

# Beatmung von Früh- und Neugeborenen

© [C. Popow](#) (X/1996)

## 1. Einleitung

## 2. Physiologische Grundbegriffe

### 2.1. Compliance

### 2.2. Zeitkonstante

### 2.3. Definitionen

#### 2.3.1. Definitionen

#### 2.3.2. Vor- und Nachteile der Beatmung

### 2.4. Zielwerte und Einfluß der Beatmung auf Ventilation und Oxygenierung

#### 2.4.1. Zielwerte

#### 2.4.2. konventionelle Beatmung

#### 2.4.3. Hochfrequenzbeatmung

## 3. Beatmungsgeräte für Früh- und Neugeborene

### 3.1. Allgemeines über Respiratoren

### 3.2. Flow Interruptors

### 3.3. Hochfrequenzbeatmungsgeräte

#### 3.3.1. Hochfrequenz- Oszillationsbeatmung (HFOV)

#### 3.3.2. Hochfrequenz - Jet - Beatmung (HFJV)

## 4. Beatmungstechnik bei Neugeborenen

### 4.1. Beatmungsindikationen

#### 4.1.1. Indikationen:

#### 4.1.2. Beurteilung des Atemversagens

### 4.2. Intubation

### 4.3. Grundeinstellung des Respirators und Anpassen der Beatmung

#### 4.3.1. Grundeinstellung des Respirators

#### 4.3.2. Anpassen der Beatmung

### 4.4. Weaning

#### 4.4.1. "angepaßtes" Weaning

#### 4.4.2. "strategisches" Weaning

#### 4.4.3. "aggressives" Weaning

### 4.5. Beatmungsprobleme

#### 4.5.1. Probleme und Komplikationen (Übersicht)

#### 4.5.2. vermehrter Pulmonalgefäßwiderstand

#### 4.5.3. Air Leak Syndrom

#### 4.5.4. inadvertent PEEP

#### 4.5.5. Extremeinstellungen

#### 4.5.6. Kooperationsprobleme

#### 4.5.7. Beatmung am Transport

## Anhang

---

### **1. Einleitung**

Beatmung ermöglicht den pulmonalen Gastransport, wenn die Atemmuskulatur nicht in der Lage ist, die notwendige Atemarbeit zu leisten. Der Gastransport in die Lunge erfolgt durch Aufbau einer Druckdifferenz zwischen Lunge (intrapulmonaler Druck,  $P_{alv}$ ) und Umgebung (Umgebungsdruck,  $P_{amb}$ , bzw. Druck am oberen Ende des Respirationstraktes,  $P_{awo}$ ). Der Gastransport aus der Lunge erfolgt im allgemeinen passiv entlang der Druckdifferenz  $P_{alv} - P_{awo}$  bei entspannter Inspirationsmuskulatur. Ziel der Beatmung ist es, die Atemarbeit des Patienten zu ersetzen oder zu ergänzen und ausreichende Ventilation und Oxygenierung zu gewährleisten.

Bei der normalen Atmung wird während der Inspiration ein transpulmonaler Druckgradient durch die Tätigkeit der Inspirationsmuskulatur (-> Vergrößerung des Thoraxraumes) erzeugt.

Bei der Beatmung wird während der Inspiration ein transthorakaler Druckgradient durch eine externe Quelle (Druckgenerator), die mit dem Patienten direkt verbunden ist, erzeugt. Diese

externe Quelle kann ein Beatmungsbeutel, ein CPAP Gerät oder ein Respiратор sein, die mit dem Patienten über eine Gesichtsmaske, eine Kopfbox, einen Endotrachealtubus, eine Unterdruckkammer oder einen Thoraxcuiß verbunden sind.

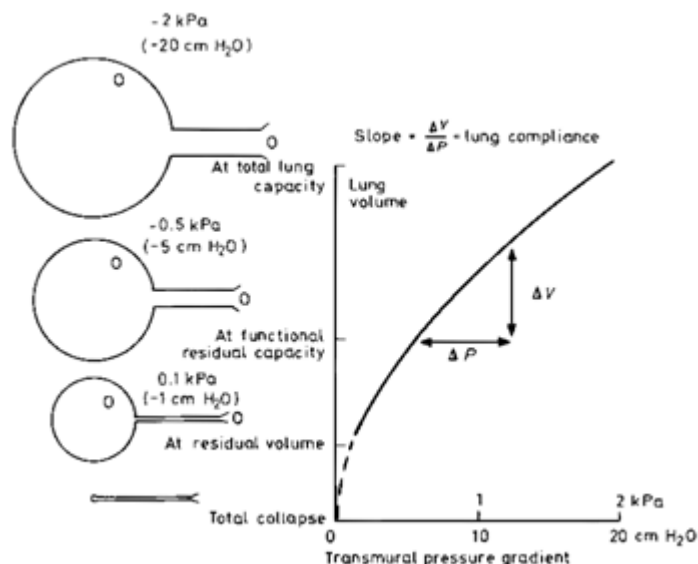
Früh- und Neugeborene stellen durch die bei der Beatmung notwendigen hohen Atemfrequenzen und -widerstände, die geringe Toleranz ihrer Lungen gegenüber mechanischer Belastung und die enorme Kreislaufinstabilität insbesondere in den ersten Lebenstagen besondere Anforderungen an Geräte und Betreuer.

