

# GRUNDLAGEN DER AUßERKLINISCHEN BEATMUNG



Version  
Januar 2024

---

**Trotz sorgfältiger Überprüfung kann für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Angaben und Abbildungen sowie der therapeutischen Empfehlungen vom Autor keine Gewähr übernommen werden. Dieses Skript ist vielmehr als Hilfestellung und Ergänzung zu weiterführender Literatur gedacht, welche ebenso wie Produktinformationen der aufgeführten medizinischen Geräte, unabdingbar ist.**

**Daniel Wisser  
Atmungstherapeut (DGP)  
Fachkrankenpfleger für Anästhesie und Intensiv**

**daniel.wisser@web.de  
www.beatmungsfortbildung.de**



PULMONARY  
**SURVIVAL**  
TRAINING  
NETWORK

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Grundlagen - Anatomie und Physiologie des Respirationstraktes</b> .....	4
1.1 Respirationstrakt.....	4
1.2 Die oberen Atemwege .....	4
1.3 Die unteren Atemwege .....	4
1.3.1 Flimmerepithel.....	5
1.3.2 Alveolen .....	5
1.3.3 Surfactant.....	5
1.4 Lunge und Pleura .....	6
1.4.1 Lungenlappen und Lungensegmente .....	6
1.5 Atemmechanik .....	6
1.5.1 Resistance .....	6
1.5.2 Compliance .....	7
1.6 Die Atemmuskulatur .....	7
1.7 Lungenvolumina – Ventilation .....	8
Ventilation .....	8
1.8 Pulmonaler Gasaustausch - Oxygenierung.....	9
Blutgasanalyse (BGA).....	10
<b>2. Der tracheotomierte Patient</b> .....	10
2.1 Geschichte.....	10
2.2 Techniken der Tracheotomie und Begriffserklärung .....	11
2.4 Indikationen und Komplikationen .....	12
2.5 Komplikationen der Tracheotomie .....	12
2.6 Trachealkanülenarten .....	13
2.7 Pflege des tracheotomierten Patienten .....	14
2.7.1 Endotracheales Absaugen.....	14
2.8 Auswirkungen der Tracheotomie auf den Patienten.....	16
2.8.1 Sprechkanüle und Sprechaufsatz (Ventil) .....	16
2.9 Befeuchtung / Erwärmung der Atemgase–Atemgasklimatisierung .....	17
<b>3. Allgemeine Überwachung der Beatmung</b> .....	17
3.1 Überwachung der Atmung .....	17
3.2 Überwachung der Trachealkanüle .....	18
3.3 Überwachung des Respirators.....	18
Grundeinstellung der Beatmung und Alarmparameter .....	18
3.4 Überwachung der Oxygenierung mit der Pulsoxymetrie - SpO <sub>2</sub> .....	19
3.5 Überwachung der Ventilation mit der Kapnometrie – etCO <sub>2</sub> .....	19
<b>4. Die außerklinische Beatmung</b> .....	20
4.1 Verschiedene Formen der außerklinischen Beatmung.....	20
4.2 Unterschiede und Anwendungsindikationen von Respiratoren.....	20
4.3 Indikationen zur außerklinischen Beatmung.....	20
4.4 Masken und Systeme .....	21
4.4.1 Vollgesichtsmasken - full face mask .....	21
4.4.2 Vollgesichtsschalen – total face mask .....	21
4.4.3 Beatmungssysteme .....	22
<b>5. Prinzipien der Beatmung über Tracheostoma</b> .....	22
5.1 Voraussetzungen für die außerklinische Beatmung .....	22
5.2 Ausstattung in der außerklinischen Beatmung .....	23
<b>6. Klassifizierung und Steuerung der Beatmungsformen</b> .....	24
6.1 Atemtyp .....	24
6.2 Steuerung .....	25
6.3 Spontane Beatmungsverfahren – SPN - PSV .....	26

---

6.3.1	Druckanstiegsgeschwindigkeit .....	27
6.3.2	Atemwegswiderstand beim Beatmungspatienten .....	27
6.4	Volumenkontrollierte Beatmung - VCV .....	27
6.5	Druckkontrollierte Beatmung - PCV.....	28
<b>7.</b>	<b>Respiratorisches Alarm- und Notfallmanagement.....</b>	<b>30</b>
7.1	Alarm „Druckuntergrenze / Atemwegsdruck tief / Diskonnektion / Leckage hoch“ .....	30
7.2	Alarm „Beatmungsdruckobergrenze / Atemwegsdruck hoch“ → in der Regel bei VCV ...	30
7.3	Alarm „Atemzugvolumen tief / MV tief“ → in der Regel bei PCV .....	30
7.4	Alarm „Leckage tief“ oder „Rückatmung“ .....	31
7.5	Alarm „Atemfrequenz zu hoch“ .....	32
7.6	Fehllage der Trachealkanüle .....	32
	Exemplarische Übersichtstabelle der Sofortmaßnahmen bei respiratorischen Zwischenfällen unter maschineller Beatmung.....	34
<b>8.</b>	<b>Herz-Lungen Wiederbelebung (Guideline 2021).....</b>	<b>34</b>
8.1	Diagnostischer Block.....	34
8.2	Herzdruckmassage .....	34
8.3	Beatmung.....	35
	Abkürzungen .....	36
	Begriffserläuterungen .....	37
	Literaturverzeichnis .....	38

# 1. Grundlagen - Anatomie und Physiologie des Respirationstraktes

## 1.1 Respirationstrakt

Der Respirationstrakt umfasst die gesamten Atemorgane. Die Funktion des Respirationstraktes besteht in der Beförderung der Atemluft in die Alveolen, der Reinigung und Befeuchtung der Atemluft und der Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxid. Er wird in obere und untere Atemwege unterteilt.

- Obere Atemwege: Nasenhöhle, Pharynx (Rachen), Larynx (Kehlkopf)
- Untere Atemwege: Trachea (Luftröhre), Bronchialsystem der Lunge (Bronchien, Bronchioli und Alveolen)

Zum Respirationstrakt gehören neben den oberen und unteren Atemwegen auch die Medulla oblongata (verlängertes Mark und Sitz des Atemzentrums), Nerven (z.B. N. phrenikus) und Muskeln wie das Zwerchfell (M. Diaphragma) als stärkster Muskel des Atemapparates.

## 1.2 Die oberen Atemwege

Die oberen Atemwege, auch luftleitende Abschnitte genannt, haben die Funktion, die eingeatmete Luft zu reinigen und zu befeuchten. Am Kehlkopfeingang befindet sich die Epiglottis (Kehlideckel). Sie verschließt beim Schluckakt die Luftröhre und trägt dazu bei, dass der Speisebrei in den Ösophagus (Speiseröhre) weitertransportiert wird und nicht in die Trachea gelangt.

Im Larynx liegt der Stimmapparat. Die Öffnung zwischen den Stimmbändern wird als Stimmritze bezeichnet. Durch das Verändern der Stellung und Spannung der Stimmbänder entstehen Töne.

Bei der oro- und nasotrachealen Intubation wird der Endotrachealtubus durch die Stimmritze in die Trachea eingeführt. Der Patient kann dann nicht mehr sprechen. Anders bei der Tracheotomie. Die Tracheotomie wird unterhalb des Kehlkopfes durchgeführt. Der Stimmapparat wird nicht direkt beeinträchtigt. Der tracheotomierte Patient kann mithilfe spezieller Sprechkanülen sprechen. Mit einer Trachealkanüle, die bei der maschinellen Beatmung zum Einsatz kommt, kann der Patient nur sprechen, wenn genügend Luft an der entblockten Kanüle vorbei strömen kann.

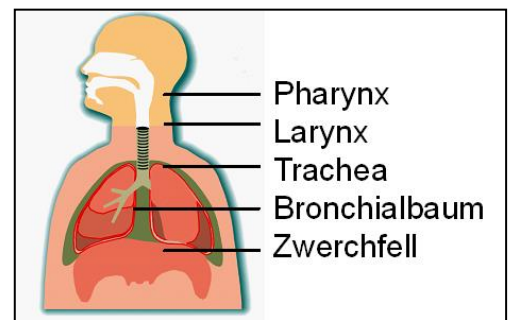


Abb. 1: Der Respirationstrakt

Bei Erwachsenen wird zur maschinellen Beatmung immer eine Kanüle mit Cuff verwendet. Bei spontan atmenden Erwachsenen mit vorhandenen Schutzreflexen kann eine Kanüle ohne Cuff zur Anwendung kommen.

Bei Kindern wird in der Regel bis zum 8-10. Lebensjahr zur maschinellen Beatmung eine Kanüle ohne Cuff verwendet, um Druckschäden an der Trachealschleimhaut zu vermeiden. Unter maschineller Beatmung treten dann häufig unvermeidbare Leckagen auf.

## 1.3 Die unteren Atemwege

Die unteren Atemwege, auch gasaustauschende Abschnitte genannt, beginnen mit der Trachea. Diese ist beim Erwachsenen eine 10–12 cm lange Röhre mit einem Durchmesser von 1,5–2,0 cm. Sie beginnt unterhalb des Larynx und verzweigt sich an ihrem unteren Ende in den rechten und linken Hauptbronchus. Diese Teilung (Bifurkation) liegt beim Erwachsenen zwischen dem 4. und dem 5. Brustwirbel. Die Trachea und der rechte und linke Hauptbronchus werden durch 16–20 Knorpelspangen offengehalten. Die letzte Knorpelspange der Trachea bildet in Mitte der Abzweigung die Carina. Die Carina kann bei der Bronchoskopie gut dargestellt werden. Durch Absaugkatheter verursachte Läsionen der Schleimhaut auf der Carina werden durch die Bronchoskopie gut sichtbar. Abhängig von der Absaughäufigkeit und Sogleistung nehmen die Schleimhautläsionen zu. Atraumatische Absaugkatheter können beim tieferen Einführen des Katheters zum Absaugen Schleimhautläsionen vermindern. Ein tiefes Absaugen ist in der außerklinischen Beatmung selten sinnvoll. Atraumatische Absaugkatheter

werden mit Sog in den Tubus eingeführt. Dadurch bildet sich um die speziell konstruierte Spitze ein Luftpolster, welches das Ansaugen an die Schleimhaut verhindern soll. In der außerklinischen Beatmung ist das Verwenden von Standardabsaugkathetern ausreichend. Diese werden ohne Sog eingeführt und sind günstiger.

Die Abzweigung des rechten Hauptbronchus verläuft im Gegensatz zum linken Hauptbronchus in einem steileren Winkel. Nach 1–2,5 cm verzweigt sich der rechte, nach 4–5 cm der linke Hauptbronchus weiter in immer kleinere Bronchien bis hin zu den Bronchioli respiratorii und Alveolen welche den Gasaustausch gewährleisten.

Bei Fremdkörperaspiration gelangt dieser durch den flachen Abzweigungswinkel überwiegend in den rechten Hauptbronchus. Beim Auskultieren (Abhören) entsteht über der rechten Lunge ein abgeschwächtes Atemgeräusch. Bei maschineller Beatmung hebt sich bei kompletter Verlegung des rechten Hauptbronchus die rechte Thoraxhälfte weniger stark.

Die weitere Abzweigung der Bronchien für den rechten Oberlappen des rechten Hauptbronchus kann schon nach 1 cm erfolgen. Wenn der Endotrachealtubus oder die Trachealkanüle nur knapp über der Carina platziert wird, kann der rechte Oberlappen von der Ventilation abgeschnitten sein. Ein über dem rechten Oberlappen abgeschwächtes Atemgeräusch ist die Folge.

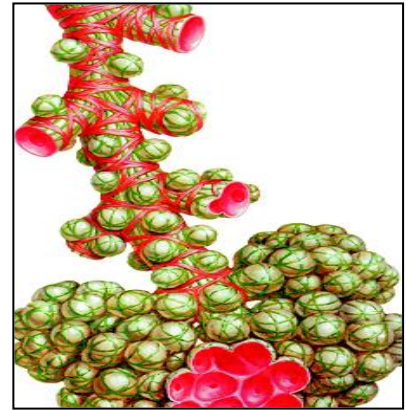


Abb. 2: Der Bronchialbaum und die Alveolen

### 1.3.1 Flimmerepithel

Die Trachea und die Bronchien sind von einer Schleimhaut und dem darauf sitzenden Flimmerepithel ausgekleidet. Diese feinen und hochbeweglichen Zilien (Härchen) bilden ein seromuköses Sekret, welches die Einatemluft reinigt. In rhythmischen Bewegungen wird das Sekret mit den gebundenen Staubpartikeln Richtung Larynx bewegt. Von dort wird das Sekret abgehustet oder geschluckt. Dieser Mechanismus verhindert die Verunreinigung der Alveolen und wird als mukoziliäre Clearance bezeichnet.

### 1.3.2 Alveolen

Die Alveolen bilden die kleinste und letzte Einheit des Respirationstraktes. Durchschnittlich besitzt der Mensch 300 Millionen dieser sechskantigen bis kugelförmigen Hohlräume. Eine Alveole hat einen Durchmesser von 250–300µm. Die Alveolen sind umgeben von einem dichten Kapillarnetz. Die Alveole dient als Gasaustauschfläche für Sauerstoff und Kohlendioxid. Beide Gase diffundieren durch die sogenannte alveolokapilläre Membran. Sauerstoff diffundiert von der Alveole zur Kapillare und Kohlendioxid von der Kapillare zur Alveole. Die gesamte Gasaustauschoberfläche beträgt beim Erwachsenen ca. 70–140m<sup>2</sup>. Diese ist abhängig von Geschlecht, Konstitution, Alter und Trainingszustand.

### 1.3.3 Surfactant

Die Alveolarinnenwand ist ausgekleidet mit dem sogenannten Surfactant. Dieser hauchdünne Lipoproteinfilm setzt die Oberflächenspannung der Alveolen herab. Das Kollabieren einer intakten Alveole in der Expiration wird verhindert.

Im Rahmen einer Entzündungsreaktion in der Lunge wird entweder zu wenig Surfactant produziert, oder der Surfactant ist in seiner Funktion eingeschränkt. In der Folge können Atelektasen (kollabierte Alveolen) auftreten. Es kommt zu einer Oxygenierungsstörung. Unter maschineller Beatmung kann das Einstellen eines PEEP das Kollabieren von Alveolen verhindern. Durch zu häufiges endotracheales Absaugen wird die Atelektasenbildung begünstigt. Die früher propagierte Bronchiallavage begünstigt das Auswaschen des Surfactant. Das gehäufte Entstehen von Atelektasen ist die Folge.

Bei Frühgeborenen mit ungenügender Lungenreife ist der Surfactant nicht vollständig ausgebildet. Die Lungenreife kann mit Kortison positiv beeinflusst werden.

---

## 1.4 Lunge und Pleura

### 1.4.1 Lungenlappen und Lungensegmente

Die rechte Lungenhälfte wird in 3 Lungenlappen (Ober- Mittel- und Unterlappen), die linke Lungenhälfte wird in 2 Lungenlappen unterteilt (Ober- und Unterlappen). Diese werden wiederum in mehrere Segmente unterteilt. Die Lungen füllen den Thorax fast vollständig aus. In der Mitte (Mediastinum) finden sich lediglich das Herz, die großen Gefäße, die Trachea und der Ösophagus. Seitlich wird die Lunge vom knöchernen Thorax begrenzt. Nach oben hin reichen die Lungenspitzen in die Schlüsselbeingrube und nach unten wird die Lunge durch das Zwerchfell (Diaphragma) begrenzt.

### 1.4.2 Pleura

Die beiden Lungenhälften werden bis auf den Lungenhilus durch die Pleura visceralis (Lungenfell) überzogen. Der Lungenhilus liegt zum Mediastinum hin. In ihm treten die beiden Hauptbronchien, die Vena und Arteria pulmonalis, Gefäße für die Versorgung des Lungengewebes und Lymphgefäße ein bzw. aus. Die Pleura visceralis wird, nur durch einen kleinen Pleuraspalt getrennt, von der Pleura parietalis (Rippenfell) überzogen. Diese ist mit der Thoraxwand verwachsen. Zwischen beiden Pleuren befindet sich eine geringe Menge seröses Sekret. Dieses verhindert das Aneinanderreiben der beiden Pleuren.

## 1.5 Atemmechanik

Die Atemmechanik beschreibt den Vorgang der In- und Expiration. Voraussetzung hierfür ist ein ständiger kleiner negativer Druck (intrapleuraler Druck) im Pleuraspalt. Dadurch bleiben die beiden Lungen „aufgespannt“. Nur beim Husten und bei Überdruckbeatmung kehrt sich dieser ins Positive. Der negative Druck beträgt bei Spontanatmung endinspiratorisch -8 mbar und endexpiratorisch -4 mbar. Durch diese Differenz strömt bei der Inspiration das Atemgas in die Lunge. In den Bronchien und Alveolen herrscht in dieser Phase ein Druck von -2 mbar (intrapulmonaler Druck). Die Expiration erfolgt passiv. Das Atemgas strömt ohne Zutun der Atemmuskulatur durch die elastischen Kräfte von Thorax und Lunge nach außen. Der Druck in der Alveole beträgt dann +2 mbar. Dieser, auch als physiologischer PEEP oder endexpiratorischer Verschlussdruck bezeichnet, entsteht, da die engsten Stellen und damit auch der größte Widerstand am Ende der Ausatemwege liegen (Stimmbänder, Nasen-Rachenraum).

### Veränderungen bei maschineller Beatmung

Unter Überdruckbeatmung drehen sich diese Druckverhältnisse um. Der intrapulmonale Druck (Druck in den Alveolen und Bronchien) wird bei Beatmung mit PEEP dauerhaft positiv. Der intrapleurale Druck verschiebt sich Richtung Atmosphärendruck und kann abhängig von Höhe des PEEP, Inspirationsdruck und Compliance der Lunge ebenfalls dauerhaft positiv werden.

