

# Anhang zur Bedienungsanleitung

## Die Option PAV+

### Einführung

Die Softwareoption Proportional Assist™\* Ventilation Plus (PAV™\*+) zum Beatmungsgerät 840 beinhaltet einen neuen Spontanatmungstyp (PA), zusätzliche Überwachungsfunktionen und erweiterte grafische Anzeigen.

Die Beatmungsart PA unterscheidet sich von der druckunterstützten Beatmungsart PS:

- Die Beatmungsart PS zielt auf einen vom Arzt eingestellten konstanten Druck am Patienten-Y-Stück ab und überwindet einen nicht voraussagbaren Bruchteil der Inspirationsarbeit des Patienten.
- Die Beatmungsart PA zielt auf einen bestimmten, aber variablen Druck am Y-Stück ab und überwindet einen vom Arzt eingestellten Prozentsatz der Inspirationsarbeit des Patienten.

PA funktioniert inspirationserweiternd; der Grad der Erweiterung wird durch die Einstellung *DNT* festgelegt. Die Software PAV+ überwacht ununterbrochen den augenblicklichen Inspirations-Flow des Patienten und das augenblickliche Lungenvolumen, beides Indikatoren für die Atmungsanstrengung des Patienten. Aus diesen Signalen sowie aus den fortdauernden Schätzungen der Resistance und Compliance des Patienten berechnet die Software den augenblicklichen Druck am Y-Stück, das die Atemmuskeln des Patienten in dem durch die Einstellung *DNT* ausgewählten Maße unterstützt.

Die Software PAV+ schützt vor der unbeabsichtigten Eingabe nicht kompatibler Einstellungen wie etwa einem geringen Körpergewicht (IBW, Ideal Body Weight) und einem großen Atemweg.

Proportional Assist und PAV sind eingetragene Marken der University of Manitoba, Kanada. Verwendung unter Lizenz.

## Verwendungszweck

PAV™\*+ ist für den Einsatz bei spontan atmenden Erwachsenen vorgesehen, deren IBW-Einstellung am Beatmungsgerät mindestens 25,0 kg beträgt. Die Patienten müssen entweder mit einem Endotracheal- (ET) Tubus oder einem Tracheostomie- (Trach) Tubus mit einem Innendurchmesser von 6,0 bis 10,0 mm intubiert werden. Die Patienten müssen über eine zufriedenstellende Kopplung des Nervensystems mit dem ventilatorischen System und über einen stabilen nachhaltigen Atemantrieb verfügen.

---

### Warnung

- PAV+ darf nicht bei nicht invasiven Beatmungsanwendungen zum Einsatz kommen.
- Das Beatmungsschlauchsystem und die Manschette des ET-Tubus darf keine undichten Stellen aufweisen. Undichte Stellen können zu einer zu großen Unterstützung und zu Beschwerden beim Patienten führen.

---

## Überblick

Bei der Einatmung müssen die Atemmuskeln des Patienten ein Druckgefälle zwischen dem Mund und den Lungenbläschen aufbauen, das ausreichend ist, um Atemgas anzusaugen und die Lunge mit Luft zu füllen. Ein Teil dieses Druckgefälles wird abgebaut, während das Gas durch den Tubus und die Atemwege des Patienten strömt, und ein weiterer Teil des Druckgefälles geht verloren, während sich die Lunge und der Thorax mit Luft füllen. Jede Art des Druckverlusts wird durch eine messbare Eigenschaft charakterisiert: Die Resistance des Tubus und der Atemwege des Patienten und die Compliance (Elastizität) der Lunge und des Thorax.

Die Software PAV™\*+ verwendet spezielle Daten wie die Resistance des Tubus, die Resistance der Atemwege des Patienten, die Lungen-Thorax-Compliance, den augenblicklichen Inspirations-Flow und das Lungenvolumen sowie die Einstellung *DNT*, um den augenblicklichen am Y-Stück anzuwendenden Druck zu berechnen. Etwa alle vier bis zehn Atemzüge schätzt die Software PAV+ willkürlich die Resistance und die Compliance. Alle 5 Millisekunden (ms) schätzt die Software basierend auf einer Schätzung des Flows am Y-Stück den Lungen-Flow und basierend auf dem Integralwert des geschätzten Flows am Y-Stück das Lungenvolumen.

Der PA-Atemzug beginnt mit der Inspirationsunterstützung, wenn am Y-Stück ein Flow (erzeugt durch die Atemmuskeln des Patienten) festgestellt wird. Wenn die Inspiration des Patienten nachlässt, lässt auch die Unterstützung nach. Sobald der inspiratorische Flow beginnt, überwacht die Software PAV+ alle 5 ms den augenblicklichen Flow und das augenblickliche Volumen und wendet den berechneten Druck an, um einen verhältnismäßigen Anteil (der durch die Einstellung *DNT* festgelegt wird) des Druckverlustes zu überwinden, der sich im Verhältnis zur Resistance des Tubus und der Atemwege des Patienten und der Lungen-/Thorax-Compliance ergibt.

Da der PAV+-Algorithmus die Mechanik des Patienten nicht kennt, wenn die Beatmungsart PA ausgewählt wird, führt die Software einen routinemäßigen Startup durch, um die Anfangsdaten zu erhalten. Beim Startup liefert die Software PAV+ vier aufeinander folgende PA-Atemzüge, von denen jeder ein endinspiratorisches Manöver beinhaltet, das Schätzwerte der Resistance und Compliance des Patienten ergibt. Der erste Atemzug wird unter Zugrundelegung der vorausgesagten Resistance des Tubus und der vorsichtigen Schätzwerte zur Resistance und Compliance des Patienten, basierend auf dem IBW des Patienten, abgegeben.

Bei jedem der folgenden drei PA-Atemzüge werden die schrittweise verringerten physiologischen Werte mit den geschätzten Resistance- und Compliance-Werten aus dem vorherigen Atemzug gemittelt, wobei frühere Schätzungen mit jedem weiteren Atemzug an Gewicht verlieren, während die Schätzungen zur Resistance und Compliance verlässlicher werden. Der fünfte PA-Atemzug (der erste Atemzug ohne Startup) wird unter Zugrundelegung der endgültigen Schätzungen mit der vom Arzt vorgenommenen Einstellung *DNT* abgegeben. Sobald der Startup abgeschlossen ist, wendet die Software PAV+ willkürlich alle vier bis zehn Atemzüge einen Manöveratemzug an, um die Resistance und Compliance des Patienten erneut zu schätzen. Die neuen Werte werden immer mit den früheren Werten gemittelt.

Mit der Option PAV<sup>TM</sup>\*+ können Schätzungen des Lungendrucks des Patienten (intrinsischer PEEP), der Compliance des Patienten, der Resistance des Patienten, der Gesamt-Resistance, der gesamten Inspirationsarbeit, der Inspirationsarbeit des Patienten, der inspiratorischen Elastizitätsarbeit (einem Indikator für die Lungen-Thorax-Arbeit) und der inspiratorischen Widerstandsarbeit grafisch dargestellt werden.

Die Einstellung *DNT* reicht von 5 % (das Beatmungsgerät leistet 5 % der Inspirationsarbeit und der Patient leistet 95 %) bis 95 % (das Beatmungsgerät leistet 95 % der Inspirationsarbeit und der Patient leistet 5 %) und kann in Schritten von jeweils 5 % angepasst werden.

Die Option PAV+ beinhaltet ferner Alarmgrenzwerte, Sicherheitstests und Logiktests, die nicht physiologische Werte der Patienten-Resistance und -Compliance und unangemessene Daten zurückweisen.

Um die exakte Compliance-Kompensation und Spirometrie aufrechtzuerhalten und im Sinne einer optimalen Atemzugabgabe

können der Befeuchtertyp und das Befeuchtervolumen nach Durchführung des SST angepasst werden.

---

**Warnung**

Stellen Sie sicher, dass sich im Beatmungsschlauchsystem oder um die Manschette des Endotracheal- (ET) Tubus herum keine großen Lecks befinden. Große Lecks können die Leistung der Option PAV+ und die Genauigkeit der Resistance- (R) und Elastizitäts- (E) Schätzungen beeinträchtigen.

---

---

**HINWEIS:**

Im Sinne einer optimalen Leistung verwenden Sie in Verbindung mit der Option PAV+ keine Beatmungsschlauchsysteme aus Silikon: Durch das elastische Verhalten eines Schlauchsystems aus Silikon zu Beginn der Expirationsphase kann es zu Druck-Flow-Oszillationen kommen, die zur Unterschätzung der Patienten-Resistance führen.

