

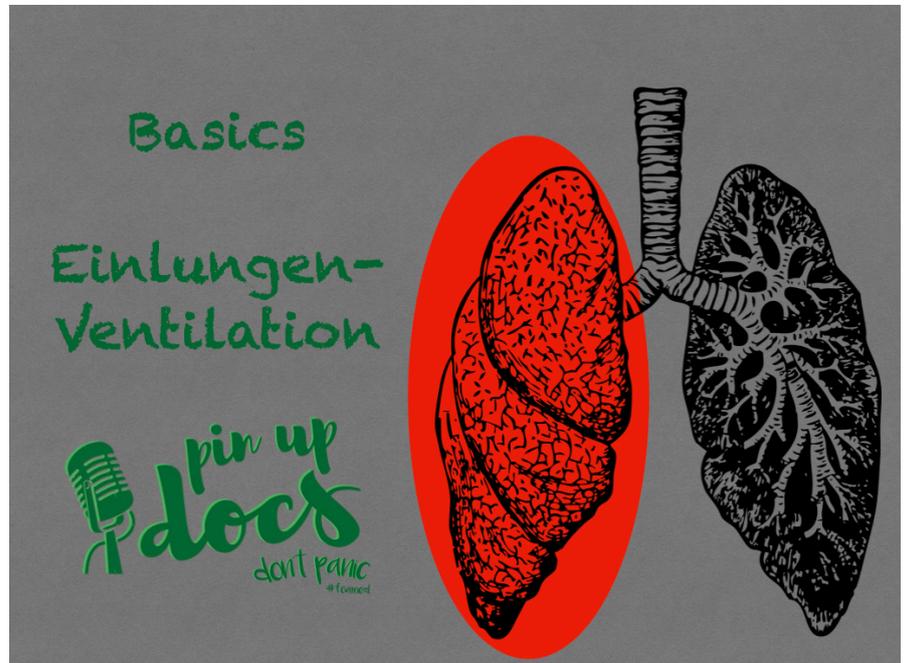
# Basics – Einlungenventilation – ELV

Bei Operationen im Bereich des Thorax kann es euch passieren, dass der Operateur sich „wünscht“, dass nur ein Lungenflügel des Patienten beatmet wird. Auf diesem Weg entsteht im Bereich des nicht ventilerten (und meist vollständig kollabierten = Totalatektase) Lungenflügels ein Raum, in dem der Chirurg seiner Lieblingsbeschäftigung, dem Operieren, nachgehen kann. Für den Bereich der Thoraxchirurgie ist dieses

Verfahren unumgänglich, aber auch bei anderen Operationen kann es nötig werden, zum Beispiel:

- Allgemeinchirurgie und Vizeralchirurgie
  - „Zwei-Höhlen-Eingriffe“, meist am Ösophagus
- Unfallchirurgie und Orthopädie
  - thorakale Wirbelsäulen-Eingriffe
- Herz- und Gefäßchirurgie
  - thorakale Aorteneingriffe

Die Einlungenventilation (**ELV**) gehört somit ins Repertoire von vielen Anästhesisten. Es gibt allerdings einige Besonderheiten und Fallstricke, die man kennen sollte. Grund genug für uns, das Thema ein bisschen genauer zu beleuchten und euch einige praktische Hilfestellungen mit an die Hand zu geben.



---

## Technik der ELV

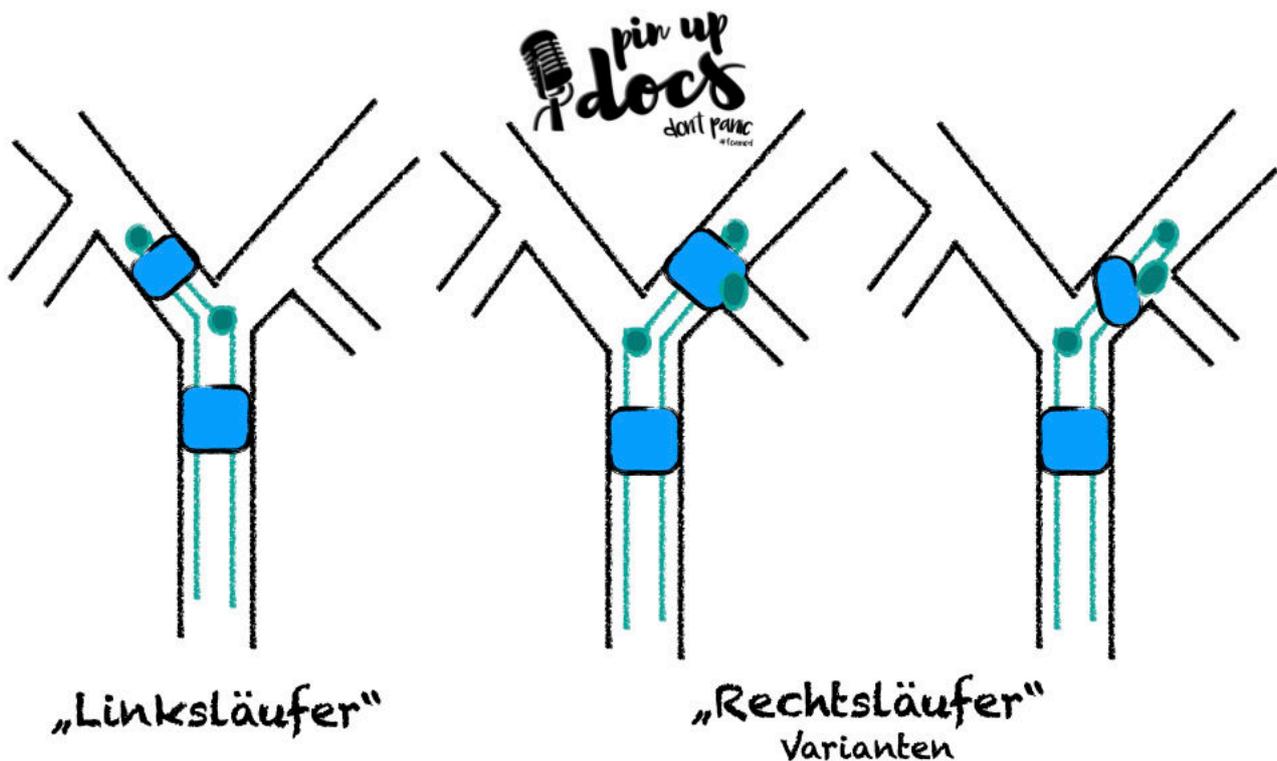
Der Doppellumentubus ist mittlerweile der Goldstandard für die Lungenseparation. Die Alternative ist der Bronchusblocker, der nur noch bei einigen wenigen Situationen zum Einsatz kommt. Es gibt auch die Möglichkeit einer „zu tiefen“ Intubation. Das heißt, man intubiert mit einem konventionellen Tubus einen der beiden Hauptbronchien, und führt dadurch eine einseitige Ventilation herbei. Da letzteres Verfahren unseres Wissens nicht routinemäßig angewendet wird, wollen wir uns nur die beiden anderen Techniken genauer anschauen.