### 1.5.1 Resistance

Die Atemwege setzen dem einströmenden Atemgas in- und expiratorisch einen Widerstand ( $R = \text{Resistance}$ ) entgegen. Je kleiner der Durchmesser des Atemweges, desto größer wird die Resistance. Die Resistance wird in mbar/l/s angegeben. Die Resistance wird definiert als das Verhältnis der treibenden Druckdifferenz ( $\Delta P = \Delta P$ ) zwischen Atmosphäre und Alveolen und dem pro Zeiteinheit durchströmenden Atemgasvolumen ( $\text{Flow} = \dot{V}$ ).

$$R = \frac{\Delta P}{\dot{V}} \quad \text{mbar/l/s}$$

#### Normwert:

Erwachsene: 1-2 mbar/l/s - unter maschineller Beatmung mit Trachealkanüle 6-10mbar/l/s

Kleinkind: 20-40 mbar/l/s - unter maschineller Beatmung mit Trachealkanüle 30-70 mbar/l/s

Der Ort mit der größten Resistance in den Atemwegen eines Erwachsenen ist die Stimmritze. In den kleinen Bronchien ist beim Lungengesunden die Resistance sehr gering, da der gesamte Querschnitt aller kleinen Bronchien sehr groß ist.

Der bedeutendste mitbestimmende Faktor der Resistance ist beim beatmeten Patienten der Beatmungstubus. Halbiert sich der Innendurchmesser des Beatmungstubus so steigt die Resistance um das 16fache. Die Resistance ist nicht nur abhängig vom Innendurchmesser des Beatmungstubus, sondern auch von der Atemgasflussgeschwindigkeit und der Länge des Beatmungstubus. Je größer beispielsweise der Atemgasfluss ist, desto größer ist die Resistance.

Säuglinge sind physiologischerweise Nasenatmer. Verlegungen der Nase z.B. durch Sekret können deshalb schnell zu schweren Ventilationsstörungen führen.

Die physiologisch engste Stelle ist der Ringknorpel. Beim beatmeten Kind mit Beatmungstubus/Kanüle ist diese/r die engste Stelle wie beim Erwachsenen auch.

## 1.5.2 Compliance

Die Compliance umschreibt die Dehnbarkeit von Lunge und Thorax. Lunge und Thorax sind elastisch. Sie haben die Eigenschaft sich ausdehnen zu können, wenn eine Kraft auf sie einwirkt. Sobald diese Kraft nachlässt ziehen sich beide wieder zusammen. Die Compliance gibt an wie viel Volumen die Lunge bei einem bestimmten Druck aufnimmt. Je größer die Compliance, desto mehr Volumen kann verabreicht werden.

Die Compliance wird in ml/mbar angegeben.

$$C = \frac{\Delta V}{\Delta P} \text{ ml/mbar}$$

Normwert: für **Lunge und Thorax**

Erwachsene:	100 ml/mbar
Unter <b>maschineller Beatmung</b> gemessen am Respiator:	50-70 ml/mbar
Kleinkind:	20-40 ml/mbar
Neugeborene:	5 ml/mbar

Die Compliance verschlechtert sich bei Erkrankungen des Lungenparenchyms wie z.B. bei Pneumonie, ARDS oder beim Lungenödem.

## 1.6 Die Atemmuskulatur

Die Atemmuskulatur wird auch als Atempumpe bezeichnet. Sie sorgt dafür, dass durch einen Unterdruck Atemgase aktiv über das Bronchialsystem bis in die Alveolen einströmt. Das Zwerchfell ist hierbei der stärkste und zugleich bedeutendste Einatemmuskel.

Unter Atemnot werden eine Anzahl weiterer so genannter Hilfsmuskeln eingesetzt. Auch die Körperhaltung hat hierbei eine bedeutende Stellung. So kann in Oberkörperhochstellung deutlich besser ein- und ausgeatmet werden.

### Einatemmuskeln

- Zwerchfell

### Einatemhilfsmuskulatur

- äußere Zwischenrippenmuskeln = Musculus intercostalis externus
- Musculus scalenus
- Rippenheber-Muskel = Musculus levator costarum
- Sägemuskeln = Musculi serratus
  - hinterer oberer Sägemuskel = Musculus serratus posterior superior
  - hinterer unterer Sägemuskel = M. serratus posterior inferior
  - vorderer Sägemuskel = Musculus serratus anterior
- Kopfnicker / Kopfwender = Musculus sternocleidomastoideus
- großer und kleiner Brustmuskel:
  - M. pectoralis minor (klein) und major (groß)

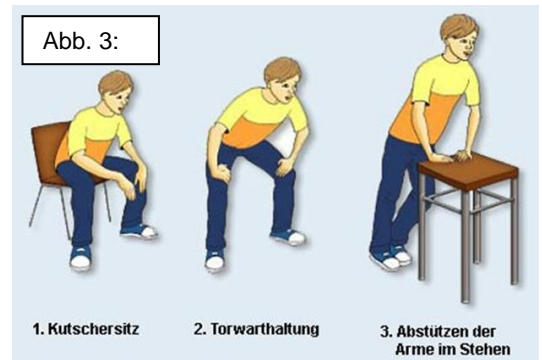
Bei Asthma (bei Erwachsene & Kinder) und COPD (bei Erwachsenen) nennen sich solche atemerleichternden Körperstellungen Kutschersitz oder Torwartstellung. Letztendlich geht es darum durch abstützen der Arme Gesicht vom Thorax weg zu bringen und dass die Hilfsmuskeln für die Ein- und Ausatmung in eine bessere ergonomische Ausgangstellung gebracht werden können. In Kombination mit der Lippenbremse nimmt bei COPD dadurch die Überblähung (Lungenemphysem) ab.



Die Expiration erfolgt normalerweise passiv. Nur unter Atemnot und chronischer Verengung der Bronchien beteiligen sich diese Muskelpartien aktiv an der Ausatmung.

### Ausatemhilfsmuskulatur

- Bauchmuskeln
- innere Zwischenrippenmuskeln = M. intercostalis internus
- M. subcostalis
- horizontaler Brustkorbmuskel = M. transversus thoracis
- großer Rückenmuskel = Musculus latissimus dorsi (auch Hustenmuskel, Arskratzerle)



## 1.7 Lungenvolumina – Ventilation

Die Lungenvolumina sind unter physiologischen Bedingungen abhängig von Körperbau, Lebensalter und Trainingszustand. Bei diesen Werten handelt es sich um anatomische Messgrößen, die nichts über die Funktion der Lunge aussagen. Allerdings gehen viele Lungenerkrankungen mit Veränderungen der Lungenvolumina einher, sodass die Lungenvolumina zur Beurteilung von Erkrankungen herangezogen werden können. Auch die Körperposition hat Einfluss auf die Messgrößen. Bei einem liegenden Patienten ist beispielsweise die funktionelle Residualkapazität (FRC) um ca. 20% geringer als im Stehen. Dies ist auch oder gerade beim beatmeten Patienten so. Insbesondere dann, wenn ein zu niedriger PEEP eingestellt ist. Die Oxygenierung verschlechtert sich bei Abnahme der FRC.

### Die Lungenvolumina umfassen bei einem 70 kg schweren Lungengesunden normalgewichtigen Menschen:

#### Atemzugvolumen – AZV (Tidal Volumen, kurz $V_t$ )

Luftmenge, die pro Atemzug eingeatmet wird (ca. 400 – 600 ml)

Ist individuellen Schwankungen unterworfen

#### Inspiratorisches Reservevolumen – IRV

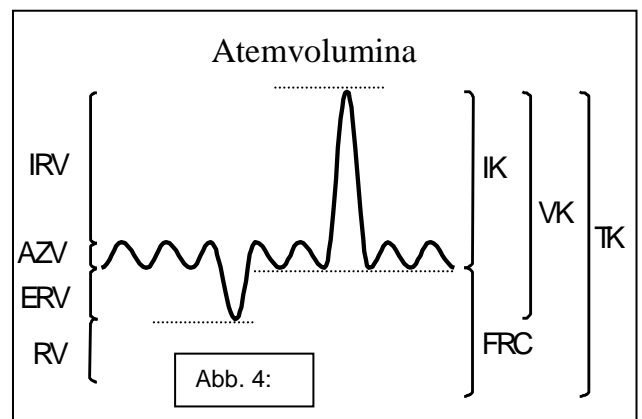
Luftmenge, die nach einer normalen Inspiration zusätzlich eingeatmet werden kann (ca. 2500-3000ml)

#### Expiratorisches Reservevolumen – ERV

Luftmenge, die nach normaler Expiration zusätzlich ausgeatmet werden kann (ca. 1100-1500 ml)

#### Residualvolumen – RV

Luftmenge, die nach maximaler Expiration in der Lunge verbleibt (ca. 1500 ml)



#### Funktionelle Residualkapazität – FRC = RV + ERV

Luftmenge, die nach einer normalen Ausatmung in der Lunge verbleibt. Durch die FRC wird verhindert, dass die Alveolen in der Expiration kollabieren und durch die verbleibende Luft in den Alveolen ein Gasaustausch auch während der Expiration stattfindet.

### Ventilation

Unter **Ventilation** versteht man das Ein- und Ausatmen des Atemgases. Die Ventilation umfasst das gesamte Atemzugvolumen. Durch die Ventilation wird Kohlendioxid ( $CO_2$ ) abgeatmet. Wenn das  $PaCO_2$  (Partialdruck von Kohlendioxid) steigt, kann dies nur durch verstärkte Ventilation, d.h. erhöhte Atemfrequenz oder größeres Atemzugvolumen abgeatmet werden. Als alveoläre Ventilation wird jenes Atemgas bezeichnet, welches bei Inspiration in die Alveole gelangt. Demzufolge ist die entscheidende Größe, um  $CO_2$  abzuatmen nicht die Ventilation, sondern die alveoläre Ventilation (Tab. 1).

## Parameter der Ventilation unter Spontanatmung:

### Erwachsener (70 kg):

Atemfrequenz:	f	12 - 20/min
Atemzug- oder Tidalvolumen:	AZV ( $V_t$ )	400 - 600ml (ca. 7ml/kg KG)
Totraumvolumen:	$V_d$	ca. 150ml (2,2ml/kg KG)
Atemminutenvolumen (AMV):	15 x 500ml	= 7500ml (ca. 90-110 ml/kgKG)
	f x AZV ( $V_t$ )	= AMV
Alveoläres Volumen:	15 x (500ml-150ml)	= 5250ml
	f x (AZV - $V_d$ )	= Alveolares Volumen

Volumen das nicht am Gasaustausch teilnimmt nennt man Totraum.

AF	AZV	Totraum	Alveoläre Ventilation	AMV
15	500 ml	150 ml	5,25 l	7,5 l
25	300 ml	150 ml	3,75 l	7,5 l
30	250 ml	150 ml	3,0 l	7,5 l
25	500 ml	150 ml	8,75 l	12,5 l

Tab. 1: Je schneller (AF↑) und flacher (AZV↓) die Atmung, desto geringer wird die alveoläre Ventilation trotz gleich bleibender Gesamtventilation.

### Kind (20 kg):

Atemfrequenz:	f	20 - 30/min
Atemzug- oder Tidalvolumen:	AZV ( $V_t$ )	ca. 150ml (ca. 7-8ml/kg KG)
Totraumvolumen:	$V_d$	ca. 45ml (2,2ml/kg KG)
Atemminutenvolumen (AMV):	20 x 150ml	= 3000ml (ca. 90-110 ml/kgKG)
	f x AZV ( $V_t$ )	= AMV
Alveoläres Volumen:	20 x (150ml-45ml)	= 2100ml
	f x (AZV - $V_d$ )	= Alveolares Volumen

Volumen das nicht am Gasaustausch teilnimmt nennt man Totraum.

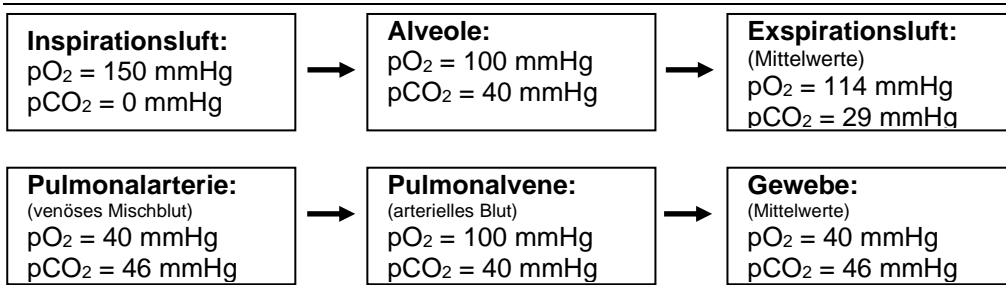
## 1.8 Pulmonaler Gasaustausch - Oxygenierung

Der pulmonale Gasaustausch findet in den Alveolen statt. Sauerstoff ( $CO_2$ ) aus der eingeatmeten Alveolarluft diffundiert in das Lungenkapillarblut und Kohlendioxid diffundiert in die Alveolarluft. Gase diffundieren vom Ort der höheren Konzentration zum Ort mit der niedrigeren Konzentration. Die Aufnahme von Sauerstoff durch die Alveole nennt man **Oxygenierung**. Die Partialdruckdifferenz zwischen Alveole und Pulmonalarterie ist die treibende Kraft der Diffusion. Nach dem Gesetz von Dalton erzeugt jedes Gas in einem Gasgemisch einen spezifischen Druck entsprechend seiner Konzentration. Diesen Druck eines einzelnen Gases nennt man Partialdruck. Die Summe der einzelnen Partialdrücke ist der Gesamtdruck. Bezogen auf die Atmosphäre beträgt der Gesamtdruck aller Gase auf Meereshöhe 760mmHg.

Unsere Atemluft besteht aus einem Gemisch aus mehreren Gasen:

Stickstoff (79%)	→	$p_{N_2}$	600 mmHg
Sauerstoff (20,9%)	→	$p_{O_2}$	152 mmHg
Kohlendioxid (0,04%) →		$p_{CO_2}$	0,3 mmHg
Edelgase			

Die angegebenen Werte beziehen sich auf Gasdrücke in Meereshöhe und ohne Luftfeuchtigkeit. Da sich die Inspirationsluft mit dem Restvolumen (Residualvolumen) in den Bronchien und Alveolen (Totraumvolumen) vermischt, ist der Partialdruck von Sauerstoff in den Alveolen geringer als in der Umgebungsluft. Der Partialdruck von Sauerstoff in der Alveole beträgt ca. 104 mmHg, der von Kohlendioxid ca. 35-40 mmHg.



Tab. 2

## Blutgasanalyse (BGA)

Bei der Blutgasanalyse erfolgt die Messung der Partialdrücke der Atemgase im arteriellen oder kapillaren Blut. Zusätzlich werden der pH-Wert und das Standardbikarbonat (HCO<sub>3</sub>) des Blutes bestimmt. Anhand der BGA erfolgt in der Klinik die Einstellung des Heimbeatmungsgerätes. Anstatt das arterielle O<sub>2</sub> zu messen, um die Oxygenierung zu beurteilen, gibt in der Heimbeatmung das Pulsoxymeter über die Oxygenierung Auskunft. Sättigungswerte ≤ 90 % gelten grundsätzlich als therapiebedürftig.

SaO<sub>2</sub> von 90% entspricht ca. einem PaO<sub>2</sub> von 60 mmHg  
 SaO<sub>2</sub> von 95% entspricht ca. einem PaO<sub>2</sub> von 80 mmHg

Die arterielle Blutgasanalyse sollte, um Messwert Veränderungen zu vermeiden unmittelbar nach der Abnahme im Blutgasanalysegerät eingegeben werden. Kühl gelagert kann die Probe auch nach 15-20min verwendet werden. Alternativ zur arteriellen BGA kann auch Kapillarblut gewonnen werden. Die Messwerte sind nahezu identisch.

Normwerte im arteriellen Blut:	
pH	7,35 – 7,45
PaO <sub>2</sub>	70 – 100 mmHg
PaCO <sub>2</sub>	35 – 45 mmHg
HCO <sub>3</sub>	22 – 26 mmol/l
ABE	0 (+/- 2)

Tab. 3

## 2. Der tracheotomierte Patient

### 2.1 Geschichte

Seit etwa 4000 Jahren (Hindu-Buch Rigveda) ist die Tracheotomie als lebensrettender Noteingriff bei drohender Erstickung bekannt, und somit einer der ältesten chirurgischen Eingriffe überhaupt. Berühmte Ärzte der Antike, wie Paul von Ägina, Galen und Arataeus, beschrieben die Methode.

Für die Ausbreitung der Methode, ihre Indikation und ihre operative Technik waren die positiven Erfahrungsberichte von Trousseau (1833) bei den an Diphtherie erkrankten Kindern wichtig, wobei die Mortalität 1860 bis auf 68% gesenkt werden konnte.

Erst im 20. Jahrhundert wurden durch die systematischen Untersuchungen von Jackson (1921) die zu den Komplikationen führenden technischen Fehler dargelegt und die operative Technik entsprechend verbessert.

Immer noch stellt die Tracheotomie einen erheblichen Eingriff in den Atmungstrakt des Menschen dar. Heute stehen eine Vielzahl von verschiedenen Techniken zur Anlage eines Tracheostoma zur Verfügung.

Das Tracheostoma hat sowohl in der Akut- und Intensivmedizin, als auch in der stationären und ambulanten Langzeitbetreuung einen hohen Stellenwert.