---

## Einrichten der Option PAV™\*+

Führen Sie die folgenden Schritte aus, um PAV+ aus dem Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten oder von den aktuellen Beatmungsbildschirmen wie angegeben anzuwenden. Weitere Informationen zu den Einstellungen des Beatmungsgeräts finden Sie im *Bedienerhandbuch/Technischen Handbuch zum 840.*):

<b>Anwenden der PAV+-Einstellungen ausgehend vom:</b>	
<b>Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten</b>	<b>Aktuellen Beatmungsbildschirm</b>
1. Führen Sie einen kurzen Selbsttest (SST, Short Self-Test) mit einem Erwachsenen-Schlauchsystem durch oder stellen Sie sicher, dass ein solcher Test durchgeführt wurde. Wenn der SST abgeschlossen ist, geht das Beatmungsgerät automatisch vom SST in den Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten über.	1. Stellen Sie sicher, dass der Patient mit einem Erwachsenen-Beatmungsschlauchsystem beatmet wird.
2. Drücken Sie auf die Setup-Taste NEUER PATIENT.	2. Drücken Sie auf dem unteren Bildschirm auf VENT SETUP.

<b>Anwenden der PAV+-Einstellungen ausgehend vom:</b>	
<b>Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten</b>	<b>Aktuellen Beatmungsbildschirm</b>
3. Überprüfen Sie, ob Sie ein Schlauchsystem für einen ERWACHSENEN verwenden und geben Sie das Körpergewicht des Patienten ein, indem Sie auf die Taste IBW drücken und den Knopf auf die gewünschte Gewichteinstellung drehen.	3. Fahren Sie mit Schritt 5 fort.
4. Drücken Sie auf die Schaltfläche WEITER.	

<b>Anwenden der PAV+-Einstellungen ausgehend vom:</b>	
<b>Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten</b>	<b>Aktuellen Beatmungsbildschirm</b>
<p>5. Drücken Sie auf die Schaltfläche MODUS.</p> <p>6. Wählen Sie mit dem Knopf den Modus SPONT aus.</p> <p>7. Drücken Sie auf die Schaltfläche SPONTANATMUNG.</p> <p>8. Wählen Sie mit dem Kopf PA (Beatmungsart „Proportionale Unterstützung“) aus. Bitte beachten Sie, dass folgende Bedingungen erfüllt sein müssen, um die Beatmungsart PA auswählen zu können:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Das IBW des Patienten muss mindestens 25 kg betragen.</li><li>• Der Innendurchmesser des Tubus muss mindestens 6,0 mm betragen.</li></ul> <p>9. Drücken Sie auf die Schaltfläche WEITER. Die auf SPONT und PA anwendbaren Standardeinstellungen werden im <i>Sandbox</i>-Bereich des unteren Bildschirms angezeigt.</p>	



<b>Anwenden der PAV+-Einstellungen ausgehend vom:</b>	
<b>Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten</b>	<b>Aktuellen Beatmungsbildschirm</b>
<p>10. Drücken Sie auf die Schaltfläche einer jeden Einstellung, die Sie ändern möchten und drehen Sie dann an dem Drehknopf, um den gewünschten Wert einzustellen. Die vorgeschlagenen Werte werden in Kontrastfarben hervorgehoben. Wenn PA eine neue Auswahl ist, blinken die Schaltflächen für den TUBUSTYP und den TUBUS-I.D. so lange, bis Sie darauf drücken.</p> <p>Wenn Sie die Einstellungen vornehmen, achten Sie auf Folgendes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubustyp: ET (Endotracheal-) oder TRACH (Tracheostomie)</li> <li>• Tubus-I.D.: 6,0 mm bis 10,0 mm je nach verwendeter Tubusgröße</li> <li>• <math>E_{SENS}</math>-Wert: 3 l/Min (Standard). Obwohl <math>E_{SENS}</math> zwischen 1 l/Min. und 10 l/Min angepasst werden kann, ändern Sie ihn nur, wenn Sie entsprechend angewiesen werden.</li> <li>• Entsprechende <i>DNT</i>-Einstellung</li> </ul>	
<hr/> <p><b>HINWEIS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Auswählen der geeigneten <i>DNT</i>-Einstellung ist während des anfänglichen Setups und der folgenden Anpassungen Folgendes zu berücksichtigen: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Warten Sie mindestens 10-15 Atemzüge, bis sich der Algorithmus auf die Reaktion des Patienten auf die neue Einstellung <i>DNT</i> stabilisiert hat, bevor Sie andere Einstellungen ändern.</li> <li>- Höhere Unterstützungsstufen erweisen sich u. U. als für den Patienten unangenehm, was zu einer erhöhten Unruhe führen kann. Seien Sie vorsichtig, wenn Sie unter <i>DNT</i> Werte über 80 % auswählen.</li> </ul> </li> </ul> <hr/>	

<b>Anwenden der PAV+-Einstellungen ausgehend vom:</b>	
<b>Setup-Bildschirm für einen neuen Patienten</b>	<b>Aktuellen Beatmungsbildschirm</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nehmen Sie die WOB- (Work of Breathing, Atemarbeit) Kurve als Richtlinie. Siehe „Grafikanzeigen in PAV™*+“ auf Seite 29 und „WOB-Funktionen und -Definitionen“ auf Seite 31 für weitere Informationen. Passen Sie die Einstellung für <i>DNT</i> an, um die Atemarbeit des Patienten (<math>WOB_{PT}</math>) innerhalb des „grünen“ Bereichs zu halten. Wenn sich der <math>WOB_{PT}</math>-Indikator links oder rechts des grünen Bereichs befindet, erhält der Patient entweder zu viel oder zu wenig Unterstützung durch das Beatmungsgerät.</li> <li>• Diese Vorschläge sollten kein Ersatz für eine vernünftige klinische Praxis sein.</li> </ul>	
<p>11. Drücken Sie auf <b>EINGABE</b>, um die neuen Einstellungen zu übernehmen, oder auf <b>VENT-SETUP</b>, um die Änderungen abzurechnen.</p>	

Sobald PAV+ angewendet wird, blinkt in der oberen rechten Ecke der oberen Kurvenbildschirms die Meldung *PAV STARTUP*, während die Software eine anfängliche Feststellung der Resistance und Compliance des Patienten vornimmt. Die Berechnung und Anzeige der Atemarbeit ( $WOB_{PT}$ ) und des intrinsischen PEEP ( $PEEP_i$ ) erfolgen, nachdem der *PAV STARTUP* abgeschlossen ist.

---

**HINWEIS:**

PAV™\*+ verwendet nur die Einstellung *DNT*, die jederzeit nach oben oder nach unten reguliert werden kann. Wenn die Einstellung *DNT* verringert wird, wird die neue Einstellung bei der nächsten Einatmung wirksam. Wenn die Einstellung *DNT* um mehr als 10 % erhöht wird, wird die Änderung bei jedem weiteren Atemzug in Schritten von 10 % wirksam. Während dieser Änderung werden in der Graphik zur Atemarbeit u. U. Änderungen angezeigt, die fortgesetzt werden, bis der tatsächliche *DNT* dem eingestellten Wert entspricht und sich der Patient an die neue *DNT*-Einstellung anpasst.

---

**Apnoe-Parameter anpassen**

Nachdem die PAV+-Einstellungen übernommen wurden, zeigt das Beatmungsgerät den Bildschirm Apnoe-Setup an. Ändern Sie die Apnoe-Parameter nach Bedarf.

**Alarめinstellungen anpassen**

Die Option PAV+ beinhaltet die Grenzwerteinstellungen des Alarms bei hohem inspiratorischen spontanen Tidalvolumen ( $2V_{TI\ SPONT}$ ) und des Alarms bei niedrigem spontanen Expirationstidalvolumen ( $4V_{TE\ SPONT}$ ) (siehe Tabelle 2 auf Seite 15).

---

**HINWEIS:**

Bedingt durch die Veränderlichkeit der Beatmung, die PAV+ ermöglicht, ist der  $3V_{TE\ SPONT}$ -Alarm standardmäßig auf AUS gestellt, um Fehlalarme so gering wie möglich zu halten. Um eine angemessene Beatmung zu überwachen, verwenden Sie stattdessen den Alarm  $3V_{E\ TOT}$ .


---

Gehen Sie wie folgt vor, um die Alarmeinstellungen anzupassen:

1. Drücken Sie auf ALARM-SETUP (auf dem unteren Bildschirm), um die aktuellen Alarmeinstellungen anzuzeigen. Auf den Schaltflächen rechts neben jeder Leiste werden die Alarmgrenzen angezeigt.
2. Drücken Sie zu den Alarmgrenzwerten, die Sie ändern möchten, auf die entsprechende Schaltfläche.
3. Drehen Sie den Knopf, um den Alarmgrenzwert anzupassen. Vorgeschlagene Werte werden hervorgehoben. Sie können mehrere Alarmgrenzen ändern, bevor Sie die Änderungen anwenden.
4. Drücken Sie auf EINGABE, um die Änderungen zu übernehmen, oder auf ALARM-SETUP, um abzubrechen.

