

Aus der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie
der Otto-von-Guericke-Universität
Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum A.ö.R.

Vergleich eines neuen Bronchusblockers mit etablierten Verfahren zur
Atemwegsseparation hinsichtlich Handhabung und klinischer Parameter

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades

Dr. med.

(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von Tom Kreft

aus Berlin

Magdeburg 01.12.2016

Bibliographische Beschreibung:

Kreft, Tom:

Vergleich eines neuen Bronchusblockers mit etablierten Verfahren zur Atemwegsseparation hinsichtlich Handhabung und klinischer Parameter. - 2016 - 83 Bl., 24 Abb., 43 Tab.

Kurzreferat

Der Doppel-Lumen-Tubus stellt bis heute den Goldstandard für die Anästhesie in Ein-Lungen-Ventilation dar. Bronchusblocker werden bei Kindern unter 8 Jahren und Patienten mit orofazialen Veränderungen nach Operationen oder Radiatio angewendet. Alle Bronchusblocker zeigen in bisherigen Untersuchungen im Vergleich zum Doppel-Lumen-Tubus eine verlängerte Anlagedauer und erhöhte Dislokationsraten. Eine Kombination aus einem Bronchusblocker und einem Single-Lumen-Tubus mit integrierter Kameraoptik zur permanenten Visualisierung der trachealen Bifurkation soll die Atemwegsseparation erleichtern und Dislokationen frühzeitig darstellen. In dieser Arbeit wird der VivaSight™-SL+EB mit zwei konventionellen Bronchusblockern und dem Doppel-Lumen-Tubus hinsichtlich Platzierungsdauer, Schwierigkeitsgrad der Anlage, Dislokationsraten, Grad der chirurgischen Exposition sowie Parametern der maschinellen Ventilation und Oxygenierung verglichen. Der VivaSight™-SL+EB ist dem Fuji Uniblocker™, dem Cook® Arndt-Blocker und dem Doppel-Lumen-Tubus nicht unterlegen. Vorteile des Doppel-Lumen-Tubus gegenüber den Bronchusblockern hinsichtlich der Anlagedauer und Dislokationsraten lassen sich in dieser Untersuchung nicht darstellen. Das Indikationsspektrum für Bronchusblocker sollte überdacht werden.

Schlüsselwörter

Atemwegsseparation, Atemwegsverletzung, Bronchusblocker, Blutgasanalyse, Doppel-Lumen-Tubus, Ein-Lungen-Ventilation, Gasaustausch, Mechanische Ventilation, Schwieriger Atemweg, Thoraxanästhesie, Videoassistierte Thorakoskopie.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungsverzeichnis.....	II
1 Einführung.....	1
1.1 Indikationen für die Seitentrennung der Atemwege.....	1
1.2 Historie der Ein-Lungen-Ventilation.....	2
1.3 Pathophysiologie der Seitenlagerung	2
1.4 Pathophysiologie der Ein-Lungen-Ventilation	4
1.5 Parameter der Ventilation	6
1.6 Verfahren der Atemwegsseparation	7
1.7 Doppel-Lumen-Tubus und moderne Bronchusblocker	15
1.8 Ziele der Dissertation.....	20
1.9 Hypothesen der Dissertation.....	20
2 Material und Methoden	21
2.1 Studiendesign.....	21
2.2 Studienablauf.....	24
2.3 Messungen	27
2.4 Statistische Auswertung.....	32
3 Ergebnisse	33
3.1 Patientendaten.....	33
3.2 Platzierungsdauer	34
3.3 Anzahl der Blockierungen.....	38
3.4 Schwierigkeitsgrad.....	38
3.5 Dislokationsrate	39
3.6 Exposition.....	41
3.7 Bronchoskopien und Verletzungen	42
3.8 Ventilation.....	44
3.9 Blutgasanalysen	49
4 Diskussion	52
4.1 Diskussion der Ergebnisse.....	52
4.2 Ventilation.....	61
4.3 Blutgasanalysen	61
4.4 Diskussion der Methodik	65
5 Zusammenfassung	67
Literaturverzeichnis	IV
Danksagungen.....	XI
Ehrenerklärung	XII
Curriculum Vitae.....	XIII

Abkürzungsverzeichnis

AF	Atemfrequenz
AMV	Atemminutenvolumen
ANOVA	Einfaktorielle Varianzanalyse
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
BGA	Blutgasanalyse
CI	Konfidenzintervall
CO	Cardiac Output
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
DLT	Doppel-Lumen-Tubus
ELV	Ein-Lungen-Ventilation
FEV₁	forcierte Einsekundenkapazität
FiO₂	inspiratorische Sauerstofffraktion
FRC	funktionelle Residualkapazität
HPV	hypoxisch-pulmonale Vasokonstriktion
HZV	Herzzeitvolumen
LCS	Lung Collapse Score
MAC	Minimale Alveoläre Konzentration
MAP	Mean Arterial Pressure
MIDCAB	Minimally Invasive Direct Coronary Artery Bypass
NNH	Number Needed to Hurt
PAP	pulmonalarterieller Druck
PDK	Periduralkatheter
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
PetCO₂	endtidaler Kohlendioxidpartialdruck
P_{insp}	Inspirationsdruck
P_{max}	Beatmungsspitzenndruck
PONV	postoperative Übelkeit und Erbrechen
PVR	pulmonalvaskulärer Widerstand

Q_s/Q_t	venöse Beimischung
RCT	Randomized Controlled Trial
SaO₂	arterielle Sauerstoffsättigung
SLT	Single-Lumen-Tubus
V_T	Atemzugvolumen
VATS	videoassistierte thorakoskopische Chirurgie
V_A/Q	Ventilations- Perfusionsverhältnis

1 Einführung

1.1 Indikationen für die Seitentrennung der Atemwege

Die Indikation für die seitengetrennte Ventilation der Lungen ergibt sich heute zumeist aus den Anforderungen der modernen Thorax-, Herz- und Abdominalchirurgie [1]. Früher bedingten die hohe Prävalenz der Tuberkulose und von Bronchiektasen die absolute intraoperative Sekretkontrolle durch Ein-Lungen-Ventilation (ELV) zum Schutz vor Übertritt in die gesunde Lunge. Heute steht die Anwendung der ELV zur Optimierung der Exposition des Operationsgebietes im Rahmen der minimalinvasiven oder videoassistierten Chirurgie im Vordergrund. Durch den Kollaps einer Lunge werden die Operationsbedingungen bei Eingriffen wie der ventralen Wirbelsäulenchirurgie, der minimalinvasiven direkten koronaren Bypass-Operation (MIDCAB) und der thorakoabdominellen Ösophagusresektion verbessert, minimalinvasive Eingriffe wie thorakoskopische Parenchymresektionen werden dadurch erst ermöglicht. Absolute Indikationen für die Ein-Lungen-Ventilation finden sich bei einseitiger intrapulmonaler Blutung, bronchopleuraler Fistel oder intraoperativer bzw. traumatischer Eröffnung eines großen Luftleiters. Die großvolumige Lavage in Allgemeinanästhesie bei Alveolarproteinose erfordert die Ein-Lungen-Ventilation ebenso wie die Sekretkontrolle bei anderen infektiösen Prozessen. An relativen Indikationen sind Oberlappenresektionen und Pneumonektomien zu nennen, des Weiteren die Mikrokoagulation zwerchfellnaher Lebertumoren. Auf weitere Indikationen wie die seitengetrennte Intensivbeatmung polytraumatisierter Patienten mit seitendifferenten Lungenkontusionen soll hier nicht eingegangen werden.

1.2 Historie der Ein-Lungen-Ventilation

Die Praxis der Anästhesieführung in Spontanatmung limitierte anfänglich aufgrund des Pneumothorax-Problems die Entwicklung der Thoraxchirurgie [2]. Erst die Technik der endobronchialen Intubation unter Nutzung eines mit einem Cuff versehenen Single-Lumen-Tubus durch Gale [3] erlaubte 1931, nur kurz nach der Vorstellung des Endotrachealtubus durch Guedel [4], die Durchführung parenchymresezierender Eingriffe. Ein Bronchusblocker in Form eines Katheters mit distalem Ballon zur endobronchialen Platzierung wurde 1935 von Archibald vorgestellt [5]. Nach langjähriger Verwendung unter anderem von Fogarty-Embolektomiekathetern oder Pulmonalarterien-Kathetern [6] wurde 1984 mit dem Univent-Tubus ein Single-Lumen-Tubus mit integriertem Bronchusblocker zur Therapie endobronchialer Blutungen vorgestellt [7]. In der Folge setzten sich mit Verbreitung der fiberoptischen Bronchoskopie in der Thoraxanästhesie [8] dedizierte Bronchusblocker mit Multiportadapter durch [9-11,12].

Ein linksgeführter Doppel-Lumen-Tubus mit Karina-Sporn wurde 1949 von Carlens für die differentielle Spirometrie genutzt [13] und kurz darauf durch Bjork in der Thoraxanästhesie eingesetzt [14]. Das heutige Design des Doppel-Lumen-Tubus wurde 1962 durch Robertshaw geprägt [15] und seither durch verbesserte Werkstoffe optimiert. Nunmehr stehen auch Doppel-Lumen-Trachealkanülen zur Verfügung [16].

Parallel zu den Möglichkeiten der Atemwegsseparation reduzierten die Kapnometrie und Pulsoxymetrie die intraoperativen und der thorakale Periduralkatheter die postoperativen Komplikationen thoraxchirurgischer Interventionen. Zusammengefasst hat die Entwicklung der Thoraxanästhesie die Ausbildung der modernen Thoraxchirurgie maßgeblich mit ermöglicht.

1.3 Pathophysiologie der Seitenlagerung

Während einer Ein-Lungen-Ventilation kommt es zu ausgeprägten pathophysiologischen Veränderungen, insbesondere zu einer erhöhten Beimischung

venösen Blutes mit der Folge einer arteriellen Hypoxämie. Die auch unter Spontanatmung vorhandene Shuntfraktion (Q_s/Q_t) von etwa 10 % des Herzzeitvolumens setzt sich zusammen aus dem anatomischen Shunt der Bronchialarterien und der Venae cordis minimae sowie dem physiologischen Shunt aufgrund der mit dem Lebensalter ansteigenden [17] Perfusion von Lungenarealen mit einem niedrigen Ventilations-Perfusions-Verhältnis (V_A/Q). Nach der Seitenlagerung des spontan atmenden Patienten wird die abhängige Lunge durch die Kompression der Abdominalorgane auf einer günstigeren Position der Druck-Volumen-Kurve abgebildet. Der Tidalvolumenanteil der abhängigen Lunge wird gesteigert, während die obere Lunge eine relative Volumenreduktion erfährt (Abbildung 1A). Die gravitationsbedingt ebenfalls gesteigerte Perfusion der unteren Lunge resultiert in einem konstanten V_A/Q [18]. Die Anästhesieeinleitung, Relaxierung und kontrollierte Ventilation führen in Seitenlage zu einer Kompression und Complianceminderung der abhängigen Lunge mit Umverteilung der Ventilation zugunsten der oberen Lunge, die sich nun aufgrund verbesserter Compliance auf dem steilen Anteil der Druck-Volumen-Kurve befindet (Abbildung 1 B).

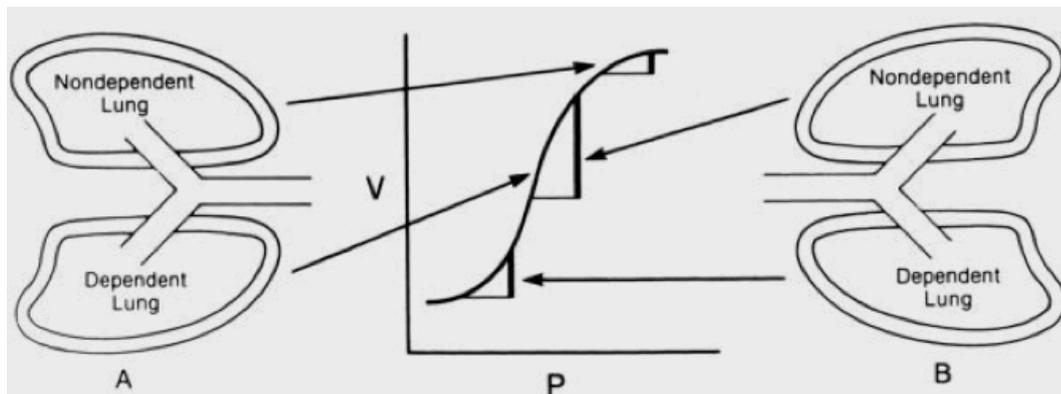


Abbildung 1 Darstellung der Druck-Volumen-Kurven des wachen (A) und anästhesierten (B) Patienten in Seitenlage bei geschlossenem Thorax. Die abhängige Lunge wird nach der Anästhesieeinleitung und Relaxierung auf dem flachen Anteil der Kurve abgebildet, da die Zwerchfellspannung aufgehoben wird und sich die Kompression durch die Abdominalorgane nun voll auswirkt. Die obere Lunge verfügt am spontan atmenden Patienten aufgrund ihrer Vordehnung über eine geringe Compliance. Durch die anästhesiebedingte Kompression, Überdruckbeatmung und nun günstigere Position auf dem steilen Anteil der Kurve führt die kontrollierte Ventilation zu einer Umverteilung des Tidalvolumens von der abhängigen in die obere Lunge, aus [19].
 V = Volumen, P = Druck

Die während kontrollierter Ventilation in Seitenlage beobachtete Umverteilung der Perfusion zugunsten der unteren Lunge galt bisher als gravitationsbedingt, aufgrund des erhöhten Anteils von Lungenarealen entsprechend der Zone 3 nach West [20]. Die *zonale* Verteilung der Perfusion nach West wurde in neuerer Zeit durch das Modell der *zentralen* Verteilung ergänzt. Dieses Modell zeigt eine primär von der Gravitation unabhängige Perfusionsreduktion proportional zur Distanz zum Hilus, mit Gefäßdiametern und Verzweigungsmustern als zusätzliche Variablen [21]. Der Nachweis der gravitationsunabhängigen Verteilung der pulmonalen Perfusion wurde im Hundemodell geführt [22], während SPECT-Untersuchungen an menschlichen Probanden die Abhängigkeit der Perfusion von der Schwerkraft zeigten. Interspeziesdifferenzen in der Gefäßanatomie und den hydrostatischen Kräften, aufgrund unterschiedlicher maximaler Lateraldurchmesser des Thorax, erschweren die Vergleichbarkeit der Untersuchungen [23]. Zusammengefasst wird die Perfusionsverteilung des anästhesierten Patienten in Seitenlage sowohl von der Schwerkraft, als auch von nicht-gravitationalen Faktoren beeinflusst, die zu einer Ungleichverteilung zugunsten der abhängigen Lunge führen [24].