## Doppellumentubus

Doppellumentuben (DLT) stehen von verschiedenen Herstellern und in leicht unterschiedlichen Varianten zur Verfügung. Jeder DLT hat einen kürzeren trachealen (der proximal des bronchialen

Cuffs endet) und einen längeren bronchialen Tubusschenkel (der distal des bronchialen Cuffs endet). Aufgrund des asymmetrischen Aufbaus (tracheobronchialer Winkel ist 25–30° rechts und 45° links) des Bronchialsystems werden rechtsseitige und linksseitige DLT unterschieden (Rechts- und Linksläufer).

Da der Abgang des rechten Oberlappens sehr proximal ist, ist **der Rechtsläufer** etwas schwieriger zu platzieren, da er eine zusätzliche Öffnung für den Oberlappen aufweist. Die kleine Öffnung verrutscht gerne und führt dadurch zu Beatmungsproblemen. Aus diesem Grund wird in vielen Kliniken mit Ausnahme von linksseitigen hilusnahen Operationen (linksseitigen Oberlappenresektionen und linksseitigen Pneumektomien sowie Mabschettenresektionen) **der Linksläufer** bevorzugt eingesetzt.



Schemazeichnungen des Trachealbaums mit einliegenden DLT

**Die Größe** des DLT wird anhand des Außendurchmessers in **French** angegeben.

(Klugscheißerwissen: French und **Charrière**, sind die gleiche Maßeinheit – French ist lediglich die in der englischsprachigen Literatur vorherrschende Name; wahrscheinlich weil die Engländer **Charrière** nicht aussprechen können). Nach Möglichkeit sollte jeweils der größtmögliche zu platzierende Tubus gewählt werden. Dadurch wird die Resistance des Atemweges erniedrigt und die Entwicklung von Auto-PEEP reduziert.

Frauen		Männer	
Körpergröße in cm	DLT in Fr	Körpergröße in cm	DLT in Fr
< 150	32 (28)	< 160	35 - 37
150 - 160	35	160 - 170	37
> 160	35 - 37	> 170	37 - 39
> 180	39	> 180	41

Größenempfehlungen für DLT m modifiziert nach [Loop et al.](#)

Neben dem am häufigsten verwendeten DLT, dem sog. Robertshaw Tubus, gibt es mit dem Carlsen- und White-Tubus noch Varianten mit einem sog. Carina Haken. Dieser soll zu einer besseren „Lagestabilität“ führen, erschwert aber als „Widerhaken“ das Einführen.

Zusätzlich existieren noch Varianten mit integrierten Kameras (zur kontinuierlichen Lagekontrolle) und Ventilen (zur Erzeugung der Totalatelektase ohne Abklemmen). Ihr solltet Euch in jedem Fall mit dem in Eurer Klinik gebräuchlichen Model vertraut machen.

Für tracheotomierte Patient:innen sind spezielle Doppellumentrachealkanülen verfügbar. Diese werden allerdings nicht flächendeckend vorgehalten.

Egal welche Form ihr benutzt, eine fiberoptische Lagekontrolle ist obligat und sollte nach jedem Lagewechsel des Patienten wiederholt werden. Wir bevorzugen eine initiale Kontrolle über den trachealen Schenkel zur sicheren Darstellung der Carina und der Tracheahinterwand.