## 2. Physiologische Grundbegriffe

### 2.1. Compliance

Elastizität wird in der Physik als Ausmaß der Formveränderung (Deformation) eines Körpers bei Anwenden einer äußeren Kraft definiert. Nach dem Gesetz von Robert Hooke (1635-1703) ist das Ausmaß dieser Deformation in einem bestimmten Bereich proportional zur angewandten Kraft. So ist z.B. die Längenänderung eines Drahtes, der gedehnt wird, abhängig von der angewandten Kraft (Spannung), vom verwendeten Material und vom Querschnitt des Drahtes. Angewandt auf die Lunge hängt die Zu-/Abnahme des Lungenvolumens von der (transpulmonalen) Druckdifferenz und den "Materialeigenschaften" der Lunge ab. Das Verhältnis zwischen der Veränderung des Lungenvolumens ( $\Delta V$ ) und der Druckdifferenz ( $\Delta P$ ), die diese Veränderung bewirkt, wird als respiratorische Compliance ( $C$ ) bezeichnet:

$$C = \Delta V / \Delta P \quad (1)$$



*Abb.1: Respiratorische Compliance (nach Nunn, 1977)*

Die Compliance ist ein Maß für die Elastizität der Lunge. Je elastischer die Lunge (und der Thorax), d.h. je größer die Veränderung des Lungenvolumens pro Einheit der Druckdifferenz

(des Druckgradienten), umso größer die Compliance. Die respiratorische Compliance bestimmt bei einem gegebenen Druckgradienten die Größe des Atemzugvolumens.

Da drei verschiedene Druckgradienten für das respiratorische System bestimmt werden können ([Abb.1](#)) ergeben sich auch drei verschiedene Compliances:

$$C_{rs} \text{ respiratorisches System: } \Delta V / \Delta (P_{awo} - P_{alv})$$

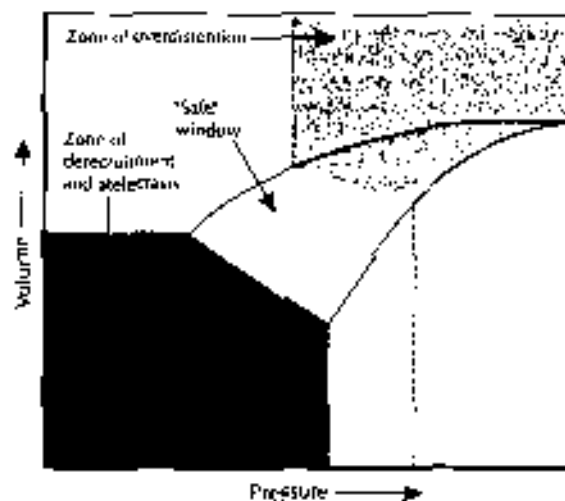
$$C_l \text{ Lunge: } \Delta V / \Delta (P_{pl} - P_{alv})$$

$$C_w \text{ Thorax: } \Delta V / \Delta (P_{amb} - P_{pl})$$

Diese Compliances hängen wie folgt zusammen:

$$1/C_{rs} = 1/C_l + 1/C_w \quad (2)$$

Die respiratorische Compliance ist auch beim selben Patienten nicht immer gleich groß, sondern hängt u.a. vom Lungenvolumen ab: sie ist bei geringem endexpiratorischen Volumen ( $V_{EE}$ ) gering, wird mit Zunahme des  $V_{EE}$  größer, schließlich maximal groß (bei jenem Lungenvolumen, bei dem normalerweise geatmet wird) und bei großem  $V_{EE}$  wieder geringer. Außerdem ist die Compliance während der In- und Expiration unterschiedlich (Hysterese). Am leichtesten ist das Einatmen bei jener Atemlage, bei der man normalerweise atmet (Compliance - Maximum), während im unteren und im oberen Bereich des thorakalen Gasvolumens die größte Atemarbeit aufgewendet werden muß ([Abb.2](#)). Es gibt also aus lungenmechanischer Sicht einen (optimalen) Bereich, in dem die für den Gastransport erforderlichen Druckdifferenzen am geringsten sind.



*Abb.2: Volumen - Druckkurve des respiratorischen Systems*

## 2.2. Zeitkonstante

Während des Ausatmens (und während des Einatmens) verändert sich das Lungenvolumen konstant. Die Änderung des Lungenvolumens kann mathematisch ausgedrückt werden:

$$\Delta V / \Delta t = k * V \quad (3)$$

$$\text{bzw. } V = V_0 * e^{-k*t} \quad (4)$$

Dabei bedeutet  $\Delta V / \Delta t$  die Volumensänderung pro Zeiteinheit,  $V$  das aktuelle Lungenvolumen und  $V_0$  das Lungenvolumen am Beginn der Expiration. Für die "Materialkonstante"  $k$  kann auch  $1/\tau$  ( $\tau$  = Zeitkonstante) eingesetzt werden, sodaß sich für das im Zeitpunkt  $t$  in der Lunge befindliche Volumen ( $V$ ) folgende Formel ergibt:

$$V = V_0 * e^{-t/\tau} \quad (5)$$

Die Zeitkonstante  $\tau$  charakterisiert alle beim Ausatmen (Einatmen) auftretenden Widerstände. Die Zeitkonstante ist eine sehr praktische Größe, denn für  $t = \tau$  (Ausatemzeit = 1 Zeitkonstante) ergibt sich aus (5):

$$V = V_0 * e^{-1} \quad (\tau/\tau = 1 \text{ und } e \approx 2.7) \text{ und daraus (6)}$$

$$V = V_0 * 0.37 \quad (6a)$$

d.h. nach Verstreichen einer Zeitkonstante sind noch 37% des am Beginn der Expiration vorhandenen Volumens in der Lunge, für  $t = 2*\tau$  (Ausatemzeit = 2 Zeitkonstanten) ergibt sich

$$V = V_0 * e^{-2} \text{ und (6b)}$$

$$V = V_0 * 0.14 \quad (6c)$$

d.h. nach Verstreichen von zwei Zeitkonstanten sind noch 14% des am Beginn der Expiration vorhandenen Volumens in der Lunge usw. (s. Tab. 1):

*Tabelle 1. Zeitkonstante und Ausatemvolumen*

Zahl der verstrichenen Zeitkonstanten	% des ursprünglich eingeatmeten Volumens
1	37
2	13
3	5
4	2
5	<1

Das bedeutet, daß für eine vollständige Expiration eine Zeitdauer von mindestens 3-5 Zeitkonstanten benötigt wird. Ist die Ausatemzeit geringer ( $t < 3*\tau$ ), so nimmt das endexpiratorische Lungenvolumen zu (Air trapping). Das hat auch Konsequenzen für die Lungenmechanik (Compliance), die ja vom endexpiratorischen Lungenvolumen abhängt (Abb.2).