### **Tubustyp, Tubus-I.D. und Befeuchterart anpassen**

Gehen Sie wie folgt vor, um die neuen Einstellungen zum Tubus und zum Befeuchter vorzunehmen, ohne zur VENT-SETUP zurückkehren zu müssen:

1. Drücken Sie auf die Schaltfläche WEITERE BILDSCHIRME und dann auf die Schaltfläche  WEITERE EINSTELLUNGEN.
2. Drücken Sie auf die Schaltfläche zu der Einstellung, die Sie ändern (Befeuchtertyp, Tubus-I.D. oder Tubustyp).  
Bei Nicht-HME-Befeuchtern drücken Sie auf die Schaltfläche BEFEUCHTERVOLUMEN und drehen den Drehknopf, um das (leere) Befeuchtervolumen auszuwählen.
3. Drücken Sie auf EINGABE, um die neuen Einstellungen zu übernehmen, oder auf WEITERE BILDSCHIRME, um abzubrechen.

**HINWEIS:**

Wenngleich Sie mit der Option PAV+ den Befeuchtertyp und das Befeuchtervolumen ändern können, ohne den kurzen Selbsttest erneut auszuführen, ist die Genauigkeit der PA-Atemzüge und Spirometriemessungen erst dann gewährleistet, wenn Sie den kurzen Selbsttest mit dem vorgesehenen Schlauchsystem durchführen. Ärzten wird dringend empfohlen, den kurzen Selbsttest mit dem vorgesehenen Schlauchsystem durchzuführen.

**PAV™\*+-Einstellungen am Beatmungsgerät**

In Tabelle 1 sind die Einstellungen des Beatmungsgerätes zusammengefasst, die auf die Option PAV+ Anwendung finden.

**Tabelle 1: PAV™\*+-Einstellungen**

<b>Einstellung</b>	<b>Funktion</b>	<b>Zulässige Werte, neuer Patientenwert, Auflösung</b>
DNT	<p>Stellt das Level der vom Beatmungsgerät abgegebenen PAV+-Unterstützung ein.</p> <p>Eine Einstellung von 95 % bedeutet, dass das Beatmungsgerät 95 % der Inspirationsarbeit übernimmt, während der Patient selber nur 5 % übernimmt.</p>	<p>Zulässige Werte: 5 bis 95 %</p> <p>Neuer Patient: 50 %</p> <p>Auflösung: 5 %</p>

**Tabelle 1: PAV™\*+-Einstellungen (Fortsetzung)**

Expirations-sensitivität (E <sub>SENS</sub> )	Stellt den Flow ein, bei dem das Beatmungsgerät bei PA-Atemzügen von der Inspiration zur Expiration übergeht.	Zulässige Werte: 1 bis 10 l/Min. Neuer Patient: 3 l/Min. Auflösung: 1 l/Min.
Befeuchtervolumen (außer, wenn HME ausgewählt ist)	Passt das Leervolumen der verwendeten Befeuchterkammer an.	Zulässige Werte: 100 bis 1000 ml Neuer Patient: 480 ml (Standard) Auflösung: 10 ml
Tubusart	Wählt zwischen Endotracheal- (ET) Tubus und Tracheostomie- (Trach) Tubus aus.	Zulässige Werte: Trach oder ET Neuer Patient: ET
Tubus-I.D.	Wählt den Innendurchmesser des Tubus basierend auf dem Körpergewicht aus einem Bereich empfohlener Größen aus. (In Tabelle 6 auf Seite 26 sind die Körpergewichtsbereiche und entsprechenden Tubus-Durchmesserbereiche aufgeführt.) Empfohlene Bereiche können überschrieben werden. Siehe „Tubus-I.D.“ auf Seite 26.	Zulässige Werte: 6,0 mm bis 10,0 mm Neuer Patient: Je nach Körpergewicht Auflösung: 0,5 mm
Triggertyp	Legt fest, wie die Inspiration erkannt wird.	Zulässige Werte: Flow oder Druck Neuer Patient: Flow

## PAV™\*+-Alarmeinstellungen

In Tabelle 2 sind die Alarmeinstellungen zusammengefasst, die verfügbar sind, wenn die Option PAV+ aktiv ist.

**Tabelle 2: Alarmeinstellungen**

Einstellung	Funktion	Zulässige Werte, Auflösung, Genauigkeit
Alarmgrenzwert bei hohem inspiratorischen spontanen Tidalvolumen ( $2V_{TI\ SPONT}$ )	Stellt den Grenzwert für das maximale Inspirationsvolumen ein, bei dem das Beatmungsgerät die Inspirationsphase beendet und zur Expiration übergeht. Findet nur bei den Spontanbeatmungsarten „PA“ und „TC“ (Tube Compensated, tubuskompensiert) Anwendung. Empfohlener Wert: unter 20,0 ml/kg x Körpergewicht.	Zulässige Werte: 35 bis 6000 ml (5,0 ml/kg x IBW bis 45,7 ml/kg x IBW) Neuer Patient: 15,0 ml/kg x IBW Auflösung: 1 ml bei 35 bis 99 ml 5 ml bei 100 bis 395 ml; 10 ml bei 400 bis 6000 ml
Unterer Grenzwert für das spontane Expirationstidalvolumen ( $4V_{TE\ SPONT}$ )	Stellt den unteren Alarmgrenzwert für das spontane Expirationstidalvolumen ein.	Zulässige Werte: 1 bis 2500 ml Neuer Patient: AUS Auflösung: 1 ml je 1 bis 100 ml; 5 ml bei 100 bis 400 ml; 10 ml bei 400 bis 2500 ml

## Überwachte Daten

In Tabelle 3 sind die mit der Option PAV<sup>TM\*</sup>+ verbundenen überwachten Daten aufgeführt

**Tabelle 3: Mit PAV<sup>TM\*</sup>+ überwachte Daten**

Daten	Funktion	Zulässige Werte, Auflösung, Genauigkeit
C <sub>PAV</sub> (PAV-basierte Lungen-Compliance) *	<p>Die Änderung im Lungenvolumen bei einer angewandten Änderung im Atemwegsdruck des Patienten bei einer Messung unter Bedingungen mit einem Flow von Null, geschätzt während eines PAV+-Plateau-Manövers.</p> <p>Wenn die Einstellung „PA“ ausgewählt ist, zeigt das Beatmungsgerät den aktuell gefilterten Wert der Patienten-Compliance an und aktualisiert die Anzeige bei erfolgreichem Abschluss einer jeden Schätzung. Der Wert wird auf den Bildschirmen mit den weiteren Patientendaten und den Kurven angezeigt.</p>	<p>Zulässige Werte: 2,5 bis 200 ml/cmH<sub>2</sub>O</p> <p>Auflösung:                      0,1 ml/cmH<sub>2</sub>O bei Werten &lt; 10 ml/cmH<sub>2</sub>O                      1 ml/cmH<sub>2</sub>O bei Werten ≥ 10 ml/cmH<sub>2</sub>O</p> <p>Genauigkeit: ± (1 + 20 % des aktuellen Werts) ml/cmH<sub>2</sub>O</p>

\* Wenn der geschätzte Wert für C<sub>PAV</sub>, E<sub>PAV</sub>, R<sub>PAV</sub> oder R<sub>TOT</sub> gegen die erwarteten (körpergewichtsbasierten) Grenzwerte verstößt, bedeuten die Klammern um den Wert, dass der Wert fragwürdig ist. Wenn der geschätzte Wert den absoluten Grenzwert übersteigt, blinkt der Grenzwert in der Klammer.



**Tabelle 3: Mit PAV™\*+ überwachte Daten (Fortsetzung)**

Daten	Funktion	Zulässige Werte, Auflösung, Genauigkeit
E <sub>PAV</sub> (PAV-basierte Lungen-Elastizität) *	E <sub>PAV</sub> wird als Umkehrwert der PAV-basierten Lungen-Compliance berechnet. Siehe die C <sub>PAV</sub> -Funktion oben.	Zulässige Werte: 5,0 bis 400 cmH <sub>2</sub> O/L Auflösung: 0,1 cmH <sub>2</sub> O/L bei Werten < 10 cmH <sub>2</sub> O/L 1 cmH <sub>2</sub> O/L bei Werten ≥ 10 cmH <sub>2</sub> O/L Genauigkeit: ± (1 + 20 % des aktuellen Werts) cmH <sub>2</sub> O/L
PEEP <sub>1</sub> (intrinsischer PEEP)	Der geschätzte positive Druck oberhalb des PEEP, der am Ende der Expirationsphase in den Lungen verbleibt. Wenn die Einstellung „PA“ ausgewählt ist, zeigt das Beatmungsgerät den aktuell geschätzten Wert des intrinsischen PEEP an, sobald das PAV+-Setup abgeschlossen ist und aktualisiert die Anzeige bei erfolgreichem Abschluss einer jeden Schätzung. Die Anzeige erfolgt in den Bildschirmen mit den weiteren Patientendaten und den Kurven.	Zulässige Werte: 0 bis 130 cmH <sub>2</sub> O Auflösung: 0,1 cmH <sub>2</sub> O bei Werten < 10 cmH <sub>2</sub> O 1 cmH <sub>2</sub> O, wenn ≥ 10 cmH <sub>2</sub> O Genauigkeit: Nicht relevant

\* Wenn der geschätzte Wert für C<sub>PAV</sub>, E<sub>PAV</sub>, R<sub>PAV</sub> oder R<sub>TOT</sub> gegen die erwarteten (körpergewichtsbasierten) Grenzwerte verstößt, bedeuten die Klammern um den Wert, dass der Wert fragwürdig ist. Wenn der geschätzte Wert den absoluten Grenzwert übersteigt, blinkt der Grenzwert in der Klammer.