### Vorgehen „Linksläufer“

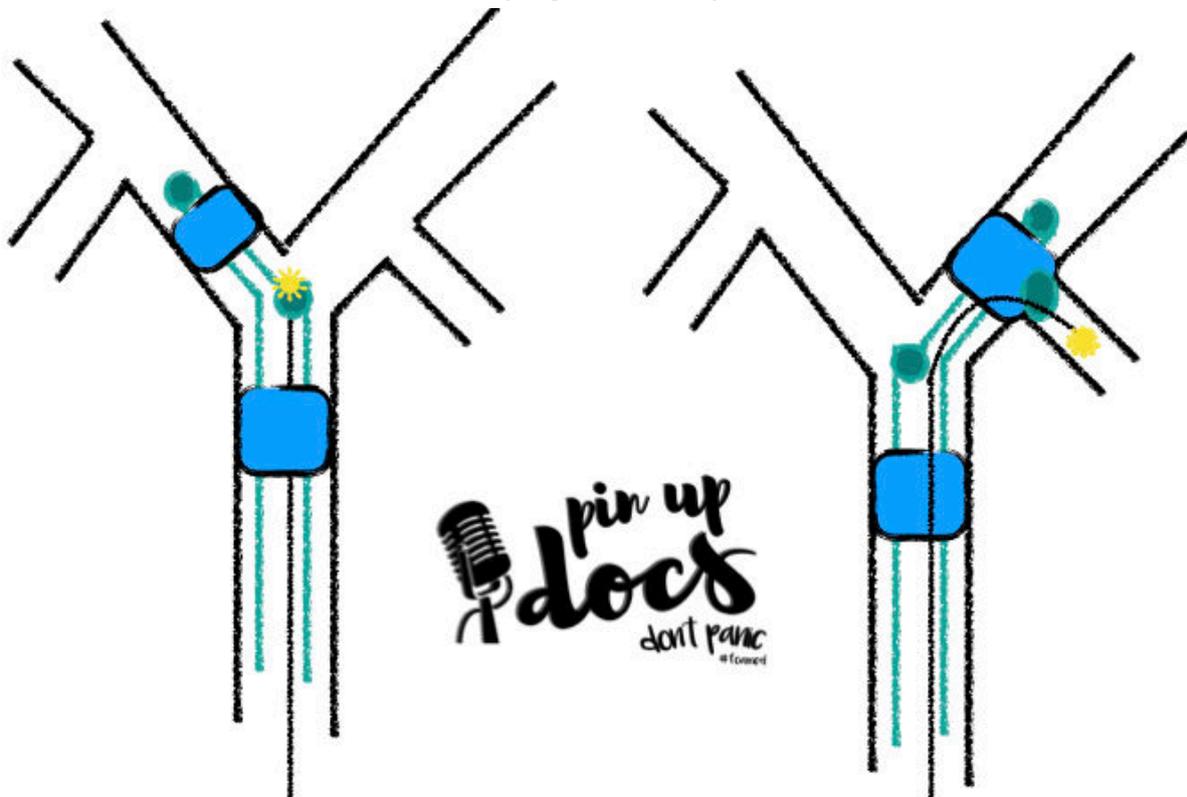
- Führungsstab im endobronchialen Lumen
- endobronchiales Lumen zeigt nach ventral
- nach Passage der Stimmbänder mit der Tubusspitze Führungsstab entnehmen
- Drehung des Tubus um 90° nach links
- weiteres Vorschieben bis zum Auftreten eines leichten, federnden Widerstandes
- bronchoskopische Lagekontrolle: Darstellung der Carina und der Tracheahinterwand  
tracheal – Orientierung an Knorpelspangen; Identifizierung des rechten Ober-, Mittel- und Unterlappens
- Blockung des trachealen Cuffs
- Anschluss an Y-Konnektor

### Vorgehen „Rechtsläufer“

- Führungsstab im endobronchialen Lumen
- endobronchiales Lumen zeigt nach ventral
- nach Passage der Stimmbänder mit der Tubusspitze Führungsstab entnehmen

- Drehung des Tubus um 90 ° nach rechts
- weiter Vorschieben bis zum Auftreten eines federnden Widerstandes
- bronchoskopische Lagekontrolle tracheal: Darstellung der Carina und der Tracheahinterwand
- bronchoskopische Lagekontrolle bronchial: Identifizierung des rechten Oberlappens in der Öffnung, Mittel- und Unterlappen distal des bronchialen Cuffs
- Blockung des trachealen Cuffs
- Anschluss an Y-Konnektor

**Erwartete Tiefe Zahnreihe:** 1/10 der Körpergröße in cm plus 12 cm



Bronchoskopische Identifikation der Carina beim „Linksläufer“ über trachealen Schenkel

Bronchoskopische Identifikation des rechten Oberlappens beim „Rechtsläufer“ über bronchialen Schenkel

Schemazeichnungen des Trachealbaums mit einliegenden DLT

### Auskultatorische Lagekontrolle

Neben der fiberoptischen Lagekontrolle ist eine auskultatorische Lagekontrolle möglich und war lange Zeit der Standard. Hierzu werden beide Cuffs geblockt. Im Anschluss werden die beiden Lumen nacheinander (ab-)geklemmt. Auf der (ab-)geklemmten Seite sollte jeweils kein Atemgeräusch auskultierbar sein. Außerdem kann, besonders bei schlanken Patienten, eine Abnahme der Atemexkursion auf der geklemmten Seite beobachtet werden.

**CAVE:** Diese Art der Lagekontrolle ist fehleranfällig und sollte nur ergänzend zum Einsatz kommen.



## Bronchialer Cuff

**Um Drucknekrosen zu vermeiden ist eine Cuffdruckkontrolle beider Cuffs obligat.**

## Liegedauer eines DLT

Aufgrund der hohen Steifigkeit und Länge des DLT im Vergleich zum herkömmlichen einlumigen Endotrachealtubus (ET) besteht ein erhöhtes Verletzungs- und Dislokationsrisiko. Daher sollte im Falle einer Nachbeatmung der DLT auf einen ET gewechselt werden.

## **Probleme bei der Platzierung des DLT**

**Problem:** DLT lässt sich nicht über die Glottisebene vorschieben

**Grund 1:** Es handelt sich um einen schwierigen Atemweg

**Lösung:** Wechsel auf den Algorithmus schwieriger Atemweg (**Pin-Up-Docs Basics Atemwegssicherung**). Nach erfolgter Atemwegssicherung kann mittels Fiberoptik die Ursache identifiziert werden. Je nach Befund kann ein Wechsel vom „Rescue-Device“ auf einen DLT mittels Bougie oder anderem „Airway-Exchange-Device“ erfolgen.

**Grund 2:** der DLT ist zu groß für den Atemweg

**Lösung:** bei suffizienter Oxygenierung – Wechsel auf einen kleineren DLT. Bei insuffizienter Oxygenierung Wechsel auf den Algorithmus schwieriger Atemweg (**Pin-Up-Docs Basics Atemwegssicherung**).

**Problem:** der DLT lässt sich nicht richtig positionieren

**Vorgehen:** Fiberoptische Sicht über bronchialen Schenkel des DLT; zurückziehen des DLT bis die Carina sicher identifiziert werden kann; erneutes Einbringen unter Sicht. Anschließende Kontrolle über trachealen Schenkel (Carina sichtbar?). In vielen Fällen ist dies schon die Lösung des Problems.