Abb. 5: Darstellung des Tracheostoma aus der Geschichte

## 2.2 Techniken der Tracheotomie und Begriffserklärung

### Tracheostoma:

Als Tracheostoma wird die vorhandene künstliche Öffnung der Trachea (Luftröhre) nach außen bezeichnet.

Stoma – übersetzt = Mund, Öffnung

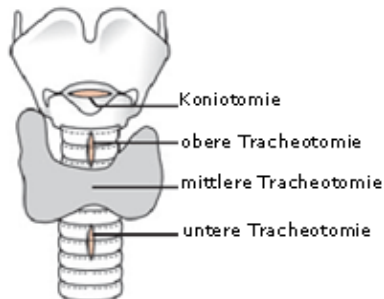


Abb. 6: Anatomie des Kehlkopf

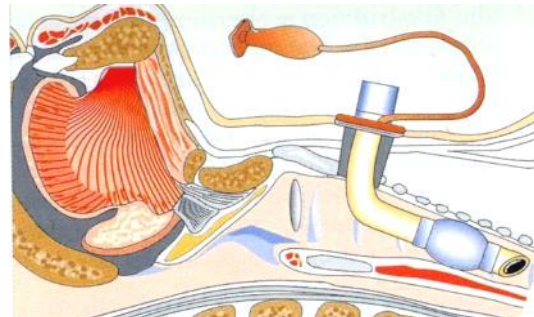


Abb. 7: Tracheostoma mit geblockter Trachealkanüle

### Tracheotomie:

Bei der Tracheotomie wird durch Ausschneiden von Knorpelgewebe aus der Luftröhrenvorderwand, bzw. durch Durchstechen der Knorpelzwischenräume bei der bedseitigen perkutanen dilatativen Tracheotomie (PDT), eine Öffnung zum Einführen einer Trachealkanüle angelegt. Diese Öffnung verheilt, indem Granulationsgewebe über die verschiedenen Gewebeschichten wächst. Liegt nicht dauerhaft eine Trachealkanüle, so ist die Öffnung in wenigen Tagen durch Schrumpfungsgewebe bzw. Granulation wieder verschlossen. Bei liegender Trachealkanüle werden die Granulationen nach mehreren Wochen allmählich fester und bekommen an den Kontaktstellen mit der Kanüle ein dünnes Epithel, das Halshaut und Luftröhrenschleimhaut verbindet.

Perkutane dilatative Tracheotomie (PDT):

Dies ist eine Punktion der Trachea in Höhe der 2.-4. Trachealspange mittels einer Hohlkanüle und einer Spritze. Es wird ein Führungsdraht durch die Hohlkanüle in die Trachea geschoben, der Punktionskanal durch Dilatatoren geweitet und die passende Trachealkanüle durch die entstandene Öffnung eingesetzt. Diese Methode gewinnt immer mehr an Bedeutung, weil sie sehr schnell und mit relativ wenig Aufwand auf der Intensivstation durchzuführen ist.

Technik z. B. nach:

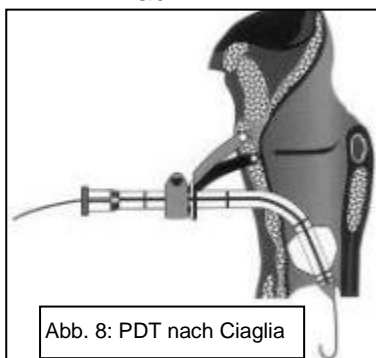


Abb. 8: PDT nach Ciaglia

- Ciaglia ab 1985
- Griggs ab 1990
- Fantoni ab 1997

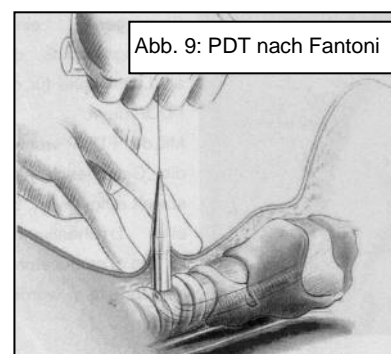


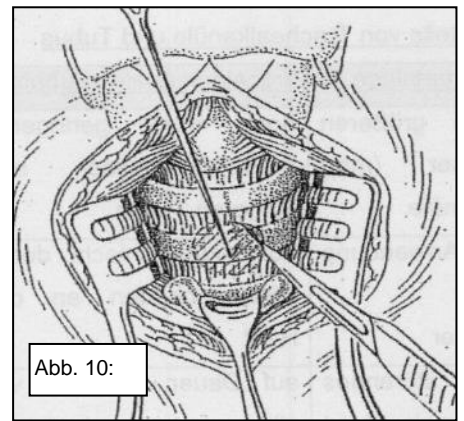
Abb. 9: PDT nach Fantoni

### Tracheostomie:

Die Tracheostomie ist ein plastisches, operativ, epithelisiert angelegtes Tracheostoma. Nach erfolgter Tracheotomie wird ein plastisches Tracheostoma angelegt, indem Hals- und Trachealschleimhaut miteinander vernäht werden. Hierdurch entsteht ein stabiler Tracheostomiekanal. Es kommt zu einer raschen Wundheilung, fast ohne Granulation im Tracheostoma: Blutungen und Komplikationen beim Kanülenwechsel werden zu sehr seltenen Ereignissen.

Diese Technik hat sich vor allem bei Patienten durchgesetzt, welche über lange Zeit ein Tracheostoma benötigen (z.B. nach Laryngektomie oder Heimbeatmung).

Die Unterscheidung Tracheostomie und Tracheotomie wird in der Literatur nicht durchgängig eingehalten. Das Ergebnis einer Tracheotomie (also die Öffnung) wird aber immer als Tracheostoma bezeichnet. Will man ausdrücken, dass die Schnittränder der Luftröhre fest mit der Haut vernäht worden sind, wodurch ein permanentes Offenhalten des Tracheostoma gewährleistet wird und ein sicherer Kanülenwechsel möglich ist, so erscheint es sinnvoller, die Bezeichnung des „epithelialisierten“ Tracheostoma zu verwenden.



### **Koniotomie:**

### **Notkoniotomie:**

Die Notkoniotomie ist ein Notfalleingriff zur schnellen Behebung einer Erstickungsgefahr bei Verlegung der oberen Luftwege. Die Punktion bzw. Schnittführung dieser Tracheotomieform ist zwischen dem Schild- und Ringknorpel durch das Lig. cricothyroideum. Zur maschinellen Beatmung wird ein kleiner Tubus eingeführt.

### **Minitracheotomie:**

Bei ihr wird ein bleistiftdicker Minitubus (ohne Cuff) zur Erleichterung der Bronchialtoilette oder zur kontinuierlichen Sauerstoffinsufflation eingelegt (nicht zur Beatmung geeignet). Die Lokalisation ist die gleiche wie bei der Koniotomie.



## **2.4 Indikationen und Komplikationen**

### **Indikationen zur Tracheotomie**

- Lang anhaltende Bewusstlosigkeit (Wachkoma, apallisches Syndrom)
- Langzeitbeatmung und Heimbeatmung
- Schwierige Entwöhnung vom Respirator
- Verletzungen und Erkrankungen der oberen Luftwege
- Verlust der Schutzreflexe (Neurologische Erkrankungen)
- Unfähigkeit, Bronchialschleim abzu husten; Notwendigkeit der endotrachealen Absaugung

## **2.5 Komplikationen der Tracheotomie**

- Druckschädigung der Trachea durch Cuff oder Hebelkräfte durch starre Kanülen
- Stenosen durch Granulationsgewebe insbesondere nach perkutaner dilatativer Tracheotomie
- Nachblutung meist nur die ersten Tage nach Anlage eines Tracheostoma oder durch traumatisches Absaugen
- Dekanülierung – herausrutschen der Kanüle  
Wiedereinsetzen einer neuen Kanüle; evtl. mit Hilfe eines Führungsstabes oder eines Trachealspreizers  
Evtl. zur Überbrückung mit Beatmungsbeutel (mit Sauerstoff) beatmen
- Kanülenfehlage durch Bildung von Wundtaschen bei schlechtem Heilungsverlauf
- Hautemphysem  
Hierbei tritt Luft unter Beatmung ins subcutane Gewebe oder ins Mediastinum ein. Luft im subcutanen Gewebe zeigt sich als Schwellung und knistert beim Wegdrücken. Dies kann Auftreten bei Verletzungen der Trachea und ungenügend geblockter Cuff oder nicht tief genug platzierter Kanüle meist die ersten Tage nach Anlage eines Tracheostoma.
- Wundinfektion

- Tracheoösophagealfistel  
Meist durch Druckulcera verursachte Verbindung zwischen Trachea und Ösophagus. Microaspirationen mit rezidivierenden pulmonalen Infekten sind möglich
- Tracheomalazie  
Erweichung der Knorpelspangen durch ständigen Druck durch Kanüle. Nach Dekanülierung kann dies bei Inspiration zum intermittierenden Kollaps der Trachea führen.
- Kanüleneinengung durch Sekret & Borken, dies führt zu einer sehr starken Erhöhung der Atemarbeit  
→ Inhalation, Atemgasbefeuchtung, absaugen, Kanülenwechsel
- Atemwegsverlegung (Verstopfung der Kanüle z. B. durch Trachealsekret)
- Atemwegsverlegung durch Cuffhernie (Aussackung des Ballons liegt vor Kanülenöffnung)
  - → Kanüle wechseln
- Störung der lokalen Blutzirkulation durch Einschnürung des Fixierbandes  
Hierdurch kann im extremen Fall der Hirndruck ansteigen. Bewusstseinsstörungen könnten die Folge sein.
- Bronchospasmus durch Kanülenreiz  
→ keine unnötigen Manipulationen, Patient beruhigen, evtl. Fehllage korrigieren,  
→ Inhalation mit  $\beta_2$  Mimetika nach Anordnung
- Blutung  
→ Cuff ausreichend blocken, endotracheal absaugen, soweit möglich Druck auf Blutungsquelle ausüben

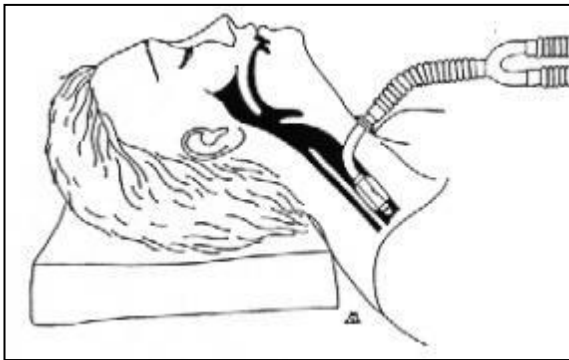


Abb. 12: Korrekte Lage der Trachealkanüle

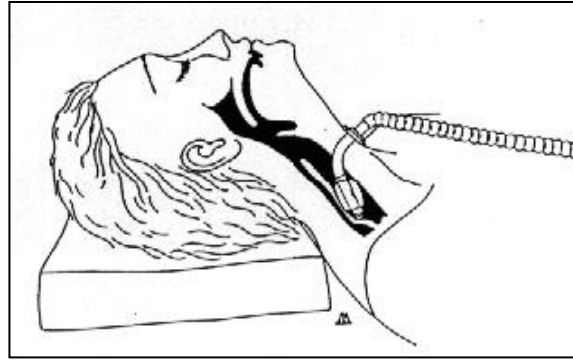


Abb. 3: Hebelwirkung an der Trachealkanüle

## 2.6 Trachealkanülenarten

### 2.6.1 Trachealkanülen flexibel mit Cuff

**Tracheoflex nach Rügheimer** (flexible Kanüle mit Niederdruckblockmanschette)

- Walzspirale damit Kanüle nicht abknickt
- Lageposition verstellbar durch Halteplatte mit Fixierung
- Besonders geeignet in der Anfangsphase nach Tracheotomie
- Sehr flexibel
- Zur maschinellen Beatmung sehr gut geeignet



Abb 14:

**Kamen Wilkinson Kanüle** (Cuff mit selbstblockender Manschette)

- Schaumstoff (im Cuff) modelliert sich an Trachealwand an
- Undichtigkeit bei höheren Beatmungsdrücken
- Keine Lageveränderung möglich
- Starrer als Tracheoflex

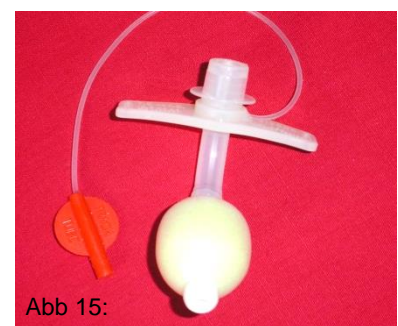


Abb 15:

## 2.6.2 Trachealkanülen mit Sprechfunktion

### Shiley Kanüle (low-pressure cuff mit Sprechansatz)

- Starre Kunststoffkanüle
  - Gefahr der Druckulceration
- Keine Lageveränderung möglich
- Durch Fensterung der Kanüle sprechen möglich
- Mit und ohne Cuff verfügbar
- Geeignet auch für Pädiatrie
- Für Pat. ohne Aspirationsgefahr
- Zur Entwöhnung von der Kanüle
- Auch zur maschinellen Beatmung geeignet (mit Cuff)



### Biesalski Kanüle

- Analog zu Shiley Kanüle

### Silbersprechkanülen

- Bakteriostatisch
- Einfache Handhabung
- Hohe Materialfestigkeit
- Können sehr dünnwandig hergestellt werden, dadurch geringe Widerstände
- Extrem starr
- Zur maschinellen Beatmung nicht geeignet



## 2.7 Pflege des tracheotomierten Patienten

### 2.7.1 Endotracheales Absaugen

Unter endotrachealem Absaugen versteht man das Absaugen von Sekret über einen Beatmungstubus (Trachealkanüle). Das Absaugen muss mit einem keimfreien (sterilen) Absaugkatheter und einem keimarmen Einmalhandschuh vorgenommen werden.

Abgesaugt werden muss, wenn

- akustisch das Vorhandensein von Trachealsekret wahrgenommen wird
- steigende Beatmungsdrücke eine Beatmung erschweren und dies auf eine Verlegung der Atemwege durch Sekret zurückzuführen ist.

#### Durchführung:

- sterilen Absaugkatheter an den Absaugschlauch des Absauggerätes anschließen
  - Absaugkatheter soll weich sein und nicht größer als 1/3 des Tubusinnendurchmessers (Erwachsene 12–14 CH; Kinder 8-12 CH)
- Absauggerät einschalten und vergewissern, dass der Sog bei (Erw. ca. 0,4 bar; Kind 0,2 bar) eingestellt ist
- sterilen Einmalhandschuh an die Hand anziehen, welche den Absaugkatheter in die Trachealkanüle einführt
- Patient vom Respirator trennen
- Absaugkatheter in die Trachealkanüle 10-15 cm (Kleindind ca. 5 cm) einführen. Der Absaugkatheter sollte hierbei maximal 2-3 Zentimeter über die Kanüle hinausragen. Während des Einführens herkömmlicher Katheter nicht absaugen. Bei Verwendung von „AeroFlow Katheter“ oder atraumatische Katheter wird auch **beim Einführen** abgesaugt.
- Den Katheter unter Sog mit leichten Drehbewegungen langsam herausziehen
- Der Absaugvorgang sollte nicht länger als 10 - 15 Sekunden dauern
  - (Hypoxie, Atelektasenbildung, Bradycardie) Tipp: Während des Absaugvorganges selbst die Luft Anhalten
  - Nur in Extremfällen: bronchoalveoläre Lavage mit 2-4 ml NaCl 0.9% durchführen

- 
- Nach erfolgtem Absaugen kann der Patient für ein paar Atemzüge mit dem Beatmungsbeutel und evtl. angeschlossenem Sauerstoff beatmet werden, um mit vertieften Atemhüben kollabierte Lungenbläschen durch den Sog wieder aufzudehnen.