1.4 Pathophysiologie der Ein-Lungen-Ventilation

Mit Eröffnung des oberen Hemithorax wird die Volumendehnbarkeit der nicht-abhängigen Lunge nur noch von der parenchymalen Compliance bestimmt. Das Mediastinum komprimiert durch den Verlust des negativen intrapleurales Drucks die abhängige Lunge, die in Seitenlage etwa 60 % des Herz-Zeit-Volumens (HZV) erhält [25]. Die Perfusionsdistribution wird durch die Thoraxeröffnung nicht beeinflusst, so dass die Verschiebung der Ventilation in die nicht-abhängige Lunge das Ventilations-Perfusions-Verhältnis verschlechtert [26]. Die Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation resultiert in einer kompletten Umverteilung der Ventilation in die abhängige Lunge.

Die reduzierte alveoläre Sauerstoffspannung in der oberen Lunge führt über die Aktivierung spannungsabhängiger Kaliumkanäle zur Depolarisierung der

pulmonalerteriellen Muskelzelle und zur Aktivierung der hypoxisch-pulmonalen Vasokonstriktion [27]. Die initiale Shuntfraktion von 45 % kann dadurch auf 27,5 % reduziert werden [19], was eine sichere Oxygenierung mit arteriellen Sauerstoffpartialdrücken um $paO_2 = 150 \text{ mmHg}$ bei einer inspiratorischen Sauerstofffraktion von $FiO_2 = 1,0$ ermöglicht [28].

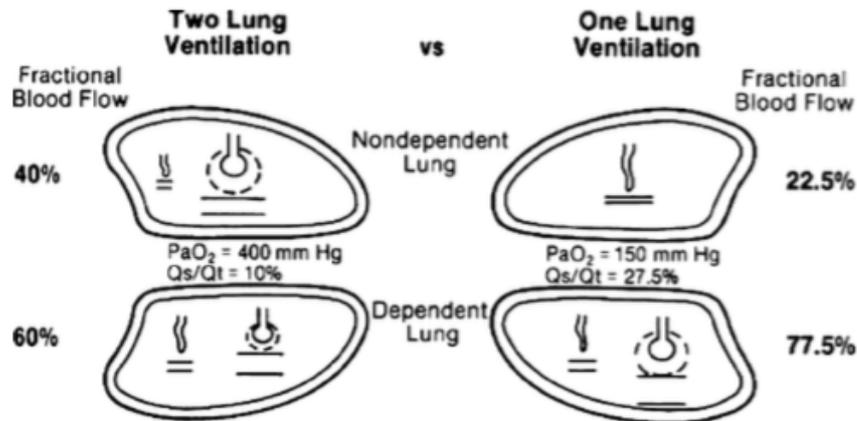


Abbildung 2 Dargestellt ist die Perfuisionsverteilung (Fractional Blood Flow) beider Lungen in Seitenlage während Zwei-Lungen-Ventilation (Two Lung Ventilation) und nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation (One Lung Ventilation) mit wirksamer HPV. Angenommen wurde die seitensymmetrische Verteilung des obligatorischen Shunts von je 5 % ($Q_s/Q_t = 10\%$) [29]. Durch die hypoxisch-pulmonale Vasokonstriktion wird die venöse Beimischung durch den Ventilationsstopp der operativen Lunge um 50 % reduziert. Es verbleibt eine Shuntfraktion von $35\% \cdot 0,5 + 5\% = 22,5\%$ für die nichtventilierte Lunge, addiert um den obligatorischen Shunt der abhängigen Lunge. Aus [25], modifiziert nach [19].

Die operative Versorgung vorerkrankter Lungen mit vorbestehender chronischer Perfuisionsminderung führt häufig zu deutlich geringeren Raten venöser Beimischung und zu physiologischen Sauerstoffpartialdrücken um $paO_2 = 100 \text{ mmHg}$ auch bei inspiratorischen Sauerstoffkonzentrationen zwischen 50 % und 70 %. Untersuchungen an Patienten in Rückenlage zeigten unter Halothananästhesie einen erhöhten intrapulmonalen Shunt und atelektatische Bezirke in den abhängigen Arealen beider Lungen [30]. Moderne volatile Anästhetika und Propofol haben nur einen geringen Einfluss auf die Wirksamkeit der hypoxisch-pulmonalen Vasokonstriktion [31]. Ihre Anwendung sowie ein adäquater PEEP reduzieren die Restperfusion der nicht-abhängigen Lunge und die Bildung von Atelektasen in der ventilierten, abhängigen Lunge [32]. Darüberhinaus

unterdrücken Sevofluran und Desfluran die inflammatorische Antwort des Alveolarepithels der ventilierten Lunge [33]. Die Verbesserung des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses durch die HPV in Seitenlage wird durch eine Rückenlage nivelliert [34], weswegen diese Position zu einer erhöhten Rate kritischer Hypoxämien während der Ein-Lungen-Ventilation führt [35]. Die Wirkung der hypoxisch-pulmonalen Vasokonstriktion erreicht nach sekundenschnellem Beginn ihr Maximum nach etwa 15 min. Es existiert eine zweite Komponente mit langsamem Wirkeintritt und Hinweisen auf eine Präkonditionierbarkeit [36,37]. Die ebenfalls biphasische Aufhebung der Wirkung über mehrere Stunden [38] führt nach Aufhebung der ELV zu einer prolongierten Minderperfusion der operativen Lunge mit konsekutiver Hyperperfusion der abhängigen Lunge und resultierendem Alveolarschaden [39].

1.5 Parameter der Ventilation

Die intraoperative lungenprotektive Ventilation wird seit 1999 [40,41] auch bei thoraxchirurgischen Eingriffen zunehmend durchgeführt. Eine Ein-Lungen-Ventilation mit Tidalvolumina von 10ml/kg generiert Scherstress und ein Atelektrauma, das über die Ausschüttung proinflammatorischer Zytokine zu einem diffusen Alveolarschaden führt [42]. Eine bronchoalveoläre Gerinnungsaktivierung entsteht durch Ventilation mit solchen Tidalvolumina unter Verzicht auf PEEP [43]. Entsprechend wird für die Ein-Lungen-Ventilation die Verwendung von PEEP in Kombination mit Tidalvolumina von 6 ml/kg empfohlen [44,45]. Die Anwendung eines PEEP kurz oberhalb des unteren Inflektionspunktes der Druck-Volumen-Kurve reduziert den zyklischen Kollaps kleiner Atemwege. Die Oxygenierung und Shuntfraktion während der Ein-Lungen-Ventilation werden durch PEEP verbessert [46,47].

Ein PEEP von 10 cmH₂O verbessert die Oxygenierung bei vorbestehender forcierter Einsekundenkapazität (FEV₁) von mehr als 72 % und die Compliance unabhängig der FEV₁ [48]. Auch profitieren Patienten mit Lungentrauma und Horovitz-Indices <160 mmHg von einem PEEP von 10 cmH₂O. Ferrando zeigte

einen Vorteil für einen individualisierten PEEP (10 ± 2 vs. $5 \text{ cm} \cdot \text{H}_2\text{O}$) nur bei einer ELV-Dauer von mehr als 20 min mit einer konstanten $\text{FiO}_2 = 1,0$ [32]. Auch wegen des Zeitbedarfs einer individualisierten PEEP-Einstellung von etwa 10 min ist die frühe und dauerhafte Applikation von $5 \text{ cmH}_2\text{O}$ PEEP sinnvoll [49].

Die Höhe des verwendeten PEEP muss darüber hinaus trotz dessen inhomogener Verteilung an einen intrinsischen PEEP (PEEPi) des Patienten adaptiert werden [44], um negative Auswirkungen auf das Herzzeitvolumen zu vermeiden [50]. Hohe inspiratorische Spitzendrücke steigern neben Hypervolämie, Pneumonektomien und Alkoholabusus das Risiko für ein postoperatives Lungentrauma [51,52]. Empfohlen wird die Begrenzung des maximalen Inspirationsdrucks auf $30 \text{ cmH}_2\text{O}$ bzw. die Steuerung anhand der Druck-Volumen-Kurve [40,41].

Die Oxygenierung während der Ein-Lungen-Ventilation kann durch die Anwendung eines Rekrutierungsmanövers verbessert werden. Direkt nach Etablierung der ELV und bei anschließender Anwendung eines PEEP von $5 \text{ cmH}_2\text{O}$ [53,54] bzw. $8 \text{ cmH}_2\text{O}$ [55] können durch ein Rekrutierungsmanöver Horovitz-Indices entsprechend der Ausgangswerte erzielt werden. Die notwendigen inspiratorischen Spitzendrücke sowie die Dauer des Manövers sind nicht standardisiert. Eine vollständige Rekrutierung wird bei gesunden Freiwilligen nach 8 s mit einem Spitzendruck von $40 \text{ cmH}_2\text{O}$ erreicht [56].

1.6 Verfahren der Atemwegsseparation

Die moderne Thoraxchirurgie mit ihrer Entwicklung hin zu minimalinvasiven thorakoskopischen Interventionen erfordert für eine optimale Exposition des OP-Gebietes die seitengetrennte Ventilation mit Ruhigstellung der zu operierenden Lunge. Für den verantwortlichen Anästhesisten sind daher die Kenntnis der bronchialen Anatomie und der sichere Umgang mit den verfügbaren Werkzeugen und Methoden essentiell. Für die Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation stehen grundsätzlich zwei verschiedene Verfahren zur Verfügung: Bei der Ventilation mit Hilfe eines Doppel-Lumen-Tubus erfolgt die selektive Ventilation einer Lunge durch Einbringen des bronchialen Schenkels in den entsprechenden Hauptbronchus. Mit

der Verwendung eines Bronchusblockers erfolgt die selektive Blockade eines Haupt- bzw. Lappenbronchus durch Einbringen des blockierbaren Cuffs in einen Haupt- oder Lappenbronchus. Die Notwendigkeit der Ein-Lungen-Ventilation für Eingriffe in den Bereichen Herz-, Ösophagus- und Wirbelsäulenchirurgie und die Verschiebung der thoraxchirurgischen Indikationen von der Infektionschirurgie hin zu (oft mehrzeitiger) Tumorchirurgie führen zu Situationen, die eine Alternative zur Verwendung eines Doppel-Lumen-Tubus erfordern. Die postoperative Nachbeatmung, tracheotomierte bzw. aus anderen Gründen nicht orotracheal intubierbare Patienten, Kinder sowie bereits unter Parenchymverlust voroperierte Patienten erschweren die Ein-Lungen-Ventilation mit einem Doppel-Lumen-Tubus oder schließen diese sogar aus. Alternative Verfahren wie die bronchiale Platzierung eines Single-Lumen-Tubus (SLT) oder die Anwendung eines Embolektomiekatheters sind verletzungsträchtig und verhindern eine Deflation der zu operierenden Lunge.