Wie wird die Zeitkonstante bestimmt?

Am einfachsten, indem man den Patienten nach einer Inspiration "einfach" (d.h. ohne zusätzliche Behinderungen durch Atemmuskelaktivität oder (teilweise) verschlossene Glottis etc.) ausatmen läßt, dabei das Ausatemvolumen gegenüber der Ausatemzeit aufzeichnet und bestimmt, nach welcher Zeit 63% (100-37%) des endexpiratorischen Volumens (=Atemzugvolumen) ausgeatmet wurden ( $=\tau$ ).

Die Zeitkonstante als Produkt von Compliance und Resistance

Man kann nachweisen, daß die Zeitkonstante  $\tau$  dem Produkt der elastischen und der Strömungswiderstände entspricht, also  $\tau = C_{rs} * R_{aw}$ .

Das bedeutet, daß sich die Zeitkonstante mit der Compliance und dem Atemwegwiderstand ändert:

$\tau$  wird länger, wenn sich die elastischen Eigenschaften der Lunge bessern oder der Atemwegwiderstand größer wird (z.B. Schleimpfropf, enger Tubus) und umgekehrt.

Ähnlich wie die expiratorische Zeitkonstante kann auch eine inspiratorische Zeitkonstante bestimmt werden, die von der inspiratorischen Lungenelastizität und den inspiratorischen Atemwegwiderständen abhängt.

---

## 2.3. Definitionen, Vor- und Nachteile der Beatmung

### 2.3.1. Definitionen

IPPV	intermittent positive pressure ventilation - kontrollierte Beatmung (die gesamte Atemarbeit wird vom Respirator übernommen)
IMV	intermittent mandatory volume - intermittierende Beatmung (Patient kann zwischen den Beatmungshüben spontan atmen)
sIPPV	synchronized IPPV - synchronisiertes IPPV (Patient kann innerhalb eines (längeren) Zeitraumes ('Fensters') einen Beatmungshub auslösen (triggern))
sIMV	synchronized IMV - synchronisiertes IMV (Patient kann während eines (kürzeren) Zeitraumes ('Fensters') einen Beatmungshub auslösen (triggern), danach wieder bis zum Öffnen des 'Fensters' spontan atmen)
CPAP	continuous positive airway pressure (erhöhter endexpiratorischer Druck bei Spontanatmung)
BIPAP	biphasic positive airway pressure (Beatmungsgerät schaltet zwischen zwei (in- bzw.

	exspiratorischem) Druckniveaus hin und her, auf beiden Niveaus kann spontan geatmet werden
HFV	high frequency ventilation - Hochfrequenzbeatmung Beatmung mit supraphysiologischen Atemfrequenzen (> 150/min)
HFOV	high frequency oscillatory ventilation - Hochfrequenz - Oszillationsbeatmung
HFJV	high frequency jet ventilation - Hochfrequenz - Jetbeatmung

### 2.3.2. Vor- und Nachteile der Beatmung

#### a. Vorteile

- Verbesserter Gasaustausch
  - Vermeidung von Hypoxie, Hyperkapnie, Acidose
- Verminderte Atemarbeit
  - verminderter O<sub>2</sub>-Verbrauch und Energieumsatz,  
verbessertes endexpiratorisches Volumen,  
Stimulation der Surfactantproduktion
- verminderter Pulmonalgefäßwiderstand bei Hyperventilation

#### b. Nachteile

- hoher technischer und finanzieller Aufwand
- psychische und physische Belastung, Streß,
  - Entwicklungsverzögerung
- Lungenschädigung
  - Mediatorenfreisetzung - Barotrauma, O<sub>2</sub>-Toxizität - BPD  
Larynxprobleme, Tracheomalazie  
Atrophie der Atemmuskulatur
- Kreislaufbeeinträchtigung
  - erhöhter Pulmonalgefäßwiderstand,  
venöser Rückstrom, HZV vermindert
- sekundäre Organschädigung

vermehrte Sepsisanfälligkeit  
 renale, GIT Probleme  
 vermehrte Hirnblutungsinzidenz  
 O<sub>2</sub>-Toxizität - RLF

## 2.4. Zielwerte und Einfluß der Beatmung auf Ventilation und Oxygenierung

### 2.4.1. Zielwerte:

paO <sub>2</sub> / SaO <sub>2</sub>	55-65 mm Hg / 89-91%
paCO <sub>2</sub>	35-40 mm Hg (kontrollierte Beatmung), 40-45 mm Hg (HFOV) 50-60 mm Hg (Weaning) > 60 mm Hg (permissive Hyperkapnie)
pHa / pH <sub>c</sub> / pH <sub>v</sub>	≥ 7.3 / ≥ 7.25 / ≥ 7.2

### 2.4.2. konventionelle Beatmung:

Das Druck-Zeit-Diagramm läßt folgende Elemente erkennen:

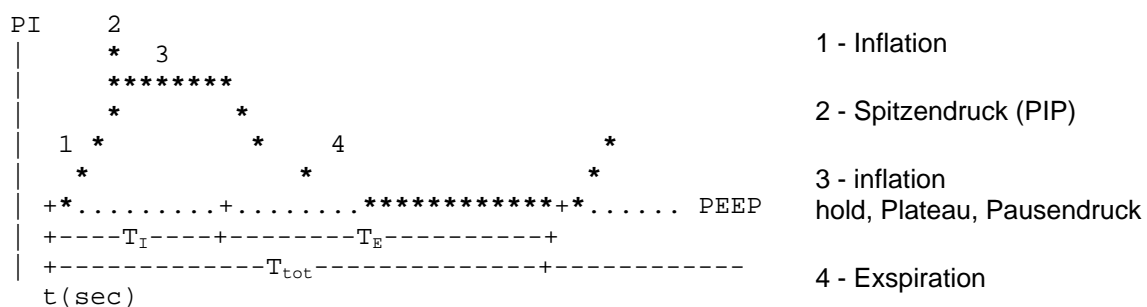


Abb.3. Druck-Zeit-Diagramm

Die Fläche unter der Kurve dividiert durch die Zeitdauer eines Atemzyklus (In- + Expiration; T<sub>tot</sub>) entspricht dem mittleren Atemwegsdruck (P<sub>aw</sub>). Näherungsweise kann der P<sub>aw</sub> aus

$$P_{aw} = ((PIP) \cdot T_I + PEEP \cdot T_E) / T_{tot}$$

berechnet werden.

$P_{aw}$  und  $FiO_2$  beeinflussen die **Oxygenierung**. Soll der  $paO_2$  erhöht werden, bieten sich mehrere Möglichkeiten an:

- Anheben der  $FiO_2$  - cave  $O_2$ -Toxizität
- Verbesserung des Ventilations- Perfusionsverhältnisses durch Optimierung von Ventilation und pulmonaler Perfusion
- Öffnen von schlecht ventilierten Lungenabschnitten (z.B. durch Lagerung)
- Anheben des  $P_{aw}$ 
  - Erhöhen des PEEP  
cave Erhöhung des Pulmonalgefäßwiderstandes, Verminderung des venous return
  - Anheben des PIP  
bringt meist nur wenig, außer das bisherige Atemzugsvolumen war zu gering, cave Volu-/Barotrauma
  - Verlängern des inflation hold  
cave Volu-/Barotrauma
- Vasodilatoren (z.B. NO)
- Hyperventilation
  - vermindert den Pulmonalgefäßwiderstand und damit das Ventilations-Perfusionsverhältnis  
keine gute Möglichkeit, da vermehrte Lungenschädigung, verminderte cerebrale Perfusion

Die **Ventilation** ist abhängig vom Atemminutenvolumen:

$$AMV = f * VI$$

Daher bieten sich folgende Möglichkeiten zur Beeinflussung des  $PaCO_2$  an:

- Verändern der Beatmungsfrequenz
- Verändern des Inspirationsvolumens bzw. des PIP (Spitzendruck)

Was,  $f$  oder PIP, erhöht oder vermindert werden soll, hängt vom Patienten und seinen Problemen sowie von der Wirksamkeit der bisherigen Beatmung ab. Hohe Drücke sollen wegen der Gefahr des Volu-/Barotraumas vermieden werden. Trotzdem muß bei wenig elastischer Lunge (niedrige Compliance) ein adäquates VI (= ein adäquater PIP) eingestellt werden, da sonst Atelektasen entstehen, die den Gasaustausch beeinträchtigen. Ein gutes Maß für das verwendete VI ist die Thoraxexkursion unter der Beatmung: der Thorax soll sich ( $VI \sim 5-7.5$  ml/kg) gerade sichtbar heben.

### **2.4.3. Hochfrequenzbeatmung**

Hochfrequenzbeatmung ist Beatmen mit supraphysiologischen Atemfrequenzen ( $> 120$ /min) und sehr kleinen Atemzugsvolumina. Sie zeichnet sich durch guten Gasaustausch bei

geringeren Spitzendrücken und geringerer Lungenschädigung im Vergleich zur konventionellen Beatmung aus.

Man unterscheidet drei Formen:

**HFV** High Frequency Ventilation - Hochfrequenzbeatmung (konventionelle Beatmung mit höheren Frequenzen, 2-2.5 Hz)

**HFOV** High Frequency Oscillatory Ventilation (Hochfrequenzoszillationsbeatmung, 5-15 Hz)

**HFJ** High Frequency Jet Ventilation (Hochfrequenz - Jetbeatmung, 3-8 Hz)

#### a. Hochfrequenzoszillationsbeatmung (HFOV)

Bei der HFOV erfolgt die Steuerung der Oxygenierung weitgehend unabhängig von der Steuerung der Ventilation: Beeinflussung der Oxygenierung durch Veränderung von  $FiO_2$  und  $P_{aw}$ , Beeinflussung der Ventilation durch Veränderung des  $\Delta P$  (Druckamplitude). Die Beatmungsfrequenz hat weniger Einfluß auf die Beatmung - im allgemeinen gilt, daß die HFOV - Frequenz umso höher sein kann, je kleiner der Patient ist (VLBW infants - 15-10 Hz, Neugeborene und Säuglinge 10 Hz, Kinder 8 Hz, große Kinder und Erwachsene 5-7 Hz). Die HFOV wird in zwei Varianten eingesetzt:

- **High Volume Strategy:** für die meisten Anwendungsgebiete -  $P_{aw}$  1-2 cm H<sub>2</sub>O höher als bei konventioneller Beatmung, Lungendehnung bis etwa zur 9. Rippe. Angestrebte  $PCO_2$  Werte um 45 mmHg,  $SO_2$  um 90%.
- **Low Volume Strategy:** bei air leak Problemen -  $P_{aw}$  gleich oder 1-2 cm H<sub>2</sub>O niedriger als bei konventioneller Beatmung, Lungendehnung bis etwa zur 8. Rippe, Akzeptieren höherer  $PCO_2$  und niedriger  $PO_2$  Werte

#### b. Hochfrequenz - Jetbeatmung

Erfolgt im allgemeinen superponiert (zusätzlich) zu einer niedrigfrequenten konventionellen Beatmung oder einen niederfrequenten Jet. Über die konventionelle Beatmung wird vor allem die Oxygenierung ( $FiO_2$ ,  $P_{aw}$ ), über die Jetbeatmung vor allem die  $CO_2$  Elimination gesteuert (proportional zum  $\Delta P$ ). Bei manchen Geräten (Bunnell Life Pulse) gibt der laufend mitregistrierte Systemdruck für den Jet (Servo - Druck) einen Hinweis über Änderungen der Lungenmechanik (z.B. Verminderung - Hinweis für einseitige Beatmung). Die Zielwerte sind etwa gleich wie bei konventioneller Beatmung.