**Problem:** der „Linksläufer“ lässt sich auch fiberoptisch nicht richtig positionieren

**Grund:** DLT zu groß

**Lösung:** Wechsel auf einen kleineren DLT

**Grund:** anatomische Besonderheiten der Carina

**Lösungsmöglichkeiten:** Wechsel auf einen kleineren „Linksläufer“; Wechsel auf einen „Rechtsläufer“; Verwendung eines Bronchusblockers.

**Problem:** Die Oberlappenöffnung des „Rechtsläufers“ lässt sich nicht richtig positionieren

**Vorgehen:** Fiberoptische Kontrolle über den trachealen Schenkel; Lage korrekt?, Cuff-Hernie? ggf. Lagekorrektur. Im Anschluss fiberoptische Kontrolle über den bronchialen Schenkel; richtige Positionierung der Öffnung ist häufig über Rotationsbewegungen und vorsichtiges Vor- und Zurückschieben möglich. Notfalls muss auf einen Bronchusblocker gewechselt werden.

## **Bronchusblocker**

Ein Bronchusblocker besteht aus einem dünnen Katheter mit einem aufblasbaren Ballon am Ende. Das System gibt es ebenfalls von verschiedenen Anbietern. Sie können bronchoskopisch durch



oder neben dem Tubus eingeführt werden um gezielt einen Haupt- oder Lappenbronchus zu blockieren.

Es gibt unseres Wissens keine Daten, die die Überlegenheit eines DLT gegenüber einem Bronchusblocker belegen, allerdings hat sich vielerorts, aufgrund der leichteren Anwendung (leichtere Platzierung, geringere Dislokationsgefahr), der DLT durchgesetzt. Es gibt aber ein paar Indikationen, bei denen man am Bronchusblocker nicht vorbei kommt:

- Kinder < 8 Jahren (größenabhängig)
- bereits intubierte Patienten mit
  - bekanntem oder erwartet schwierigem Atemweg
  - hoher Aspirationsgefahr
- Trachealstenosen
- (einliegende Trachealkanüle)
  - relative Indikation – individuelle Abwägung
- anatomische Besonderheiten, die einen DLT unmöglich machen.

---

## Physiologie und Pathophysiologie der ELV

### Grundlagen

Wir sollten uns erneut die Asymmetrie der Thoraxorgane vergegenwärtigen. Der linken Lunge fehlt nämlich (in der Regel) das 7. Segment, daher hat sie auch etwas weniger Blutvolumen (stehend oder in Rücklage sieht dieses Verhältnis etwa so aus: 55% (rechte Lunge) zu 45% (linke Lunge). Am eigentlichen Mechanismus des Gasaustausches ändert die ELV NICHTS. Er funktioniert nach einem Prinzip, das wir schon aus der Schule kennen: die gute alte **Diffusion**. Allerdings nimmt die Effektivität deutlich ab. Der  $paO_2$  sinkt nach dem „Klemmen“ einer Lunge unter einem  $FiO_2$  von 1,0 von etwa 400 mmHg auf 100-150 mmHg (**Loop**). Der Grund für dieses Phänomen ist recht einfach zu verstehen: Der gesamte Blutfluss durch die nicht ventilierter Lunge ist Shunt-Volumen (wird nicht oxygeniert) und somit je nach Seite 55 bzw. 45% des Blutflusses nicht mehr am Gasaustausch teilnehmen. Das  $CO_2$  bleibt aufgrund seiner besseren Diffusionseigenschaften von diesem Phänomen nahezu unbeeinträchtigt.

### Lageabhängigkeit der Durchblutung

Wir sollten uns noch in Erinnerung rufen, dass die Lungendurchblutung lageabhängig ist (**BOA.coach Zonen nach West und den Ventilations-Perfusions-Mismatch**). Die meisten Operationen, bei denen eine ELV notwendig wird, werden dankenswerterweise in Seitenlage durchgeführt, in der die ventilierter Lunge unten liegt. Die unten liegende Lunge wird zum Glück auch mehr durchblutet, sodass allein die Lagerung unser Shuntvolumen vermindert. Das heißt, die Seitenlagerung ist bei der ELV nicht nur für den Zugangsweg der Operateure wichtig, sondern eine wichtige Maßnahme zur Verbesserung des  $paO_2$ .

### Euler-Liljestrand – AHOI; hypoxische pulmonale Vasokonstriktion

Der gute alte **Euler-Liljestrand-Mechanismus** rettet uns (den Arsch)! Der niedrige Sauerstoffpartialdruck in der atelektatischen Lunge führt zu einer Vasokonstriktion in den nicht ventilerten Bereichen. Dies wiederum führt zu einer Abnahme der Durchblutung in der abgeklemmten Lunge. Dieser Mechanismus führt zu einer Reduktion des Shuntvolumens um bis zu 40% (**Lumb et al.; Lohser et al.**) und verbessert damit den  $paO_2$ .

Verstärkung der HPV	Abschwächung HPV
Arterieller Hypertonus	COPD
Hyperkapnie	Alkalose
↓ p <sub>v</sub> O <sub>2</sub>	Sepsis/SIRS
↓ S <sub>z</sub> vO <sub>2</sub>	Hypothermie
Seitenlagerung	Schwangerschaft
	Rückenlagerung

Einfluss verschiedener Faktoren auf die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion (HPV)

### Pathologische Faktoren die eine Hypoxämie begünstigen

Da es schon beim Lungengesunden zu einem relevanten Abfall des paO<sub>2</sub> unter ELV kommt, können einige pathologische Veränderungen die ELV erschweren oder sogar unmöglich machen.

- Pleuraerguss
- Pneumonie
- Lungenfibrose
- kardiale Dekompensation mit Lungenödem
- Bronchospasmus

Kurzum: nahezu alle Erkrankungen, die eine respiratorische Partial- oder Globalinsuffizienz hervorrufen. Wenn die Dringlichkeit des geplanten Eingriffs das zulässt, sollten solche Pathologien im Vorfeld diagnostiziert und therapiert werden.