1.6.1 Doppel-Lumen-Tubus (DLT)

Der Doppel-Lumen-Tubus (DLT) besteht aus zwei voneinander getrennten Lumina und steht als links- und rechtsgeführtes Modell in verschiedenen Größen zur Verfügung. Der Bronchus-Durchmesser korreliert nicht mit dem Gewicht oder der Größe des Patienten. Er kann aus dem röntgenologischen Trachealquerschnitt nach der Formel $\text{Bronchus} = 0.45 \times (\text{Tracheadurchmesser} + 3.3 \text{ mm})$ [57] berechnet werden. Generell sollte der größtmögliche DLT verwendet werden, da der bronchiale Schenkel eines inadäquat kleinen DLT zu Blockaden des rechten Oberlappenbronchus führen kann. Die Einführtiefe korreliert hingegen mit der Körpergröße des Patienten und

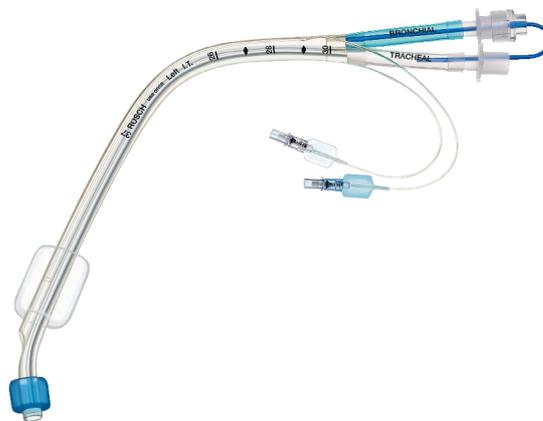


Abbildung 3 Mallinckrodt Broncho-Cath™ Doppel-Lumen-Tubus

beträgt $12.0 + 0.1 \times \text{Größe (cm)}$ [58]. Bei linksläufigen DLT wird der Cuff des blauen Schenkels im linken Hauptbronchus etwa 1 cm distal der Karina platziert. Der kürzere, transparente tracheale Schenkel endet unterhalb des Cuffs noch proximal der Hauptkarina. Abhängig vom Inflationszustand des bronchialen Cuffs werden durch das tracheale Lumen entweder die rechte Lunge oder - bei entblocktem bronchialen Cuff - beide Lungen ventiliert. Der blaue Schenkel des rechtsläufigen DLT wird mit seinem Cuff in den rechten Stammbronchus eingebracht. Aufgrund des karinanahen Abgangs des rechten Oberlappenbronchus ist das distale Ende des rechtsgeführten DLT mit einer seitlichen Öffnung für diesen versehen. Das tracheale Lumen bietet analog zum linksläufigen DLT die Option zur Zwei-Lungen-Ventilation oder selektiven Ventilation der linken Lunge.

Nach Herstellung der Intubationsbereitschaft wird der DLT mit konventioneller Laryngoskopie durch die Glottis nach tracheal eingebracht und dann modellabhängig nach Rotation um $90\text{-}180^\circ$ [59] in den gewünschten Hauptbronchus eingeführt. Nach Inflation des trachealen Cuffs kann optional auskultiert werden, die bronchoskopische Lagekontrolle ist jedoch zwingend erforderlich. Der bronchiale Cuff wird - nach gegebenenfalls notwendiger Replatzierung - unter Sicht blockiert. Die Ventilation beginnt zunächst als Zwei-Lungen-Ventilation. Nach Seitenlagerung des Patienten erfolgt erneut die bronchoskopische Lagekontrolle und gegebenenfalls eine Korrektur. Durch das Abklemmen des Schlauchteils zwischen Y-Stück und eigentlichem Tubus wird die Ventilation der gewünschten Lungenseite unterbrochen. Die Entlüftung erfolgt durch Öffnen des Lumens zur Atmosphäre. Die Aufhebung der Ein-Lungen-Ventilation wird durch Wiederanschluss des unterbrochenen Lumens an das Beatmungsgerät erreicht, wobei ein alveoläres Rekrutierungsmanöver durchgeführt werden sollte, ggf. nach Ausklemmung der zuvor ventilierten Lunge.

Im Gegensatz zur Verwendung von Bronchusblockern ist auch die intermittierende Zwei-Lungen-Ventilation als Sicherheitsmaßnahme vor dem Setzen einer Klammernaht ohne weitere Bronchoskopie möglich [60].

VivaSight™-DL -Doppel-Lumen-Tubus

Der VivaSight™-DL-Doppel-Lumen-Tubus (ETView Ltd, Misgav, Israel) ergänzt den konventionellen Doppel-Lumen-Tubus um eine Kameraoptik am distalen Ende des trachealen Lumens. Diese ermöglicht nach Anschluss an einen wiederverwendbaren externen Monitor die kontinuierliche visuelle Kontrolle der distalen Trachea, Karina und des Abgangs der Hauptbronchien.

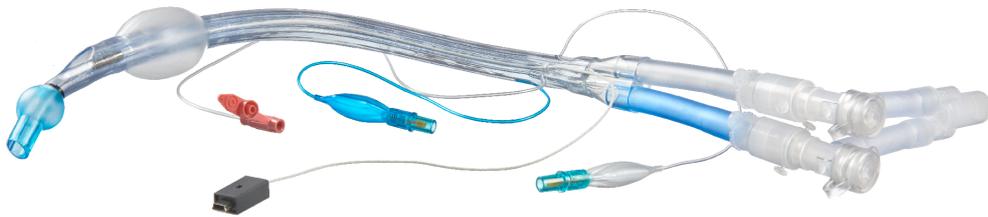


Abbildung 4 VivaSight™-DL-Doppel-Lumen-Tubus

Die Intubation erfolgt konventionell oder mit Hilfe eines Videolaryngoskops. Die Kamera des VivaSight™-DL ermöglicht zwar ebenfalls die Visualisierung des Pharynx und des Durchtritts durch die Glottis, das Bild ist aber wegen der Rotation des DLT nach Passage der Glottis um 90° rotiert.

Die Platzierung des bronchialen Schenkels des ausschließlich linksläufig vorliegenden VivaSight™-DL erfolgt unter tracheoskopischer Sicht, die initial blinde DLT-Platzierung entfällt somit. Die bronchoskopische Lagekontrolle ist bei normaler Anatomie und geringer Sekretbildung nicht notwendig. Eine Spüleitung zur Reinigung der Kameralinse ist integriert. Die Intubation gelingt mit einer Erfolgsrate von 98-99 % bei einem Zeitbedarf von 36-59 s [61,62]. Die Platzierung wird zu 70-81 % als einfach beschrieben [61,62]. Im Vergleich zu einem DLT ist der Zeitbedarf für die Platzierung des VivaSight™-DL geringer [63,64]. Zwischen 0 % und 13 % der Patienten benötigen eine zusätzliche fiberoptische Bronchoskopie [63-65].

1.6.2 Bronchiale Blocker

Bronchusblocker (BB) sind ein- oder mehrlumige dünne Katheter mit einem aufblasbaren Cuff am distalen Ende. Sie werden mit unterschiedlichen Durchmessern angeboten werden (Kinder 5 Fr, Erwachsener 7-9 Fr). Allen gemeinsam ist die bronchoskopisch geführte Platzierung durch einen oder entlang eines konventionellen Endotrachealtubus bzw. einer Trachealkanüle und das Einbringen und Blocken des Cuffs in einen Haupt-, Lappen- oder Segmentbronchus. Es befinden sich unterschiedliche Fabrikate verschiedener Hersteller im klinischen Gebrauch. Sie unterscheiden sich von einander primär durch die Art der Platzierung.

Endobronchialer Blocker nach Arndt

Das Hauptmerkmal des 1999 eingeführten Cook® Arndt-Blockers [9] (Cook Critical Care, Bloomington, IN, USA) ist eine in das Lumen (1,4 mm ID) des Blockers integrierte Schlaufe am distalen Blockerende. Das Bronchoskop wird durch diese Schlaufe geführt und dient somit als



Abbildung 5 Cook® Arndt-Blocker

Leitschiene für die Platzierung des Arndt-Blockers. Nach konventioneller Intubation und Platzierung des Bronchoskops im zu blockierenden Haupt- oder Lappenbronchus wird der Blocker entlang des Bronchoskops eingeführt. Nach erfolgter Lagekontrolle wird die Schlinge entfernt, der Cuff unter Sicht geblockt und wieder entblockt. Anschließend erfolgt die Fixierung des Bronchusblockers im Multiportadapter. Nach Seitenlagerung und erneuter bronchoskopisch kontrollierter Blockung des Cuffs ist die Ein-Lungen-Ventilation etabliert. Die Entlüftung der operativen Lunge erfolgt entweder passiv durch das

Bronchusblockerlumen oder aktiv durch eine aufgesetzte Absaugereinheit. Durch Entleeren des Cuffs, Entfernen des Blockers durch Zug und ein anschließendes Rekrutierungsmanöver wird die Ein-Lungen-Ventilation wieder aufgehoben.

Endobronchialer Blocker nach Cohen

Der Cook® Cohen-Blocker [10]

(Cook Critical Care,
Bloomington, IN, USA) als

Weiterentwicklung des Arndt-Blockers verfügt über ein manipulierbares, biegsames distales Ende, dessen

Krümmung über einen Seilzug und ein am proximalen Ende

angebrachtes Rad verstellbar



Abbildung 6 Cook® Cohen-Blocker

ist. Nach konventioneller Intubation und mit bronchoskopischer Sicht auf den zu blockierenden Haupt- oder Lappenbronchus wird der Cohen-Blocker vorgeschoben und unter Justierung der Krümmung platziert. Der Cuff wird unter Sicht geblockt und wieder entlüftet. Nach Fixierung des Blockers und Lagerung in Seitenlage wird mit erneuter bronchoskopischer Kontrolle die Ein-Lungen-Ventilation unter Sicht etabliert. Die Entlüftung der operativen Lunge durch das Innenlumen (1,6 mm ID) und die Aufhebung der Ein-Lungen-Ventilation erfolgen analog zum Arndt-Blocker.

Fuji Uniblocker™

Der Fuji Uniblocker™ (Fuji Systems Corp., Tokyo, Japan) [11] verfügt ebenfalls über ein Lumen (1,6 mm ID), das für Transport und Lagerung drahtarmiert ist. Das distale Ende des Blockers ist für die Platzierung ohne Führungsschlinge oder Steuerrad vorgebogen. Nach konventioneller Intubation wird der Fuji Uniblocker™ vorgeschoben und durch Rotation rechts oder links positioniert. Nach

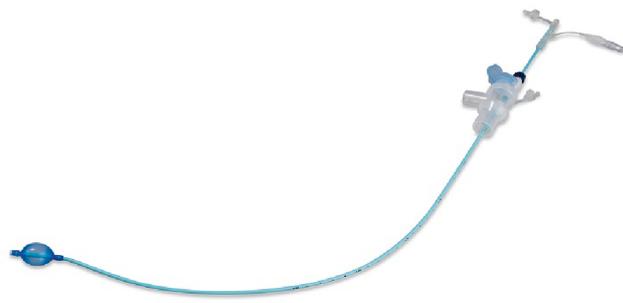


Abbildung 7 Fuji Uniblocker™

fiberoptischer Lagekontrolle wird der Blocker im Adapter fixiert. Nach Seitenlagerung und Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation wird der Fuji Uniblocker™ analog zu den beiden anderen Modellen entlüftet. Die Aufhebung der Ein-Lungen-Ventilation ist ebenfalls identisch. Die besondere Fixierung erlaubt hierbei die vollständige Entfernung des Blockers unter Belassen des Adapters.

VivaSight™- EB Endobronchialer Blocker

Der VivaSight™-EB (ETView Ltd, Misgav, Israel) kombiniert einen Bronchusblocker - in Aufbau und Funktionalität analog zum Fuji Uniblocker™ - mit einem Endotrachealtubus (VivaSight™-SL) mit eingebauter Kamera.



Abbildung 8 VivaSight™-EB

Der Endotrachealtubus ist zur Einmalverwendung vorgesehen und wird an einen wiederverwendbaren Monitor angeschlossen. Die Intubation mit dem VivaSight™-SL erfolgt entweder konventionell laryngoskopisch mit direkter Sicht auf die Glottis, oder - im Rahmen schwierigerer Intubationen - unter indirekter Sicht durch die Kameraoptik des Tubus, vergleichbar der Verwendung eines Videolaryngoskops.

Der Tubus wird oberhalb der Karina platziert und geblockt. In der Folge ist die dauerhafte Sicht auf die Karina und den zu blockierenden Haupt- oder Lappenbronchus ohne zusätzliche Verwendung eines Bronchoskops möglich. Der Bronchusblocker wird über den



Adapter eingebracht und bis **Abbildung 9** Spitze des VivaSight™-SL mit Kamera und Lichtleiter ins Sichtfeld der Kamera vorgeschoben. Unter Rotation und parallelem Vorschieben wird die Spitze des Blockers platziert und unter Sicht geblockt. Die Entlüftung sowie die Aufhebung der Ein-Lungen-Ventilation werden, wie oben ausgeführt, vorgenommen. Die Kombination aus dem VivaSight™-SL-Single-Lumen-Tubus und dem VivaSight™-EB-Bronchusblocker ist bisher nicht in einer randomisierten kontrollierten Studie (RCT) evaluiert. Die Platzierung des Bronchusblockers durch den VivaSight™-SL unter tracheoskopischer Sicht ohne Verwendung eines fiberoptischen Bronchoskops soll den Umgang mit Bronchusblockern vereinfachen und die anlagebedingte Hypoxiezeit verkürzen. Die konstante Tracheoskopie zeigt Dislokationen frühzeitig an und ermöglicht eine intermittierende Zwei-Lungen-Ventilation ohne Bronchoskopie.