---

### 3. Beatmungsgeräte für Früh- und Neugeborene

### **3.1. Allgemeines über Respiratoren**

Der Respirator soll einen Teil oder die gesamte mechanische Atemarbeit des Patienten übernehmen und mit möglichst geringen Nebenwirkungen (Schädigung der Lunge, Beeinflussung des Kreislaufes etc.) für eine adäquate Ventilation und Oxygenierung sorgen. Dazu müssen folgende Funktionen verlässlich gewährleistet sein:

- a. [Erzeugen und Aufrechterhalten eines Druckgradienten](#)
- b. [Konditionierung des Atemgases](#)  
(entsprechende Sauerstoffkonzentration ( $f_{iO_2}$ ), Beheizung ( $37^\circ\text{C}$ ), Befeuchtung (70-100%))
- c. [Funktionsüberwachung](#)

Diese Funktionen werden von verschiedenen Teilen des Respirators erfüllt.

#### **ad a. Erzeugen und Aufrechterhalten eines Druckgradienten**

prinzipielle Möglichkeiten der Druckerzeugung:

- **elektrisch** (z.B. Kolbenpumpe, Blasbalg)
- **pneumatisch** (z.B. Druckkammer, Gasreservoir, Verwendung der zentralen  $O_2$ - oder Druckluftleitung)

#### **ad b. Konditionierung des Atemgases:**

Bereitstellung einer bestimmten  $O_2$  Konzentration (i.a. 21-100%):

Herstellung dieses  $O_2$ -Luftgemisches im 'Gasmischer' (ähnlich einer Mischbatterie beim Wasserhahn oder elektronische Konzentrationsregelung)

Beheizung und Befeuchtung

Es gibt verschiedene Systeme:

- **Verdampfer** (z.B. Fisher&Paykel, Bennett Cascade)
- **Vernebler** (Ultraschallvernebler ungeeignet, da inkonstante Nebelproduktion, Gefahr der Überwässerung)
- **Kapillarsystem** (z.B. Dräger Aquamod)

#### **ad c. Funktionsüberwachung**

Prinzipiell ist die Überwachung (mit Alarm) aller obg. Funktionen wünschenswert. Als Minimalausstattung gilt ein Diskonnektionsalarm. Dieser kann ergänzt werden durch Alarme für Gas- und Stromversorgung, Beatmungsüberdruck (evtl. mit Überdruckbegrenzer), inspiratorische  $O_2$  Konzentration, Atemzugsvolumen bzw. Atemminutenvolumen und

Atemgastemperatur usw. Elektronisch gesteuerte Respiratoren haben u.U. auch Alarme für 'unmögliche' Atemmustereinstellungen, Tubusobstruktion, Leckage usw.

---

### 3.2. Flow Unterbrecher

Dieser Respiratortyp wird derzeit am häufigsten für die Beatmung von Früh- und Neugeborenen verwendet. Flow Unterbrecher zeichnen sich durch einfache und robuste Bauweise, hohe Betriebssicherheit, Bedienerfreundlichkeit und Flexibilität in der Generierung von Atemmustern auch bei höheren Beatmungsfrequenzen aus. Die genannten Geräte sind bis zu einem Körpergewicht von etwa 10 kg einsetzbar.

Flow Unterbrecher sind meist modular aufgebaut (aus einzelnen Funktionsteilen zusammengestellt), eine Funktionsstörung kann daher relativ leicht durch Austausch des betroffenen Teiles behoben werden.

Das Funktionsprinzip ist genial einfach:

Das aus der Wandleitung (oder aus Gasdruckbehältern) kommende Atemgas (Sauerstoff + Preßluft) wird zunächst im **Gasmischer** zur geforderten O<sub>2</sub> Konzentration gebracht. Der (unphysiologisch) hohe Gasdruck der Gasleitung von 2-4 bar wird durch einen steuerbaren Widerstand (Reduzierventil) auf Werte um 10-70 mbar bzw. Strömungsgeschwindigkeiten von 2-20 L/min reduziert. Das Atemgas wird dann über das **Konnektionssystem** (Patientenschlauchsystem) zum **Beheizer/Befeuchter**, von dort zum Patienten (**Tubusansatzstück**) und dann wieder zum Respirator geführt. Am Ende dieses Schlauchsystems befindet sich ein spezielles **Expirationsventil**, das pneumatisch bzw. elektromagnetisch gesteuert während der Expiration einen vorwählbaren endexpiratorischen Druck (positive endexpiratory pressure, PEEP) und während der Inspiration einen vorwählbaren Inspirationsdruck aufrechterhält.