## 2.7.2 Verbandwechsel und Inspektion der Trachealkanüle

### Ziel:

- Sicherung der Atemwege
- Infektionsfreiheit
- Intakte Haut und Schleimhaut

### Cuff:

- So viel Blockung wie nötig, sowenig wie möglich
- Cuffdruckkontrolle mittels Cuffdruckmesser
  - ohne maschinelle Beatmung nicht über 20cmH<sub>2</sub>O
  - unter maschineller Beatmung 5 – 10 cmH<sub>2</sub>O über dem Beatmungsdruck
- Vor entlocken des Cuff Mund- Rachenraum absaugen

### Kanülenlage:

- Achsengerechte druck- und zugfreie Fixierung
- Auskultation der Lunge
- Inspektion und Palpation der Haut (Hautemphysem)
- Atembewegungen des Patienten

### Notfallhilfsmittel bereithalten

- O<sub>2</sub>-Quelle
- Beamtungsbeutel und Maske
- Absaugvorrichtung
- Ersatzkanülen (auch eine kleinere Kanüle oder kleiner Spiraltubus)
- Trachealspreizer
- Einführungshilfen
- Lichtquelle

### Durchführung Verbandwechsel

- Nach Möglichkeit mit zwei Pflegekräften durchführen
- Mindestens 1x täglich und bei Bedarf
- Aseptische Arbeitsweise
- Pat. in Rückenlage und leicht Oberhoch lagern
- Information des Patienten
- Händedesinfektion
- Handschuhe tragen
- Wenn keine Schutzreflexe vorhanden, Mund- Rachenraum absaugen
- Eine Pflegekraft fixiert mit der Hand die Kanüle
- Fixationsverband lösen und alten Verband entfernen
- Wund- und Hautreinigung mit NaCl 0,9%
- Desinfektion mit Ociosept oder Verwendung spezieller Reinigungstücher/Reinigungsmittel nur nach Bedarf (Entzündungszeichen/Gefahr)
- Sterile Kompressen verwenden
- Schlitzkomresse mit sterilen (oder keimarmen, je nach Hygienestandard) Handschuhen unter die Kanüle legen
- Trachealkanüle fixieren, auf Druckstellen achten
- Überprüfung der Atemfunktion siehe „Kanülenlage“

### Pflege der Innenkanüle

- Material und Vorbereitung wie bei Verbandwechsel
- Pat. mit leicht überstrecktem Kopf lagern
- Bei Bedarf absaugen
- Innenkanüle vorsichtig und mit Handschuhen herausnehmen
- Grobe Verschmutzungen unter fließendem Wasser abspülen



- Mit Bürste mechanisch reinigen
- Mit Aqua dest. gründlich abspülen
- Alternativ: spezielles Reinigungsmittel (Desinfektionsmittel nur wenn nötig) verwenden
- Innenkanüle wieder einsetzen oder mit zweiter täglich wechselnd einsetzen
- Reinigungsintervall: 1x tgl. und nach Bedarf
- Kanülenlage kontrollieren
- Halteplatte der Außenkanüle mechanisch reinigen
- Haltebändchen nach Bedarf wechseln

### Kanülenwechsel

- Schriftliche Arztanordnung sollte vorliegen
- Material und Vorbereitung wie bei Verbandwechsel
- Wache Patienten Oberkörperhochlagern, Kopf überstrecken
- Mund- Rachenraum absaugen
- Bei liegender PEG oder Magensonde: Magen absaugen
- Vor und während Kanülenwechsel Absaugung bereithalten
- Gewaltloses, zügiges und ruhiges Einführen einer neuen Kanüle  
Evtl. mit Hilfe eines Führungsstabes und Verwendung eines geeigneten Gleitmittels (z.B. NaCl 0,9% oder Tracheostomaöl)
- Bei Schwierigkeiten: Überbrückung mit O<sub>2</sub>-Insufflation, Beatmung mit Beatmungsbeutel und Maske
- Im Notfall Einbringen einer kleineren Trachealkanüle oder eines Endotrachealtubus
- Nach Wiedereinsetzen der Kanüle Blockung nach Bedarf und Kanülenlage kontrollieren
- Wechselintervall: 1x wöchentlich bis 3 wöchentlich. Empfehlungen sind sehr unterschiedlich, wichtig ist der Wechsel nach dem individuellen Bedarf  
→ Innenkanülen 1-2x tgl. reinigen

## 2.8 Auswirkungen der Tracheotomie auf den Patienten

- Ausschaltung des oberen Respirationstraktes, dadurch wird die Atemluft **nicht**
  - gefiltert und gereinigt
  - erwärmt
  - angefeuchtet
- Hustenmechanismus ist gestört
- Pat. kann nicht sprechen (außer mit Sprechkanüle oder Aufsatz)
- Pat. kann nicht riechen
- Bauchpresse bei Defäkation ist eingeschränkt

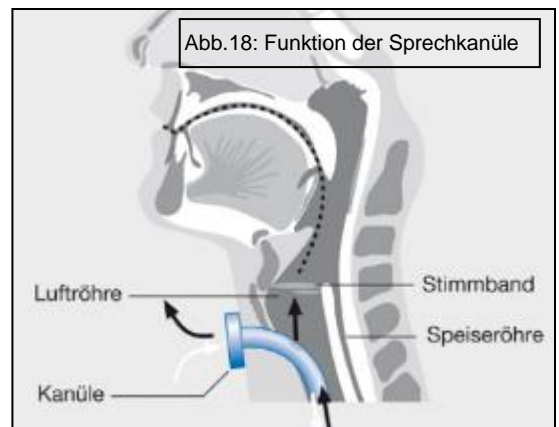
### 2.8.1 Sprechkanüle und Sprechaufsatz (Ventil)

Die Sprechkanüle verhindert beim Ausatmen durch einen Ventilmechanismus das Ausströmen der Atemluft durch die Kanüle. Diese Atemluft kann somit zur Stimmerzeugung durch die Stimmritze geleitet werden. Voraussetzung hierfür ist, dass die Kanüle über eine Öffnung (Fenster) verfügt, welche ermöglicht, dass die Ausatemluft über die Stimmritze (Larynx) ausgeatmet werden kann. Siehe auch Seite 5 „Trachealkanülen mit Sprechfunktion“.

Der Sprechaufsatz fungiert hierbei wie ein Ventil. Atemluft kann über die Kanüle eingeatmet werden, wohingegen das Ausatmen über die Kanüle verhindert wird.

Zusätzlich oder alternativ kann bei verhältnismäßig kleiner Kanüle der Cuff entblockt werden. Auch dann kann Atemluft vorbei an der Kanüle Richtung Stimmritze strömen.

Wichtig ist, dass der Patient über die Sprechkanüle und/oder der entblockten Kanüle ausreichend ausatmen kann. Kann während der Ausatmung nicht genügend Atemluft über das Fenster oder am entblockten Cuff vorbei Richtung Stimmritze strömen führt dies zu Erstickungsangst und Ersticken. Dies ist bei jedem Sprechversuch zu überprüfen.



## 2.9 Befeuchtung / Erwärmung der Atemgase–Atemgasklimatisierung

Beim Menschen mit Tracheostoma nimmt die eingeatmete Atemluft nicht wie sonst den Weg über Nasen-Rachen-Raum. Demzufolge werden die Atemgase nicht erwärmt und befeuchtet. Diese Funktion muss dann der Bronchialbaum übernehmen, welcher dies aber meist über längere Zeit nicht ausreichend gewährleisten kann und selbst irreversibel geschädigt wird. In der Folge dickt Sekret stark ein und kann zum Verstopfen/Verlegen der Kanüle mit Sekret führen. Zeichen der Atemnot und Erstickungsängste sind die Folge.

Möglichkeiten zur Atemgasbefeuchtung:

- „Künstliche Nase“ oder geeigneter HME-Filter (Heat and Moisture Exchanger)
- Atemgasgemisch via Druck- und Sauerstoffanschluss über einen Atemgasbefeuchter und Trachealmaske verabreichen
- Ultraschallvernebler
- Inhalation mit 0,9 – 6 % NaCl-Lösung

### Gefahr:

Künstliche Nasen halten in einem eingearbeiteten Schwamm Wärme und Feuchte während der Expiration zurück und geben diese bei erneuter Inspiration wieder ab. Reichert sich aber abgehustetes



Sekret in diesem Schwamm an, so kommt es zum Verschluss der Poren des Schwammes. Einige Produkte verfügen über eine „Art“ Notatemmembran, welche sich bei starker Einatembemühung öffnet. Ist eine solche Sicherheit nicht vorhanden, kann der Patient nur noch unter größter Anstrengung einatmen und droht im schlimmsten Fall zu ersticken. Zeichen schwerer Inspirationsbemühungen und Atemnot sind zu erkennen. Ist eine kontinuierliche Beobachtung bzw. geeignete Überwachung des Patienten nicht gewährleisten darf eine „künstliche Nase“ ohne Notatemmembran nicht angewendet werden.

Abb. 19: „künstliche Nase“

Künstliche Nasen werden beim nicht beatmeten Patienten eingesetzt, wo hin gegen HME-Filter beim beatmeten Patienten zwischen Trachealkanüle und Y-Stück im Schlauchsystem eingesetzt werden.

## 3. Allgemeine Überwachung der Beatmung

### 3.1 Überwachung der Atmung

Folgende Kriterien eignen sich zur Überwachung und zur Beurteilung der Atmung:

Atemfrequenz, Heben und Senken des Brustkorbes, Zyanose (Blaufärbung der Haut, insbesondere der Lippen)

Wenn eine Störung auftritt, wird das Augenmerk immer zuerst auf den Patienten gerichtet. Bei Störungen der Beatmung bzw. des Beatmungsgerätes, bei denen die Beatmung nicht mehr sichergestellt werden kann, muss der Patient unmittelbar und ohne Zeitverlust (z.B. durch Fehlersuche) vom Beatmungsgerät diskonnektiert werden und mit dem Beatmungsbeutel beatmet werden.

### Sicherstellung der Atmung bzw. Beatmung

Die Beatmung ist dann nicht mehr sichergestellt, wenn

- kein eindeutiges Heben und Senken des Brustkorbes zu erkennen ist.
- auskultatorisch kein Atemgeräusch hörbar ist.
- eine Zyanose zu erkennen ist – SpO<sub>2</sub> stark abfällt.
- der Patient auffällig unruhig (evtl. hohes CO<sub>2</sub> im Blut) oder auffällig ruhig wird (sehr hohes CO<sub>2</sub> im Blut).

Eventuell kann der Patient auch für kurze Zeit am Beatmungsbeutel oder der feuchten Nase spontan atmen. Bei ausgeprägter Atemnot ist an die Zugabe von 3-5 l/min Sauerstoff (beim Kind 1-3 l/min) über Beatmungsbeutel oder feuchte Nase und die Überwachung der SpO<sub>2</sub> zu denken.

## 3.2 Überwachung der Trachealkanüle

Störungen durch die Trachealkanüle können dann auftreten, wenn

- die Kanüle mit zähem Sekret verlegt ist.
- die Kanüle herausrutscht.
- die Kanüle falsch liegt.
- der Cuff der Kanüle die Luftröhre mangelhaft auskleidet und dadurch eine große Leckage entsteht.
- die Leckage bei Kanülen ohne Cuff zu groß wird.

Bei sehr großer Leckage z.B. wenn der Cuff die Luftröhre mangelhaft auskleidet, fließt die Einatemluft größtenteils nicht in die Lunge, sondern Richtung Mund. Beim Herausrutschen der Kanüle hat der Patient evtl. zumindest kurzfristig die Möglichkeit selbst weiter zu atmen. Bei einer kompletten Verlegung ist dies nicht mehr möglich. Mögliche Zwischenfälle mit Trachealkanüle siehe 6.4.

## 3.3 Überwachung des Respirators

Die Routineüberwachung des Respirators umfasst eine regelmäßige Überprüfung der Respiratoreinstellung und Alarmgrenzen. Darüber hinaus muss in bestimmten Zeitintervallen eine Funktionsprüfung des Respirators entsprechend den Empfehlungen des Herstellers durchgeführt werden. Auf eine lückenlose und regelmäßige Dokumentation der Respiratoreinstellung, Alarmgrenzen und vorgenommener Veränderungen bezüglich der Beatmung ist zu achten.

### Grundeinstellung der Beatmung und Alarmparameter

Exemplarisch für einen 70kg schweren Patienten. Die tatsächliche Einstellung der Beatmung mit den dazugehörigen Alarmparametern muss individuell an den Patienten angepasst werden. Die individuelle Einstellung erfolgt generell in der Klinik vor Entlassung des Patienten. In regelmäßigen Abständen erfolgt meist eine Wiedervorstellung des Patienten in der Klinik bei der auch die Beatmungseinstellung gegebenenfalls an die aktuelle Situation angepasst wird.

**Grundeinstellung:** Volumenkontrollierte Beatmung (VCV) und druckkontrollierte Beatmung (PCV)

*VCV - SIMV oder A/C*

*PCV – BiLevel, BiPAP, P-SIMV, P-IPPV*

#### **70 kg ideales Körpergewicht**

VCV - AZV ( 7-8 ml/kgKG)	500-600 ml
PCV – oberes Druckniveau	20-25 mbar
AF	12-15 /min
Flussgeschwindigkeit	35-45 l/min
Inspirationszeit	1,3-1,6 sec
I:E	1:1,5-1:2,5
PEEP	5-7 mbar
Druckanstiegszeit	0,1-0,2 sec
Druckunterstützung	7-15 mbar über PEEP

#### **20 kg ideales Körpergewicht**

~ 150 ml
18-25 mbar
15-25/min
25-40l/min
0,5-1,0 sec
1:1,5-1:2,5
3-5 mbar
0,1-0,2 sec
4-10 mbar

#### **Alarmparameter:**

obere Druckgrenze:	35 mbar	25 mbar
oberes Minutenvolumen:	10 l/min	4 l/min
unteres Minutenvolumen	5 l/min	2 l/min
obere Atemfrequenz:	30 /min	35/min
unteres Atemzugvolumen:	300 ml	80 ml
Diskonnektion:	8 mbar / 5 sec	5 mbar / 5 sec
Apnoezeit:	30 sec	15 sec

### 3.4 Überwachung der Oxygenierung mit der Pulsoxymetrie - SpO<sub>2</sub>

Durch den Einsatz des Pulsoxymeter kann ermittelt werden wie viel Prozent des Hämoglobins mit Sauerstoff gesättigt ist. Der Normwert beim lungengesunden Erwachsenen beträgt 96 – 98 %. Beim Kind ~ 98%. Die SpO<sub>2</sub> ist ein geeigneter Parameter, um die Versorgung des Körpers mit Sauerstoff zu überwachen. Er gibt jedoch keine Auskunft darüber, ob der Patient eine ausreichende Menge an Luft ein- und ausatmet.

Der Einsatz der SpO<sub>2</sub> beim Patienten empfiehlt sich:

- routinemäßig, um punktuell die Sauerstoffsättigung zu ermitteln und zu dokumentieren.
- bei akuter Atemnot, wenn eine Störung der Beatmung nicht eindeutig ausgeschlossen werden kann (Alarmmeldung des Beatmungsgerätes oder fehlende Thoraxhebungen) oder Beatmungsprobleme nicht sofort behoben werden können.

Die Sauerstoffsättigung kann z.B. verbessert werden durch Absaugen des Patienten, Gabe von Sauerstoff, PEEP-Erhöhung und Verlängern der Inspirationszeit.

#### Mögliche Ursachen einer schlechten SpO<sub>2</sub>

- Sekretansammlung im Bronchialsystem
- längere Atempause z.B. beim Absaugen oder Transfer aus dem Bett in den Sessel
- pulmonale Erkrankungen wie z. B. Pneumonie, Lungenödem, Pleuraergüsse, Atelektasen, Pneumothorax usw.
- Beim Kind: angeborene Herzfehler (offener Ductus Botalli, föllotsche Tetralogie)
- Fehlmessung

Grundsätzlich ist es sinnvoll Änderungen der Respiratoreinstellung nur in einer speziellen Fachklinik vorzunehmen. Änderungen der Respiratoreinstellungen im außerklinischen Bereich nur in enger Absprache und unter Vorlage eines Therapieplanes einer zuständigen Fachklinik oder niedergelassenen Facharztes vornehmen. Änderungen werden nur von autorisiertem speziell geschultem Fachpersonal vornehmen. Änderungen der Respiratoreinstellungen im außerklinischen Bereich sind nur selten sinnvoll und notwendig. Der Wechsel des Respiratortyps (nicht eines gleichen identischen Respirators) muss in der Klinik erfolgen. Die Sauerstoffgabe erfolgt nach Anordnung.

### 3.5 Überwachung der Ventilation mit der Kapnometrie – etCO<sub>2</sub>

Die Kapnometriemessung zeigt, ob die Menge an eingeatmeter Luft pro Minute ausreichend ist. Das gemessene Produkt ist das Gas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) Durch die speziell vorhandene Messküvette wird das CO<sub>2</sub> in der Ausatmung gemessen. Die Küvette wird zwischen Tubusverlängerung und Ausatemventil in das System eingefügt. Kohlendioxid ist ein Abbauprodukt, das durch den Verbrauch von Sauerstoff im Stoffwechsel anfällt und durch die Atmung ausgeschieden wird. Wenn das Atemminutenvolumen des Patienten absinkt, erhöht sich der in der Ausatmung gemessene Kohlendioxidwert (etCO<sub>2</sub>). Demzufolge muss dann die Atemfrequenz oder das Atemzugvolumen (AZV) gesteigert werden. Wenn das AZV der Normeinstellung entspricht, sollte die Erhöhung der Atemfrequenz bevorzugt werden. Der Normwert des gemessenen etCO<sub>2</sub> beträgt 30-35mmHg. Nach einer Korrektur der Einstellung dauert es ca. 15-20 Minuten bis der etCO<sub>2</sub> Wert auf die Veränderung reagiert. Nach dieser Zeit kann eine weitere Korrektur vorgenommen werden. Bei leichten Abweichungen vom Normwert (z.B. von 3-5mmHg) reicht i. d. R. eine Veränderung der Atemfrequenz von 1-2/min aus. Bei Atemnot sollte eine Messung des etCO<sub>2</sub> erwogen werden. Die Messküvette wird in regelmäßigen Abständen entsprechend der Gebrauchsanweisung abgeglichen (Nullabgleich). Das etCO<sub>2</sub> kann nur mittels der Kapnometrie und nicht mit der Oxymetrie (SpO<sub>2</sub>) ermittelt werden. Es kann durchaus vorkommen, dass die Sauerstoffsättigung im Normbereich ist, der etCO<sub>2</sub> aber nicht.

#### Ursachen für ein zu hohes etCO<sub>2</sub>

- zu niedrig eingestellte Atemfrequenz oder Atemzugvolumen
- bei körperlicher Anstrengung
- Lungen und Herzerkrankungen
- bei Fieber
- Fehlmessung

## Ursache für ein zu niedriges etCO<sub>2</sub>

- Atemfrequenz oder Atemzugvolumen ist zu groß eingestellt
- Fehlmessung

Grundsätzlich ist es sinnvoll Änderungen der Respiratoreinstellung nur in einer speziellen Fachklinik vorzunehmen. Änderungen der Respiratoreinstellungen im außerklinischen Bereich nur in enger Absprache und unter Vorlage eines Therapieplanes einer zuständigen Fachklinik oder niedergelassenen Facharztes vornehmen. Änderungen werden nur von autorisiertem speziell geschultem Fachpersonal vornehmen. Änderungen der Respiratoreinstellungen im außerklinischen Bereich sind nur selten sinnvoll und notwendig. Der Wechsel des Respiratortyps (nicht eines gleichen identischen Respirators) muss in der Klinik erfolgen. Die Sauerstoffgabe erfolgt nach Anordnung.