## Anästhesiologisches Management

### PEEP

Wir erinnern uns daran, dass es sich beim Lungenkreislauf um ein „Niederdruck-System“ handelt (Normwert **pulmonalerarterieller Druck**: 15-28 mmHg). Aus diesem Grund befinden wir uns bei der PEEP-Einstellung in unserem ersten Dilemma. Auf der einen Seite wollen wir ein gewisses PEEP-Niveau haben, um Atelektasen in der untenliegenden ventilierten Lungen zu vermeiden und uns somit einen Teil unserer eh schon geschrumpften Gasaustauschfläche zu erhalten. Auf der anderen Seite führt ein hohes PEEP-Niveau zu einer Erhöhung des pulmonalerarteriellen Widerstandes. Außerdem müssen wir uns zusätzlich noch vor Augen führen, dass der pulmonalerarterielle Widerstand in der nicht ventilierten Lunge verhältnismäßig gering ist, da der Thorax auf dieser Seite ja meistens eröffnet ist. (Die Eröffnung des Thorax führt zu einer Zunahme der Compliance der nicht ventilierten Lunge und somit zu einer Abnahme des pulmonalerarteriellen Widerstandes). Dies alles führt dazu, dass ein zu hoher PEEP zu einer Vergrößerung des Shuntvolumens und somit zu einer Verschlechterung der Oxygenierung führt (**BoA.coach – Einlungenventilation; SOP – Helios; Loop**).

**Empfehlung:** Anfangs-PEEP von 5 cm H<sub>2</sub>O (bei Adipositas etwas höher). Bei unzureichender Oxygenierung Steigerung bis auf max. 12 cm H<sub>2</sub>O. Regelmäßige Kontrollen des Gasaustausches mittels BGA. PEEP-Level oberhalb von 12 cm H<sub>2</sub>O sollten kritisch hinterfragt werden und erscheinen nur in Einzelfällen sinnvoll.

**PEEP der ventilierten Lunge initial 5 cmH<sub>2</sub>O; bei unzureichender Oxygenierung 8 ⇒ 10 bis maximal 12 cmH<sub>2</sub>O**

## FiO<sub>2</sub>

Bei der FiO<sub>2</sub> befinden wir uns leider in einem ähnlichen Dilemma wie beim PEEP. Einerseits benötigen wir ein hohes FiO<sub>2</sub> um eine ausreichende Oxygenierung mit einer „halben“ Lunge zu ermöglichen. Auf der anderen Seite birgt ein hohes FiO<sub>2</sub> die Gefahr von Diffusionsatelektasen in unserer beatmeten Lunge. Während der ELV wird allgemein eine SaO<sub>2</sub> > 92 % als ausreichend erachtet. Ausnahmen gelten für spezielle Situationen wie z.B. Patienten mit koronarer Herzerkrankung, die von einer Myokardischämie bedroht sind (**Loop**).

**Empfehlung:** Anfangs-FiO<sub>2</sub> 0,8 – 1,0 (je nach Oxygenierung in BGA unter Zweilungenventilation). Bei guter Oxygenierung kann eine Reduktion bis auf 0,5 erfolgen. Ziel ist ein paO<sub>2</sub> von ca. 100 mmHg, da eine „Sauerstoffvergiftung“ (Hyperoxämie) die Gefahr von Sauerstoffradikalen birgt.



Sauerstoffradikaler – Beispielbild



FiO<sub>2</sub> initial 0,8- 1,0; bei guter Oxygenierung (> 100mmHg) schrittweise Reduktion bis FiO<sub>2</sub> 0,5

## Tidalvolumen

Bei den Tidalvolumina ist es eigentlich wie immer: „**So viel wie nötig, aber so wenig wie möglich.**“ Leider kommt es im Rahmen von thoraxchirurgischen Eingriffen postoperativ gehäuft zu akutem Lungenversagen ([Serpa et al.](#)). Aber was heißt das jetzt konkret? Wir sollten Tidalvolumina von 4- max. 6 ml/kg KG und einen Pinsp < 30 cm H<sub>2</sub>O anstreben um Volu-/Barotrauma zu minimieren ([Lohser et al.](#); [Loop](#)).

**Tidalvolumen: 4- max. 6 ml/KG kg**

**Pinsp: < 30 cm H<sub>2</sub>O**

## Atemfrequenz

Um trotz des eher niedrigen Tidalvolumens eine adäquate Descarboxylierung zu erreichen, benötigen wir bei der ELV tendenziell eine höhere Atemfrequenz. Eine (zu) hohe Atemfrequenz bringt leider aber auch eine hohe **Totraumventilation** mit sich. Atemfrequenzen zwischen 15-20/min haben sich in der Praxis bewährt ([SOP – Helios](#)).

**Atemfrequenz: 15-20/min**

## I:E-Verhältnis

Aufgrund der höheren Atemfrequenzen (kurze Expirationsphase) und des kleineren Einzellumens des DLT besteht die erhöhte Gefahr für eine unvollständige Expiration und somit einer dynamischen Hyperinflation (Auto-PEEP). Wir müssen daher das I:E-Verhältnis so wählen, dass wir eine vollständige Expiration ermöglichen.

**I:E-Verhältnis nach Atemkurven, auf Nullfluss am Ende der Expiration achten (Auto-PEEP)**

## Beatmungsmodus

Es gibt derzeit keine Studien, die die Überlegenheit eines Beatmungsmodus bei ELV zeigen konnten. Allerdings konnte unter PCV (pressure controlled ventilation) eine bessere Oxygenierung erreicht werden ([Kim et al.](#)). Aus diesem Grund und aus theoretischen Überlegungen (niedrigere Spitzendrücke) präferieren wir eine PCV.

