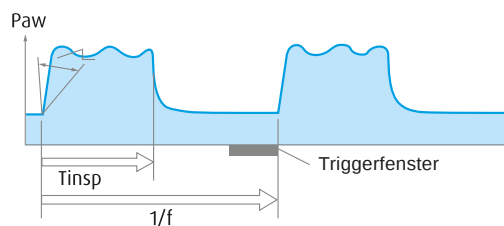
Mand. BiLevel: Mandatorisches BiLevel

Chatburn Taxonomie: PC-IMVa

Vergleichbare Modi:

BIPAPassistent, PC-CMV, PC-AC

Druckkontrollierte zeitgesteuerte Beatmung mit der Möglichkeit der Spontanatmung auf beiden Druckniveaus. Sowohl zeitgesteuert durch die Einstellung der Atemfrequenz, als auch durch das Auslösen der Triggerfunktion, werden BiLevel-Hübe gestartet. Zur umfassenden Entlastung des Patienten kann weder eine Druckunterstützung zugeschaltet noch die Inspirationszeit des mandatorischen Hubes durch Einstellung eines expiratorischen Triggerkriteriums verkürzt werden. Der Wechsel vom unteren Druckniveau (PEEP) zum oberen Druckniveau (P_{insp}) bestimmt in Abhängigkeit der Dehnungsfähigkeit der Lunge (Compliance) das jeweilige Tidalvolumen. Das mandatorische BiLevel wird üblicherweise in der nichtinvasiven Beatmung eingesetzt.



Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- Oberes Druckniveau (P_{insp})
- PEEP
- Druckanstieg (Rampe)
- Trigger
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (T_{insp})

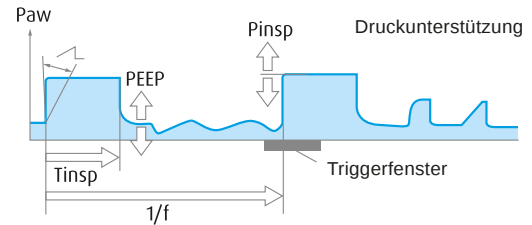
PC-SIMV: Synchronisierte druckkontrollierte Beatmung

Chatburn Taxonomie: PC-IMV_{sr,sr}

Vergleichbare Modi:

PCV-SIMV, SIMV:PC, SIMV-PC, P-SIMV+, P-SIMV, PSIMV,

Kombination von druckkontrollierter zeitgesteuerter Beatmung mit der Möglichkeit der Spontanatmung. Die maschinellen Beatmungsanteile dienen der Sicherstellung eines Mindestgas austausches oder der teilweisen Übernahme der Atemarbeit. Zwischen den eingestellten maschinellen Beatmungshüben kann der Patient spontan atmen. Die Spontanatmung kann mit einer einstellbaren Druckunterstützung (PSV) kombiniert werden.



Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Oberes Druckniveau (Pinsp)
- Druckanstieg (Rampe)
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (Tinsp)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O₂)
- PEEP
- Druckunterstützung (PS)
- Trigger

PC-APRV: BiLevel mit kurzen Expirationsphasen

Chatburn Taxonomie: PC-IMV_{s,s}

Vergleichbare Modi:

APRV, BiVent-APRV

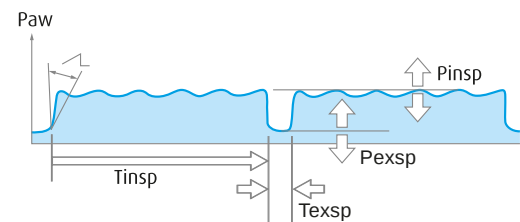
Bei diesem modifizierten BiLevel-Modus kann der Patient auf den lang anhaltenden oberen Druckniveau (inverses I:E-Verhältnis) spontan atmen. Zur CO₂-Auswaschung erfolgt ein kurzes Absenken auf das untere Druckniveau (PEEP). Diese kurzen Druckentlastungsphasen (Pressure Release) dienen der CO₂-Auswaschung durch die schnell ventilierbaren Lungenareale. Gleichzeitig verhindern die kurzen Expirationszeiten (Texsp.) ein Kollabieren der langsam ventilierbaren Lungenareale.