1.7 Doppel-Lumen-Tubus und moderne Bronchusblocker

1.7.1 Indikationen

Unabhängig von der potentiellen Gleichwertigkeit der Bronchusblocker mit dem Doppel-Lumen-Tubus bestehen zwingende Indikationen für die Anwendung eines der beiden Verfahren: Ein Doppel-Lumen-Tubus muss verwendet werden, wenn ein aus der Trachea abgehender rechter Oberlappenbronchus bei geplanter ipsilateraler Deflation die linksbronchiale Intubation erfordert. Eine Seitenseparation, im Gegensatz zur Ein-Lungen-Ventilation, erfordert ebenfalls die Anwendung des DLT [66]. Beispiele hierfür sind die großvolumige Lavage bei pulmonal-alveolärer Proteinose genauso wie Zustände, bei denen die gesunde Lunge vor dem Übertritt infektiöser Flüssigkeiten oder von Blut geschützt werden muss. Die differenzierte Zwei-Lungen-Ventilation bei seitengetrenten Lungen im Rahmen der ARDS-Beatmung ist ebenfalls nur via DLT möglich. Des Weiteren verhindern Resektionen am Stammbronchus die Einlage eines Bronchusblockers in die ipsilaterale Seite. Doppel-Lumen-Tuben liegen üblicherweise in den Größen 35, 37, 39 und 41 Fr vor, entsprechend Single-Lumen-Tuben (SLT) mit Außendurchmessern von 11,4-13,5 mm [67]. Kleinere DLT sind bis 26 Fr verfügbar, werden aber außerhalb von Zentren nicht vorgehalten. Der 35 Fr-DLT entspricht im Außendurchmesser einem Single-Lumen-Tubus mit einem ID von 8,5 mm. Sein bronchiales Lumen hat einen Innendurchmesser von nur 6,5 mm und einen Außendurchmesser von 9,8-10,4 mm [68].

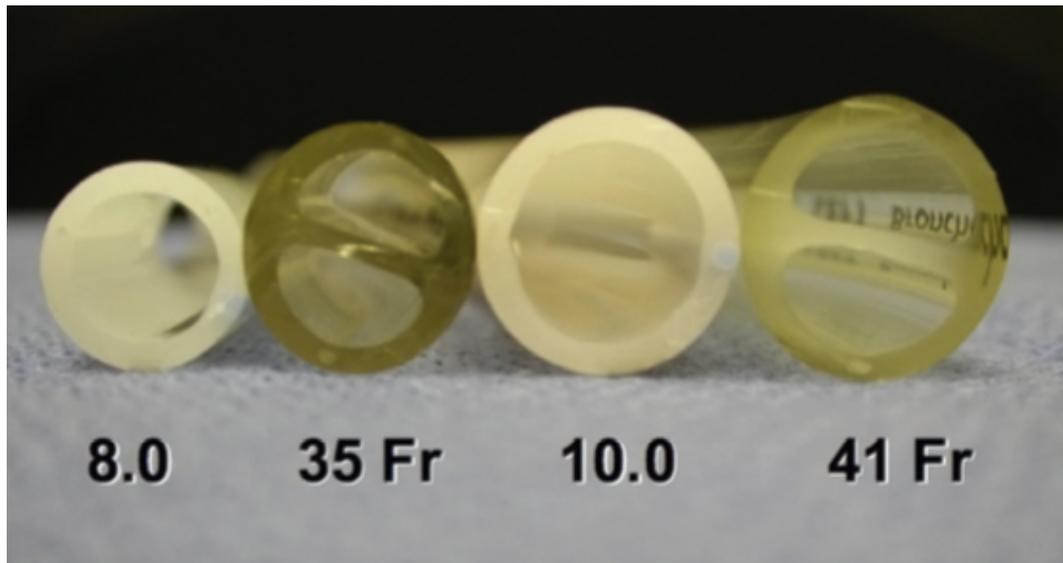


Abbildung 10 Querschnitte durch verschiedene Single-Lumen-Tuben und Doppel-Lumen-Tuben. Der Außendurchmesser des 35 Fr-DLT übersteigt den des 8.0 ID SLT, dasselbe gilt für den 41 Fr DLT im Vergleich mit einem 10.0 ID SLT. Aus [69]

Nach Fitzmaurice [70] ist für die Platzierung eines solchen Doppel-Lumen-Tubus ein röntgenologisch gemessener Trachealdurchmesser von 14,4-15,3 mm notwendig. Bei Patienten mit kleineren Trachealdurchmessern kann die Anlage unmöglich sein. Bei Kindern kann der 26 Fr DLT etwa ab dem 8. Lebensjahr platziert werden, während 5 Fr Bronchusblocker etwa ab dem 2. Lebensjahr möglich sind. Patienten ohne patenten orotrachealen Zugangsweg aufgrund von Tracheotomie, Karinalmalformationen oder Raumforderungen des Larynx/Oropharynx mit Zuständen nach Operation oder Radiatio erfordern in den meisten Fällen eine Bronchusblockeranlage. Bei Operationen im Grenzbereich des vorhandenen Lungenvolumens kann die Ein-Lungen-Ventilation auch als selektive Lappenblockade durchgeführt werden, was wiederum nur mittels Bronchusblocker durchführbar ist.

1.7.2 Dauer der Platzierung

Vergleichsuntersuchungen zwischen dem Univent-Tubus und dem DLT zeigen keinen zeitlichen Vorteil eines Verfahrens [71,72]. Die Platzierung des Arndt-Blockers gelingt im Vergleich zu einem DLT langsamer [73,74], gleich schnell [75,76]

oder schneller [77,78]. Eine Metaanalyse zeigte eine um 51 s verlängerte Anlagedauer der inkludierten Bronchusblocker gegenüber dem Doppel-Lumen-Tubus [79]. Ursächlich für die abweichenden Ergebnisse ist nach Ruetzler primär der Grad der Erfahrung des Untersuchers und weniger das Verfahren an sich [80]. Die Dauer einer postoperativen Umintubation wird für den DLT zwischen 105 s [75] und 150 s [77] angegeben.

1.7.3 Einfluss der Operationsseite

Der Verlauf des rechten Hauptbronchus erleichtert die Anlage eines Bronchusblockers auf dieser Seite [81], während der Abgang des rechten Oberlappens die Platzierung des bronchialen Cuffs eines rechtsgeführten Doppel-Lumen-Tubus erschwert [75]. Die Positionierung des linksseitigen Cook® Arndt [82,83] und des Cohen-Blockers [84] benötigt mehr Zeit als die des rechtsseitigen. Im Vergleich zwischen einem linksgeführten DLT und drei ebenfalls linksgeführten Bronchusblockern zeigt sich ein Zeitvorteil für den DLT [85], der sich bei rechtsseitiger Platzierung sowohl des DLT als auch des Arndt-Blockers nicht nachweisen lässt [75].

1.7.4 Initiale Fehlpositionierung und intraoperative Dislokation

Eine Metaanalyse weist höhere Raten an Fehlpositionierungen und intraoperativen Dislokationen der Bronchusblocker im Vergleich zu Doppel-Lumen-Tuben nach [79]. Unerfahrene Anästhesisten haben bei allen Verfahren erhöhte Fehlerquoten [74]. Linksgeführte DLT (n = 20) dislozieren weniger häufig als links- (n = 9) und rechtsgeführte (n = 11) Univent-Tuben [71]. Die blinde Positionierung von DLT und EZ-Blocker ist mit geringen Erfolgsraten von 15-26 % behaftet [86], was die zwingende fiberoptische Lagekontrolle unterstreicht [86,87]. Linksseitige Bronchusblocker verschiedener Fabrikate dislozieren häufiger als der ebenfalls linksgeführte DLT, wobei der Arndt-Blocker höhere Raten aufweist als der Fuji Uniblocker™ und der Cohen-Blocker [85].

Das Cuff-Design des Arndt-Blockers wurde in der Folge überarbeitet. In aktuellen

Untersuchungen von Vilà [83], Zhong [78] und Ruetzler [80] waren diesbezüglich keine Unterschiede zwischen dem DLT und dem Cook® Arndt- bzw. EZ-Blocker nachweisbar. Möglicherweise weist der EZ-Blocker gegenüber anderen Modellen geringere Dislokationsraten auf [88].

1.7.5 Subjektive Schwierigkeit der Platzierung

Die Platzierung des EZ-Blockers gelingt subjektiv leichter als die des Doppel-Lumen-Tubus [86]. Es existieren keine anderen Studien mit diesem Endpunkt.

1.7.6 Chirurgische Exposition

Die Lung Collapse Scores (LCS) als Marker für den Grad der chirurgischen Exposition weisen keine Unterschiede zwischen dem Doppel-Lumen-Tubus und den getesteten Bronchusblockern (Cook® Arndt-, Cohen-Blocker , Fuji Uniblocker™, EZ-Blocker sowie Univent-Tubus) auf [78,80,85,89]. Bronchusblocker benötigen eine längere Deflationszeit [78], diese kann durch aktive Absaugung über den aufgesetzten Konus einer 2 ml-Spritze reduziert werden [72,73].

1.7.7 Heiserkeit und Atemwegsverletzungen

Das Risiko für Halsschmerzen, Heiserkeit und Atemwegsverletzungen ist bei Anwendung eines Doppel-Lumen-Tubus im Vergleich zu Bronchusblockern erhöht [78,80,86,89,90] mit einer number needed to harm (NNH) von 4 für den Endpunkt “Heiserkeit” [90]. Einrisse am trachealen Cuff weisen bis zu 19 % der Doppel-Lumen-Tuben auf; mit erhöhtem Risiko bei eingeschränkter Mundöffnung und scharfen Zähnen [73].

1.7.8 Beatmungsparameter und hämodynamisches Monitoring

Der Luftwiderstand eines Doppel-Lumen-Tubus übersteigt den von entsprechenden Single-Lumen-Tuben [91]. Das Y-Stück des Mallinckrodt-DLT führt im Vergleich zu den Doppel-Lumen-Tuben von Rüsç und Sheridan zu erhöhter

Spontanatemarbeit, weswegen ein (kurzes) Weaning über einen DLT nur für die letztgenannten Modelle empfohlen wird [91]. Das bronchiale Lumen der Sheridan-DLT hat einen im Vergleich zum trachealen Lumen um 0,2-0,4 mm größeren Durchmesser. Dies führt bei DLT bis 39Ch zu erhöhten Atemwegswiderständen über das tracheale Lumen, entsprechend etwa der Ventilation über einen Single-Lumen-Tubus der Größe ID 7,0 mm [92]. Die notwendigen Beatmungsspitzen drücke für einen Doppel-Lumen-Tubus übersteigen die für die Kombination aus Single-Lumen-Tubus und Bronchusblocker wenig (27 vs. 24 cmH₂O) [76] bzw. sind identisch [85]. Die pulmonalarteriellen Mittel- und Verschlussdrücke unterscheiden sich nicht zwischen dem Doppel-Lumen-Tubus und dem Arndt-Blocker [77].

1.7.9 Kosten

Die Anschaffungskosten eines Bronchusblockers (Fuji Uniblocker™ 140 EUR, Arndt-Blocker 146 EUR, Cohen-Blocker 216 EUR) übersteigen die eines Mallinckrodt-Doppel-Lumen-Tubus (98 EUR). Der Preis für die Kombination aus VivaSight™-SL+EB beträgt 205 EUR. Die aus Anschaffungs-, Reparatur- und Aufbereitungsaufwendungen kumulierten Kosten einer Bronchoskopie variieren in verschiedenen europäischen Studien zwischen 177,50 EUR [93] und 205 EUR [94]. Die reinen Aufbereitungskosten liegen im Bereich von 50 EUR [93,94] bis 60 EUR [61].

1.8 Ziele der Dissertation

Der Doppel-Lumen-Tubus als Standard für die Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation hat definierte Indikationen, jedoch auch spezifische Risiken. Die Verwendung von Bronchusblockern kann in vielen Fällen eine Alternative oder die einzige Möglichkeit der Lungenseparation darstellen. Als Nachteile sind verlängerte Anlegezeiten sowie höhere Dislokationsraten beschrieben. Für die Anwendung aller bisherigen Modelle sind Fertigkeiten in der fiberoptischen Bronchoskopie Voraussetzung. Mit dem VivaSight™-SL+EB steht eine Kombination aus Bronchusblocker und Single-Lumen-Tubus mit Kameraoptik zur konstanten Visualisierung der Blockercuffposition zur Verfügung. Der Nachweis der Nichtunterlegenheit gegenüber konventionellen Bronchusblockern sowie Doppel-Lumen-Tuben hinsichtlich Anlagedauer, Dislokationsraten, chirurgischer Exposition und Oxygenierung sowie Ventilationsparametern während der Ein-Lungen-Ventilation soll in dieser Arbeit geführt werden.

1.9 Hypothesen der Dissertation

Im Rahmen der klinischen Untersuchung sollen die folgenden Null-Hypothesen überprüft werden:

- Die benötigte Zeitdauer für die Platzierung von Bronchusblockern übersteigt die des Doppel-Lumen-Tubus nicht.
- Die Dislokationsrate der Bronchusblocker ist identisch zu der des Doppel-Lumen-Tubus.
- Der Doppel-Lumen-Tubus ist den Bronchusblockern hinsichtlich der Qualität der chirurgischen Exposition gleichwertig.
- Die Rate an Atemwegsverletzungen ist bei Anlage eines Doppel-Lumen-Tubus nicht höher.
- Die Oxygenierungs- und Ventilationsparameter sind unabhängig von dem verwendeten Verfahren.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Die vorliegende Untersuchung wurde als prospektiv randomisierte, kontrollierte klinische Studie geplant und durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein vierarmiges Studiendesign verwendet, das die Untersuchung von drei zugelassenen und im klinischen Gebrauch befindlichen Modellen von Bronchusblockern und den Vergleich mit einem Standard-Doppel-Lumen-Tubus erlaubte.