**Es gibt keine Evidenz für die Überlegenheit eines Beatmungsmodus. Wir präferieren eine PCV.**

## Rekrutierungsmanöver

Atelektasen können unsere technisch bedingt reduzierte Gasaustauschfläche weiter herabsetzen. Atelektasen führen bei gleichbleibendem Tidalvolumen zwangsläufig zu einer Überblähung der ventilierten Lungenabschnitte. Es konnte gezeigt werden, dass ein Rekrutierungsmanöver VOR Etablierung der ELV zu einer Verbesserung der Oxygenierung führt ([Unzueta et. al.](#)).

**Rekrutierungsmanöver vor Etablierung der ELV verbessern die Oxygenierung.**



## Überwachung der Beatmung

Die Überwachung der Beatmung erfolgt mittels BGA, da das  $\text{etCO}_2$  aufgrund des Shuntvolumens nur eingeschränkt zu verwenden ist. Während der  $\text{paO}_2$  wie oben erwähnt beim „Klemmen“ der Lunge stark abfällt, bleibt das  $\text{paCO}_2$  aufgrund der besseren Diffusionseigenschaften konstanter. Aus praktischen Überlegungen empfehlen wir eine BGA vor Etablierung der ELV und 20 min nach dem „Klemmen“. Weitere Kontrollen sollten je nach Gasaustausch in regelmäßigen Abständen erfolgen.

### BGA vor und 20 min nach Etablierung der ELV

#### permissive Hyperkapnie

Um eine lungenprotektive Beatmung mit möglichst niedrigen Spitzendrücken ( $\text{Pinsp} < 30 \text{ cm H}_2\text{O}$ ) zu ermöglichen ist eine permissive Hyperkapnie ( $\text{pH} > 7,25$ ) statthaft. Im Falle einer Kreislaufinstabilität und damit einhergehender Katecholamingabe sollte ein  $\text{pH} > 7,30$  angestrebt werden.

**permissive Hyperkapnie: pH bis 7,25 tolerabel – bei hämodynamischer Instabilität pH > 7,30.**

#### Narkoseverfahren

Die klassische Meinung, dass volatile Anästhetika die hypoxische Vasokonstriktion vermindern und somit vermieden werden sollen, stammen vorwiegend aus älteren tierexperimentellen Untersuchungen mit hohen **MAC-Werten** und älteren Anästhetika. (Karzai et al.). Neuere Beobachtungsstudien mit modernen Anästhetika belegen, dass **MAC-Werte** bis 1 die hypoxische Vasokonstriktion nicht klinisch relevant beeinflussen und genauso sicher sind wie eine TIVA (Lohser et al.).

Ein weiterer Aspekt ist die Arbeitsplatzbelastung, da es zu einer „Abatmung“ über die nicht ventilierte Lunge kommt (offener Schenkel am DLT/ eröffnete Lunge im OP-Gebiet).

Um die Abwägung noch komplexer zu machen gibt es Hinweise, dass volatile Anästhetika zu einer Reduktion der ALI (acute lung injury) führen (Lohser et al.). Es handelt sich leider lediglich um Hinweise, sodass die Größe dieses Effektes nicht sicher beurteilt werden kann.

**Wenn Volatila eingesetzt werden erscheint ein MAC zwischen 0,5-1 sinnvoll.**

#### Volumenmanagement

Im Rahmen einer ELV erscheint ein eher restriktives Volumenmanagement aus mehreren Überlegungen sinnvoll:

- „Überwässerung“ der ventilierten Lungen und somit Verschlechterung des Gasaustausches
- Anastomoseninsuffizienzen durch ein Gewebsödem
- Verminderung der HPV im Rahmen einer Volumenüberladung

restriktives Volumenmanagement anstreben!

## Punchlines Basiseinstellungen



- FiO<sub>2</sub> initial 1,0 – bei guter Oxygenierung schrittweise Reduktion bis FiO<sub>2</sub> 0,5
- Tidalvolumen 4 (– max 6) ml/kg KG, Pinsp möglichst < 20 cm H<sub>2</sub>O
- Atemfrequenz 15 – 20/min
- PEEP initial 5 cm H<sub>2</sub>O
- I:E-Verhältnis nach Atemkurven, auf Nullfluss achten (Auto-PEEP)
- BGA vor und ca. 20 min. nach Etablierung ELV
- permissive Hyperkapnie bis pH 7,25 – bei hämodynamischer Instabilität bis pH 7,30
- Wenn Volatila eingesetzt werden MAC < 1
- restriktives Volumenmanagement

## Management einer persistierenden Hypoxämie

Eine persistierende Hypoxämie tritt in ca. 5-10% der Patienten auf ([Karzai et al.](#)). In diesen Fällen sollte ein strukturiertes Management erfolgen.

### Basismaßnahmen

#### FiO<sub>2</sub>

Die erste Maßnahme im Rahmen einer Hypoxämie (SpO<sub>2</sub> < 90%) im Rahmen einer ELV stellt ein FiO<sub>2</sub> von 1,0 dar.

#### Rekrutierungsmanöver

Wenn die hämodynamische Stabilität des Patienten dies zulässt, kann ein Rekrutierungsmanöver die Oxygenierung verbessern (z.B. 3–5 sec dauerndes inspiratorisches Druckniveau von 25 – 35 cmH<sub>2</sub>O) ([Tusman et al.](#)).

#### PEEP

Eine Erhöhung des PEEP kann zu einer Verbesserung der Oxygenierung führen, kann aber auch das Shuntvolumen erhöhen (s.o.). Wir empfehlen eine stufenweise Erhöhung des PEEP im Falle einer Hypoxämie bis maximal 12 cm H<sub>2</sub>O.

#### Fiberoptische Lagekontrolle und Bronchialtoilette

Bei jeder Hypoxämie unter ELV sollte eine erneute Lagekontrolle und ggf. Korrektur des DLT erfolgen. Sollte im Rahmen dieser Lagekontrolle ein „Schleimproblem“ offensichtlich werden, empfiehlt sich die Therapie mittels Bronchialtoilette.