**Tabelle 3: Mit PAV™\*+ überwachte Daten (Fortsetzung)**

Daten	Funktion	Zulässige Werte, Auflösung, Genauigkeit
$R_{PAV}$ (PAV-basierte Lungen-Resistance) *	Der Unterschied zwischen der geschätzten Gesamt-Resistance ( $R_{TOT}$ ) und der Resistance des Tubus.  Wenn die Einstellung „PA“ ausgewählt ist, zeigt das Beatmungsgerät den aktuell gefilterten Wert der Patienten-Resistance an und aktualisiert die Anzeige bei erfolgreichem Abschluss einer jeden Schätzung. Die Anzeige erfolgt in den Bildschirmen mit den weiteren Patientendaten und den Kurven.	Zulässige Werte: 0,0 bis 20 cmH <sub>2</sub> O/L/Sek.  Auflösung: 0,1 cmH <sub>2</sub> O/L/Sek. bei Werten < 10 cmH <sub>2</sub> O/L/Sek 1 cmH <sub>2</sub> O/L/Sek. bei Werten ≥ 10 cmH <sub>2</sub> O/L/Sek.  Genauigkeit: Nicht relevant

\* Wenn der geschätzte Wert für  $C_{PAV}$ ,  $E_{PAV}$ ,  $R_{PAV}$  oder  $R_{TOT}$  gegen die erwarteten (körpergewichtsbasierten) Grenzwerte verstößt, bedeuten die Klammern um den Wert, dass der Wert fragwürdig ist. Wenn der geschätzte Wert den absoluten Grenzwert übersteigt, blinkt der Grenzwert in der Klammer.

**Tabelle 3: Mit PAV™\*+ überwachte Daten (Fortsetzung)**

Daten	Funktion	Zulässige Werte, Auflösung, Genauigkeit
$R_{TOT}$ (geschätzte Gesamt-Resistance)*	Der geschätzte Bruchteil des Drucks/Flows in den Atemwegen des Patienten und dem Beatmungssystem des Beatmungsgeräts am expiratorischen Peak Flow. Wenn die Einstellung „PA“ ausgewählt ist, zeigt das Beatmungsgerät den aktuell gefilterten Wert der Gesamt-Resistance an und aktualisiert die Anzeige bei erfolgreichem Abschluss einer jeden Berechnung. Die Anzeige erfolgt auf dem Bildschirm mit den Kurven.	Zulässige Werte: 1,0 bis 20 cmH <sub>2</sub> O/l/Sek. Auflösung: 0,1 cmH <sub>2</sub> O/l/Sek. bei Werten < 10 cmH <sub>2</sub> O/l/Sek. 1 cmH <sub>2</sub> O/l/Sek. bei Werten ≥ 10 cmH <sub>2</sub> O/l/Sek. Genauigkeit: ± (3 + 20 % der tatsächlichen Resistance) cmH <sub>2</sub> O/l/Sek. zwischen 5 und 80 cmH <sub>2</sub> O/l/Sek., wenn $R_{PAV} < 60$ cmH <sub>2</sub> O/l/Sek.
$V_{TI SPONT}$ (Spontanes inspiratorisches Tidalvolumen)	Zeigt den BTPS-Wert für das inspiratorische Tidalvolumen an. Aktualisierung zu Beginn der folgenden Expirationsphase.	Zulässige Werte: 0 bis 6000 ml Auflösung: 1 ml bei 0 bis 6000 ml Genauigkeit: Für $T_I \geq 200$ ms und $< 600$ ms, ± (10 + 10 %* 600 ms/ $T_I$ ms des Messergebnisses) ml; ansonsten ± (10 + 10 % des Messergebnisses) ml

\* Wenn der geschätzte Wert für  $C_{PAV}$ ,  $E_{PAV}$ ,  $R_{PAV}$  oder  $R_{TOT}$  gegen die erwarteten (körpergewichtsbasierten) Grenzwerte verstößt, bedeuten die Klammern um den Wert, dass der Wert fragwürdig ist. Wenn der geschätzte Wert den absoluten Grenzwert übersteigt, blinkt der Grenzwert in der Klammer.

**Tabelle 3: Mit PAV™\*+ überwachte Daten (Fortsetzung)**

<b>Daten</b>	<b>Funktion</b>	<b>Zulässige Werte, Auflösung, Genauigkeit</b>
$f/V_T/kg$ [Normalisierter Index für schnelle flache Atemzüge (RSBI)]	Zeigt den normalisierten Bruchteil der Atemfrequenz zu den Inspirationsvolumenmessungen auf dem Bildschirm Weitere Patientendaten an. Nur bei PA-Atemzügen verfügbar. Durch die $f/V_T$ - Normalisierung wird die Abweichung im RSBI bedingt durch die körperrgewichtbedingte Abweichung im $V_T$ minimiert.	Zulässige Werte: 0 bis 24 1/Min-l/kg Auflösung: 0,1 wenn $f/V_T/kg < 10$ ; 1 wenn $f/V_T/kg \geq 10$ Genauigkeit: Nicht relevant

\* Wenn der geschätzte Wert für  $C_{PAV}$ ,  $E_{PAV}$ ,  $R_{PAV}$  oder  $R_{TOT}$  gegen die erwarteten (körperrgewichtsbasierten) Grenzwerte verstößt, bedeuten die Klammern um den Wert, dass der Wert fragwürdig ist. Wenn der geschätzte Wert den absoluten Grenzwert übersteigt, blinkt der Grenzwert in der Klammer.

In Tabelle 4 sind die körpergewichtsbasierten absoluten Grenzwerte bei mit der Option PAV+ überwachten Daten aufgeführt.

**Tabelle 4: Absolute Grenzwerte für mit der Option PAV™\*+ überwachte Daten**

Körpergewicht (kg/lb)	$R_{PAV}$ (cmH <sub>2</sub> O/L/ Sek.)	$C_{PAV}$ (ml/cmH <sub>2</sub> O)	$E_{PAV}$ (cmH <sub>2</sub> O/L)
25 / 55,1	0 bis 50	2,5 bis 29	34 bis 400
35 / 77,1	0 bis 44	3,5 bis 41	24 bis 286
45 / 99,1	0 bis 31	4,5 bis 52	19 bis 222
55 / 121,1	0 bis 24	5,5 bis 64	16 bis 182
65 / 143,2	0 bis 20	6,4 bis 75	13 bis 156
75 / 165,2	0 bis 18	7,4 bis 87	11 bis 135
85 / 187,2	0 bis 17	8,4 bis 98	10 bis 119
95 / 209,3	0 bis 16	9,4 bis 110	9,1 bis 106
105 / 231,3	0 bis 15	10 bis 121	8,3 bis 100
115 / 253,3	0 bis 15	11 bis 133	7,5 bis 91
125 / 275,3	0 bis 14	12 bis 144	6,9 bis 83
135 / 297,4	0 bis 14	13 bis 156	6,4 bis 77
145 / 319,4	0 bis 14	14 bis 167	6,0 bis 71
150 / 330,4	0 bis 14	15 bis 173	5,8 bis 67

## Alarmer

In Tabelle 5 sind die mit der Option PAV™\*+ verbundenen Alarmer zusammengefasst.

**Tabelle 5: PAV™\*+-Alarmer**

Basis-meldung	Priorität/ Alarm- stufe	Alarmanalyse	Hinweis- meldung	Bemerkungen
<b>1</b> P <sub>PEAK</sub>	Niedrig	Letzter Atemhub ≥ eingestellter Grenzwert.	Patienten- schlauchsys- tem und Endotracheal- tubus über- prüfen.	Überschreitung des maximal zulässigen inspiratorischen Drucks: Geschätzter Atemwegsdruck ≥ eingestellter 2P <sub>PEAK</sub> . Bei Feststellung unterbricht das Beatmungsgerät die aktuelle Atmung, wenn nicht bereits die Expirationsphase begonnen hat. Mögliche abhängige Alarmer: V <sub>E TOT</sub> , <b>1</b> f <sub>TOT</sub> . Abhilfemaßnahme: Den Patienten untersuchen. Auf undichte Stellen, Einstellung Tubustyp/-I.D. überprüfen. Möglicherweise die Einstellung <i>DNT</i> reduzieren oder 2P <sub>PEAK</sub> erhöhen.
	Mittel	Letzte 3 Atemhübe ≥ eingestellter Grenzwert.		
	Hoch	Mindestens letzte 4 Atemhübe ≥ eingestellter Grenzwert.		