## 4. Die außerklinische Beatmung

### 4.1 Verschiedene Formen der außerklinischen Beatmung

Bei der außerklinischen Beatmung wird grundsätzlich unterschieden, ob der Patient nur intermittierend oder kontinuierlich beatmet wird. Meist handelt es sich um eine intermittierende Beatmung via Maske. Die klassische Indikation ist das s. g. Schlafapnoesyndrom. Die Patienten können die Maskenbeatmung oftmals selbständig durchführen. Diese Form der intermittierenden Selbstbeatmung (ISB) via Maske wird als nichtinvasive Beatmung bezeichnet. Bei der kontinuierlichen Beatmung wird der Patient meist invasiv über ein chirurgisch angelegtes Tracheostoma beatmet. Diese Form wird auch als invasive Beatmung bezeichnet.

### 4.2 Unterschiede und Anwendungsindikationen von Respiratoren

#### Intensivrespiratoren

Dies sind modernste mikroprozessorgesteuerte Respiratoren, welche über eine Vielzahl von Beatmungsformen verfügen. Die Respiratoren verfügen über eine Vielzahl von Messparametern, versch. Diagrammen, Optionen zur automatischen Tubuskompensation, darstellen von P/V Loop und vieles mehr. Für den Betrieb ist ein Sauerstoff- und Druckluftanschluss notwendig. Zukünftig könnte eine Turbine den Druckluftanschluss ersetzen.

#### Respiratoren für die außerklinische Beatmung

Respiratoren für die außerklinische Beatmung benötigen keinen Sauerstoff- und Druckluftanschluss, sondern beziehen die benötigte Atemluft über eine integrierte Turbine. Die Sauerstoffkonzentration kann am Respirator direkt nicht verändert werden und beträgt 21%. Über einen Adapter oder einen separaten Anschluss für O<sub>2</sub> kann die Sauerstoffkonzentration erhöht werden. Patienten welche über ein Tracheostoma beatmet werden, werden i.d.R. auf ein Ventilsystem oder alternativ Zwei-Schlauchsystem eingestellt. Separat kann zur Befeuchtung ein Atemgasbefeuchter angeschlossen werden (z.B. Fa. Humicare Fa Gründler/Resmed, MR850 Fa f&p, Fa Wilamed PMH5000)

Respiratoren für die nichtinvasive Beatmung sind speziell auf Maskenbeatmung ausgelegt sind häufig noch kleiner und handlicher als die Respiratoren für Beatmung über Tracheostoma. Sie verfügen über die Beatmungsformen CPAP, PSV und PCV/BiLevel. Leckagesysteme eignen sich hierfür i.d.R. am besten. Atemgasbefeuchter lassen sich direkt an den Respirator anschließen. Diese sind ebenfalls klein und handlich.

### 4.3 Indikationen zur außerklinischen Beatmung

nichtinvasive Selbstbeatmung (ISB) meist via Maske	intermittierende Beatmung via Tracheostoma	kontinuierliche Beatmung via Tracheostoma
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Schlafapnoe</li><li>▪ chronisch respiratorische Insuffizienz (COPD)</li><li>▪ Ein-/beidseitige Phrenikusparese</li><li>▪ schwere Thoraxwanddeformitäten (z.B. Kyphoskoliose)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ chronisch respiratorische Insuffizienz (COPD)</li><li>▪ amyotrophe Lateralsklerose</li><li>▪ Myasthenia Gravis</li><li>▪ beidseitige Phrenikusparese</li><li>▪ schwere Thoraxwand-deformitäten (z.B. Kyphoskoliose)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>▪ hoher Querschnitt</li><li>▪ chronisch respiratorische Insuffizienz (COPD)</li><li>▪ amyotrophe Lateralsklerose</li><li>▪ Myasthenia Gravis</li><li>▪ Nach Langzeitbeatmung im Rahmen einer gescheiterten Entwöhnung</li></ul>

Tab. 4

Das Wirkprinzip der intermittierenden Beatmung bzw. Selbstbeatmung liegt darin, dass durch Entlastung der Atempumpe, die sich immer wieder erschöpfende Atemmuskulatur erholen kann. Die Energiespeicher (Glycogenspeicher) werden durch eine intermittierende komplette Ruhigstellung der Atemmuskulatur wieder aufgefüllt.

Bei der Schlafapnoe geht es darum, während dem Schlaf die Atemwege durch einen CPAP -Druck freizuhalten. Somit wird verhindert, dass der Zungengrund die Atemwege intermittierend verlegt, es dadurch zu erhöhten CO<sub>2</sub>-Werten kommt und der Patient keinen erholsamen Schlaf findet.

## 4.4 Masken und Systeme

### 4.4.1 Vollgesichtsmasken - full face mask

#### Non vented Masken

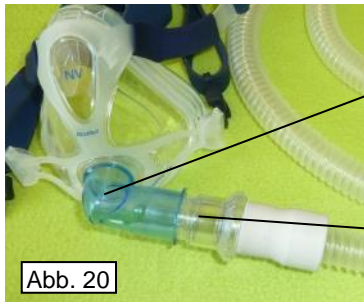


Abb. 20

**Blaues Kniestück** → non vented mask  
Anwendung mit Leckagesystem,  
bedingt mit Ventil- und  
Doppelschlauchsystem geeignet!

Whisper Swivel - Silentflow

full face mask (ffm) – non vented (NV)  
System mit Wisper Swivel (Leckage)  
Exemplarisch Quattro FX Fa Resmed



Abb. 21

full face mask (ffm) – non vented (NV)  
System mit Whisper Swivel (Leckage)  
Exemplarisch Cirri Fa Hofrichter

#### Vented – CPAP Masken



Abb.22

Leckage und Notatemventil im Kniestück  
integriert  
Anwendung mit dichtem Einschlauchsystem,  
**nicht** geeignet für Ventil- und  
Zweischlauchsystem

Leckage

Notatemventil

Full face mask (vented-CPAP Version mit  
Notatemventil) Exemplarisch Cirri Fa Hofrichter



Abb. 23

Leckage

Full face mask (vented-CPAP Version) mit  
Notatemventil, Exemplarisch Quattro FX Fa Resmed

### 4.4.2 Vollgesichtsschalen – total face mask



Abb. 24

**Orangenes Kniestück** → vented CPAP mit  
Notatemventil  
Anwendung mit geschlossenem  
Einschlauchsystem, nicht geeignet mit Ventil-  
und Doppelschlauchsystem. Kniestücke sind  
austauschbar.

**Blaues Kniestück** → non vented  
Anwendung mit Leckagesystem, bedingt  
geeignet mit Ventil- und Doppel-  
schlauchsystem

Total face mask Fa Respronics  
(NV-non vented-komplett dicht)

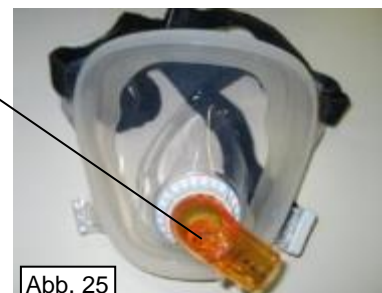


Abb. 25

Total face mask Fa Respronics  
(vented CPAP-integrierte Leckage  
und Notatemventil)

## 4.4.3 Beatmungssysteme



Abb. 26

Doppelschlauchsystem, Beatmung über Tracheostoma, für Maskenbeatmung mit non vented Masken (NV) bedingt geeignet

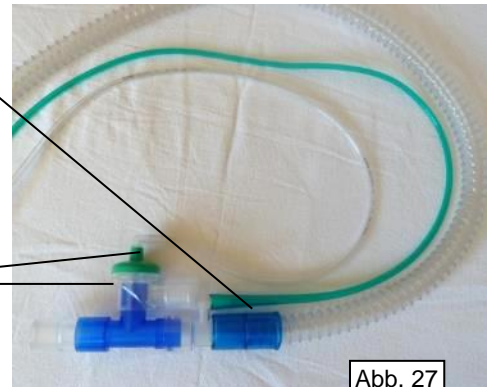


Abb. 27

Ventilsystem für Beatmung über Tracheostoma mit non vented Masken (NV) bedingt geeignet

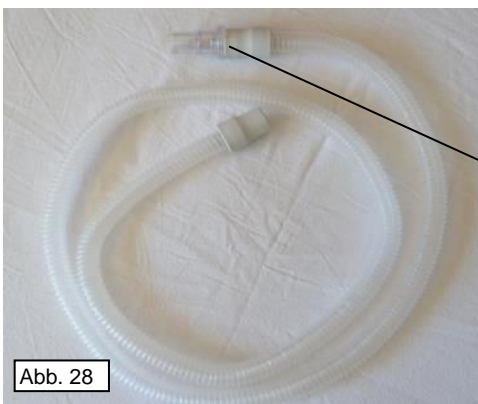


Abb. 28

Leckage / Whisper Swivel

Leckagesystem für Maskenbeatmung mit non vented Masken (NV)

## 5. Prinzipien der Beatmung über Tracheostoma

### 5.1 Voraussetzungen für die außerklinische Beatmung

Bei Verlegung nach Hause bedarf es noch viel mehr als die Unterbringung in einer stationären Einrichtung guter und frühzeitiger Vorbereitung. Bei stationären Einrichtungen muss darauf geachtet werden, dass die Einrichtung für beatmete Patienten eingerichtet ist und über qualifiziertes Personal verfügt. Zu Hause hingegen bedarf es Vorbereitungen welche mitunter viel Zeit in Anspruch nehmen können wie z.B. rollstuhlgerechte Wohnung. Um ein Scheitern der häuslichen Versorgung zu vermeiden ist eine intensive und ehrliche Aufklärung der Angehörigen und des Patienten unabdingbar. Geklärt muss auch die Frage wie viel können und wollen die Angehörigen bei der Versorgung bzw. Pflege des Patienten übernehmen, und wie viel unterstützt der Pflegedienst. Anfänglich erfolgt oft eine 24 h Betreuung durch den Pflegedienst, welche dann u. U. reduziert werden kann. Insgesamt bedarf es eines guten Überleitungsmanagements bei den folgenden Voraussetzungen berücksichtigt werden müssen.

#### Allgemein:

- guter und enger Informationskontakt zw. Klinik, Hausarzt, Patient und Angehörigen
- Auswahl und Einbeziehung eines ambulanten Pflegedienstes welcher kompetent und qualifiziert beatmete Patienten betreuen kann
- Anleitung der Angehörigen z.B. beim endotrachealen Absaugen, Umgang mit Respirator usw.
- Geeignete Wohnräume wie z.B. rollstuhlgerechter Wohnungseingang, ausreichend breite Türen. Bad- und Toiletteneinrichtung

### spezielles Equipment:

- Respirator; in doppelter Ausführung
- Absaugvorrichtung
- Pulsoxymeter und evtl. Kapnometer
- Gesicherte Stromversorgung: Akkus, selten Notstromaggregat
- Atemgasklimatisierung: HME oder akt. Befeuchtung
- evtl. Sauerstoff: O<sub>2</sub>-Konzentrator oder alternativ O<sub>2</sub> Flasche
- Beatmungsbeutel mit Maske
- mit Absaugkatheter
- Trachealkanülen mit Einführhilfen

### Medizinische Kriterien zur Verlegung:

- stabile arterielle Blutgasanalyse; FiO<sub>2</sub> < 0,4, pH 7,35-7,45
- stabile Resistanz und Compliance
- stabile Herz-Kreislaufsituation
- stabile Stoffwechsellage
- stabile Beatmungssituation und feste Beatmungsparameter; PEEP ≤ 7 mbar, I:E 1:1,5-1:2,5
- plastisch angelegtes Tracheostoma

## 5.2 Ausstattung in der außerklinischen Beatmung

### Monitoring:

- Pulsoxymetrie
- SpO<sub>2</sub>
- Kapnometrie

### Absaugung

- Absaugkatheter



Beatmungsbeutel  
Beatmungsmaske

Respirator  
- Cuffdruckmesser  
- Stethoskop  
- Atemgasklimatisierung

O<sub>2</sub> Flasche  
O<sub>2</sub> Konzentrator

Abb. 29



---

## 6. Klassifizierung und Steuerung der Beatmungsformen

Nach wie vor hat sich bis heute keine einheitliche Klassifizierung der unterschiedlichen Steuerung von Respiratoren und Beatmungsformen durchgesetzt. Erschwerend kommt hinzu, dass für nahezu identische Beatmungsverfahren immer neue firmenspezifischen Begrifflichkeiten verwendet werden. So wurde die Zahl der verschiedenen Beatmungsformen nahezu unüberschaubar.

Die folgende Einteilung der Beatmungsformen orientiert sich am Atemtyp der Beatmungsformen und der Steuerung der Respiratoren.

### 6.1 Atemtyp

Der Atemtyp unterscheidet, nach welchem Kriterium die Inspiration ausgelöst wird. Die Inspiration kann durch den Respirator, den Patienten oder abwechselnd von beiden ausgelöst werden.

#### 1. mandatorische Beatmung (kontrollierte Beatmung)

AC - *assist/controlled*

CMV - *controlled mandatory ventilation*

IPPV- *intermittent positive pressure ventilation*

Die Inspiration wird durch den Respirator ausgelöst. Der Patient wird kontrolliert beatmet und erbringt selbst keine Atemarbeit.

#### 2. assistierte Beatmung (augmentierte Beatmung)

SIMV - *synchronized intermittent mandatory ventilation*

BiLevel

BiPAP - *biphasic positiv airway pressure*

Die Atemarbeit wird zum Teil vom Respirator und vom Patienten erbracht. Durch den eingestellten Trigger kann der Patient zwischen den kontrollierten Atemhüben (auf dem CPAP-Niveau) mit einem Pressure Support spontan atmen.

#### 3. druckunterstützte Beatmung

ASB - *assisted spontaneous breathing*

PSV - *pressure support ventilation*

Hierbei werden die Einatembemühungen des Patienten durch den Respirator mit einem Pressure Support (PS) unterstützt.

#### 4. Spontanatmung - SPN

CPAP - *continuous positiv airway pressure*

Bei reiner Spontanatmung wird die Atemarbeit ausschließlich vom Patienten erbracht. Der Respirator hält nur noch ein PEEP Niveau aufrecht. Der Patient erhält keine Druckunterstützung in Form eines Pressure Support.

#### Kontrolle der Inspiration (volumenkontrollierte und druckkontrollierte Beatmung)

Die Kontrolle der Inspiration beschreibt, nach welchem Kriterium die Inspiration aufrechterhalten wird. Die Variable kann Druck, Volumen, Flow oder Zeit sein. Bei der druckkontrollierten Beatmung ist die Kontrollvariable der Druck. Bei volumenkontrollierter Beatmung ist die Kontrollvariable Volumen und Flow. Die mandatorischen und assistierten Beatmungsformen sind als druckkontrollierte oder volumenkontrollierte Beatmungsformen verfügbar. Die Volumenkontrollierte Beatmung kann auch druckreguliert sein.

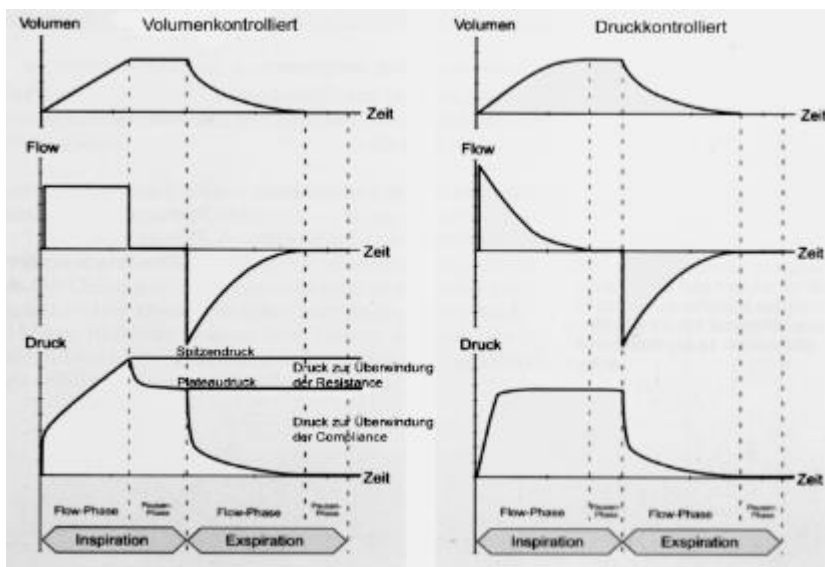


Abb. 30 Volumen-, Flow- und Druckdiagramm bei volumenkontrollierter und druckkontrollierter Beatmung

## 6.2 Steuerung

Die Steuerung bestimmt, nach welchem Kriterium die Inspiration beendet wird und die Expiration eingeleitet wird. Ein Beatmungszyklus umfasst den Beginn einer Inspiration bis zum Ende der darauffolgenden Expiration.

**Folgende Steuerungen sind möglich:**

### 1. Drucksteuerung

Bei der Drucksteuerung wird die Inspiration bei Erreichen eines vorgewählten Drucks beendet. Früher wurde die Drucksteuerung häufiger verwendet, um eine maschinelle Inspiration zu beenden. Heute wird die druckgesteuerte Beatmung fast nur noch für die Atemtherapie (Druckinhalation) eingesetzt.