Geräte: [Draeger Babylog 8000](#), [Infant Star](#), Bird 8400 STi, [Sechrist Infant Ventilator](#)

---

### 3.3. Hochfrequenzrespiratoren

#### 3.3.1. Hochfrequenz- Oszillationsbeatmung (HFOV)

<a href="#">Sensormedics 3100 A</a>	CPAP-Circuit mit angesetztem elektromagnetischen Oszillator, aktive In- und Expiration
<a href="#">Infant Star</a>	Flowunterbrecher mit Hochfrequenzteil (aktive Expiration über

	Venturi - Mechanismus)
<a href="#">Draeger Babylog</a>	Flowunterbrecher mit optionalem Hochfrequenzteil
Humming V	Flowunterbrecher mit angesetztem Sinusschwingungsgenerator
Bird	komplexer Flowunterbrecher mit parallelem Schwingungsgenerator

### 3.3.2. Hochfrequenz - Jet - Beatmung (HFJV)

Bunnell Life Pulse	Jet über Flowunterbrecher mit eigener Befeuchtung benötigt Spezialtubus bzw. -tubusansatzstück und konventionellen Respirator als Basisgerät
Bird VM4	mit Phasitron, ermöglicht auch superponierte HFJV (parallel langsamer und schneller Jet)

---

## 4. Beatmungstechnik bei Neugeborenen

### 4.1. Beatmungsindikationen

#### 4.1.1. Indikationen:

- **Atemversagen**  
pulmonale Erkrankungen (URT, LRT)  
Störung der Integrität des respiratorischen Systems  
Ermüdung/Funktionsstörung der Atemmuskulatur  
Zusammenbruch des Energiehaushaltes
- **Kreislaufprobleme**  
Herz-Kreislaufstillstand, Schock  
pulmonale Perfusionsstörungen
- **neurologische Probleme**  
Störung der Atemregulation  
Verletzungen, Tumore, Massenblutung  
schwere Apnoeanfälle  
Infektionen  
Statuts epilepticus  
Narkotica

#### 4.1.2. Beurteilung des Atemversagens

- **Klinik**  
Atemmuster (Tachypnoe, Apnoen, paradoxe Atmung)  
Cyanose, Kreislaufinsuffizienz
  - **Blutgase, O<sub>2</sub>-Bedarf**  
SaO<sub>2</sub> < 89% / paO<sub>2</sub>: < 50 mmHg bei FiO<sub>2</sub> > .6 ?  
paCO<sub>2</sub>: 60-70 mmHg?  
AaDO<sub>2</sub> > 250 mmHg?
- 

#### 4.2. Intubation

##### 4.2.1. Tubusgröße

- Durchmesser des kleinen Fingers
- Neugeborene: ID/GA < 1/10
- Säuglinge: ID 4 mm
- > 1 Jahr: ID 4.5 mm
- >2 < 14 Jahre: ID = 4.5 + Alter/4

bis zum 10. Lebensjahr ohne Cuff  
Leak erst ab 20-25 mbar

##### 4.2.2. Intubationsprobleme

- **Obstruktion der oberen Luftwege**  
-> Intubation in OP Bereitschaft,  
Inhalationsnarkose, endoskop. Intubation, HFJV
- **Pat. nicht nüchtern**  
-> O<sub>2</sub> ohne Beatmung, rasche Intubation,  
ev. Absaugen aus dem Magen, Sellick-Manöver
- **Tubuswechsel bei instabilem Patient**  
-> 2-Tuben-Technik
- **HWS-Probleme**  
-> keine Kopfverlagerung, endoskop. Intubation

- **erhöhter intracranieller Druck**  
-> Narkose vor Intubation, Muskelrelaxans,  
Hyperventilation (pCO<sub>2</sub> - 20)

### 4.3. Grundeinstellung des Respirators und Anpassen der Beatmung

#### 4.3.1. Grundeinstellung des Respirators

a. allgemein

PIP (Spitzendruck)	20 mbar (VT~7.5 ml/kg) bzw. nach Thoraxexkursion
PEEP	3-5 mbar
f (Frequenz)	40-60
fiO <sub>2</sub>	nach Bedarf (0.4 - 1.0)
Atemgastemperatur	37°C

b. in Abhängigkeit vom Schweregrad der Lungenerkrankung:

	Lungenerkrankung		
	leicht	mittel	schwer
PIP	15	20	25
PEEP	3	4	5
f	40	60	60

#### 4.3.2. Anpassen der Beatmung

a. Anpassen an Blutgas - Zielwerte:

siehe [2.4.](#)

b. allgemeine Regeln:

- Therapie rasch erhöhen, langsam vermindern!
- möglichst geringe (aber suffiziente) Spitzendrücke, eher höhere Atemfrequenzen verwenden
- immer an suffizientes Kreislaufvolumen denken

- Hyperkapnie und Hypoxie vermeiden
- bei Extremeinstellungen Therapie / Alternativen überdenken (s.u.)

### c. Mögliche Probleme während der Beatmung

- **mögliche Probleme:**

#### **Respiratordysfunktion**

-> Reparatur

#### **Ventilationsprobleme**

-> Änderung des Beatmungsmusters, Sedierung

-> ? Pneumothorax

#### **Sekretprobleme**

-> Absaugen, Umintubation

#### **Kreislaufprobleme**

PDA? -> Indomethacin, Ligatur

V/Q mismatch/PPHN - s.u.

verminderter CO - Volumsmangel ?,

Kontraktilitätsproblem? -> beta1-Sympathomimetica

- **Problem: vermehrtes pCO<sub>2</sub>**

#### **Respiratorproblem**

#### **Patientenproblem**

verminderter Atemstimulus unter IMV

metabol. Alkalose, Sedierung, cerebrales Problem?

vermehrte CO<sub>2</sub> Produktion

Fieber, Sepsis, Trauma

reichl. Kohlenhydratzufuhr

#### **Ventilations/Perfusionsproblem**

Hypovolämie, Schock

pulmonale Hypertension, Rechtsherzversagen

zu hoher PEEP

Ermüdung der Atemmuskulatur

Beschränkung von Thoraxexkursion oder Lungenexpansion

- **Problem: vermindertes pO<sub>2</sub>**

#### **Respiratorproblem**

Einstellung?, Funktion?