Tabelle 5: PAV™\*+-Alarmer (Fortsetzung)

Basis-meldung	Priorität/ Alarm- stufe	Alarmanalyse	Hinweis- meldung	Bemerkungen
<b>1</b> P <sub>VENT</sub>	Niedrig	1 Atemhub ≥ Grenzwert.	Patienten- schlauch-sys- tem und Endotracheal- tubus über- prüfen.	<p>Inspiratorischer Druck ≥ 100 cmH<sub>2</sub>O. Das Beatmungsgerät unterbricht den aktuellen Atemhub, sofern es sich nicht bereits in der Expirationsphase befindet. Dieser Alarm ist eher unwahrscheinlich, wenn PAV+ aktiv ist.</p> <p>Mögliche abhängige Alarmer: <b>3</b>V<sub>E TOT</sub>, <b>1</b>f<sub>TOT</sub></p> <p>Abhilfemaßnahme: Überprüfen, ob der Patient unruhig ist. Unruhige Atmung verbunden mit einer hohen prozentualen Unterstützung kann zur übermäßigen Unterstützung führen.</p> <p>Ziehen Sie eine Reduzierung der Einstellung <i>DNT</i> in Betracht.</p>
	Mittel	2 Atemhübe ≥ Grenzwert.		
	Hoch	3 oder mehr Atemhübe ≥ Grenzwert.		

**Tabelle 5: PAV™\*+-Alarmer (Fortsetzung)**

<b>Basis-meldung</b>	<b>Priorität/ Alarm- stufe</b>	<b>Alarmanalyse</b>	<b>Hinweis- meldung</b>	<b>Bemerkungen</b>
PAV-START ZU LANG	Niedrig	PAV-Startup nicht vor Ablauf von $\geq 45$ Sek. abgeschlossen.	Auf undichte Stellen, flache Atemzüge und die Einstellungen für $1V_{TI\ SPONT}$ , $1P_{PEAK}$ überprüfen.	PAV+ nicht in der Lage anfänglich gültige Werte für R und C zu schätzen. Mögliche abhängige Alarmer: $3V_{TE\ SPONT}$ , $3V_{E\ TOT}$ , $1f_{TOT}$ . Abhilfemaßnahme: Patient überprüfen (möglicherweise ist die Inspirationszeit des Patienten zu kurz, um die Resistance und die Compliance zu bewerten). Überprüfen, ob der Befeuchtertyp und das Leervolumen korrekt ausgewählt wurden.
	Mittel	PAV-Startup nicht vor Ablauf von $\geq 90$ Sek. abgeschlossen.		
	Hoch	PAV-Startup nicht vor Ablauf von $\geq 120$ Sek. abgeschlossen.		
PAV R und C NICHT BEURTEILT	Niedrig	R und/oder C $\geq$ 15 Minuten alt.	Auf undichte Stellen, flache Atemzüge und die Einstellungen für den Tubus- I.D., $1V_{TI\ SPONT}$ , $1P_{PEAK}$ überprüfen.	Startup erfolgreich; spätere Bewertung jedoch nicht erfolgreich. Abhilfemaßnahme: Patient überprüfen (möglicherweise ist die Inspirationszeit des Patienten zu kurz, um die Resistance und die Compliance zu bewerten). Überprüfen, ob der Befeuchtertyp und das Leervolumen korrekt ausgewählt wurden.
	Mittel	R und/oder C $\geq$ 30 Minuten alt.		



Tabelle 5: PAV™\*+-Alarmer (Fortsetzung)

Basis-meldung	Priorität/ Alarm- stufe	Alarmanalyse	Hinweis- meldung	Bemerkungen
<b>1</b> V <sub>TI SPONT</sub>	Niedrig	Letzter spontaner Atemhub $\geq$ eingestellter Grenzwert.	Auf undichte Stellen, Tubustyp/-I.D., DNT-Einstellung und Unruhe des Patienten überprüfen.	Hohes inspiratorisches Tidalvolumen. Abgegebenes inspiratorisches Volumen $\geq$ Inspirationsgrenzwert. Beatmungsgerät geht zur Ausatmung über. Mögliche abhängige Alarmer: <b>1</b> f <sub>TOT</sub> Abhilfemaßnahme: Überprüfen, ob der Patient unruhig ist, was zur Fehlberechnung von R <sub>PAV</sub> und C <sub>PAV</sub> führen kann. Ziehen Sie eine Reduzierung der Einstellung <i>DNT</i> in Betracht. 2V <sub>TI</sub> überprüfen.
	Mittel	Letzte 3 spontane Atemhübe $\geq$ eingestellter Grenzwert.		
	Hoch	Mindestens letzte 4 spontane Atemhübe $\geq$ eingestellter Grenzwert.		

## Tubus-I.D.

In Tabelle 6 sind die Körpergewichte und die entsprechenden geschätzten Tubus-Innendurchmesser aufgeführt. Wenn Sie einen Innendurchmesser auswählen, der nicht zu dem Körpergewichtsbereich passt, müssen Sie auf die Schaltfläche OK drücken, um zu bestätigen, dass Sie den geschätzten Bereich überschreiben möchten.

**Tabelle 6: Bereiche für Körpergewicht (IBW) und Tubus-I.D.**

<b>IBW (kg)</b>	<b>IBW (lb)</b>	<b>ET-/Trach-I.D. (mm) (Min.)</b>	<b>ET-/Trach-I.D. (mm) (Max.)</b>
25-27	54-60	6,0	6,5
28-35	61-77	6,0	7,0
36	78-79	6,0	7,5
37-42	80-93	6,5	7,5
43-49	94-108	6,5	8,0
50	109-117	7,0	8,0
55	118-130	7,0	8,5
60	131-132	7,0	9,0
65	133-152	7,5	9,0
70	153-154	7,5	9,5
75	155-174	8,0	9,5
80-100	175-231	8,0	10,0
110-135	232-296	8,5	10,0

**Tabelle 6: Bereiche für Körpergewicht (IBW) und Tubus-I.D. (Fortsetzung)**

IBW (kg)	IBW (lb)	ET-/Trach-I.D. (mm) (Min.)	ET-/Trach-I.D. (mm) (Max.)
140-150	297-330	9,0	10,0

**HINWEIS:**

Vergewissern Sie sich, ob der richtige Tubus-Innendurchmesser eingegeben wurde. Da PAV™\*+ den Flow erweitert, kann die Eingabe eines kleineren als des tatsächlichen Atemwegsdurchmessers dazu führen, dass der Patient durch die Flow-basierte Druckunterstützung zu stark unterstützt wird, was zu einem plötzlichen Flow-Anstieg bei hoch eingestellten *DNT*-Werten führen kann. Umgekehrt kann es zu einer zu geringen Unterstützung kommen, wenn ein größerer als der tatsächliche Innendurchmesser eingegeben wird. Die Software PAV+ überwacht die Einstellungen des Körpergewichts und des Tubus. Wenn die Einstellungen von den vorgenannten Bereichen abweichen, müssen Sie bestätigen, dass die Einstellungen richtig sind. Wenn Sie den tatsächlichen Innendurchmesser bestätigen oder korrigieren, wird die Wahrscheinlichkeit, dass mit PAV+ eine zu große oder zu geringe Unterstützung erfolgt, auf ein Minimum reduziert.

## Geräteinstellungen/Richtlinien

### Warnung

Um eine optimale Leistung der Option PAV<sup>TM</sup>\*+ zu erreichen, ist es wichtig, dass Sie den Befeuchtertyp, den Tubustyp und die Tubusgröße auswählen, die den am Patienten verwendeten Vorrichtungen entsprechen.

---

Der aktuelle Druck am Y-Stück, der während der Inspiration erzeugt wird, ist das Resultat aus der Anstrengung des Patienten, der *DNT*-Einstellung, dem Tubustyp, der Tubusgröße, der Patienten-Resistance und -Elastizität und dem aktuell gemessenen Gas-Flow und Lungenvolumen. Stellen Sie  $2P_{PEAK}$  auf einen sicheren Systemdruck ein, bei dessen Überschreitung es angemessen ist, die Inspirationsphase abubrechen und einen Alarm anzuzeigen.