### 2. Flowsteuerung

Die Umschaltung von Inspiration auf Expiration erfolgt bei Erreichen bzw. Über- oder Unterschreiten eines bestimmten Gasflusses. Diese Steuerungsform findet bei druckunterstützten spontanen Beatmungsformen (PSV) Anwendung. Die Umschaltung auf Expiration erfolgt, wenn der Atemgasfluss nur noch 25% des inspiratorischen Spitzenflusses beträgt. Die Grundeinstellung ist beim Erwachsenen in der Regel auf 25% eingestellt.

### 3. Volumensteuerung

Bei der Volumensteuerung schaltet der Respirator ohne inspiratorische Pause auf Expiration um, wenn ein vorgewähltes Volumen verabreicht worden ist. Früher wurde diese Steuerungsform bei vielen volumenkontrollierten Beatmungsformen angewendet. Die Inspiration kann nur durch folgende Einstellungen verlängert werden:

- Erhöhung des Atemzugvolumens
- Reduzierung der Atemgasflussgeschwindigkeit
- Von konstantem zu dezelerierendem Flow wechseln
- Einstellen einer Plateauzeit

### 4. Zeitsteuerung

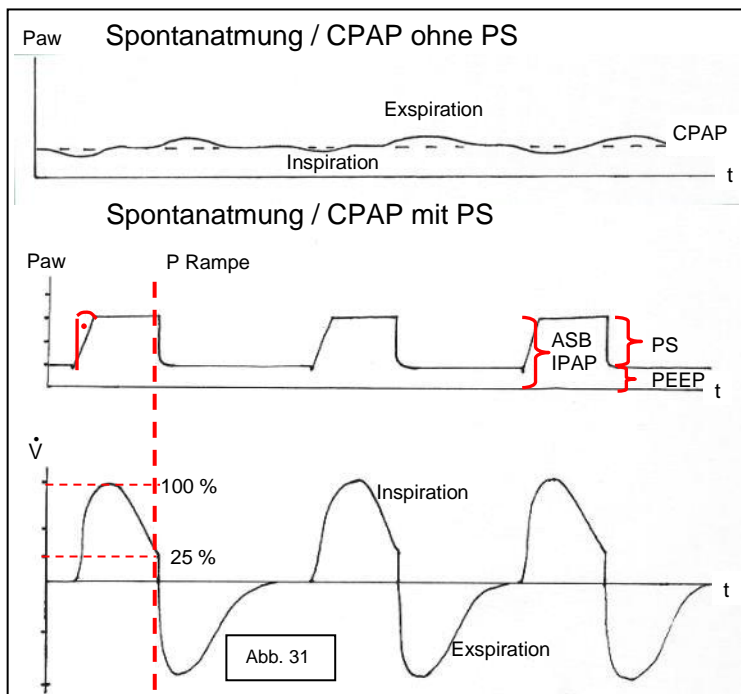
Die Umschaltung von Inspiration zu Expiration erfolgt in festen Zeitabständen. Bei der kontrollierten oder assistierten Beatmung wird die Inspirationszeit entweder direkt eingestellt oder sie ergibt sich aus der Atemfrequenz und dem Inspirations- Expirations- Verhältnis. Die Zeitsteuerung wird derzeit bei den meisten neueren Respiratoren angewendet.

## 6.3 Spontane Beatmungsverfahren – SPN - PSV

CPAP, PSV, S/T, spont, ASB, VS

Der spontane Atemgasspitzenfluss bei ruhiger Atmung beträgt ca. 50 - 80 l/min. Bei angestrenzter Atmung oder Belastung kann die Flussgeschwindigkeit auch auf über 100 l/min ansteigen. Die Flowform entspricht einem sinusförmigen Verlauf. Die Spontanatmung ohne jegliche Druckunterstützung ist in jedem Fall sehr variabel. Atemfrequenz, Atemtiefe, Einatmungsdauer und Flussgeschwindigkeit des Atemgases bestimmt alleine der Patient.

Durch das spontane Atmen mit Atemhilfen sollte die physiologische Atmung unterstützt und die Atemarbeit verringert, aber nicht durch z.B. träge reagierende Ventile beeinträchtigt werden. Um eine spontane Beatmungsform anzuwenden, muss der Patient über einen eigenen Atemtrieb verfügen. Die Einatembemühungen vom Patienten werden durch eine sog. inspiratorische Druckunterstützung (Pressure Support - PS) unterstützt. Das Einatmen wird dadurch für den Patienten leichter, weil ein Teil der Atemarbeit durch den Respirator erbracht wird. Durch Erhöhen der Druckunterstützung nimmt das Atemzugvolumen des Patienten zu. Die Druckunterstützung wird durch den sog. „Trigger“ aktiviert. Durch den Trigger erkennt der Respirator kleinste Einatembemühungen des Patienten. Sobald die Triggerschwelle erreicht ist, reagiert der Respirator mit der Öffnung des Inspirationsventils. Man unterscheidet einen Flow- und einen Drucktrigger. Der Flowtrigger reagiert auf kleinste Flussbewegungen des Atemgases und der Drucktrigger auf negative Druckveränderungen (bei neueren Respiratoren ausgehend vom PEEP-Niveau). Der Flowtrigger ist sensibler und wenn möglich dem Drucktrigger vorzuziehen. Die Triggerschwelle ist beim Flowtrigger meist zwischen 1-15 l/min veränderbar. Eine Triggerschwelle von 1 l/min ist am sensibelsten. Normalerweise erfolgt eine Einstellung zwischen 3-5 l/min. Niedrigere Werte sind nicht uneingeschränkt zu empfehlen, weil die Gefahr einer Selbsttriggerung nicht auszuschließen ist. Unter Triggerlatenzzeit versteht man die zeitliche Verzögerung zwischen dem Beginn der Einatembemühung und dem Öffnen des Inspirationsventils. Durch eine geringe Triggerlatenzzeit wird die Atemarbeit verringert.



nur noch 25% des inspiratorischen Spitzenwertes beträgt, wird die Druckunterstützung abgeschaltet. Bei den meisten Patienten entspricht dieser Wert von 25% einem guten Mittelwert. Bei vielen Heimbeatmungsrespiratoren kann durch Veränderung des sog. ETS (Expiratorische Trigger Sensitivität) zwischen 10-90% (oder alternativ 1-9) die maschinelle Druckunterstützung besser an die Spontanatmung des Patienten angepasst werden. Dadurch kann u. U. die Atemarbeit des Patienten sinken. Bei einer Einstellung von bspw. 10% wird der inspiratorische Atemgasfluss länger aufrechterhalten. Die Inspirationsphase wird länger, das AZV nimmt zu. Jeder Respiratorhersteller verwendet für den expiratorischen Trigger wie auch für andere Funktionen seine eigenen Einstellbereiche. Bei nicht-invasiver Beatmung kann der expiratorische Trigger bedingt durch Leckagen nicht immer zuverlässig gesteuert werden, deshalb kann häufig zusätzlich eine minimale und maximale Inspirationszeit vorgegeben werden.

Bei nicht-invasiven und Heimbeatmungs-Respiratoren ist meist üblich, dass auch bei PSV eine Atemfrequenz (AF) eingestellt werden kann. Sinkt die spontane AF unter die eingestellte AF, so übernimmt der Respirator die Beatmung. PSV ist somit nicht mehr patientengetriggert, sondern respiratorgetriggert.

Optional kann bei versch. Respiratoren ein Ziel-/Mindesvolumen (TgV) eingegeben werden. Siehe näheres unter PCV.

## Wesentliche Einstellparameter sind:

Druckunterstützung (Pressure Support), IPAP, Trigger, Druck-/Anstieg, Atemfrequenz, obere Druckgrenze, Alarmparameter und Apnoe-Zeit/Ventilation und evtl. Ziel / Mindestvolumen und  $\text{FiO}_2$ .

### 6.3.1 Druckanstiegsgeschwindigkeit

*Flowanstieg, P-Rampe, Flowakzeleration*

Die Druckanstiegsgeschwindigkeit reguliert die Druckanstiegszeit der Druckunterstützung. Die eingestellte Druckunterstützung wird durch einen langsamen Druckanstieg nicht sofort auf sein Maximum ansteigen, sondern je nach Einstellung mehr oder weniger verzögert. Durch eine leichte Verzögerung von 0.05 - 0.2 Sekunden fließt das Atemgas homogener zum Patienten und die Luftverwirbelungen, die zu Beginn der Inspiration durch einen plötzlichen Druckwechsel im Beatmungssystem verursacht werden, können reduziert werden. Ein leicht verzögerter Druckanstieg ermöglicht dem Patienten ein angenehmeres Atmen, weil die Druckunterstützung nicht ruckartig aktiviert wird.

Ein Druckanstieg von über einer Sekunde erschwert das Atmen des Patienten, weil die Druckunterstützung viel zu langsam aktiviert wird. Die Folge ist eine erhöhte Atemarbeit. Die Druckanstiegsgeschwindigkeit kann bei den meisten Respiratoren verändert werden.

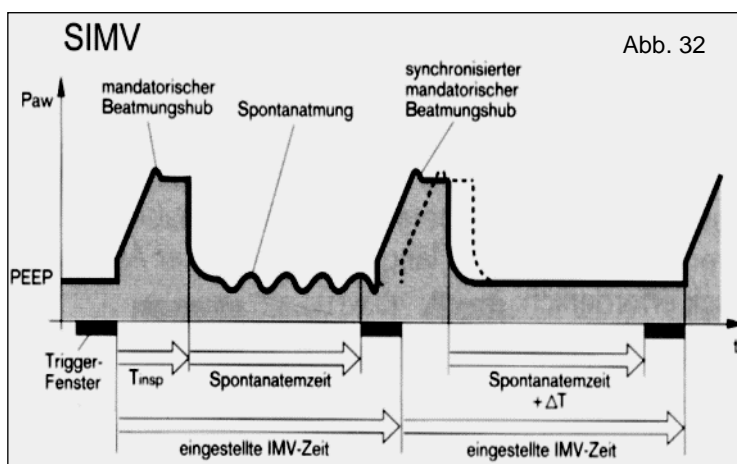
### 6.3.2 Atemwegwiderstand beim Beatmungspatienten

Der Endotrachealtubus aber auch eine Trachealkanüle bei Patienten in der außerklinischen Beatmung ist der Ort mit dem größten Widerstand. Vor allem bei der Spontanatmung kann dieser ein großes Problem darstellen. Die Atemarbeit nimmt stark zu und dadurch wird das Einatmen des Patienten erschwert. Die Hinzunahme einer Druckunterstützung kann diesen Widerstand zum Teil kompensieren. Eine zu große Druckunterstützung kann jedoch die Atemarbeit des Patienten sogar erhöhen, da der Patient am Ende der Inspiration Atemarbeit leisten muss, um der Druckunterstützung entgegenzuwirken damit die Expiration eingeleitet wird.

Der Widerstand des Endotrachealtubus nimmt proportional zur Flussgeschwindigkeit des Atemgases zu; d.h. je schneller der Fluss des Atemgases desto größer der Widerstand. Es entsteht eine Druckdifferenz zwischen Anfang und Ende des Tubus. Demzufolge müsste die Druckunterstützung bei einer hohen Flussgeschwindigkeit größer sein als bei einer langsamen Flussgeschwindigkeit. Moderne Intensivrespiratoren bieten als Zusatzoption eine automatische Tubuskompensation.

## 6.4 Volumenkontrollierte Beatmung - VCV

*A/C, IPPV, CMV, SIMV, VCV und MMV*



Die volumenkontrollierte Beatmung zeichnet sich durch ein vorgegebenes Atemhubvolumen aus. Durch eine entsprechende Atemfrequenz, die ebenfalls vom Anwender vorgegeben wird, ist ein konstantes Mindestminutenvolumen gewährleistet. Bei der assistierten Beatmungsform SIMV beispielsweise kann der Patient in der Expirationsphase spontan atmen. Kurz vor Beginn eines mandatorischen Atemzuges kann der Patient im sog. Zeitfenster diesen Atemhub triggern. Dadurch wird dieser zeitlich etwas vorgezogen und synchron mit den

Atembemühungen des Patienten verabreicht. Ein mandatorischer Atemhub ist vom Respirator getriggert und vom Anwender durch die eingestellte Atemfrequenz vorgegeben.

Ein assistierter Atemzug ist vom Patienten getriggert und ist in seiner verabreichten Form ebenfalls vom Anwender vorgegeben.

Ein spontaner Atemzug ist vom Patienten getriggert und in seiner verabreichten Form vom Patienten beeinflussbar.

Bei der kontrollierten Beatmung (A/C, CMV und IPPV) hat der Patient lediglich die Möglichkeit einen Atemhub zu triggern. Der Zusatz (S)IPPV oder (A)VCV zeigt die aktivierte Triggerfunktion. Der getriggerte Atemhub ist vom Patienten in seiner Form nicht beeinflussbar. Durch das Einstellen einer Drucklimitierung oder eines dezelerierenden Flowmusters können Spitzendrücke reduziert werden.

**Wesentliche Einstellparameter sind:**

FiO<sub>2</sub>, Atemzugvolumen, Atemfrequenz, PEEP, Inspirationszeit oder I:E Verhältnis, Atemgasflussgeschwindigkeit, Druckunterstützung (PS), Trigger, Druckanstieg, obere Druckgrenze Alarmparameter und Apnoe-zeit/ventilation

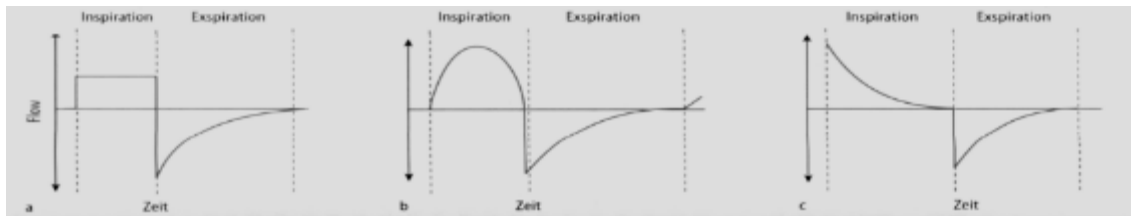


Abb. 33: Schematische Darstellung von: a) konstantem Flow b) sinusförmigem Flow c) dezeleriertem Flow

**6.5 Druckkontrollierte Beatmung - PCV**

(A)PCV, BiLevel, BiPAP, BIPAP, DuoPAP, BiVent, PCV<sub>ASS</sub>, P-SIMV

Bei der druckkontrollierten Beatmung wird ein fester Inspirationsdruck vorgegeben. Dieser wird während der gesamten Inspiration konstant gehalten bis nach entsprechender Zeit die Exspiration eingeleitet wird.

Das Atemhubvolumen hängt vor allem von der Druckdifferenz zwischen PEEP (CPAP/EPAP) und oberem Druckniveau (P<sub>insp</sub>, IPAP) der Compliance und der Resistance der Lunge ab. Demzufolge ist das Atemzugvolumen (AZV) inkonstant. Das Mit- oder Gegenatmen des Patienten auf dem oberen Druckniveau ist bei moderner Gerätetechnik meist möglich. Die sog. „freie Durchatembarkeit“ bietet insbesondere bei invasiv beatmeten Patienten auf der Intensivstation einen deutlich besseren Komfort für den Patienten. BIPAP ist mit als erste Beatmungsform mit der sog. „freien Durchatembarkeit“ von der Firma Dräger entwickelt worden. Bei der Beatmungsform BiPAP der Firma Respirationics® handelt es sich um eine speziell für die nichtinvasive Beatmung (NIV) entwickelte Beatmungsform. Auch andere Respiratoren speziell für die NIV bieten durch die patientennahe Ausatemleckage (Whisper Swivel) einen hohen Spontanatemkomfort.

**Ziel/Mindestvolumen (TgV-target volume):**

Optional kann bei einigen Respiratoren bei PCV ein Ziel/Mindestvolumen eingegeben werden. Sobald dieses Volumen (AZV) unterschritten wird erhöht der Respirator den Inspirationsdruck, so dass dieses Zielvolumen erreicht wird. Der Inspirationsdruck wird bis zu einem vom Anwender vorgegebenen Maximaldruck erhöht bzw. vorgegebenem Minimaldruck reduziert. Diese Option bietet in der außerklinischen Beatmung die Sicherstellung eines Mindestvolumens. Das Zielvolumen ist i.d.R bei PCV und PSV einstellbar. Der Respirator kann in vorgegebenen Grenzen den IPAP anpassen um das Atemzugvolumen weitestgehend konstant zu halten.

**Wesentliche Einstellparameter sind:**

oberes Druckniveau (P<sub>insp</sub>/IPAP), Atemfrequenz, PEEP/EPAP, T<sub>insp</sub> / Inspirationszeit oder I:E Verhältnis, Druckunterstützung (Pressure Support), Trigger, Rampe / Druck-/Anstieg, Alarmparameter und Apnoe-Zeit/Ventilation und evtl. Ziel / Mindestvolumen.