- Gruppe 1: Kontrolle – Broncho-Cath™ Doppel-Lumen-Tubus
- Gruppe 2: Konventioneller Endotrachealtubus + Fuji Uniblocker™
- Gruppe 3: VivaSight™-SL + VivaSight™-EB Bronchusblocker
- Gruppe 4: Konventioneller Endotrachealtubus + Arndt-Blocker

2.1.1 Ethische Aspekte

Die geplante klinische Studie wurde der Ethikkommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R. (Vorsitzender Prof. Dr. med. Ch. Huth, Geschäftsführer Dr. med. N. Beck) angezeigt und nach erfolgtem Votum (AZ 142/14) durchgeführt. Die Eintragung im Studienregister Clinicaltrials.gov erfolgte mit der Identifikationsnummer NCT02912598. Im Rahmen der Untersuchung wurden an den eingeschlossenen Patienten keine zusätzlichen invasiven Maßnahmen oder Blutentnahmen durchgeführt, die ohne diese Studie im Rahmen der sicheren Narkoseführung nicht auch erforderlich gewesen wären.

2.1.2 Bestimmung des Umfangs der Untersuchungsgruppen

Die Berechnung der für eine sichere statistische Aussage notwendigen Gruppengrößen wurde anhand der Ergebnisse bisheriger Studien zum Vergleich von DLT und Bronchusblockern durchgeführt [73,85]. Als primäre Variable wurde die Zeit bis zur Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation zwischen den getesteten

Methoden definiert, eine klinisch relevante Differenz wurde mit 60 s bestimmt. Aus der Analyse mit G*Power [95] ergab sich für das vierarmiges Studiendesign mit einfaktorieller Varianzanalyse eine Gruppengröße von >25 Patienten, d.h. einer notwendigen Gesamtzahl von 104 Probanden in der geplanten Studie.

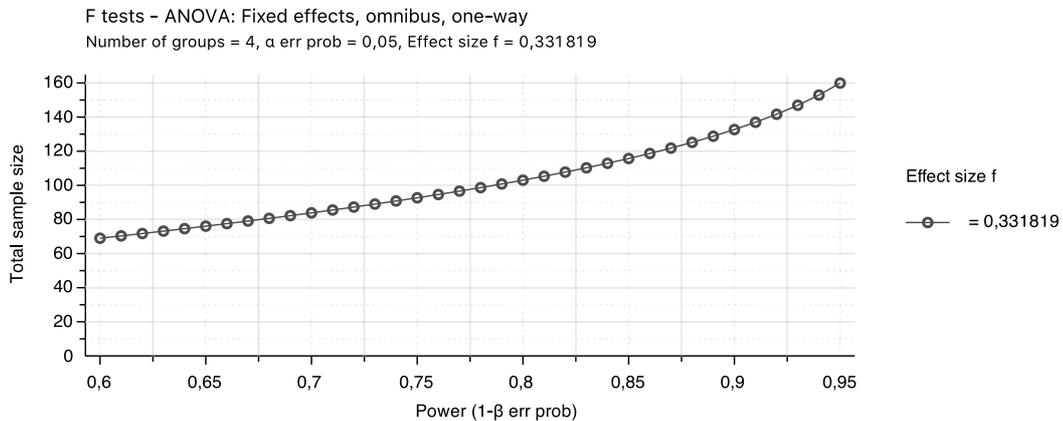


Abbildung 11 Poweranalyse mit G*Power 3

2.1.3 Patientenauswahl

Die Probanden wurden aus dem Patientenkollektiv der Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg ausgewählt. Eingeschlossen wurden Patienten, die sich Operationen mit notwendiger Ein-Lungen-Ventilation unterziehen mussten. Dies beinhaltete folgende in Seitenlage durchgeführte Interventionen:

- Videoassistierte Thorakoskopien
- Postero-laterale Thorakotomien für Lungenparenchymresektionen

2.1.4 Einschlusskriterien

- Alter >18 Jahre
- geplante Operation mit Ein-Lungen-Ventilation aus o.g. Katalog
- Vorliegen der schriftlichen Einverständniserklärung zu Anästhesie, Durchführung der Studie und anonymisierter Datenerhebung

2.1.5 Ausschlusskriterien

- Verfahrenswechsel zwischen Doppel-Lumen-Tubus und Bronchusblocker oder zwischen verschiedenen Bronchusblockern
- unmögliche Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation
- Nichteinverständnis des Patienten mit der Studie und der Datenerhebung
- Operationen oder pathologisch-anatomische Umstände, welche die Anlage eines Doppel-Lumen-Tubus verhindert hätten (Tracheotomie, pharyngeale Tumoren, Zustand nach Radiatio, eingeschränkte Mundöffnung)

2.1.6 Randomisierung

In die vierarmige Studie mit gleich starken Gruppen wurden insgesamt 104 Patienten eingeschlossen, wobei für jeden Patienten ein mit einer Zufalls-ID zwischen 1 und 104 versehener Prüfbogen erstellt wurde (Excel 2013, Microsoft, Redmond, Washington, USA), durch den die Gruppenzuordnung des Patienten und das durchzuführende Verfahren der Atemwegsseparation determiniert wurden. Im Falle des in mehreren Größen verwendeten Doppel-Lumen-Tubus wurde das größtmögliche, an den Patienten angepasste Modell verwendet. Durch den Untersucher erfolgte die Zusammenführung von Patientendaten und ID für die Auswertung. Eine weitere Aufspaltung der Studiengruppen nach Lebensalter, Geschlecht, Körpergröße oder Operationsseite wurde präinterventionell nicht durchgeführt.

2.1.7 Dauer der Untersuchungsphase

Die Patienten wurden präoperativ über die Narkose und den Studienablauf aufgeklärt. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von der Prämedikationsvisite über die Aufenthaltsdauer des Patienten im Operationssaal für die durchzuführende Operation bis zur Entlassung des Patienten aus dem Aufwachraum.

2.2 Studienablauf

2.2.1 Narkoseeinleitung

Nach der Identitätsprüfung und Lagerung des Patienten auf dem Operationstisch wurde die Überwachung des Patienten mit Pulsoxymetrie, Fünf-Kanal-EKG und nichtinvasiver Blutdruckmessung etabliert. Nach Anlage einer Venenverweilkanüle wurde die Anästhesie intravenös induziert. Die Einleitung erfolgte nach Präoxygenierung mit $\text{FiO}_2 = 1,0$ für die Dauer von 2 min mit einem CPAP von 3 cmH₂O nach folgendem Standard:

- Remifentanyl: 0,3µg/kg/min i.v. kontinuierlich
- Propofol 1mg/kg i.v. als Bolus über 1min
- Relaxierung je nach erwarteter Operationsdauer mit Rocuronium 0,6mg/kg i.v. oder Mivacurium 0,2mg/kg i.v. als Bolus

Im Anschluss an die Intubation wurde nach präoperativ durchgeführtem, negativen Allen-Test die Arteria radialis der zur Operation kontralateralen Seite zum Zweck der invasiven Blutdruckmessung und repetitiven Blutentnahme zur Blutgasanalyse (BGA) kanüliert.

Broncho-Cath™ Doppel-Lumen-Tubus

Die Intubation erfolgte mit dem größtmöglichen Mallinckrodt Broncho-Cath™ Doppel-Lumen-Tubus (Medtronic, Minneapolis, MN, USA), vorliegend als 35 Ch, 37 Ch, 39 Ch oder 41 Ch. Primär wurde das linksgeführte Modell (L-DLT) wegen anatomisch bedingter, einfacherer Platzierung (karinanaher Abgang des rechten Oberlappenbronchus) gewählt. Der bronchiale Cuff des Doppel-Lumen-Tubus wurde unter direkter Laryngoskopie durch die Glottis vorgeschoben und nach Rotation um 90° vorsichtig bis zum Erreichen eines leichten Widerstands weitergeführt. Nach dem Blocken des trachealen Cuffs wurde die korrekte Lage bronchoskopisch kontrolliert und gegebenenfalls korrigiert. Der bronchiale Cuff wurde mit 2-3 ml Luft gefüllt und nach Lagekontrolle wieder entblockt. Der Broncho-Cath™ wurde daraufhin derart fixiert, dass eine eventuelle Lagekorrektur

jederzeit möglich war (TuBo-Clip extra lang, Novo-Klinik-Service GmbH, Kerpen, Deutschland).

Bronchusblocker

Die Intubation erfolgte für die Verwendung eines Fuji UniblockersTM oder Arndt-Blockers primär nach direkter Laryngoskopie mit einem konventionellen Single-Lumen-Tubus (SLT) und auskultatorischer Lagekontrolle. Im Anschluss wurde der gewählte Bronchusblocker mit Hilfe des Multiportadapters unter bronchoskopischer Kontrolle endobronchial platziert und nach Probe-Blockung fixiert. Der eingebaute Lichtleiter des VivaSightTM-SL ermöglichte die „videolaryngoskopische“ Intubation alternativ zu der direkten Laryngoskopie. Nach karinanaher Positionierung wurde der VivaSightTM-EB unter tracheoskopischer Sicht endobronchial eingebracht und fixiert.

2.2.2 Anästhesieführung

Die Aufrechterhaltung der Anästhesie erfolgte mit:

- Desfluran, 0,5 bis 1 MAK
- FiO₂ 1,0
- kontinuierliche Remifentanil-Infusion 0,15-0,45 µg/kg/min
- ggf. Metamizol oder Dexketoprofen zur postoperativen Analgesie
- ggf. Piritramid zur postoperativen Analgesie
- ggf. kontinuierliche Ropivacain-Infusion über thorakalen PDK
- ggf. Dexamethason und Ondansetron zur PONV-Prophylaxe

Alle Patienten wurden unter Temperaturmonitoring entweder über eine ösophageale Sonde oder einen Blasenkatheter konvektiv gewärmt. Im weiteren Verlauf wurden arterielle Blutgasanalysen (BGA) durchgeführt, anhand derer die FiO₂ mit dem Ziel eines paO₂ um 100 mmHg angepasst wurde. Die Ventilationsparameter wurden mit dem Ziel der Normokapnie (paCO₂=40-45 mmHg) adaptiert, wobei eine Hyperkapnie bis paCO₂=60 mmHg im Einzelfall toleriert wurde. Nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation wurden die

Beatmungsparameter angepasst.

- Druck-kontrollierte Ventilation (Pressure Controlled Ventilation, PCV)
- Tidalvolumen 6 ml/kg
- Atemfrequenz 12-20 /min nach paCO_2
- Beatmungsspitzenruck maximal 30 mbar
- PEEP 5 mbar

2.2.3 Lagerung und Ein-Lungen-Ventilation

Nach dem Ende der Anästhesieeinleitung wurde die Lagerung des Patienten zur Operation vorgenommen. Bei Thorakoskopien und Thorakotomien zur Lungenoperation wurde dabei üblicherweise die Seitenlagerung mit oben liegender zu operierender Lunge gewählt. Die Stabilisierung des Patienten erfolgte mit einer Vakuummatratze, der Schutz vor Druckschäden mit Gelmatten. Während der Desinfektion des Operationsgebietes erfolgte die erneute Lagekontrolle und ggf. Lagekorrektur des Doppel-Lumen-Tubus bzw. Bronchusblockers. Im Anschluss wurde die Ein-Lungen-Ventilation durch Inflation des Bronchusblocker-Cuffs bzw. das Abklemmen des zuführenden DLT-Schenkels für die operative Lunge etabliert.

2.2.4 Operationsablauf

Nach Desinfektion und Abdecken des OP-gebietes erfolgten der Hautschnitt und etwa 5 min nach Beginn der Atemwegsseparation die Präparation bis auf die Pleura. Die Ein-Lungen-Ventilation wurde für die Dauer der Operation aufrecht erhalten und vor dem Rückzug der Instrumente nach Hinweis des Operateurs aufgehoben. Dazu wurde im Fall des Doppel-Lumen-Tubus das Y-Stück wieder an das offene Lumen konnektiert und die Klemmung des Y-Stücks aufgehoben. Der Cuff der Bronchusblocker wurde entlüftet und die Innenlumina zur Atmosphäre verschlossen. Durch vorsichtiges Recruitment mit einem inspiratorischen Druck von 20–30 cm H_2O erfolgte unter direkter Sicht die Reinflation der operierten Lunge. Im Anschluss wurden die Beatmungsparameter an das vergrößerte Lungenvolumen mit dem Ziel der Normoventilation angepasst.

2.2.5 Ausleitung

Nach Sicherstellung einer adäquaten postoperativen Analgesie und ggf. PONV-Prophylaxe wurden die Patienten nach dem Erreichen der üblichen Kriterien extubiert. Nach Erreichen einer suffizienten Spontanatmung und eines stabilen Kreislaufs gelangten sie mit einer Sauerstoffmaske (5 l/min O₂) in den Aufwachraum. Von hier aus erfolgte nach etwa zweistündigem Monitoring die Verlegung auf die Wachstation (IMC) bzw. die Normalstation. Einer der Patienten konnte aufgrund einer intraoperativen Hämorrhagie am Operationsende nicht extubiert werden. Er wurde vor Verlegung auf die Intensivstation unter Verwendung eines Tubuswechselstabes (Cook Airway Exchange Catheter) umintubiert.

2.3 Messungen

Die Intubationsdauer war definiert als die Zeit zwischen dem Beginn der Laryngoskopie und der Blockierung des Tubuscuffs bzw. trachealen Cuffs des DLT. Der Zeitraum der Bronchoskopiedauer beinhaltete die Zeit vom Einbringen des Bronchoskops in den Multiportadapter bis zur Blockierung des distalen Cuffs unter bronchoskopischer Sicht.