**neues Problem oder Verschlechterung der Grundkrankheit**

Pneumothorax, Atelektase, Sekretproblem  
Bronchusobstruktion, Bronchospasmus  
Lungenödem, nosokomiale Pneumonie  
verminderter CO, vermehrter O<sub>2</sub>-Bedarf

**Problemmanagement:**

physikal. Therapie, Absaugen  
Tubusneupositionierung  
Pneumothoraxentlastung  
vermehrte Ventilation, fiO<sub>2</sub>  
medikamentöse Therapie

Bronchidilatoren, Sekretolytica,  
Kreislauftherapie, Diuretica, Surfactant  
PDA-Therapie,

Vermeidung von Überwässerung, Dialyse, HF  
alternative Therapien

---

#### **4.4. Weaning**

Weaning ist die Entwöhnung von der Beatmung, d.h. die (stufenweise) Reduktion der Atemunterstützung durch den Respirator bis zur ausschließlichen Spontanatmung.

Bereits bei Beginn der Beatmungstherapie sollte auch das Beenden der Therapie - in Abhängigkeit vom Krankheitszustand überdacht werden. Weanen erfordert vor allem als strategisches Konzept klinische Erfahrung und sorgfältige Beobachtung der Spontanatmung des Patienten. Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Beatmung zu reduzieren:

##### **4.4.1. "angepaßtes" Weaning**

Die Respiratoreinstellung wird in Abhängigkeit von der Verbesserung der Blutgase (Erreichen supraphysiologischer Werte) über IMV reduziert. Extubation erst nach (mehrständiger) CPAP Toleranz.

Vorteil: relativ sicher, einfach durchzuführen

Nachteil: lange Beatmungsdauer, vermehrte Lungenschädigung (?)

##### **4.4.2. "strategisches" Weaning**

Reduktion der Respiratoreinstellung (IMV) in Abhängigkeit vom (erwarteten) Krankheitsverlauf und von der (beobachteten) Spontanatemtätigkeit. Dabei wird nur auf "Blutgasentgleisungen" (pH unter der Toleranzgrenze) Rücksicht genommen. Extubationsversuch ab  $\text{FiO}_2$  0.4 /  $f = 10/\text{min}$ , evtl. ohne längerdauernden CPAP-Versuch.

Vorteil: verminderte Beatmungsdauer, verminderte Lungenschädigung (?)

Nachteil: erfordert Erfahrung, Versagerquote höher als bei angepaßtem Weaning

#### **4.4.3. "aggressives" Weaning**

CPAP- bzw. Extubationsversuch ohne IMV - Entwöhnung, erfolgreich v.a. bei postOP Weaning

Vorteil: verminderte Beatmungsdauer, verminderte Patientenbelastung

Nachteil: Versagerquote v.a. bei unsachgemäßer Durchführung rel. hoch

---

## **4.5. Beatmungsprobleme**

### **4.5.1. Probleme und Komplikationen (Übersicht)**

#### **a. Beatmungskomplikationen**

##### **positive Druckbeatmung**

- verminderter venöser Rückstrom, CO
- Änderung der pulmonalen V/Q
- Vermehrung des extravaskulären Wassers
- Lungenparenchymschädigung
- Funktionsstörungen im Bereich des GIT
- cerebrale Ischämie, Hypertension
- alveoläre Hypo- / Hyperventilation
- EAL / Alveolarruptur
- Infektionsgefährdung

##### **Endotrachealtubus**

- Mucosaschädigung
- Malposition, Selbstextubation
- Obstruktion (partiell, vollständig)
- nekrotisierende Tracheitis (HFJ)

##### **Beatmungsgerät**

mechanische Störung  
Alarmstörung  
inadäquate Beheizung, Befeuchtung

### **Management**

Vermeidung unnötiger Beatmung  
vorsichtiges Handling  
optimales Gerät  
kontinuierliche Beobachtung / Monitoring  
patientengerechte Beatmung  
Vermeidung von iPEEP  
sorgfältige Bilanzierung  
notwendige cardiale und PDA-Therapie  
vorsichtige po. Ernährung

## b. Extubationsprobleme

### **Ursachen**

Obstruktion der oberen Luftwege  
    präexistent  
        Anomalien im Schädelbereich, Nase, Pharynx  
        Makroglossie, Halszyste  
        Anomalien im Larynxbereich  
        subglott. Stenosen  
        Trachealstenosen (innen/außen)  
    erworben  
        Schleimhautödem, Sekretverlegung  
        instabiler Larynx, instabile Trachea  
        Stimmbandläsion, -lähmung  
bronchiale Obstruktion, pulmonale Probleme  
    Schleimhautödem, Sekretverlegung  
    innere Bronchusstenose (z.B. Granulome)  
    äußere Bronchusstenose (z.B. gefäßbedingt)  
    erhöhter bronchialer Muskeltonus  
    Entzündungen  
Apnoen und muskuläre Probleme  
    zentrale Apnoen  
    obstruktive Apnoen  
    muskuläre Insuffizienz (z.B. Muskeldystrophie)  
    reflektorische Apnoen (GER)

### **Diagnose**

Klinik  
    UOA - Stridor, Dyspnoe ohne Tubus  
    bei Aufregung verstärkt  
    LAO - Verschlechterung mit Extubationsdauer  
Funktionsuntersuchungen  
    Flow-Volume Kurven, Raw, Crs, TGV  
Inspektion

direkt  
Videoendoskopie der ob. Luftwege  
Laryngotracheobronchoskopie  
Radiologie  
Thoraxübersichtsaufnahme  
seitl. Halsröntgen (?)  
CT (Nase, Gefäße)  
MRI (Trachea)  
Angiographie  
Videocinematographie

## **Therapie**

konventionell

Lagerung, Verminderung des O<sub>2</sub>-Verbrauchs  
Sedierung  
antiphlogist., sekretolyt., bronchospasmolyt.  
Steroide, NSA?, Anticholinergica, Adrenalin,  
β<sub>2</sub>-Sympathomimetica  
CDP, naso/ pharyngeale Tuben  
Apnoetherapie, -prophylaxe  
CDP  
cutane Stimulation, Akupressur  
Theophyllin, Doxapram  
Cisapride (bei GER)

chirurg. Interventionen

Granulationsentfernung  
Palatouvuloplastik  
ant./post. cricoid split  
Tracheostomie, part. Trachealresektion  
Glossopexie, Zungenreduktionsplastik  
Witzelfistel, Jejunostomie  
Zwerchfellschrittmacher

Alternativen zur Beatmung

pränatale Therapie  
(z.B. Corticosteroide)  
prophylakt. Surfactantgabe, Surfactant -> nCPAP  
Verminderung des O<sub>2</sub>-Verbrauchs / minimal care  
Atemstimulation  
alternative Anästhesietechniken

### **4.5.2. erhöhter Pulmonalgefäßwiderstand / PPHN**

**Problem:** Oxygenierungsprobleme, schlechte SaO<sub>2</sub> trotz 100% FiO<sub>2</sub> bei optimierter Beatmung bzw. niedrigen P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>. Im Ultraschall deutlicher RL-Shunt auf VH- und Ductusebene.