---

### HINWEIS:

PAV+ besitzt einen integrierten oberen Grenzwert für die Druckkompensation ( $1P_{COMP}$ ), der durch die Einstellung  $2P_{PEAK}$  abzgl. 5 cmH<sub>2</sub>O oder 35 cmH<sub>2</sub>O festgelegt wird, je nachdem, welcher Wert der niedrigere ist. Wenn der inspiratorische Druck am Y-Stück ( $P_{Y\text{-Stück}}^I$ ) den Grenzwert  $1P_{COMP}$  erreicht, wird die Inspirationsphase abgebrochen und das Beatmungsgerät geht zur Expirationsphase über. Weitere Einzelheiten hierzu finden Sie auf Seite 39.

---

## Leistungsdaten

Die Leistung liegt bei Verwendung der Option PAV+ bei  $\pm 0,5$  Joules/Liter (aufgewendete Arbeit während der Inspiration liegt bei 75 % Unterstützung). Im Sinne der Beatmung wird die Arbeit wie folgt ausgedrückt:

$$Work [Joules / L] = \frac{0.098 \left[ \frac{Joules}{cmH_2O * L} \right] * \int Pressure_i [cmH_2O] * Flow_i \left[ \frac{L}{s} \right] * dt [s]}{\int Flow_i \left[ \frac{L}{s} \right] * dt [s]}$$

## Grafikanzeigen in PAV™\*+

Wenn die Option PAV+ aktiv ist (wenn der Modus SPONT und die spontane Beatmungsart PA lauten), wird automatisch eine WOB- (Work of Breathing, Atemarbeit) Grafik angezeigt (Abbildung 1 auf Seite 32), aus der Folgendes hervorgeht:

- Schätzungen der Atemarbeit im Verhältnis zu normalen, zu niedrigen oder zu hohen Werten wie:
  - der geschätzten Atemarbeit des Patienten (in Joules/l) während der Inspirationsphase (WOB<sub>PT</sub>) und
  - der geschätzten Gesamt-Atemarbeit (in Joules/l) des Patienten und des Beatmungsgeräts während der Inspirationsphase (WOB<sub>TOT</sub>).
- Eine Anzeige, aus der der Anteil der Inspirationsarbeit des Patienten hervorgeht, die aufgewendet werden muss, um die Elastizität (E) und die Resistance (R) des System zu überwinden.

Auch die folgenden Informationen sind in den Grafikbildschirmen enthalten:

- Eine „schattierte“ Kurve des geschätzten Lungendrucks, die als ausgefüllter Bereich über der Druckkurve des Beatmungskreislaufs dargestellt wird.

- Schätzungen der PAV-basierten Patientendaten, einschließlich Patienten-Resistance ( $R_{PAV}$ ), Lungen-Compliance ( $C_{PAV}$ ) und intrinsischem PEEP ( $PEEP_I$ ).

---

**HINWEIS:**

Die grafische Anzeigen des Lungendrucks und der Atemarbeit des Patienten sind *keine* tatsächlichen Messwerte, sondern leiten sich aus den gefilterten, auf Modellen basierenden Schätzungen ab.

---

Die WOB-Grafik ist nur verfügbar, wenn der Modus SPONT und die Beatmungsart PA ausgewählt sind und eine Dropdown-Menüoption Kurve 2 vorhanden ist. Die schattierte Kurve kann bei Auswahl der Grafikanzeige oder nach dem Fixieren einer Anzeige aktiviert oder deaktiviert werden.

Das Fixieren wirkt sich nicht auf die WOB-Grafik aus; die schattierte Kurve wird jedoch gespeichert. Nach dem Fixieren können Sie die schattierte Kurve aktivieren oder deaktivieren und anschließend das Kurvenstandbild erneut mit oder ohne schattierte Kurve anzeigen.

## WOB-Funktionen und -Definitionen

Der folgenden Tabelle sind Definitionen und Beschreibungen aller WOB-Funktionen zu entnehmen.

**Tabelle 7: WOB-Definitionen**

<b>WOB-Funktion</b>	<b>Definition</b>	<b>Beschreibung</b>
$WOB_{TOTAL}$	Gesamte Inspirationsarbeit	Die Arbeit, die erforderlich ist, um die Lunge zu füllen, unabhängig davon, ob sie durch den Patienten während der Spontanatmung oder durch das Beatmungsgerät beim Füllen der/des passiven Lunge/Thorax oder durch den Patienten und das Beatmungsgerät bei der spontanen unterstützten Atmung ausgeführt wird.
$WOB_{PATIENT}$	Inspirationsarbeit des Patienten	Der Teil der $WOB_{TOTAL}$ , die der Patient übernimmt
$WOB_{PATIENT}$ ELASTISCH	Elastische Inspirationsarbeit	Der Teil der $WOB_{PATIENT}$ , der auf das Füllen des elastischen Lungen-Thorax-Systems des Patienten entfällt
$WOB_{PATIENT}$ RESISTIV	Inspiratorische Widerstandarbeit	Der Teil der $WOB_{PATIENT}$ , der auf die Bewegung von Atemgas durch die resistiven Elemente in den Gaswegen zurückzuführen ist

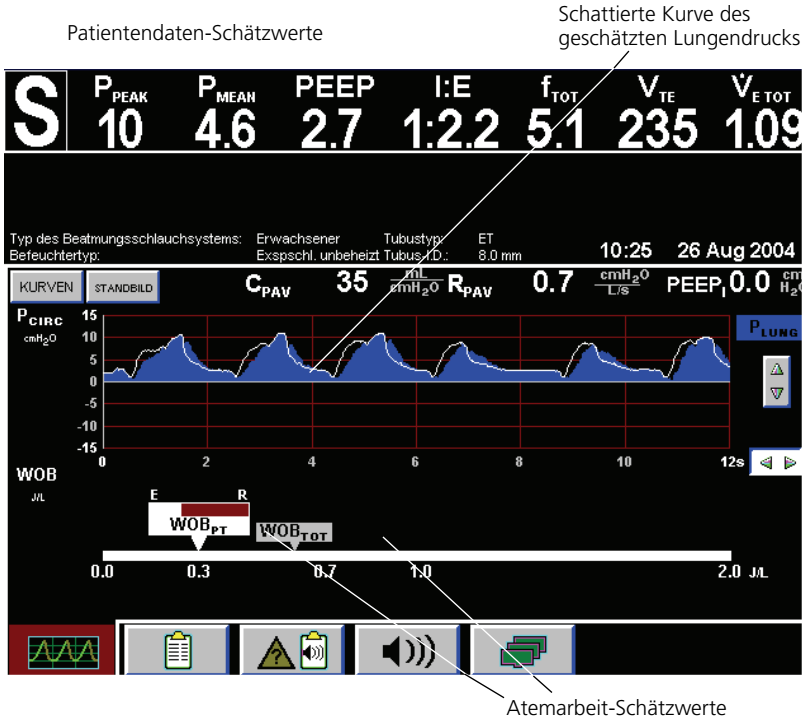


Abbildung 1. Grafikanzeigen in PAV™\*+



## Technische Beschreibung

Wenn die Option PAV+ ausgewählt ist, arbeitet das Beatmungsgerät als inspiratorischer Verstärker, der die Druck erzeugende Funktion der Inspirationsmuskeln ( $P_{MUS}$ ) unterstützt.

$P_{MUS}$  erzeugt ein Druckgefälle, das Atemgas durch die Atemwege in das elastische Lungen-Thorax-System inhaliert; dies wird durch die Bewegungsgleichung beschrieben:

$$P_{MUS} = V_L * R + V_L * E_{LUNGE-THORAX} \quad (\text{Gleichung 1})$$

wobei:

$V_L$  = Flow durch die Resistance-Komponenten in die Lunge

$R$  = Resistance-Komponenten (Tubus plus Atemwege des Patienten)

$V_L$  = Insufflationsvolumen der Lunge

$E_{LUNGE-THORAX}$  = Elastizität von Lunge und Thorax ( $1/C_{LUNGE-THORAX}$ )

Wenn die Schätzungen der Software PAV+ im Hinblick auf Resistance und Elastizität ( $R_{PAV}$  und  $E_{PAV}$ ) stabil bleiben, lässt sich diese Gleichung wie folgt umschreiben:

$$P_{MUS}^i = V_L^i * R_{Atemwege}^i + V_L^i * K_1 + V_L^i * K_2 \quad (\text{Gleichung 2})$$

wobei:

$i$  den aktuellen Wert für Druck, Flow und Atemwegs-Resistance definiert (vorausgesetzt  $R_{Atemwege}^i$  ist ein Ergebnis des Flows)

$K_1$  und  $K_2$  = die jeweiligen Konstanten  $R_{PAV}$  und  $E_{PAV}$ .