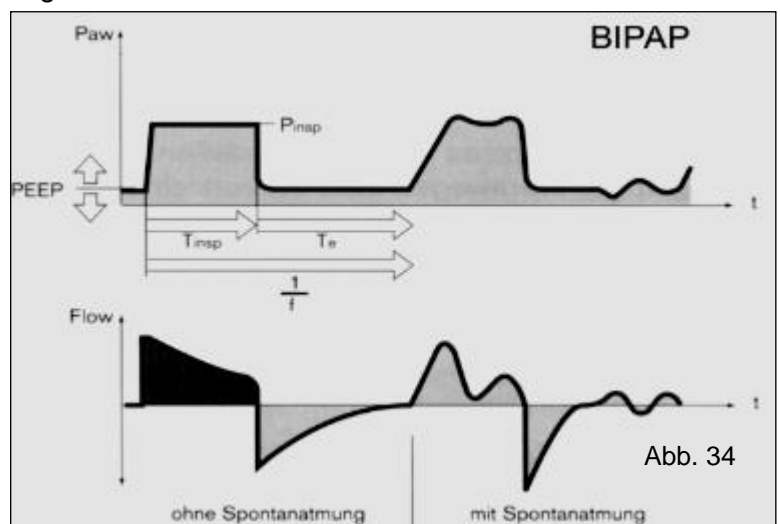


Abb. 34

## 7. Respiratorisches Alarm- und Notfallmanagement

### Regel 1:

Bei Auftreten eines Alarms - ganz egal welcher Art - muss der erste Blick immer zum Patienten gehen, um zu überprüfen ob die Beatmung sichergestellt ist. Wenn die Beatmung nicht mehr sichergestellt ist, und die Ursache nicht unmittelbar behoben werden kann, muss der Patient mit dem Beatmungsbeutel beatmet werden bis die Ursache behoben ist.

### Regel 2:

Grundsätzlich ist es sinnvoll Änderungen der Respiratoreinstellung nur in einer speziellen Fachklinik vorzunehmen. Änderungen der Respiratoreinstellungen im außerklinischen Bereich nur in enger Absprache und unter Vorlage eines Therapieplanes einer zuständigen Fachklinik oder niedergelassenen Facharztes vornehmen. Änderungen werden nur von autorisiertem speziell geschultem Fachpersonal vornehmen. Änderungen der Respiratoreinstellungen im außerklinischen Bereich sind nur selten sinnvoll und notwendig. Der Wechsel des Respiratortyps (nicht eines gleichen identischen Respirators) muss in der Klinik erfolgen. Die Sauerstoffgabe erfolgt nach Anordnung.

### 7.1 Alarm „Druckuntergrenze / Atemwegsdruck tief / Diskonnektion / Leckage hoch“

- Mögliche Ursachen sind:
- Diskonnektion der Beatmungsschläuche
  - Undichtigkeit des Beatmungssystem
  - Cuff der TK oder Maske undicht
  - Trachealkanüle ist herausgerutscht
  - Der Alarm „Druckuntergrenze“ oder „Leckage hoch“ ist nicht korrekt eingestellt

#### Management bei Alarmzustand

- Reihenfolge der Vorgehensweise:
- Beobachtung und Sicherstellung der Atmung des Patienten ggf. Patienten an Beatmungsbeutel nehmen
  - Lagekontrolle der Trachealkanüle und Cuffdruckkontrolle
  - Beatmungssystem auf Diskonnektion überprüfen
  - Kontrolle, ob ein Beatmungsdruck aufgebaut wird
  - Kontrolle des Alarmparameters „Druckuntergrenze/Leckage“
  - ggf. Beatmungssystem wechseln

#### Nähere Erklärung zum Management

Findet sich bei der Beobachtung der Atmung des Patienten eine herausgerutschte Trachealkanüle siehe unter „Fehllage der Trachealkanüle“. Wenn trotz korrekter Lage der Trachealkanüle und keiner erkennbaren Diskonnektion keine ausreichende Beatmung gewährleistet werden kann, muss der Patient unverzüglich vom Beatmungsgerät getrennt und mit dem Beatmungsbeutel weiterbeatmet werden. Bei Auftreten des Alarms „Druckuntergrenze“ kann anhand der Beatmungsdruckanzeige am Beatmungsgerät festgestellt werden, ob während der Einatmung ein Beatmungsdruck aufgebaut wird. Wenn kein Beatmungsdruck aufgebaut wird, liegt diesem Alarm oft eine Diskonnektion des Beatmungssystems zugrunde. Wenn keine Diskonnektion gefunden werden kann, sollte bei Beatmungsgeräten bei denen die „untere Druckgrenze“ noch manuell eingestellt werden muss zusätzlich überprüft werden, ob der Alarm „Druckuntergrenze/Leckage hoch“ korrekt eingestellt ist. Eventuell kann der Patient auch für kurze Zeit am Beatmungsbeutel oder der feuchten Nase spontan atmen. Bei ausgeprägter Atemnot an die Zugabe von 3-5 l/min Sauerstoff und die Überwachung der SpO<sub>2</sub> denken. Wenn der Patient sich nicht ausreichend mit dem Beatmungsbeutel beatmen lässt, liegt vermutlich ein Problem mit der Trachealkanüle vor. Siehe unter „Fehllage der Trachealkanüle“.

---

## Der Alarmparameter „Druckuntergrenze“

Der Alarmparameter „Druckuntergrenze“ ist bei manchen Respiratoren automatisch eingestellt und kann nicht verändert werden. Bei anderen Respiratoren wiederum ist die „Druckuntergrenze“ z.B. bei 8mbar eingestellt. Integriert ist eine Alarmverzögerung von z. B. 15 Sekunden, um zu vermeiden, dass das Beatmungsgerät in jeder Ausatmung Alarm gibt, da der Druck während der Ausatmung meist unterhalb von 8mbar eingestellt ist. Der Druck in der Ausatmung entspricht der PEEP-Einstellung. Bei Undichtigkeiten des Cuff kann der Ausatemdruck nicht gehalten werden und es kann der Alarm „Druckuntergrenze“ auftreten.

## 7.2 Alarm „Beatmungsdruckobergrenze / Atemwegsdruck hoch“ → in der Regel bei VCV

Mögliche Ursachen sind:

- Verlegung der Atemwege oder Trachealkanüle mit Trachealsekret
- Fehllage der Trachealkanüle
- Beatmungsschlauchsystem ist abgeknickt
- Beatmungsprobleme des Patienten (pressen gegen den Respirator)
- Ausatemventil ist blockiert

### Management bei Alarmzustand

Reihenfolge der Vorgehensweise:

- Beobachtung und Sicherstellung der Atmung des Patienten
- Lagekontrolle der Trachealkanüle
- Beatmungsschläuche auf Abknickungen überprüfen
- Eventuell vorhandenes Trachealsekret absaugen
- ggf. Beatmungssystem wechseln

### Nähere Erklärungen zum Management

Wenn die Beatmung beim Patienten nicht sichergestellt werden kann, den Patienten an den Beatmungsbeutel nehmen. Bei schwieriger Beatmung mit dem Beatmungsbeutel kann eine Fehllage der Trachealkanüle die Ursache sein. Siehe „Fehllage der Trachealkanüle“. Häufige Ursachen dieses Alarms sind ein abgeknickter Beatmungsschlauch, ein Hustenreiz des Patienten oder dass der Patient gegen den Respirator atmet bzw. den Thorax anspannt. Der Hustenreiz oder das Anspannen des Thorax kann durch Sekret verursacht werden. Durch Sekretansammlung in der Lunge kann der Beatmungsdruck steigen. Auch die Lage des Patienten hat Auswirkungen auf den Beatmungsdruck. Der Beatmungsdruck ist in 30-45° Oberkörperhochlagerung geringer als in flacher Rückenlage. Durch einen bronchialen Infekt kann sich die Compliance (Dehnbarkeit) der Lunge erniedrigen und die Resistance (Widerstand) der Lunge erhöhen.

### Die Alarmgrenze „Beatmungsdruckobergrenze / Atemwegsdruck hoch“

Die obere Beatmungsdruckgrenze wird meist auf 35mbar eingestellt. Bei Erreichen dieser Grenze wird die Einatmung sofort beendet, um die Lunge vor Überdruck zu schützen. Wenn dieser Zustand über mehrere Atemzüge anhält, kann das Atemminutenvolumen des Patienten stark abfallen.

## 7.3 Alarm „Atemzugvolumen tief / MV tief“ → in der Regel bei PCV

Mögliche Ursachen sind:

- Verlegung der Atemwege, Trachealkanüle oder HME-Filter mit Trachealsekret
- Fehllage der Trachealkanüle
- Beatmungsschlauchsystem ist abgeknickt
- Beatmungsprobleme des Patienten (pressen gegen den Respirator)
- Lagerungsveränderungen des Patienten
- Leckage beim Doppelschlauchsystem

---

## Management bei Alarmzustand

- Reihenfolge der Vorgehensweise:
- Beobachtung und Sicherstellung der Atmung des Patienten
  - Lagekontrolle der Trachealkanüle
  - Beatmungsschläuche auf Abknickungen überprüfen
  - Eventuell vorhandenes Trachealsekret absaugen
  - ggf. HME-Filter wechseln

## Nähere Erklärungen zum Management

Wenn die Beatmung beim Patienten nicht sichergestellt werden kann, den Patienten an den Beatmungsbeutel nehmen. Bei schwieriger Beatmung mit dem Beatmungsbeutel kann eine Fehllage der Trachealkanüle die Ursache sein. Dann siehe „Fehllage der Trachealkanüle“. Häufige Ursachen dieses Alarms sind ein abgeknickter Beatmungsschlauch, ein Hustenreiz des Patienten oder dass der Patient gegen den Respiратор atmet bzw. den Thorax anspannt. Der Hustenreiz oder das Anspannen des Thorax kann durch Sekret verursacht werden. Durch Sekretansammlung in der Lunge kann das Atemzugvolumen (AZV) sinken. Auch die Körperposition hat Auswirkungen auf das AZV. Dieses ist i.d.R. in 30-45° Oberkörperhochlagerung größer als in flacher Rückenlage.

Leckagen durch z.B. undichten Cuff können beim Doppelschlauchsystem das in der Expiration gemessene Atemzugvolumen vermindern.

Durch eine Erkältung oder leichte Lungenentzündung ist die Lunge kurzfristig etwas weniger dehnbar und somit kann auch dann das Atemzugvolumen sinken.

Durch Erhöhen des Inspirationsdrucks in 1-2 mbar Schritten kann das Atemzugvolumen erhöht werden. Ein Inspirationsdruck von 30mbar sollte nicht überschritten werden. Alternativ kann auch die Atemfrequenz erhöht werden, um das Minutenvolumen zu steigern.

## 7.4 Alarm „Leckage tief“ oder „Rückatmung“

- Mögliche Ursachen sind:
- Verlegung/Stenosierung des Ausatemventils
  - Verlegung der gewollten Lage beim Leckagesystem
  - zu sensible Einstellung des Alarmparameters

## Management bei Alarmzustand

- Reihenfolge der Vorgehensweise:
- Beobachtung und Sicherstellung der Atmung des Patienten
  - Kontrolle der Funktion des Beatmungssystems, SilentFlow/Whisper Swivel und /oder Leckage der Maske
  - Korrektheit der Alarmfunktion überprüfen

## Nähere Erklärungen zum Management

Kommt es aufgrund von Blockierung des Ausatemventils oder Verringerung/Verklebung der Leckage des Leckagesystems oder der Ausatemöffnungen der Maske kann es zu Pendelluft im System kommen. Auch ein falscher Aufbau des Beatmungssystems/Anwendung kann zu diesem Alarm führen. Der Patient kann sein Kohlendioxid nicht mehr ausreichend abatmen. Es kann zu Atemnot des Patienten kommen. Parameter wie z.B. Atemzugvolumen und Beatmungsdruck können hierrunter stabil bleiben und führen nicht zu einem Alarm. Kristalle von Inhaltiva und Sekrete können die Leckageöffnungen von System oder Maske ebenfalls verringern.



## 7.5 Alarm „Atemfrequenz zu hoch“

Mögliche Ursachen sind:

- Erhöhter Atembedarf bei körperlicher Anstrengung oder Fieber
- Fehltriggerung durch zu sensible Triggereinstellung, Kondenswasser im System oder Leckage

### Management bei Alarmzustand

Reihenfolge der Vorgehensweise:

- Beobachtung und Sicherstellung der Atmung des Patienten
- Kontrolle der Funktion des Beatmungssystems,
- Korrektheit der Alarmfunktion überprüfen

### Nähere Erklärungen zum Management

Ein kurzfristiger Anstieg des Atembedarfs des Patienten beispielsweise bei Anstrengung kann toleriert werden, solange der Patient keine Atemnot verspürt. Durch Kondenswasser Pfützen können Druckschwankungen im System/Tubusverlängerung entstehen. Werden diese beseitigt sollten die Fehltriggerungen nicht mehr auftreten. Ein weiteres Problem können Leckagen oder auch eine zu sensible Triggereinstellung darstellen.

## 7.6 Fehllage der Trachealkanüle

Mögliche Ursachen sind:

- Trachealkanüle ist herausgerutscht
- liegt nicht richtig in der Luftröhre

### Management bei Alarmzustand

Reihenfolge der Vorgehensweise:

- Lagekontrolle der Trachealkanüle
- Trachealkanüle wieder richtig platzieren

### Nähere Erklärungen zum Management

Eine Fehllage der Trachealkanüle wird meist durch Herausrutschen verursacht. Das Beatmungsgerät erkennt dies und gibt dann Druckuntergrenze- oder Diskonnektionsalarm. Wenn die Trachealkanüle nicht mehr in der Luftröhre liegt, muss diese umgehend, aber vorsichtig wieder in der Luftröhre platziert werden, um die Beatmung des Patienten sicherzustellen. Wenn möglich, sollte aus hygienischen Gründen eine neue Trachealkanüle eingeführt werden.

Selten ist die Ursache einer Fehllage eine nicht korrekte Platzierung in der Luftröhre selbst. Dies ist meist dann der Fall, wenn eine neue Trachealkanüle eingeführt wurde und diese fälschlicherweise unter die Haut und nicht in die Luftröhre eingeführt wurde. Bei einem chirurgisch angelegten und gut verheilten Tracheostoma ist es kaum möglich, die Trachealkanüle beim Einführen in die Luftröhre falsch zu platzieren.

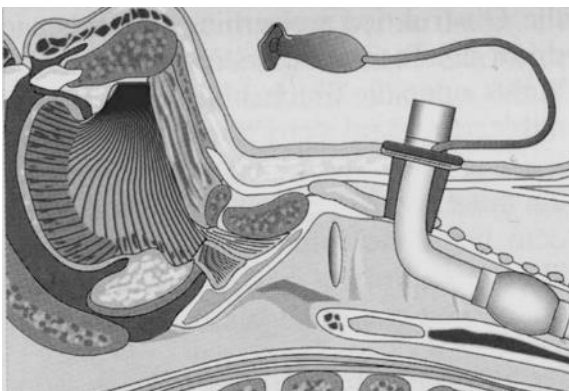
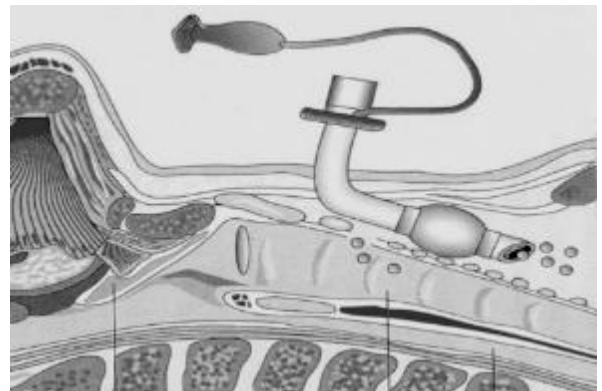


Abb. 35 Korrekt platzierte Trachealkanüle



Trachealkanüle liegt subcutan



## Exemplarische Übersichtstabelle der Sofortmaßnahmen bei respiratorischen Zwischenfällen unter maschineller Beatmung

Alarmzustand	Ursache	Maßnahmen
<b>Atemzugvolumen tief</b> <b>MV tief“</b> <b>i.d.R bei PCV</b>	Verlegung der Atemwege durch Trachealsekret	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beobachtung und Sicherstellung der Atmung des Patienten ggf. Patient an Beatmungsbeutel nehmen</li> <li>▪ Eventuell vorhandenes Trachealsekret absaugen</li> <li>▪ Lagekontrolle der Trachealkanüle</li> <li>▪ Beatmungsschläuche auf Abknickungen überprüfen</li> <li>▪ Ggf. HME-Filter wechseln</li> </ul>
	Fehllage der Trachealkanüle	
	Beatmungsschlauchsystem ist abgeknickt	
	Beatmungsprobleme des Patienten (pressen gegen den Respirator) oder Lagerungsveränderungen	
	Leckage beim Doppelschlauchsystem	
<b>Beatmungsdruck-obergrenze</b> <b>Atemwegsdruck hoch</b> <b>i.d.R bei VCV</b>	Verlegung der Atemwege durch Trachealsekret	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beobachtung und Sicherstellung der Beatmung; ggf. Patient an Beatmungsbeutel nehmen</li> <li>▪ Eventuell vorhandenes Trachealsekret absaugen</li> <li>▪ Lagekontrolle der Trachealkanüle und evtl. wieder richtig platzieren</li> <li>▪ Beatmungsschläuche auf Abknickungen überprüfen</li> <li>▪ Brusteinengende Faktoren entfernen; Ggf. Beatmungssystem wechseln</li> </ul>
	Fehllage der Trachealkanüle	
	Beatmungsschlauchsystem ist abgeknickt	
	Beatmungsprobleme des Patienten (pressen gegen den Respirator)	
	Ausatemventil ist blockiert	
<b>Druckuntergrenze</b> <b>Atemwegsdruck zu tief</b> <b>Diskonnektion</b> <b>Leckage hoch</b>	Diskonnektion der Beatmungsschläuche	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beobachtung und Sicherstellung der Beatmung, ggf. Patient an Beatmungsbeutel nehmen</li> <li>▪ Beatmungssystem auf Diskonnektion überprüfen</li> <li>▪ Lagekontrolle der Trachealkanüle und ggf. wieder richtig platzieren</li> <li>▪ Cuffdruckkontrolle</li> <li>▪ Kontrolle des Alarmparameters „Druckuntergrenze/Leckage hoch“ und ggf. richtig einstellen bzw. einstellen lassen</li> </ul>
	Undichtigkeit des Systems	
	Trachealkanüle ist herausgerutscht Cuff der TK oder Maske ist undicht	
	Parameter „Druckuntergrenze oder Leckage hoch“ ist nicht korrekt eingestellt	
<b>Leckage tief</b> <b>Rückatmung</b>	Verlegung/Stenosierung des Ausatemventils Verlegung der gewollten Leckage beim Leckagesystem Zu sensible Einstellung des Alarmparameters	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bei Stenosierung der Ausatemmöglichkeit das System wechseln</li> <li>▪ Kristalle der Inhalativa können die Leckageöffnungen des Leckagesystems verringern</li> </ul>
<b>Atemfrequenz zu hoch</b>	Erhöhter Atembedarf bei körperlicher Anstrengung und Fieber	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beobachtung und Sicherstellung der Beatmung; ggf. Patient an Beatmungsbeutel nehmen</li> <li>▪ Kontrolle des Beatmungssystems überprüfen</li> <li>▪ Korrektheit der Alarmfunktion überprüfen</li> </ul>
	Fehltriggerung Leckage / Kondenswasser im System oder zu sensibler Triggereinstellung	
<b>Fehllage der Trachealkanüle</b>	Trachealkanüle ist herausgerutscht	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ überprüfen, ob Trachealkanüle richtig platziert ist</li> <li>▪ Trachealkanüle wieder richtig platzieren</li> </ul>
	Trachealkanüle liegt nicht richtig in der Luftröhre	