**Lösungs-** • Optimierung der Beatmung

- möglichkeiten:**
- Optimierung des Kreislaufvolumens (BVE- blood volume expansion) und Erhöhen des systemischen Gefäßwiderstands mit dem Ziel, den diastolischen Aortendruck auf das Niveau des Pulmonalismitteldrucks anzuheben
  - Vasodilatoren (z.B. NO)
  - Surfactantgabe
  - Alternativen überlegen (HFOV, HFJV, ECMO, (PLV))

#### 4.5.3. Air Leak Syndrom

**Problem:** PIE (pulmonales interstitielles Emphysem), PTX (Pneumothorax) als Beatmungskomplikation

- Lösungsmöglichkeiten:**
- Spitzendrücke senken, TI verkürzen, TE verlängern
  - höhere pCO<sub>2</sub> Werte akzeptieren
  - PEEP - Verminderung (?)
  - alternative Beatmungsmöglichkeiten überdenken (HFOV mit low volume strategy, Lagerung auf die erkrankte Seite)

#### 4.5.4. inadvertent PEEP

**Problem:** schlechte CO<sub>2</sub> Elimination, Lungenüberblähung

**Diagnose:** Flow-Kurve: expiratory breaking,  
Druckkurve: Druckanstieg nach expiratorischem Abklemmen der Verbindung Tubus - Respirator

- Lösungsmöglichkeiten:**
- Verlängerung der Expirationszeit
  - Erhöhen des expiratorischen Flusses

#### 4.5.5. Extremeinstellungen

**Problem:** PIP über 30-40 cm H<sub>2</sub>O, TI > TE, f > 80, FiO<sub>2</sub> > .8 -> mit großer Wahrscheinlichkeit Lungenschädigung zu erwarten

- Lösungsmöglichkeiten:**
- Optimierung der Respiratoreinstellung und des Kreislaufvolumens, Lagerung
  - permissive Hyperkapnie (Akzeptieren höherer PCO<sub>2</sub> Zielwerte nach Verminderung der Respiratoreinstellung)
  - alternative Beatmungsmöglichkeiten überdenken (HFOV)

- Surfactant, NO

#### 4.5.6. Kooperationsprobleme

**Problem:** Atmen gegen den Respiator, Probleme der Synchronisation der Beatmung

- Lösungsmöglichkeiten:**
- Optimierung der Respiratoreinstellung bzw. der Weaningstrategie, Sekretprobleme?, evtl. kurzfristige Erhöhung der Beatmung, wenn möglich evtl. aggressives Weaning versuchen, evtl. Verbesserung der Synchronisation (Trigger?)
  - Sedierung (Midazolam - single shot: 0.3 mg/kg iv., Bypass: 3-6 mg/kg/d)
  - Muskelrelaxation (Pavulon - single shot: 0.1 mg/kg/h, Bypass: 2-4 mg/kg/d)
  - alternative Beatmung (HFOV, HFJV) überlegen

#### 4.5.7. Beatmung am Transport

**Problem:** geringe Überwachungs- und Eingriffsmöglichkeiten, eingeschränkte therapeutische Möglichkeiten

- Lösungsmöglichkeiten:**
- optimale Transportvorbereitung (nur stabilisierte Patienten transportieren!, Tubussicherung, Gefäßzugänge,...)
  - Probleme antizipieren (PTX bei PIE, Kreislaufprobleme bei Sepsis etc., Veränderungen der Lungenmechanik bei Lufttransporten - VT↓ beim Landen)
  - Geräteoptimierung vor allem bei längeren Transporten

### Anhang:

#### Differentialdiagnose respiratorischer Erkrankungen im Kindesalter:

##### 1. pulmonal bedingte Erkrankungen

###### 1.1. Lungenunreife

- 1.11. Transiente Tachypnoe des Neugeborenen (TTNS)
- 1.12. Hyaline Membranerkrankung (HMD) und bronchopulmonale Dysplasie (BPD)
- 1.13. Wilson Mikity Syndrom
- 1.2. Infektionen
  - 1.21. bakteriell bedingte (Strepto-, Staphylokokken)
  - 1.22. viral bedingte (Adeno-, CM-Virus)
  - 1.23. andere (Toxoplasma gondii)
- 1.3. cong. Malformationen
  - 1.31. lobäres Emphysem, Lungenzysten, -sequester
  - 1.32. Agenesie, Hypoplasie, cyst.- adenomatoide Malformation
- 2. nicht pulmonal bedingte Erkrankungen**
  - 2.1. cardial bedingte Erkrankungen
    - 2.11. congenitale Vitien
    - 2.12. persistierende pulmonale Hypertension des Neugeborenen (PPHN)
  - 2.2. neurologische und muskuläre Erkrankungen
    - 2.21. Myasthenie, Myotonie, spinale Muskelatrophie
    - 2.22. Myopathien
  - 2.3. congenitale Malformationen
    - 2.31. Zwerchfellhernie
    - 2.32. obere Atemwegsstenosen
      - Choanalatresie, Pierre Robin Syndrom,
      - Trachealstenose, Tracheomalazie