$P_{MUS}^i$  ließe sich sodann bei jedem Intervall (alle 5 ms im Falle des Beatmungsgeräts 840) schätzen, wenn  $V_L^i$ ,  $R_{Atemwege}^i$  und  $V_L^i$  ebenfalls bekannt sind. Während jeder Inspiration können die einzelnen Druckkomponenten, aus denen sich  $P_{MUS}$  zusammensetzt, wie folgt ausgedrückt werden:

$$P_{MUS} = P_{FLOW_{TUBUS}}^{FLOW} + P_{FLOW_{PATIENT}}^{FLOW} + P_{VOLUME_{PATIENT}}^{VOLUME} \quad (\text{Gleichung 3})$$

Gleichungen 2 und 3 bieten die Struktur zur Erklärung der Funktionsweise der Option PAV™\*+. Der Arzt gibt den Typ und die Größe des verwendeten Tubus an und die Software verwendet diese Information, um die Resistance des Tubus bei einem beliebigen Lungen-Flow zu schätzen.

Indem Sie ein spezielles Pausenmanöver am Ende der ausgewählten Inspirationsphase anwendet, erhält die Software die Informationen, die sie zur Schätzung der Patienten-Resistance ( $R_{PAV}$ ) und -Compliance ( $C_{PAV}$ , die in die Elastizität  $E_{PAV}$  umgerechnet wird) benötigt. Sofort nach Beendigung des Pausenereignisses erfasst die Software gleichzeitig Werte für  $P_{LUNGE}$ ,  $P_{Y\text{-Stück}}$  und  $V_E$ , aus denen sich bei dem geschätzten Flow eine Schätzung für  $R_{TOT}$  ableiten lässt.

Alle Rohdaten werden Logikprüfungen unterzogen, und die Schätzungen von  $R_{PAV}$  und  $C_{PAV}$  werden ferner physiologisch geprüft. Die Schätzungen von  $R_{PAV}$  und  $C_{PAV}$  werden verworfen, wenn eine der Logik- bzw. physiologischen Prüfungen nicht bestanden werden. Wenn  $C_{PAV}$  zurückgewiesen wird, wird auch  $R_{PAV}$  zurückgewiesen.

Für die Atemzugunterstützung sind gültige Schätzungen von  $R_{PAV}$  und  $C_{PAV}$  erforderlich; sie werden fortwährend aktualisiert, indem die neuen Werte mit den älteren Werten gemittelt werden. Durch diesen Prozess der Ermittlung von Mittelwerten werden die Daten harmonisiert und es werden abrupte Änderungen bei der Atemzugunterstützung vermieden. Wenn die neuen Werte für  $R_{PAV}$  und  $C_{PAV}$  zurückgewiesen werden, bleiben die älteren Werte so lange gültig, bis neue gültige Werte ermittelt wurden. Mit der Software PAV+ wird der Aktualisierungsprozess überwacht; ferner wird ein Eskalationsalarm erzeugt, wenn sich die älteren Werte nicht aktualisieren.

Während PAV™\*+ aktiv ist, wird alle vier bis 10 Atemzüge willkürlich ein Atemzug mit endinspiratorischer Pause durchgeführt.

Ein Atemzug mit endinspiratorischer Pause ist eine normale PA-Inspiration mit einer Pause am Ende der Inspirationsphase. Da die Muskelaktivität nach einem neuronalen Reiz etwa 300 ms verzögert ist, erkennt das Atemzentrum des Patienten die Pause nicht. Atemzüge mit endinspiratorischer Pause werden willkürlich ausgeführt, sodass ihr Auftreten nicht vorhergesagt werden kann.

Ein PA-Atemzug beginnt mit der Flow-Erkennung am Y-Stück. Der Proben- und Kontrollzyklus dauert beim Beatmungsgerät 840 5 ms (der Wert  $i$  in Gleichung 2), was häufig genug ist, um eine im Wesentlichen konstante Verfolgung der Inspirationen des Patienten zu erzielen. Bei jedem  $i$ -ten Intervall identifiziert die Software den aktuellen Lungen-Flow ( $V_L^i$ , dem die Resistance des Tubus und der Atemwege des Patienten entgegenwirken) und integriert den Flow, um das aktuelle Lungenvolumen zu schätzen ( $V_L^i$ , dem der elastische Retraktionsdruck der Lunge und des Thorax entgegenwirkt).

Mithilfe der Werte für den aktuellen Lungen-Flow und das aktuelle Lungenvolumen berechnet die Software PAV<sup>TM</sup>+ jede der Druckkomponenten in Gleichung 2, aus der sich der Wert für  $P_{MUS}$  in jedem  $i$ -ten Intervall ergibt.

Die *DNT*-Einstellung gibt den Umfang des resistance- und elastizitätsbasierten Drucks an, der bei jedem  $i$ -ten Intervall am Y-Stück anzuwenden ist. Bei dieser Gleichung handelt es sich um Gleichung 2, die so umgeschrieben wurde, dass sie die *DNT*-Einstellung beinhaltet:

$$P_{Y\text{-Stück}}^i = S (V_L^i * R_{\text{Atemwege}}^i) + S (V_L^i * K_1) + S (V_L^i * K_2) \text{ (Gleichung 4)}$$

wobei:

$P_{Y\text{-Stück}}^i$  = Druck, den das Beatmungsgerät als Reaktion auf die aktuellen Werte des Lungen-Flows und des Lungenvolumens erzeugt. Bei diesem Wert handelt es sich um die Summe aus drei einzelnen Druckkomponenten (in Klammern) in Gleichung 4.

$S = DNT\text{-Einstellung}/100$  (zwischen 0,05 und 0,95).

Das Druckgefälle, durch das Atemgas in die Lunge des Patienten gelangt, ergibt sich aus der Summe aus  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  und der Inspirationsanstrengung des Patienten; daher gilt:

$$\Delta P_{\text{GRADIENT}}^i = P_{Y\text{-Stück}}^i + P_{\text{mus}}^i \quad (\text{Gleichung 5})$$

## Schutz vor Gefahren

Die Software PAV™\*+ dient dazu, das Risiko der Hyperinflation abzuschwächen. Das Risiko der Hyperinflation entsteht, wenn die Software die tatsächliche Resistance des Patienten überschätzt oder die tatsächliche Lungen-Thorax-Compliance des Patienten unterstützt (d. h. die tatsächliche Elastizität überschätzt). Wenn die Software zu keinen gültigen Schätzungen für  $R_{\text{PAV}}$  und  $C_{\text{PAV}}$  kommt, kann die Option PAV+ nicht gestartet werden. Wenn die Werte für  $R_{\text{PAV}}$  und  $C_{\text{PAV}}$  nach dem Start nicht mit neuen gültigen Werten aktualisiert werden können, werden die älteren Werte weniger verlässlich.

Die Stabilität von PAV+ wird in erster Linie durch das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Lungen-Elastizität [ $E_L(\text{tatsächlich})$ ] und dem tatsächlichen Lungenvolumen [ $V_L(\text{tatsächlich})$ ] bestimmt. Obwohl  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  (resistiv) auch eine Rolle spielt, geht es hier vorrangig um die Elastizitätskomponente.

Bei allen Lungenvolumen wird der tatsächliche Zustand von Lunge und Thorax wie folgt ausgedrückt:

$$P_{L\text{Retraktion}}^i = V_L^i(\text{tatsächlich}) * E_L(\text{tatsächlich})$$

Es kommt nicht zur Hyperinflation, solange  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  (elastisch)  $< P_{L\text{ Retraktion}}^i$ , was folgender Ungleichung entspricht:

$$S [V_L^i(\text{geschätzt}) * K_2] < V_L^i (\text{tatsächlich}) * E_L(\text{tatsächlich})$$

wobei:

$$K_2 = E_{PAV} \text{ (siehe Gleichungen 2 und 4)}$$

Solange  $E_{PAV}$  (geschätzt) =  $E_{PAV}$  (tatsächlich) und  $V_L^i$  (geschätzt) =  $V_L^i$  (tatsächlich) ist  $P_{L\text{ Retraktion}}^i > P_{Y\text{-Stück}}^i$ , selbst bei hohen *DNT*-Werten (d. h. zwischen 85 % und 95 %).

Das bedeutet, dass das Lungenvolumen kollabiert, wenn der Flow am Y-Stück wegfällt, wenn der auf Thorax und Lunge angewandte Druck pro Liter nie größer ist als  $E_L$  (tatsächlich). Solange  $E_{PAV}$  (geschätzt)  $\leq E_L$  (tatsächlich),  $V_L^i$  (geschätzt)  $\leq V_L^i$  (tatsächlich) und  $R_{PAV}$  (geschätzt)  $\leq R_L$  (tatsächlich), ist  $P_{MUS}$  der Modulator für  $P_{Y\text{-Stück}}^i$ .