Für die Berechnung der Gesamtdauer der Atemwegsseparation wurden die gemessenen Zeiten für die Intubation und die Bronchoskopie addiert. Nicht einbezogen wurden die Zeiten für die Tubusfixierung, die Auskultation oder eventuelle Verzögerungen bei der Inbetriebnahme des Bronchoskops.

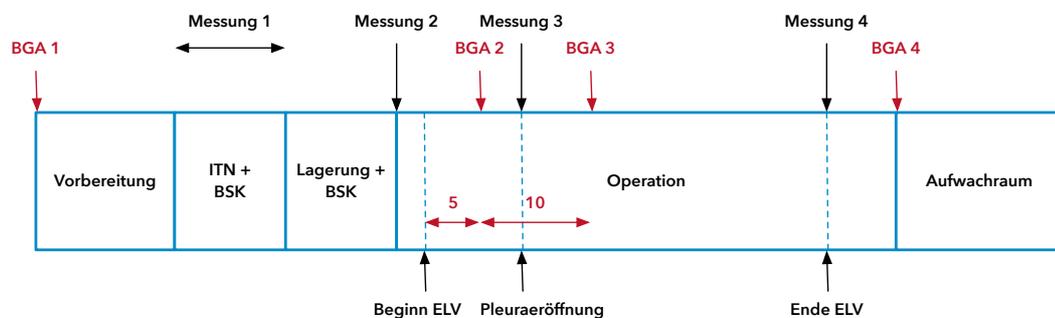


Abbildung 12 BGA = Blutgasanalyse, ITN = Intubation, BSK = Bronchoskopie, ELV = Ein-Lungen-Ventilation

Als Verletzungen des Tracheobronchialbaums wurden Schleimhautreötungen, Hämatome oder Schwellungen im Sinne eines Ödems definiert und qualitativ dokumentiert. Für die Messung des Schwierigkeitsgrades der bronchoskopischen Platzierung wurde in Analogie zu Mourisse [86] die folgende Skala verwendet:

- Grad 1 – sehr leicht
- Grad 2 – leicht
- Grad 3 – schwierig
- Grad 4 – sehr schwierig.

Die Graduierung für die Bewertung der chirurgischen Exposition durch den Operateur lautete in dieser Untersuchung:

- Grad 1 – keine Ventilation, vollständige Deflation
- Grad 2 – keine Ventilation, unvollständige Deflation
- Grad 3 – keine Ventilation, keine Deflation
- Grad 4 – teilweise Ventilation, keine Deflation
- Grad 5 – vollständige Ventilation, keine Deflation.

2.3.1 BronchoCath

Tabelle 1 Variablen bei der Verwendung eines Doppel-Lumen-Tubus

Messzeitpunkt	Parameter
Messung 1: Intubation bis ELV	Laryngoskopie bis zur Blockung des trachealen Cuffs – subjektive Schwierigkeit der Intubation Beginn der Bronchoskopie bis Blockung des bronchialen Cuffs – sichtbare Verletzungen während der Bronchoskopie (qualitativ) – subjektive Schwierigkeit der bronchoskopischen Platzierung
Messung 2: Bronchoskopie nach Lagerung	Dislokation
Messung 3: Pleuraeröffnung	Exposition
Messung 4: Ende ELV / OP	– ELV-Gesamtdauer – Anzahl der Dislokationen – Anzahl der notwendigen Bronchoskopien

2.3.2 Fuji Uniblocker™

Tabelle 2 Variablen bei der Verwendung eines Fuji Uniblockers™

Messzeitpunkt	Parameter
Messung 1: Intubation bis ELV	Laryngoskopie bis zur Blockung des Single-Lumen-Tubus Anschluss des Multiportadapters bis zur Blockung des Cuffs – Anzahl Blockungen bis zur suffizienten Platzierung – sichtbare Verletzungen während der Bronchoskopie (qualitativ) – subjektive Schwierigkeit der bronchoskopischen Platzierung
Messung 2: Bronchoskopie nach Lagerung	Dislokation
Messung 3: Pleuraeröffnung	Exposition
Messung 4: Ende ELV / OP	– ELV-Gesamtdauer – Anzahl der Dislokationen – Anzahl der Bronchoskopien

2.3.3 VivaSight™-SL+EB

Tabelle 3 Variablen bei der Verwendung eines VivaSight™-SL+EB

Messzeitpunkt	Parameter
Messung 1: Intubation bis ELV	Laryngoskopie bis zur Blockung des VivaSight™-SL Diskonnektion der Beatmung bis zur Blockung des VivaSight™- EB <ul style="list-style-type: none"> – Anzahl Blockungen bis zur suffizienten Platzierung – sichtbare Verletzungen während der Tracheoskopie (qualitativ) – subjektive Schwierigkeit der tracheoskopischen Platzierung
Messung 2: Bronchoskopie nach Lagerung	Dislokation
Messung 3: Pleuraeröffnung	Exposition
Messung 4: Ende ELV / OP	<ul style="list-style-type: none"> – ELV-Gesamtdauer – Anzahl der Dislokationen

2.3.4 Arndt-Blocker

Tabelle 4 Variablen bei der Verwendung eines Arndt-Blockers

Messzeitpunkt	Parameter
Messung 1: Intubation bis ELV	Laryngoskopie bis zur Blockung des Single-Lumen-Tubus Anschluss des Multiportadapters bis Blockung des Cuffs <ul style="list-style-type: none"> – Anzahl Blockungen bis zur suffizienten Platzierung – sichtbare Verletzungen während der Bronchoskopie (qualitativ) – subjektive Schwierigkeit der bronchoskopischen Platzierung
Messung 2: Bronchoskopie nach Lagerung	Dislokation
Messung 3: Pleuraeröffnung	Exposition
Messung 4: Ende ELV / OP	<ul style="list-style-type: none"> – ELV-Gesamtdauer – Anzahl der Dislokationen – Anzahl der Bronchoskopien

2.3.5 Blutgasanalysen

Tabelle 5 Blutgasanalysen

Messzeitpunkte	BGA-Parameter	Ventilationsdaten
Präoperativ – BGA 1	ph paO ₂ [mmHg] paCO ₂ [mmHg] SaO ₂ [%] BE HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	
5min ELV – BGA 2	ph paO ₂ [mmHg] paCO ₂ [mmHg] SaO ₂ [%] BE HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	Pmax [cmH ₂ O] TV [ml] AF [/min] AMV [l/min] PEEP [cmH ₂ O] petCO ₂ [mmHg]
15min ELV – BGA 3	ph paO ₂ [mmHg] paCO ₂ [mmHg] SaO ₂ [%] BE HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	Pmax [cmH ₂ O] TV [ml] AF [/min] AMV [l/min] PEEP [cmH ₂ O] petCO ₂ [mmHg]
Aufwachraum – BGA 4	ph paO ₂ [mmHg] paCO ₂ [mmHg] SaO ₂ [%] BE HCO ₃ ⁻ [mmol/l]	

2.4 Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden mit Microsoft Excel 2013 (Microsoft, Redmond, Washington, USA) dokumentiert und anschließend mit SPSS v. 23 (IBM Corp. Released 2014. IBM SPSS Statistics for Macintosh, Version 23.0. Armonk, NY: IBM Corp.) und GraphPad Prism, v. 6.00 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA), ausgewertet sowie grafisch dargestellt. Die Prüfung auf Normalverteilung erfolgte mit dem Shapiro-Wilk-Test, die Testung auf Varianzhomogenität mittels der Levene-Statistik. Nominalskalierte Daten wurden mit dem χ^2 -Test nach Pearson analysiert. Höher skalierte Daten wurden mit dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung untersucht und gegebenenfalls dekadisch logarithmiert.

Für die Analyse zweier unabhängiger Stichproben wurde, abhängig von ihrer Normalverteilung, entweder der t-Test oder der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Die Untersuchung von mehr als zwei unabhängigen Stichproben erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA). Im Falle der Varianzhomogenität wurde die post-hoc Analyse nach Tukey durchgeführt, bei inhomogenen Varianzen die Analyse nach Tamhane. Auch nach Logarithmierung nicht normalverteilte Daten von mehr als zwei unabhängigen Stichproben wurden mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests und der post-hoc-Analyse nach Dunn untersucht.

Die Daten der Blutgasanalysen und parallel erhobene Ventilationsparameter wurden ebenfalls auf Normalverteilung geprüft und mit der einfaktoriellen Varianzanalyse oder dem Kruskal-Wallis-Test analysiert.

Für alle statistischen Prozeduren wurde ein p-Wert $< 0,05$ als signifikant angenommen.

3 Ergebnisse

3.1 Patientendaten

Die untersuchten Patienten wurden randomisiert in vier Studiengruppen unterteilt. Hinsichtlich der Verteilung der demographischen Daten bestanden keine Unterschiede zwischen den Gruppen.

Tabelle 6 Patientendaten

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl	26	26	26	26
Geschlecht m/w	6 / 20	10 / 16	11 / 15	7 / 19
Alter [Jahre]	60 ± 13	64 ± 14	64 ± 12	58 ± 14
Größe [cm]	173 ± 10	171 ± 9	171 ± 11	175 ± 9
Gewicht [kg]	80 ± 18	76 ± 17	77 ± 16	80 ± 14
Lungenfunktionstest				
FVC [l]	2,9 ± 1,2	3,1 ± 1	2,8 ± 1,3	2,8 ± 1,1
FEV ₁ [l]	2,2 ± 1	2,2 ± 0,8	2,1 ± 0,9	2,1 ± 0,9
paO ₂ [mmHg]	77 ± 13	76 ± 13	79 ± 11	76 ± 11
paCO ₂ [mmHg]	36 ± 2	37 ± 4	37 ± 4	37 ± 4
Operative Variablen				
VATS	13	15	19	18
Thorakotomien	13	11	7	8
Linksseitige OP	11	11	9	5
Rechtsseitige OP	15	15	17	21
Gesamtdauer ELV [min]	73 ± 45	60 ± 41	51 ± 40	63 ± 46

FVC = forcierte Vitalkapazität; FEV₁ = forcierte Einsekundenkapazität; paO₂ = arterieller Sauerstoffpartialdruck; paCO₂ = arterieller Kohlendioxidpartialdruck; VATS = videoassistierte thorakoskopische Chirurgie; ELV = Ein-Lungen-Ventilation

Von den 104 untersuchten Patienten waren 34 weiblich und 70 männlich mit vergleichbarer Verteilung in den Studiengruppen ($p = 0,396$). Größe ($p = 0,4115$) und Gewicht ($p = 0,7939$) unterschieden sich nicht, ebensowenig wie die Parameter des Lungenfunktionstests. Das durchschnittliche Lebensalter betrug 62 Jahre ($p = 0,254$). Es wurden 65 Thorakoskopien und 39 Thorakotomien durchgeführt

($p = 0,292$). 36 Eingriffe wurden an der linken Lunge durchgeführt, 68 an der rechten ($p = 0,253$). Die durchschnittliche Dauer der Ein-Lungen-Ventilation betrug 63 min ohne Unterschiede zwischen den untersuchten Atemweghilfsmitteln ($p = 0,278$).

3.2 Platzierungsdauer

3.2.1 Intubationsdauer

Der Zeitbedarf für die Intubation mit einem linksgeführten Mallinckrodt™-DLT betrug 36 ± 10 s, für die Platzierung eines Single-Lumen-Tubus waren 30 ± 13 s notwendig, die eines VivaSight-SL benötigte 50 ± 20 s. Im Kruskal-Wallis-Test bestanden modellabhängige Unterschiede ($p < 0,01$), die in der post-hoc Analyse nach Dunn zwischen allen getesteten Endotrachealtuben dargestellt werden konnten.

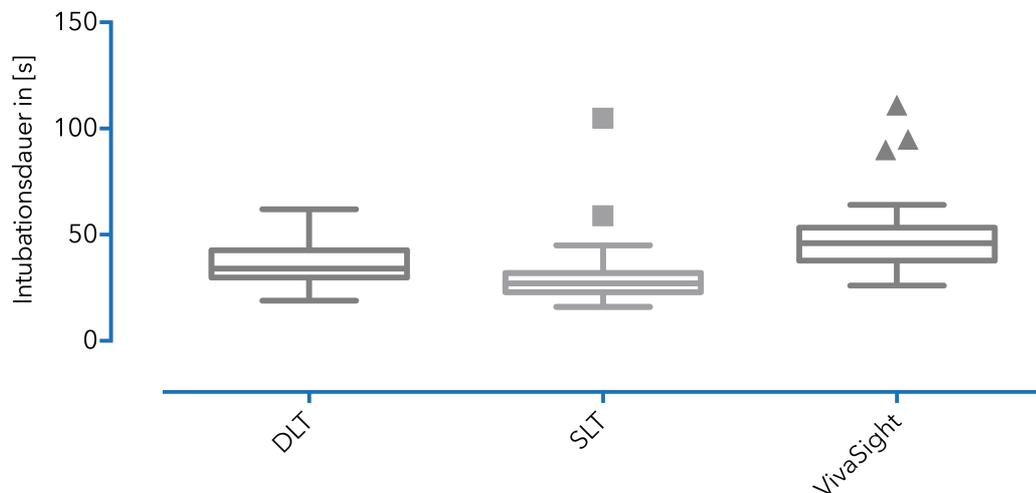


Abbildung 13 Intubationsdauer in [s]. DLT = Doppel-Lumen-Tubus, SLT = Single-Lumen-Tubus

Tabelle 7 Intubationsdauer – post-hoc Analyse nach Dunn

	Rangsummendifferenz	Adjustiertes P
DLT vs. SLT [s]	20,7	0,0126
DLT vs. VivaSight [s]	-22,9	0,0185
SLT vs. VivaSight [s]	-43,6	<0.0001

3.2.2 Dauer der fiberoptischen Platzierung

Die Dauer der fiberoptischen Platzierung betrug für den Mallinckrodt-DLT 52 ± 29 s, Fuji Uniblocker 72 ± 43 s, VivaSight EB $29 \pm 20,4$ s sowie für den Cook Arndt-Blocker 80 ± 35 s. In der einfaktoriellen Varianzanalyse wurden Unterschiede in der Dauer der bronchoskopischen Platzierung nachgewiesen ($p < 0,01$). Die aufgrund homogener Varianzen angeschlossene post-hoc Analyse nach Tukey ergab eine Reduktion der Platzierungszeit zwischen dem VivaSight™-SL+EB und den anderen Modellen. Zusätzlich bestand eine Differenz zwischen dem DLT und dem Arndt-Blocker zugunsten des DLT.