## Erweiterte Maßnahmen

### (intermittierende) Zweilungenventilation

Die einfachste Möglichkeit zur Verbesserung der Oxygenierung ist eine Aufhebung der ELV. Dieses sollte allerdings nur in enger Absprache mit den Chirurgen erfolgen, um Verletzungen durch die Ventilation zu vermeiden, außerdem macht es ein Operieren nahezu unmöglich.

### CPAP auf die nicht ventilierte Lunge

Je nach Operation kann der Einsatz von CPAP auf die nicht ventilierte Lunge erfolgen. Letztendlich besteht dieses System aus einem Schlauch für die Frischgaszufuhr und einem Ventil zur Einstellung eines PEEP. Auf diesem Weg kann die Oxygenierung verbessert werden. Es hebt allerdings die Totalatelektase auf und führt je nach Compliance der Lunge zu einer zum Teil erheblichen Ausdehnung. Dies kann eine Fortsetzung der Operation erheblich erschweren oder sogar unmöglich machen (**Russel**). Eine Modifikation wäre die **intermittierende CPAP-Applikation**.

### Jetventilation / Sauerstoff-Insufflation

Alternative Methoden wie eine **hochfrequente Jetventilation**, die **Insufflation von reinem Sauerstoff** über einen Katheter oder gezielt über das Bronchoskop sind weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Oxygenierung. Diese Maßnahmen erfordern allerdings einige Übung und haben ähnliche Nachteile wie eine CPAP-Applikation auf die nicht ventilierte Lunge.

**Praxis-Tipp:** Als einfache Maßnahme kann auch eine Applikation von Sauerstoff über eine Nasensonde in den Schenkel der nicht ventilierten Lunge erfolgen. Dies stört die Operateure oft wenig und lässt sich gut dosieren.

### Abklemmen der Pulmonalarterien

Ein Abklemmen der Pulmonalarterien (oder Teile davon) der nicht ventilierten Lunge durch die Thoraxchirurgen kann das Shuntvolumen reduzieren und die Oxygenierung verbessern.

### **Medikamentöse Verbesserung der Oxygenierung**

Inhalatives Stickstoffmonoxid oder inhalative Prostazykline sind medikamentöse Möglichkeiten eine Hypoxämie zu behandeln. Diese Interventionen sind allerdings Zentren vorbehalten.

# Punchlines Management einer persistierenden Hypoxämie



## Basismaßnahmen

- FiO<sub>2</sub> = 1,0
- Rekrutierungsmanöver
- PEEP erhöhen => 8 => 10 => max 12 cm H<sub>2</sub>O
- fiberoptische Lagekontrolle und Bronchialtoilette

## Erweiterte Maßnahmen

- CPAP auf die nicht ventiliert Lunge
- Jetventilation / O<sub>2</sub>-Insuflation
- Abklemmen der Pulmonalarterien
- medikamentöse Maßnahmen
  - inhalatives Stickstoffmonoxid
  - inhalative Prostzykline

## Einlungenventilation

Spickzettel

Größtmöglich!

### Tubus-Größe

Frauen		Männer	
Körpergröße in cm	DLT in Fr.	Körpergröße in cm	DLT in Fr.
< 150	32 (28)	< 160	35 - 37
150 - 160	35	160 - 170	37
> 160	35 - 37	> 170	37 - 39
> 180	39	> 180	41



### Vorgehen „Linksläufer“

- Führungsstab im endobronchialen Lumen
- endobronchiales Lumen zeigt nach oben
- nach Passage der Stimmbänder mit der Tubusspitze Führungsstab entnehmen
- Drehung des Tubus um 90° nach links
- weiteres Vorschieben bis zum Auftreten eines leichten, federnden Widerstandes
- bronchoskopische Lagekontrolle: tracheal: Darstellung der Carina und der Tracheahinterwand; Identifizierung des rechten Ober-, Mittel- und Unterlappen
- Blockung des trachealen Cuffs
- Anschluss an Y-Konnektor

Erwartete Tiefe Zahnreihe: 1/10 der Körpergröße in cm plus 12 cm

### Platzierung Tubus

### Vorgehen „Rechtsläufer“

- Führungsstab im endobronchialen Lumen
- endobronchiales Lumen zeigt zunächst nach oben
- nach Passage der Stimmbänder mit der Tubusspitze Führungsstab entnehmen
- Drehung des Tubus um 90° nach rechts
- weiter Vorschieben bis zum Auftreten eines federnden Widerstandes
- bronchoskopische Lagekontrolle tracheal: Darstellung der Carina und der Tracheahinterwand
- bronchoskopische Lagekontrolle bronchial: Identifizierung des rechten Oberlappen in der Öffnung, Mittel- und Unterlappen distal des bronchialen Cuffs
- Blockung des trachealen Cuffs
- Anschluss an Y-Konnektor

### Basiseinstellungen

- FiO<sub>2</sub> initial 1,0 - bei guter Oxygenierung schrittweise Reduktion bis FiO<sub>2</sub> 0,5
- Tidalvolumen 4 (- max 6) ml/kg KG, PEEP möglichst < 20 cm H<sub>2</sub>O
- Atemfrequenz 15 - 20/min
- PEEP initial 5 cm H<sub>2</sub>O
- I:E-Verhältnis nach Atemkurven, auf Nullfluss achten (Auto-PEEP)
- BGA vor und ca. 20 min. nach Etablierung ELV
  - permissive Hyperkapnie bis pH 7,25
  - bei hämodynamischer Instabilität bis pH 7,30
- Wenn Volatila eingesetzt werden MAC < 1
- restriktives Volumenmanagement

### Maßnahmen bei Hypoxämie

#### Basismaßnahmen

- FiO<sub>2</sub> = 1,0
- Rekrutierungsmanöver
- PEEP erhöhen => 8 => 10 => max 12
- fiberoptische Lagekontrolle und Bronchialtoilette

#### Erweiterte Maßnahmen

- CPAP auf die nicht ventiliert Lunge
- Jetventilation / O<sub>2</sub>-Insuflation
- Abklemmen der Pulmonalarterien
- medikamentöse Maßnahmen
  - inhalatives Stickstoffmonoxid
  - inhalative Prostzykline