Zur Hyperinflation kann es kommen, wenn der geschätzte  $E_{PAV}$  größer ist als der tatsächliche Wert für  $E_L$ . Bei einer hohen *DNT*-Einstellung besteht die Möglichkeit, dass  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  (elastisch)  $P_{L\text{ Retraktion}}^i$  übersteigt, was dazu führen kann, dass am Y-Stück ein selbst erzeugter Flow entsteht, der seinerseits dazu führen würde, dass sich die Lungen selbst füllen. Das ist ein Grund dafür, dass die *DNT*-Einstellung auf 95 % begrenzt ist.

Entsprechend gilt, dass, wenn der geschätzte  $R_{PAV}$  den tatsächlichen Wert für  $R_L$  bei einer hohen *DNT*-Einstellung übersteigt,  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  (resistiv) u. U. den zum Kompensieren des Druckabfalls über den Tubus und die Atemwege des Patienten benötigten Wert übersteigt, was zu einer vorzeitigen Hyperinflation der Lunge führen würde. Wenn der Flow nach dem ersten Drittel der Inspiration zurückgeht, wird der Hyperinflationseffekt aller Wahrscheinlichkeit nach abklingen.

Die Software PAV™\*+ beinhaltet die folgenden Strategien, um die Möglichkeit der Hyperinflation der Lunge zu minimieren:

- Die *DNT*-Einstellung ist auf maximal 95 % begrenzt.
- Die Rohdaten für  $R_{PAV}$  und  $C_{PAV}$  werden auf ihre Logik hin überprüft, und die geschätzten mechanischen Werte werden mit den physiologischen Grenzwerten auf der Grundlage des Körpergewichts abgeglichen. Durch diese Prüfungen wird die Möglichkeit einer Überschätzung der Patienten-Resistance bzw. einer Unterschätzung der Patienten-Compliance reduziert, was zu einer möglichen Hyperinflation führen kann.
- Mit dem oberen Grenzwert für das inspiratorische Tidalvolumen ( $2V_{TI\ SPONT}$ ) wird ein absoluter Grenzwert für das Integral des Lungen-Flows (einschließlich Leakage-Flow) festgelegt, der dem Lungenvolumen entspricht. Wenn der Wert für  $V_{TI}$  diesen Grenzwert erreicht, bricht das Beatmungsgerät die Inspirationsphase ab und geht unverzüglich in die Expirationsphase über.
- Mit der Einstellung  $2V_{TI\ SPONT}$  wird der obere Grenzwert für die Komponente  $P^{VOLUMEN}_{PATIENT}$  von  $P^i_{Y\text{-Stück}}$  festgesetzt (siehe Gleichungen 3 und 4). Zu Beginn jeder neuen Inspirationsphase berechnet die Software PAV+ wie folgt einen Wert für  $P^{VOLUMEN}_{PATIENT}$ :

$$P^*_{Y\text{-Stück}} \text{ (elastischer Schwellenwert)} = 0,75 \\ (2V_{TI\ SPONT} * E_{PAV})$$

wobei  $P^*_{Y\text{-Stück}}$  der eindeutige Wert für den elastischen Schwellenwert von  $P^i_{Y\text{-Stück}}$  ist, der dazu führt, dass sich das Lungenvolumen auf 75 % des  $2V_{TI\ SPONT}$ -Werts dehnt. Wenn  $P^i_{Y\text{-Stück}} \text{ (elastisch)} = P^*_{Y\text{-Stück}} \text{ (elastischer Schwellenwert)}$ , erhöht die Software  $P^i_{Y\text{-Stück}} \text{ (elastisch)}$  nicht mehr. Das bedeutet, dass ein weiterer Anstieg im Lungenvolumen durch den Patienten selbst erfolgen muss, was in der Regel den Abschluss der inspiratorischen Arbeit beschleunigt und den Abbruch

vermeidet, wenn das Lungenvolumen den  $1V_{TI\ SPONT}$ -Grenzwert erreicht.

- Der obere Grenzwert für den inspiratorischen Druck ( $2P_{PEAK}$ ) gilt für alle Atemzüge und wird von der Software PAV+ verwendet, um einen hohen Kompensationsdruck ( $1P_{COMP}$ ) zu erkennen:

$1P_{COMP} = 2P_{PEAK} - 5\text{ cmH}_2\text{O}$  oder  $35\text{ cmH}_2\text{O}$ , je nachdem, welcher Wert der geringere ist

Wenn der vom Benutzer einstellbare  $2P_{PEAK}$ -Grenzwert erreicht ist, bricht das Beatmungsgerät die Inspiration ab und geht unverzüglich zur Expirationsphase über. Wenn  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  (der in Gleichung 4 berechnete Zieldruck am Y-Stück) 500 ms lang  $1P_{COMP}$  entspricht, wird die Inspirationsphase abgebrochen und die Expirationsphase beginnt. Ferner wird bei  $P_{Y\text{-Stück}}^i = 1P_{COMP}$   $P_{Y\text{-Stück}}^i$  auf  $1P_{COMP}$  beschränkt. Obwohl hierdurch der Wert  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  fixiert wird, kann durch Patientenaktivität wie etwa durch Husten  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  auf  $2P_{PEAK}$  erhöht werden; in diesem Fall wird die Inspirationsphase beendet.

Der schnelle Anstieg von  $P_{Y\text{-Stück}}^i$  auf den Grenzwert von  $1P_{COMP}$  ist im ersten Drittel der Inspirationsphase wahrscheinlich, und nur dann, wenn  $R_{PAV}$  zu hoch eingeschätzt wurde und  $DNT$  auf einen Wert von über 85 % gesetzt wurde. Die Einstellung  $1P_{COMP}$  schützt vor Hyperinflation durch eine zu hohe Einschätzung von  $R_{PAV}$ .

- Für  $DNT$  sind Einstellungen in Schritten von je 5 % zwischen 5 und 95 % möglich. Wenn die Unterstützung auf einen geringeren Wert eingestellt wird, sinkt das Risiko der Hyperinflation. Eine starke Verringerung könnte zu einem Eindruck von unzureichender Unterstützung führen. Der Patient würde die zusätzliche Atemarbeit übernehmen, oder der Unterstützungsgrad müsste wieder erhöht werden.

Eine starke Erhöhung kann einen schnellen Anstieg bei dem vom Beatmungsgerät erzeugten Wert für  $P_{Y\text{-Stück}}$  hervorrufen, der wiederum dazu führen würde, dass  $P_{Y\text{-Stück}}^{i} 2P_{\text{COMP}}$  erreicht; das Ergebnis wäre eine vorübergehende mangelnde Abstimmung zwischen Patient und Beatmungsgerät. Um diese Möglichkeit so gering wie möglich zu halten, begrenzt die Software PAV+ den tatsächlichen Anstieg in der Unterstützung auf Schritte von je 10 % alle zwei Atemzüge, bis die neue Einstellung erreicht ist.

- Im PAV+-Betrieb bleibt die Spirometrie aktiv.  $2V_{\text{TI SPONT}}$  kann so hoch eingestellt werden, dass eine Seufzeratmung möglich ist, während  $4V_{\text{E TOT}}$  und  $2V_{\text{E TOT}}$  aktiv bleiben, damit Änderungen im Minutenvolumen erkannt werden.

Da PAV<sup>TM\*</sup>+ nicht ohne gültige Schätzungen von  $R_{\text{PAV}}$  und  $C_{\text{PAV}}$  betrieben werden kann, und da diese Werte nicht bekannt sind, wenn PAV+ gestartet wird, werden diese Werte in einer Startup-Routine (Siehe „Überblick“ auf Seite 2) während vier Atemzügen mit endinspiratorischer Pause ermittelt, die Rohdaten für  $R_{\text{PAV}}$  und  $C_{\text{PAV}}$  liefern; beide Werte müssen gültig sein. Wenn einer der Werte während einer der vier ersten Atemzüge ungültig ist, plant die Software eine zusätzliche endinspiratorische Pause beim nächsten Atemzug.

Ein Alarm mit niedriger Priorität wird aktiv, wenn ein 45-Sekunden-Intervall verstreicht, ohne dass es gültige Schätzungen für  $R_{\text{PAV}}$  und  $C_{\text{PAV}}$  gibt. Wenn dieser Zustand 90 Sekunden lang andauert, geht der Alarm in einen Alarm mittlerer Priorität über. Wenn dieser Zustand 120 Sekunden lang andauert, geht der Alarm in einen Alarm hoher Priorität über. Die  $3V_{\text{E TOT}}$  und  $1f_{\text{TOT}}$ -Alarmer sind auch mit dieser Bedingung verbunden.



In ähnlicher Weise wird, wenn  $R_{PAV}$  und  $C_{PAV}$  nicht mit gültigen Werten aktualisiert werden können, nachdem PAV+ erfolgreich gestartet wurde, ein Alarm niedriger Priorität aktiv, wenn die Bedingung 15 Minuten lang andauert. Wenn die Werte dann immer noch nicht mit gültigen Werten aktualisiert werden können, geht der Alarm in einen Alarm mittlerer Priorität über.