Einstellbare Basisparameter:

- Oberes Druckniveau (Pinsp)
- Druckanstieg (Rampe)
- Inspirationszeit (Tinsp.)
- Expirationszeit (Texsp.)
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O₂)
- PEEP
- Trigger
- ggfs. (Switch)-Flow für AutoRelease

Switchflow

Der Modus PC-APRV erfordert eine sorgfältige Einstellung der Expirationszeit. Je nach Pathophysiologie muss die Expirationszeit zur Verhinderung eines Alveolarkollaps (z.B. beim ARDS) entsprechend kurz, oder zur Gewährleistung der CO₂-Auswaschung (z.B. COPD) entsprechend lang eingestellt werden.



Bisher oblag es der Erfahrung des Anwenders, fortlaufend die individuell notwendige Expirationszeit einzustellen bzw. anzupassen. Durch Einstellung des Switchflow-Parameters wird die automatische Release-Funktion aktiviert.

Unter Switchflow versteht man einen plausibilisierten expiratorischen Flow, welcher als Umschaltkriterium die automatische Umschaltung auf das obere Druckniveau auslöst und entsprechend durch den Anwender an die klinische Situation angepasst werden kann. Die Einstellung erfolgt analog des PSV-Endflow, das bedeutet: Hoher Switchflow erwirkt kürzere Expirationszeiten, bzw. niedriger Switchflow ermöglicht längere Expirationszeiten. Üblich sind Switchflow-Einstellungen zwischen 30 und 80 %.

Der Switchflow-Algorithmus berücksichtigt fortlaufend die In- und Expirationsflows und plausibilisiert diese. Die aktivierbare Triggerfunktion erlaubt die Synchronisation der mandatorischen Atemzüge. Unter Spontanatmung kann die Adaption des Flowtriggers die Switchregelung unterstützen, sowie die Aktivierung der Tubuskompensation die tubusbedingte Atemarbeit reduzieren.

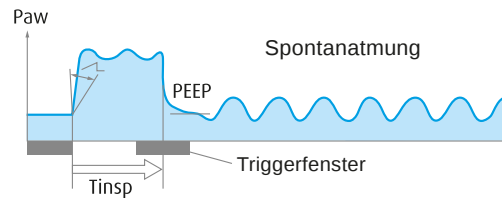
Opt. BiLevel: Optionales BiLevel

Chatburn Taxonomie: PC-IMVda,s

Vergleichbare Modi:

MMV, PC-MMV

Weiterentwicklung des klassischen BiLevel-Modus. In Abhängigkeit des eingestellten Minutenvolumens ($f \times V_t$, welches sich aus der Druckdifferenz ergibt) wird die mandatorische Beatmung oder die Spontanatmung realisiert. Als Steuergröße wird jedoch nicht die eingestellte Atemfrequenz, sondern das eingestellte Mindestminutenvolumen herangezogen. Die patientenseitige Spontanatmung wird laufend bilanziert und ständig mit dem eingestellten Minutenvolumen verglichen. Wird durch die Spontanatmung das Mindestminutenvolumen nicht erreicht, wird ein maschineller Hub ausgelöst. Bei ausreichender Spontanatmung werden keine maschinellen Beatmungshübe appliziert, sondern der Spontanatemmodus mit einstellbarer Druckunterstützung fortgeführt.



Bei vollständig ausbleibender Spontanatmung wird der Patient komplett mit dem eingestellten Mindestminutenvolumen mit allen Vorteilen von BiLevel beatmet. Bei zeitweiligen Atemaussetzern dienen die mandatorischen Beatmungsanteile als intelligente Apnoe-Ventilation.

Einstellbare Basisparameter:

- Atemfrequenz (f)
- Oberes Druckniveau (P_{insp})
- Druckanstieg (Rampe)
- Atemzeitverhältnis (I:E) oder Inspirationszeit (T_{insp})
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Druckunterstützung (PS)
- Trigger

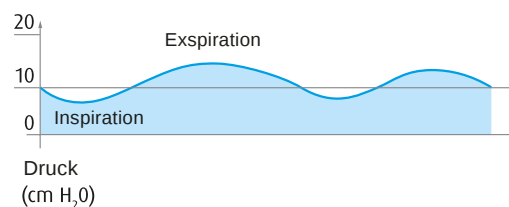
CPAP: Spontanatmung auf PEEP-Niveau

Continuous Positive Airway Pressure

Chatburn Taxonomie: PC-CSVs

Vergleichbare Modi:

Spont., SPN-CPAP, Spont./ CPAP,



Bei dem Spontanatem-Modus wirkt eine positive Drucksituation über den gesamten Atemzyklus und insbesondere in der Expirationsphase (= PEEP).