Unser Spickzettel für die ersten Male

---

## Autoren

### Dr. med. Thorben Doll

Arzt in Weiterbildung Anästhesiologie, aktiver Notarzt, lernte die Notfallmedizin von der Pike auf kennen, präklinische Erfahrung 17 Jahre und Gründer von Pin-Up- [docs.de](https://docs.de)

### Johannes Pott

Arzt in Weiterbildung Anästhesiologie, aktiver Notarzt, Lieblingsbaustelle ist die Intensivstation. Seit 16 Jahren im Rettungsdienst und Gründer von [Pin-Up-Docs.de](https://Pin-Up-Docs.de)

---

## Online Quellen

<https://flexikon.doccheck.com/de/Diffusion>

<https://flexikon.doccheck.com/de/Charrière>

<https://flexikon.doccheck.com/de/Euler-Liljestrand-Mechanismus>

<https://flexikon.doccheck.com/de/Pulmonalarteriendruck>

<https://flexikon.doccheck.com/de/Totraumventilation>

[https://flexikon.doccheck.com/de/Minimale\\_alveoläre\\_Konzentration](https://flexikon.doccheck.com/de/Minimale_alveoläre_Konzentration)

<https://www.helios-gesundheit.de/kliniken/erfurt/unsere-angebote/unsere-fachbereiche/anaesthesie/fortbildung-lehre-forschung-sops/sops-der-kans/anaesthesie-nach-fachbereichen/thoraxchirurgische-anaesthesie-und-bronchoskopie/#c126662>

<https://boa.coach/2018/12/03/einlungenventilation-basics-und-pitfalls/>

<https://boa.coach/2018/10/27/das-zonenmodell-nach-west-und-der-ventilations-perfusions-mismatch/>

<https://boa.coach/2018/12/12/mapleson-was-theorie-der-halboffenen-systeme/>

<https://ains.umg.eu/studium-lehre/podcast/episode-28-jet-ventilation/?L=0>

---

## Quellen

1. Kammerer T, Speck E, von Dossow V. **Anästhesie in der Thoraxchirurgie**. Anaesthesist. 2016 Mai 4; 397-412.
2. Larsen R. Anästhesie. 10. Auflage. Elsevier GmbH München; 2013: 1221-1242.
3. Larsen R. Thoraxchirurgie. Anästhesie und Intensivmedizin in der Herz-, Thorax- und Gefäßchirurgie. 8. Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York; 2012: 359- 417.
4. Loop T, Spaeth J. **Atemwegsmanagement in der Thoraxanästhesie mit dem Doppellumentubus [Airway Management in Thoracic Anesthesia with Double-Lumen Tube]**. Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther. 2018 Mar;53(3):174-185. German. doi: 10.1055/s-0043-114678. Epub 2018 Mar 19. PMID: 29554710.
5. Loop, T. „**One-lung ventilation**.“ *ANASTHESIOLOGIE & INTENSIVMEDIZIN* 61 (2020): 579-586.
6. Lumb AB, Slinger P: **Hypoxic pulmonary vasoconstriction: physiology and anesthetic implications**. Anesthesiology 2015;122:932–946
7. Lohser J, Slinger P: **Lung Injury After One Lung Ventilation: A Review of the Pathophysiologic Mechanisms Affecting the Ventilated and the Collapsed Lung**. Anesth Analg 2015;121:302–318

8. Serpa Neto A, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, Hollmann MW, Jaber S, Kozian A, Licker M, Lin WQ, Moine P, Scavonetto F, Schilling T, Selmo G, Severgnini P, Sprung J, Treschan T, Unzueta C, Weingarten TN, Wolthuis EK, Wrigge H, Gama de Abreu M, Pelosi P, Schultz MJ; PROVE Network investigators. **Incidence of mortality and morbidity related to postoperative lung injury in patients who have undergone abdominal or thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis.** Lancet Respir Med. 2014 Dec;2(12):1007-15. doi: 10.1016/S2213-2600(14)70228-0. Epub 2014 Nov 13. Erratum in: Lancet Respir Med. 2014 Dec;2(12):e23. PMID: 25466352.
9. Kim KN, Kim DW, Jeong MA, Sin YH, Lee SK. Comparison of pressure-controlled ventilation with volume-controlled ventilation during one-lung ventilation: a systematic review and meta-analysis. BMC Anesthesiol. 2016 Aug 31;16(1):72. doi: 10.1186/s12871-016-0238-6. PMID: 27581657; PMCID: PMC5007729.
10. Karzai W, Haberstroh J, Priebe HJ. **Effects of desflurane and propofol on arterial oxygenation during one-lung ventilation in the pig.** Acta Anaesthesiol Scand. 1998 Jul;42(6):648-52. doi: 10.1111/j.1399-6576.1998.tb05296.x. PMID: 9689269.
11. Karzai W, Schwarzkopf K. **Hypoxemia during one-lung ventilation: prediction, prevention, and treatment.** Anesthesiology. 2009 Jun;110(6):1402-11. doi: 10.1097/ALN.0b013e31819fb15d. PMID: 19417615.
12. Unzueta C, Tusman G, Suarez-Sipmann F, Böhm S, Moral V. **Alveolar recruitment improves ventilation during thoracic surgery: a randomized controlled trial.** Br J Anaesth. 2012 Mar;108(3):517-24. doi: 10.1093/bja/aer415. Epub 2011 Dec 26. PMID: 22201185.
13. Tusman G, Böhm SH, Sipmann FS, Maisch S. **Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia.** Anesth Analg. 2004 Jun;98(6):1604-9, table of contents. doi: 10.1213/01.ane.0000068484.67655.1a. PMID: 15155312.
14. Russell WJ. **Intermittent positive airway pressure to manage hypoxia during one-lung anaesthesia.** Anaesth Intensive Care. 2009 May;37(3):432-4. doi: 10.1177/0310057X0903700316. PMID: 19499863.