## 8. Herz-Lungen Wiederbelebung (Guideline 2021)

### 8.1 Diagnostischer Block

**Definition:** An den Beginn aller notfallmedizinischen Maßnahmen empfiehlt sich, einen einfach aufgebauten, klar definierten diagnostischen Block zu stellen. Er gibt in kurzer Zeit Auskunft über Vorhandensein und Qualität der Vitalfunktionen Bewusstsein, Atmung und Kreislauf. Als praktikables Instrument hat sich das Vorgehen anhand des BAP-Diagnoseblocks bewährt. In den 2005 veröffentlichten ERC Guidelines wird bspw. die Pulskontrolle im Rahmen des „diagnostischen Blocks“ nicht mehr empfohlen. Bei fehlenden Lebenszeichen wird empfohlen sofort und ohne zeitliche Verzögerung mit der Herzkompression zu beginnen.

Die nachfolgenden Empfehlungen sind allgemein gehalten und beziehen sich primär auf Erwachsene. In Klammern gesetzt sind Abweichungen beim Kind (Säugling - Pubertät) und Neugeborenen.

#### Durchführung

1. **Bewusstseinskontrolle** • Patienten laut ansprechen, vorsichtig rütteln und ggf. Schmerzreiz beidseits an Oberarminnenseite oder Brustmuskel setzen.
2. **Atmungskontrolle** • Inspektion der Mundhöhle nur bei evtl. vorhandenem Fremdkörper  
• Durch Überstrecken des Kopfes und Anheben des Kinns die Atemwege freimachen. Bei Verdacht von HWS -Verletzungen lediglich das Kinn anheben, nicht aber den Kopf überstrecken.  
• Atmung kontrollieren durch Sehen, Hören und Fühlen (ca. 5-10sek)
3. **Pulskontrolle** • Die Pulskontrolle wird beim bewusstlosen Menschen nicht mehr empfohlen. Bei fehlenden Lebenszeichen (Bewusstsein und Atmung) wird unmittelbar mit der Herzdruckmassage begonnen.  
• Trotzdem kann das Pulsprüfungen wichtige Hinweise auf die Herz-Kreislaufsituation geben. Wenn, dann den Puls an der Halsschlagader links oder rechts in Höhe des Schildknorpels tasten.

### 8.2 Herzdruckmassage

#### Bestimmung des Druckpunktes

Der Druckpunkt befindet sich mittig direkt auf dem Brustbein (Sternum). Beide Handballen (**kleineres Kind nur ein Handballen, Säugling 2-3 Finger**) übereinander auf den Druckpunkt legen, Finger abspreizen, Arme durchstrecken und Schultern senkrecht über den Druckpunkt bringen.

#### Drucktiefe

Die Drucktiefe sollte beim Erwachsenen ca. 5 cm betragen (**Kind 3-4 cm; abhängig von Körpergröße bzw. Gewicht und Alter**). 1/3 Durchmesser des Brustkorbes.

Da die Elastizität eines Brustkorbes sehr unterschiedlich ist, empfiehlt es sich, die ideale Drucktiefe langsam zu ermitteln. Die ersten 1-3min kann auf die Beatmung verzichtet werden.

#### Druckgeschwindigkeit

Die Druckfrequenz beträgt ca. 100-120 pro Minute. Säugling 120/min pro Minute.

## Algorithmus

Erwachsene:

30 Kompressionen: 2 Beatmungen (Profis, Laien, Ein- oder Zweihelfer-Methode)  
(30:2)

Beim Erwachsenen wird mit der Herzdruckmassage angefangen. Die ersten 2-3 Minuten wird auf die Beatmung verzichtet.

Kinder:

Profis: (Zweihelfer-Methode)

15 Kompressionen: 2 Beatmungen

Laien oder Einhelfer-Methode Profi:

30:2

Beim Kind wird mit 5 Beatmungen angefangen, weil i.d.R. respiratorische Notfälle im Vordergrund stehen.

## 8.3 Beatmung

### Mund –zu –Mund Beatmung

- Kopf leicht überstreckt fixieren, ohne den Mund zu verschließen (Nase verschließen)
- Mund des Patienten mit eigenem Mund umschließen
- mit mäßigem Druck 1-2 Sek. Luft verabreichen bis eine Brustkorbhebung zu beobachten ist
- Ausatmung erfolgt passiv. Dabei den Kopf überstreckt halten

### Mund - zu -Nase Beatmung

- Kopf leicht überstreckt mit angehobenem Kinn fixieren
- Mund durch Druck auf den Unterkiefer und evtl. Lippen mit Daumen verschließen
- Nase des Patienten mit eigenem Mund umschließen
- Mit mäßigem Druck Luft 1-2 Sek. verabreichen, bis eine Brustkorbhebung zu beobachten ist
- Ausatmung erfolgt passiv. Dabei Kopf überstreckt halten

### Beatmung mit Maske und Beatmungsbeutel

- Die beatmende Person positioniert sich hinter dem Kopf des Patienten und überstreckt diesen leicht
- Wenn möglich 8-10 l/min Sauerstoff (**Kind 2-8 l/min**) an den Beatmungsbeutel (inkl. Reservoirbeutel) anschließen
- Beatmungsmaske in „C-Griff“ Haltung über Mund und Nase positionieren. Die Maske wird mit Daumen und Zeigefinger gehalten, die restlichen Finger heben das Kinn an.
- Beatmung erfolgt mit ca. 500ml Volumen (**Kind 100-400 ml: abhängig von Körpergröße bzw. Gewicht und Alter**)
- Beatmungsdruck möglichst gering halten, Überdruckventil verhindert bei entsprechender Einstellung zu hohe Beatmungsdrücke
- SpO<sub>2</sub> falls messbar von ca. 95% anstreben (keine 98-100%).

## Abkürzungen

A/C	Assist / Control (entspricht CMV + Trigger)
ABE	Basenüberschuss ermittelt via Blutgasanalyse
AF	Atemfrequenz
AMV	Atemminutenvolumen
(A)PCV	druckkontrollierte Beatmung mit Trigger (Assistiert)
APRV	Airway Pressure Release Ventilation
APV	Adaptive Pressure Ventilation, druckregulierte Beatmung der Firma Hamilton
ASB	Assisted Spontaneous Breathing, Synonym für druckunterstützte Spontanatmung
ASV	Adaptive Support Ventilation (Fa Hamilton)
ATC®	Automatische Tubuskompensation
AutoFlow®	druckoptimierte volumenkontrollierte/druckregulierte Beatmung
Automode	Zusatzoption beim Servoi für maschinellen Beatmungsformen bei der bei einsetzender Spontanatmung diese variabel unterstützt wird
AZV	Atemzugvolumen
BiLevel	druckkontrollierte Beatmung der Firma Tyco Puritan Bennett (entspricht im wesentlichen BIPAP)
BiPAP®	Bi-Level Positive Airway Pressure: druckunterstützte, nicht - invasive Beatmung für den Heimbeatmungsbereich - geschützter Begriff der Fa Respironics®
BIPAP®	druckkontrollierte Beatmung mit „Durchatembarkeit“; Biphasic Positive Airway Pressure – geschützter Begriff der Firma Dräger
BiVent	biphasische Ventilation beim Servoi (entspricht im wesentlichen BIPAP)
C	Compliance (Dehnbarkeit)
CMV	Continuous Mandatory Ventilation – kontrollierte Beatmung
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure (Spontanatmung mit kontinuierlich positivem Atemwegsdruck) assistierende Beatmung mit kontinuierlichem Überdruck
CPPV	Continuous Positive Pressure Ventilation entspricht IPPV + Peep
Δ P	Druckdifferenz zw. Peep und P <sub>insp</sub>
DKV	Druckkontrollierte Ventilation / Beatmung
DU	Druckunterstützung
DuoPAP	druckkontrollierte Beatmung der Firma Hamilton (entspricht im wesentlichen BIPAP)
EPAP	Expiratory Positive Airway Pressure (Atmung gegen einen expiratorisch positiven Atemwegsdruck)
ETS	Expiratorische Trigger Sensitivität (Ausschaltkriterium des Hilfsdrucks in Prozent bezogen auf die max. insp. Flussgeschwindigkeit)
F	Atemfrequenz
f/IMV	SIMV und BIPAP/SIMV/ASB Atemfrequenz bei der Evita II
FiO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> - Anteil (Fraktion) im inspiratorischen Gasgemisch
HCO <sub>3</sub>	Standardbicarbonat ermittelt via Blutgasanalyse
I:E	Atemzeitverhältnis Inspiration zu Expiration
IHS	Inspiratory Help System (druckunterstützte Spontanatmung)
ILV	Independent Lung Ventilation (seitengetrennte Beatmung)
IMV	Intermittent Mandatory Ventilation
IPPV	Intermittent Positive Pressure Ventilation (Intermittierende Beatmung mit positivem Druck)
IPS	Inspiratory Pressure Support (Inspiratorische Druckunterstützung)
IRV	Inversed Ratio Ventilation (Beatmung mit umgekehrtem Atemzeitverhältnis)
MV	Minutenvolumen
MMV	Mandatory Minute Ventilation (maschinelle Minutenvolumen Mindestventilation)
NEEP	Negativ Endexpiratory Pressure (Negativer Druck bei der Ausatmung)
NIV	Non - Invasive Ventilation (Nicht - invasive Beatmung)
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
P	Pressure (Druck)
Paw	Pressure airway (Atemwegsdruck)
PAV	Proportional Assist Ventilation - Maschinelle Unterstützung der Spontanatmung proportional zur Atemanstrengung
paCO <sub>2</sub>	Kohlendioxidpartialdruck (pCO <sub>2</sub> )
paO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck
PCV	Pressure Controlled Ventilation – druckkontrollierte Beatmung (Triggerfunktion meist vorhanden)

PCV/ASS	druckkontrollierte Beatmung – ASS (Assist) steht für die Triggerfunktion
PEEP	Positive Endexpiratory Pressure (positiv endexpiratorischer Druck unter Beatmung)
Pinsp	inspiratorisches Druckniveau bei druckkontrollierter Beatmung
Pmax	obere Druckgrenze bzw. Drucklimitierung bei volumenkontrollierter Beatmung
NPPV	Negative Positive Pressure Ventilation Wechseldruckbeatmung mit positivem und negativem Druck
P-CMV	Druckkontrollierte CMV-Beatmung
PLV	Pressure Limited Ventilation (Drucklimitierte Ventilation)
pO <sub>2</sub>	Sauerstoffpartialdruck
P 0.1	Okklusionsdruck
PS	Pressure Support (Druckunterstützung)
PPS	Proportional Pressure Support (Spontanatemmodus der Firma Dräger) Proportionale Druckunterstützung (Synonym für PAV)
PRVC	druckregulierte volumenkontrollierte Beatmung, vergleichbar mit Zielvolumeneingabe
P-SIMV	Druckkontrollierte SIMV –Beatmung
PS.Tv	PSV mit eingestelltem AZV als Zielvolumen
PSV	Pressure Support Ventilation (inspiratorische Druckunterstützung)
R	Resistance (Widerstand)
RSB	oder f/VT Index; Rapid Shallow Breating Index (schnell-flach Atemindex)
SaO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung im arteriellen Blut
SpO <sub>2</sub>	Sauerstoffsättigung gemessen mittels Pulsoxymetrie
S-CMV	CMV+Trigger
S-CPPV	CPPV+Trigger
SIMV	Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation
T	Zeit
Ti	Inspirationszeit
Te	Expirationszeit
TC	automatische Tubuskompensation beim Bennett 840
TgV	target volume – Zielvolumen als druckregulierte Beatmung bei PCV und PSV
V	Volumen
V	Flow (Volumen pro Zeit)
VS	volume support – Spontanatemmodus mit einstellbarem AZV als Zielvolumen
VT	Tidalvolumen (Atemhubvolumen)
ZAP	Zero Airway Pressure (Atmung bei Umgebungsdruck in den Atemwegen)
ZEEP	Zero Endexpiratory Pressure (Ausatmung unter Umgebungsdruck)
ZPB	Zero Pressure Breathing (Atmung unter Umgebungsdruck)

## Begriffserläuterungen

Blutgasanalyse	Messung von versch. Parametern mittels Blutgasanalysegerät zur Beurteilung der respiratorischen Situation mit und ohne maschinelle Atemhilfe /Beatmung. Diese umfasst folgende Werte: pH, PaO <sub>2</sub> , PaCO <sub>2</sub> , HCO <sub>3</sub> , ABE, SaO <sub>2</sub> usw.
Diskonnektion	Unterbrechung der Beatmung durch auseinander fallen von Teilen des Beatmungssystems. Nach MPG muss ein Unterdruckalarm im Respirator integriert sein.
Kapnometrie	Mit dem Kapnometer kann das etCO <sub>2</sub> (Kohlendioxidgehalt in der Ausatemluft) mittels Sensor patentennah im Atemgas untermaschineller Beatmung gemessen werden
Pulsoxymetrie	Mit dem Pulsoxymeter kann mittels Finger- oder Ohrsensor die Sauerstoffsättigung im kapillaren (arteriellen) Blut gemessen werden Wieviel Erythrozyten sind mit wieviel O <sub>2</sub> beladen. Sagt nichts über den Sauerstoffgehalt im Blut aus. Um dies zu ermitteln, muss das Hämoglobin mit berücksichtigt werden.
Zyanose	Blauverfärbung insbesondere der Lippen und Fingernägel bei Sauerstoffmangel. Visuell nur erkennbar bei normalem Hämoglobingehalt. Tritt meist ab einer SpO <sub>2</sub> unter 80 % auf.



## Literaturverzeichnis

- Bahns E.: BIPAP. Dräger GmbH Lübeck
- Beha C. Wisser D.: Leitlinien zur maschinellen Beatmung.  
www.beatmungsfortbildung.de, 2006
- Haberthür, Guttman, Osswald, Schweitzer: Beatmungskurven. Springer Verlag 2001
- Kuhlen R., Max M., Rossaint R.: Neue Entwicklungen in der Beatmungstherapie  
Deutsche Akademie für Anästhesiologische Fortbildung, in: Refresher Course  
1998, 24: 193-205
- Larsen R., Ziegenfuss T.: Beatmung, 3.Auflage, Springer Verlag, Berlin 2004
- Lawin P.: Praxis der Intensivbehandlung. 5. neubearb. u. erw. Auflage  
Thieme Verlag, Stuttgart 1989
- Larsen R.: Anästhesie und Intensivmedizin. 6. Auflage Springer Verlag, Berlin 2004
- Lasch, Lenz, Seeger: Lehrbuch der Internistischen Intensivtherapie.3. Auflage  
Schattauer Verlag, Stuttgart 1997
- Latasch L., Knipfler E.: Anästhesie Intensivmedizin Intensivpflege.2. Auflage  
Elsevier Verlag, München 2004
- NAW-Buch. Urban & Schwarzenberg Verlag (1999)
- Neander, Meyer, Friesacher: Handbuch der Intensivpflege 2. Erg. Lfg. 10/95  
Ecomed Verlag, Landsberg 1995
- Medifan®: Notfallmanual. (2006)
- Oczenski W., Werba A., Andel H.: Atmen - Atemhilfen  
4. überarbeitete und erw. Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin 2000
- Rathgeber J.: Grundlagen der maschinellen Beatmung. Aktiv Druck Verlag 1999
- Riedelsheimer C.: Von der Intensivstation nach Hause, in: PflegeIntensiv 2007, 3:6-10
- Schäfer, Scheuermann, Wagner, Kirsch: Fachpflege Beatmung. 3. Auflage Urban & Fischer  
Verlag 2002
- Wisser D., Weaningkonzept nach Langzeitbeatmung.  
intensiv 1999, 7: 97-102
- Zarske R.: Döring M. ATC und PPS Atemunterstützung mit bestmöglichem Komfort.  
Dräger GmbH Lübeck