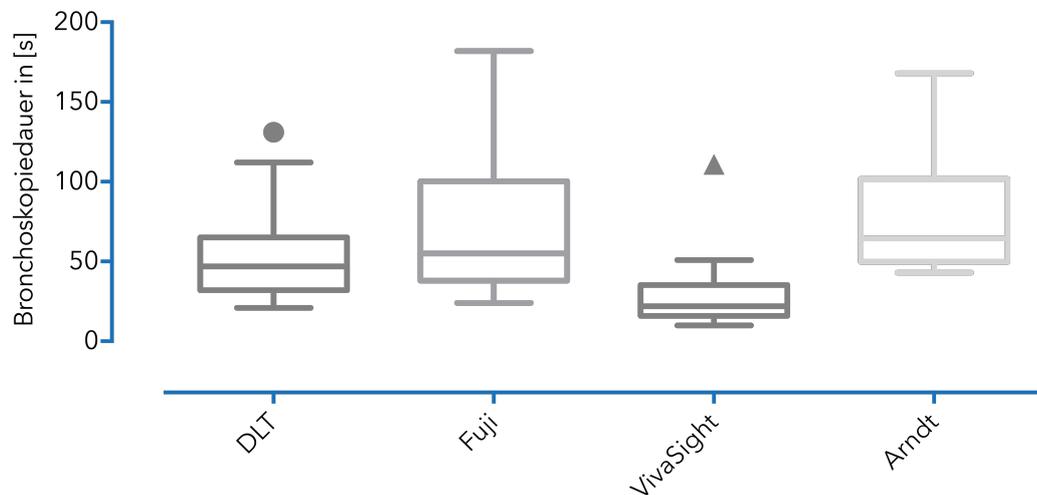


Abbildung 14 Bronchoskopiedauer in [s]. DLT = Doppel-Lumen-Tubus

Tabelle 8 Bronchoskopiedauer – post-hoc Analyse nach Tukey

	Mittelwertdifferenz	Adjustiertes P
DLT vs. Fuji [s]	-19,3	0,2165
DLT vs. VivaSight [s]	23,4	0,0003
DLT vs. Arndt [s]	-27,2	0,0094
Fuji vs. VivaSight [s]	42,7	< 0,0001
Fuji vs. Arndt [s]	-7,9	0,5842
VivaSight vs. Arndt [s]	-50,6	< 0,0001

3.2.3 Gesamtdauer der Platzierung

Die Gesamtdauer der Platzierung betrug für den Mallinckrodt-DLT 88 ± 32 s, Fuji Uniblocker 104 ± 46 s, VivaSight EB 79 ± 28 s sowie für den Cook Arndt-Blocker $107 \pm 34,9$ s. Nach Sicherung von Differenzen in der Varianzanalyse ($p = 0,017$) wurde bei Varianzhomogenität eine post-hoc Analyse nach Tukey angeschlossen. Es bestanden keine Unterschiede zwischen dem linksgeführten Mallinckrodt-DLT und einem Bronchusblocker hinsichtlich der Gesamtdauer der Platzierung. Der VivaSight™-SL+EB hatte eine reduzierte Gesamtplatzierungsdauer im Vergleich zum Arndt-Blocker.

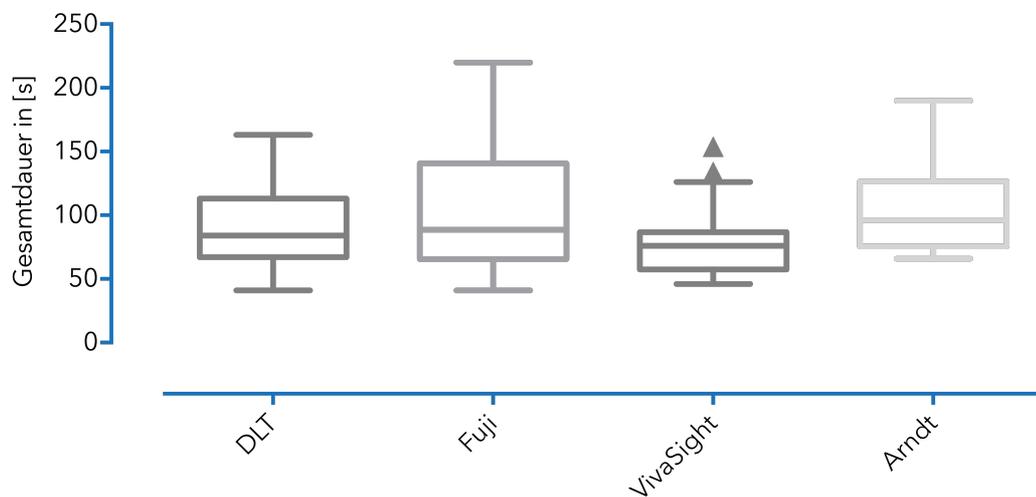


Abbildung 15 Gesamtdauer der Platzierung in [s]

Tabelle 9 Gesamtdauer der Platzierung – post-hoc Analyse nach Tukey

	Mittelwertdifferenz	Adjustiertes P
DLT vs. Fuji [s]	-15,8	0,4992
DLT vs. VivaSight [s]	9,5	0,7820
DLT vs. Arndt [s]	-18,3	0,1677
Fuji vs. VivaSight [s]	25,2	0,0943
Fuji vs. Arndt [s]	-2,6	0,9074
VivaSight vs. Arndt [s]	-27,8	0,0167

3.2.4 Dauer der bronchoskopischen Platzierung in Abhängigkeit von der operierten Seite

Für keines der getesteten Bronchusblocker-Modelle ließ sich im t-Test ein seitenabhängiger Unterschied in der Bronchoskopie- bzw. Tracheoskopiedauer darstellen. Die Fallzahl der linksseitig platzierten Arndt-Blocker betrug $n = 5$.

Tabelle 10 Bronchoskopiedauer abhängig von der operierten Seite

	Linksseitige Operation		Rechtsseitige Operation		p - Wert
	Anzahl n	Dauer [s]	Anzahl n	Dauer [s]	
Fuji	11	64,6 ± 28,4	15	76,8 ± 50,9	p = 0,842
VivaSight	9	24,3 ± 8,8	17	31,4 ± 24,4	p = 0,635
Arndt	5	103,8 ± 40,9	21	73,7 ± 32,3	p = 0,105

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

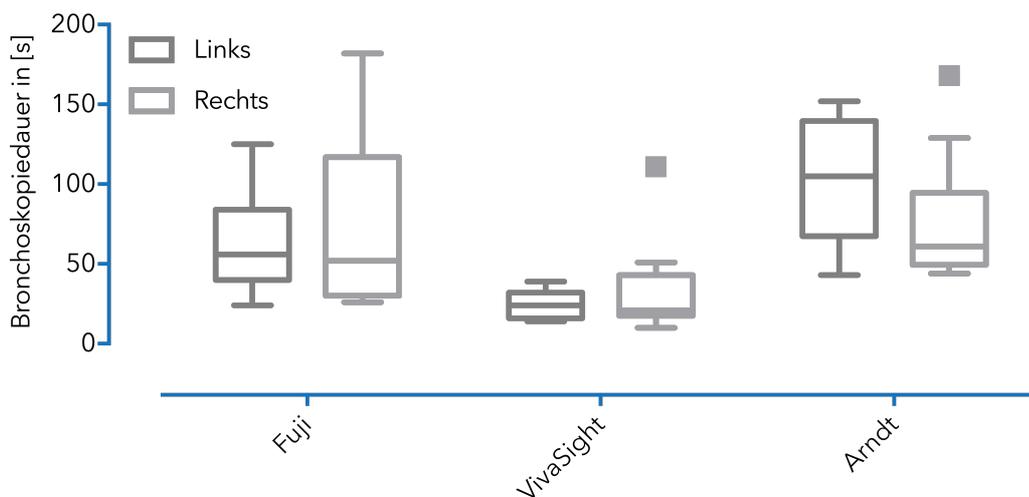


Abbildung 16 Bronchoskopiedauer abhängig von der Operationsseite in [s]

Die Verwendung ausschließlich linksgeführter Mallinckrodt-DLT erübrigte eine seitendifferente Analyse.

3.3 Anzahl der Blockierungen

Tabelle 11 Anzahl der Blockierungen in Abhängigkeit vom Verfahren

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt	Gesamt
1 Blockierung [n]	26	23	25	24	98
	100 %	88,5 %	96,2 %	92,3 %	94,2 %
2 Blockierungen [n]	0	3	1	2	6
	0,0 %	11,5 %	3,8 %	7,7 %	5,8 %
Gesamt [n]	26	26	26	26	104
	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Die Analyse der Anzahl der notwendigen Blockierungen bis zur korrekten Platzierung im Kruskal-Wallis-Test führte zur Annahme der Nullhypothese ($p = 0,3203$). Eine Korrektur mit erneuter Blockierung war nur in 5,8 % der Fälle erforderlich. Eine Abhängigkeit der Korrekturhäufigkeit von der operierten Seite war im exakten Test nach Fisher nicht nachweisbar (Fuji Uniblocker™ $p = 0,619$, VivaSight™-SL+EB $p = 0,346$, Arndt-Blocker $p = 0,646$).

3.4 Schwierigkeitsgrad

3.4.1 Schwierigkeitsgrad der bronchoskopischen Platzierung, abhängig vom Verfahren

Tabelle 12 Schwierigkeitsgrad der bronchoskopischen Platzierung

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert	1,58	1,65	1,31	1,73
Standardabweichung	0,64	0,63	0,55	0,78
Unteres 95 % CI	1,32	1,4	1,09	1,42
Oberes 95 % CI	1,84	1,91	1,53	2,04

Im Kruskal-Wallis-Test bestanden keine Unterschiede zwischen den untersuchten Verfahren zur Atemwegsseparation ($p = 0,1070$).

3.4.2 Schwierigkeitsgrad der bronchoskopischen Platzierung, abhängig von der OP-Seite

Tabelle 13 Schwierigkeitsgrad der bronchoskopischen Platzierung

	Linksseitige Operation		Rechtsseitige Operation		Mann-Whitney-U
	Anzahl [n]	Grad	Anzahl [n]	Grad	
Fuji	11	1,64 ± 0,51	15	1,67 ± 0,72	p>0,9999
VivaSight	9	1,44 ± 0,53	17	1,24 ± 0,56	p = 0,3332
Arndt	5	2,6 ± 0,55	21	1,52 ± 0,68	p = 0,0062

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Alle Doppel-Lumen-Tuben waren linksgeführte Modelle nach Mallinckrodt. Die bronchoskopisch bzw. tracheoskopisch platzierten Fuji Uniblocker™ bzw. VivaSight™-SL+EB unterschieden sich im Mann-Whitney-U-Test hinsichtlich des Schwierigkeitsgrads ihrer Platzierung, abhängig von der operierten Seite, nicht. Eine Differenz (2,6 ± 0,55 vs. 1,52 ± 0,68) war im Schwierigkeitsgrad der Bronchoskopie zwischen dem links- und rechtsseitig platzierten Arndt-Blocker nachweisbar.

3.5 Dislokationsrate

3.5.1 Dislokationsrate bei Umlagerung des Patienten

Tabelle 14 Dislokationsrate bei Umlagerung des Patienten

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [f]	0,42	0,42	0,38	0,35
Standardabweichung	0,5	0,5	0,5	0,49
Unteres 95 % CI	0,22	0,22	0,18	0,15
Oberes 95 % CI	0,63	0,63	0,59	0,54

Die lagerungsbedingte Dislokationsrate wies im Kruskal-Wallis-Test keine Unterschiede zwischen den Verfahren auf (p = 0,9322).