Einstellbare Basisparameter:

- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Trigger
- Parameter für Apnoe-Beatmung

PSV: Spontanatmung mit Druckunterstützung

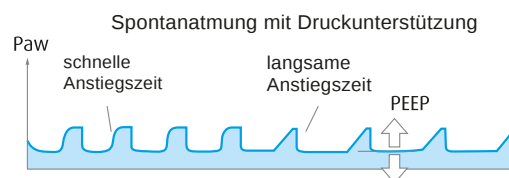
Chatburn Taxonomie: PC-CSVs

Vergleichbare Modi:

PS, ASB, SPN-CPAP/PS, CPAP/PSV, Spont, PSV, S

Klassische Spontanatemform mit einstellbarer Druckunterstützung.

Die Atemarbeit des spontanatmenden Patienten wird durch die Einstellung einer starren Druckunterstützung (PS) teilweise übernommen bzw. der Atemzug vertieft. Die Druckunterstützung wird durch das Erreichen des Triggerkriteriums ausgelöst. Zwar wird die Inspiration dadurch vom Patienten bestimmt, den Zeitpunkt der Expiration gestaltet jedoch der Intensivventilator (PSV –Endflow).



Einstellbare Basisparameter:

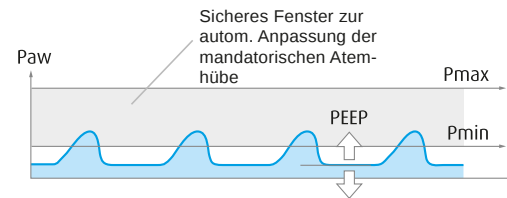
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Druckunterstützung (PS)
- Druckanstieg (Rampe)
- Trigger
- Parameter für Apnoe-Beatmung
- PS-Endflow

Dyn. PSV: Dynamische Druckunterstützung Chatburn Taxonomie: PC-CSVa

Vergleichbare Modi:

VS, SPN-CPAP/VS, AVAPS, PSV VT, PSV, PSV(TgV)

Weiterentwicklung des klassischen PSV-Modus. Die Atemarbeit des spontanatmenden Patienten wird durch eine dynamische Druckunterstützung (atemzugweise Anpassung der Druckunterstützung in Abhängigkeit des eingestellten Zielvolumens) teilweise übernommen bzw. der Atemzug vertieft. Die jeweils wirksame Druckunterstützung richtet sich nach dem eingestellten Zielvolumen (V_t), der Atemarbeit des Patienten und der jeweiligen Gesamt-Compliance. Innerhalb eines sicheren Fensters (P_{max} und P_{min}) passt sich die notwendige Druckunterstützung von Atemzug zu Atemzug in Schritten von maximal 3 mbar an. Der Modus wird durch das Erreichen des Triggerkriteriums ausgelöst. Zwar wird die Inspiration dadurch vom Patienten bestimmt, den Zeitpunkt der Expiration gestaltet jedoch der Intensivventilator (PSV Endflow).



Einstellbare Basisparameter:

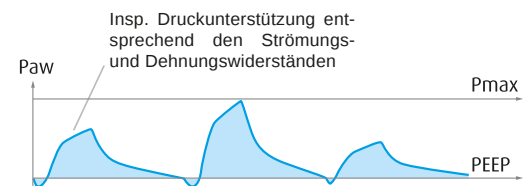
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Tidalvolumen als Zielvolumen (V_t)
- Trigger
- obere Druckbegrenzung (P_{max})
- PSV-Endflow
- untere Druckbegrenzung (P_{min})
- Parameter für Apnoe-Beatmung
- Druckanstieg (Rampe)

Prop. PSV: Proportionale Druckunterstützung Chatburn Taxonomie: PC-CSVr

Vergleichbare Modi:

PPS, SPN-PPS, PPV

Weiterentwicklung des klassischen PSV-Modus. Die Atemarbeit des spontanatmenden Patienten wird durch eine proportionale Druckunterstützung in Abhängigkeit des eingestellten Kompensationsgrades der Strömungswiderstände (Flow Support) und der Dehnungswiderstände (Volumen Support) teilweise übernommen bzw. der Atemzug vertieft. Die wirksame Druckunterstützung variiert atemzugsweise in Abhängigkeit des erzeugten Flows und des eingeatmeten Volumens. Zur Sicherheit muss sowohl die obere Druckgrenze (P_{max}) als auch die Apnoe-Ventilation eingestellt werden.



Einstellbare Basisparameter:

- Flow Support
- Volumen Support
- Inspiratorisches Sauerstoffangebot (O_2)
- PEEP
- Druckbegrenzung (P_{max})
- Apnoe-Ventilation