3.5.2 Dislokationsrate bei Umlagerung, abhängig von der OP-Seite

Tabelle 15 Dislokationsrate bei Umlagerung, abhängig von der OP-Seite

	Linksseitige Operation		Rechtsseitige Operation		Mann-Whitney-U
	Anzahl	Dislokationen [f]	Anzahl	Dislokationen [f]	
DLT	11	0,36 ± 0,50	15	0,47 ± 0,52	p = 0,7007
Fuji	11	0,45 ± 0,52	15	0,4 ± 0,51	p > 0,9999
VivaSight	9	0,44 ± 0,53	17	0,35 ± 0,49	p = 0,6924
Arndt	5	0 ± 0	21	0,43 ± 0,51	p = 0,129

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Keines der getesteten Modelle wies in der Analyse durch den Mann-Whitney-U-Test seitenabhängige Unterschiede in der Dislokationshäufigkeit durch Verbringen des Patienten in die Seitenlage auf.

3.5.3 Gesamtzahl der Dislokationen

Tabelle 16 Gesamtzahl der Dislokationen

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [f]	0,46	0,54	0,38	0,38
Standardabweichung	0,58	0,58	0,5	0,57
Unteres 95 % CI	0,23	0,3	0,18	0,15
Oberes 95 % CI	0,7	0,77	0,59	0,62

Die Gesamtzahl der intraoperativen Dislokationsereignisse differierte nicht zwischen den untersuchten Modellen (Kruskal-Wallis-Test p = 0,7091).

3.5.4 Gesamtzahl der Dislokationen, abhängig von der OP-Seite

Tabelle 17 Gesamtzahl der Dislokationen, abhängig von der OP-Seite

	Linksseitige Operation		Rechtsseitige Operation		Mann-Whitney-U
	Anzahl	Dislokationen [f]	Anzahl	Dislokationen [f]	
Fuji	11	0,64 ± 0,67	15	0,47 ± 0,52	p = 0,5602
VivaSight	9	0,44 ± 0,53	17	0,35 ± 0,49	p = 0,6924
Arndt	5	0 ± 0	21	0,48 ± 0,6	p = 0,129

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Die Dislokationsrate war für den ausschließlich linksgeführten Mallinckrodt-DLT nicht auswertbar. Die weiteren getesteten Modelle wiesen keine seitenabhängigen Unterschiede in der Gesamtzahl der Dislokationen auf.

3.6 Exposition

3.6.1 Chirurgische Exposition abhängig vom gewählten Verfahren

Tabelle 18 Chirurgische Exposition abhängig vom gewählten Verfahren

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert	1,7	1,6	1,3	1,4
Standardabweichung	0,98	0,95	0,67	0,7
Unteres 95 % CI	1,3	1,2	1	1,1
Oberes 95 % CI	2	2	1,5	1,7

Die Qualität der chirurgischen Exposition der nichtventilierten Lunge durch Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation differierte nicht zwischen den genutzten Verfahren der Atemwegsseparation (Kruskal-Wallis-Test, p = 0,3911).

3.6.2 Chirurgische Exposition, abhängig von der OP-Seite

Tabelle 19 Chirurgische Exposition, abhängig von der OP-Seite

	Linksseitige Operation		Rechtsseitige Operation		Mann-Whitney-U
	Anzahl	Grad	Anzahl	Grad	
DLT	11	1,5 ± 0,8	15	1,8 ± 1,1	p = 0,5029
Fuji	11	1,6 ± 0,9	15	1,5 ± 1	p = 0,7683
VivaSight	9	1,3 ± 0,7	17	1,2 ± 0,7	p = 0,5906
Arndt	5	1,4 ± 0,9	21	1,4 ± 0,7	p > 0,9999

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Der Grad der chirurgischen Exposition war für keines der verwendeten Modelle abhängig von der operierten Seite. Alle Doppel-Lumen-Tuben waren linksgeführt. Die Graduierung entsprach Abschnitt 4.6.1.

3.7 Bronchoskopien und Verletzungen

3.7.1 Anzahl der Bronchoskopien

Tabelle 20 Anzahl der Bronchoskopien

	DLT	Fuji	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26
Mittelwert	1,1	1,4	1,4
Standardabweichung	0,3	0,6	0,8
Unteres 95 % CI	1	1,2	1,1
Oberes 95 % CI	1,2	1,7	1,7

Im Kruskal-Wallis-Test war die Anzahl der notwendigen intraoperativen Bronchoskopien unabhängig vom genutzten Verfahren (p = 0,1120). Alle Doppel-Lumen-Tuben waren linksgeführt.

3.7.2 Anzahl der Bronchoskopien, abhängig von der OP-Seite

Tabelle 21 Anzahl der Bronchoskopien, abhängig von der OP-Seite

	Linksseitige Operation		Rechtsseitige Operation		Mann-Whitney-U
	Anzahl	Bronchoskopien [n]	Anzahl	Bronchoskopien [n]	
DLT	11	1 ± 0	15	1,2 ± 0,4	p = 0,2385
Fuji	11	1,5 ± 0,7	15	1,4 ± 0,6	p = 0,9119
Arndt	5	1 ± 0	21	1,5 ± 0,8	p = 0,1991

Die Anzahl der notwendigen Bronchoskopien war für alle untersuchten Atemweghilfsmittel unabhängig von der operierten Seite.

3.7.3 Anzahl der Verletzungen

Tabelle 22 Anzahl der Verletzungen, abhängig vom gewählten Verfahren

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [f]	0,038	0	0	0,077
Standardabweichung	0,2	0	0	0,27
Unteres 95 % CI	-0,041	0	0	-0,033
Oberes 95 % CI	0,12	0	0	0,19

Der Doppel-Lumen-Tubus verursachte bei einem Patienten eine geringe tracheale Kontaktblutung, der Arndt-Blocker resultierte in zwei Fällen in einer Rötung der Karina durch Druck der Draht-Öse. Keine Verletzung bedurfte einer Intervention. Zwischen den Verfahren bestanden keine Unterschiede im Kruskal-Wallis-Test (p = 0,2910).

3.8 Ventilation

3.8.1 Inspiratorische Sauerstofffraktion

Zum Zeitpunkt der Abnahme der BGA 2 (5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation) betrug die FiO_2 aller Patienten 1,0.

Tabelle 23 BGA 3 – FiO_2

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert	0,76	0,67	0,67	0,69
Standardabweichung	0,14	0,11	0,11	0,14
Unteres 95 % CI	0,7	0,63	0,63	0,63
Oberes 95 % CI	0,82	0,72	0,71	0,75

Nach 15 min Ein-Lungen-Ventilation bei Auswertung der BGA 3 zeigte der Kruskal-Wallis-Test Unterschiede in der notwendigen FiO_2 ($p = 0,0167$). In der post-hoc Analyse nach Dunn wurde ein Unterschied zwischen dem DLT und dem VivaSightTM-SL+EB nachgewiesen.

Abbildung 17 BGA 3 zum Zeitpunkt
15 min nach Beginn der ELV – FiO_2

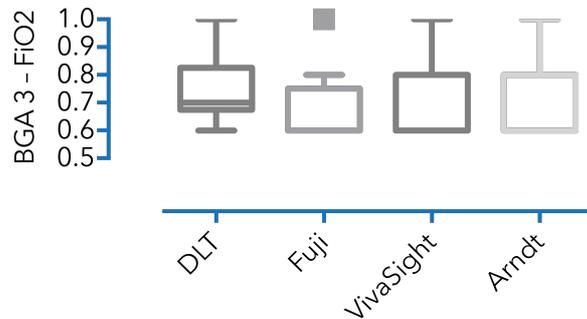


Tabelle 24 BGA 3 - FiO_2 Post-hoc Analyse nach Dunn

	Rangsummendifferenz	p-Wert
DLT vs. Fuji	19	$p = 0,0651$
DLT vs. VivaSight	21	$p = 0,0348$
DLT vs. Arndt	19	$p = 0,0814$
Fuji vs. VivaSight	1,4	$p > 0,9999$
Fuji vs. Arndt	-0,6	$p > 0,9999$
VivaSight vs. Arndt	-2	$p > 0,9999$

3.8.2 Tidalvolumen

Tabelle 25 BGA 2 – Tidalvolumen VT_{in}

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [ml]	427	454	405	447
Standardabweichung [ml]	74	112	67	72
Unteres 95 % CI [ml]	397	409	378	418
Oberes 95 % CI [ml]	457	499	432	476

Zu keinem Messzeitpunkt waren verfahrensabhängige Änderungen der Tidalvolumina nachweisbar (BGA 2 ANOVA $p = 0,1455$; BGA 3 ANOVA $p = 0,3972$).

Tabelle 26 BGA 3 – Tidalvolumen VT_{in}

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [ml]	441	463	448	474
Standardabweichung [ml]	81	96	56	68
Unteres 95 % CI [ml]	408	424	425	447
Oberes 95 % CI [ml]	473	502	470	501

3.8.3 Atemfrequenz

Tabelle 27 BGA 2 – Atemfrequenz AF

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [/min]	16	15	16	16
Standardabweichung [/min]	1,5	1,9	1,7	1,7
Unteres 95 % CI [/min]	15	14	15	15
Oberes 95 % CI [/min]	16	16	17	16

Die am Respirator festgelegte Atemfrequenz während der Ein-Lungen-Ventilation differierte zu keinem Messzeitpunkt zwischen den untersuchten Modellen (BGA 2

Kruskal-Wallis-Test $p = 0,1465$; BGA 3 Kruskal-Wallis-Test $p = 0,1322$).

Tabelle 28 BGA 3 – Atemfrequenz AF

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [/min]	15	15	16	16
Standardabweichung [/min]	1,7	2	1,7	1,9
Unteres 95 % CI [/min]	15	14	15	15
Oberes 95 % CI [/min]	16	16	17	17

3.8.4 Atemminutenvolumen

Tabelle 29 BGA 2 – Atemminutenvolumen AMV

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [l]	7,1	7	6,6	7,3
Standardabweichung [l]	1,4	1,7	1,2	1,6
Unteres 95 % CI [l]	6,5	6,3	6,1	6,6
Oberes 95 % CI [l]	7,6	7,7	7	7,9

Zwischen den analysierten Verfahren der Atemwegsseparation bestanden zu den Messzeitpunkten keine Unterschiede im Atemminutenvolumen. (BGA 2 Kruskal-Wallis-Test $p = 0,4272$; BGA 3 ANOVA $p = 0,4485$).

Tabelle 30 BGA 3 – Atemminutenvolumen AMV

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [l]	6,9	6,9	7,4	7,7
Standardabweichung [l]	1,2	1,2	1,1	1,3
Unteres 95 % CI [l]	6,4	6,4	7	7,1
Oberes 95 % CI [l]	7,4	7,4	7,9	8,2

3.8.5 Positiver endexpiratorische Druck

Die Ventilation aller Studienpatienten erfolgte mit einem voreingestellten PEEP von 5 cmH₂O, Anpassungen aus klinischer Indikation waren nicht erforderlich.

3.8.6 Expiratorischer Kohlendioxidpartialdruck

Tabelle 31 BGA 2 – Expiratorischer Kohlendioxidpartialdruck petCO₂

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [mmHg]	32	30	33	34
Standardabweichung [mmHg]	3,6	4,2	5,5	4,4
Unteres 95 % CI [mmHg]	31	28	30	32
Oberes 95 % CI [mmHg]	33	32	35	35

Zum Messzeitpunkt 5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation existierten Differenzen in der einfaktoriellen Varianzanalyse ($p = 0,0250$).

Tabelle 32 BGA 2 – petCO₂ Post-hoc Analyse nach Tukey

	Mittelwert-Differenz	95 % CI der Differenz	p-Wert
DLT vs. Fuji [mmHg]	2,2	-1.1 to 5.4	$p = 0,2974$
DLT vs. VivaSight [mmHg]	-0,5	-3.7 to 2.7	$p = 0,9779$
DLT vs. Arndt [mmHg]	-1,6	-4.8 to 1.7	$p = 0,5854$
Fuji vs. VivaSight [mmHg]	-2,7	-5.9 to 0.56	$p = 0,1403$
Fuji vs. Arndt [mmHg]	-3,8	-7 to -0.52	$p = 0,0162$
VivaSight vs. Arndt [mmHg]	-1,1	-4.3 to 2.2	$p = 0,8224$

Ein Unterschied war in der Post-hoc Analyse nachweisbar zwischen dem Fuji UniblockerTM und dem Arndt-Blocker (30 mmHg vs. 34 mmHg, $p = 0,0162$).

Tabelle 33 BGA 3 – Expiratorischer Kohlendioxidpartialdruck petCO₂

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt
Anzahl [n]	26	26	26	26
Mittelwert [mmHg]	34	31	33	33
Standardabweichung [mmHg]	3,5	3,3	4,5	3,4
Unteres 95 % CI [mmHg]	32	29	31	32
Oberes 95 % CI [mmHg]	35	32	35	34

Die Analyse des petCO₂ zum Zeitpunkt 15 min nach Beginn der ELV ergab ebenfalls Unterschiede zwischen den Verfahren ($p = 0,0212$).

Tabelle 34 BGA 3 – petCO₂ Post-hoc Analyse nach Tukey

	Mittelwert-Differenz	95 % CI der Differenz	p-Wert
DLT vs. Fuji [mmHg]	3	0.36 to 5.7	$p = 0,0179$
DLT vs. VivaSight [mmHg]	0,73	-2 to 3.4	$p = 0,8234$
DLT vs. Arndt [mmHg]	0,62	-2.1 to 3.3	$p = 0,9210$
Fuji vs. VivaSight [mmHg]	-2,3	-5 to 0.38	$p = 0,1504$
Fuji vs. Arndt [mmHg]	-2,4	-5.1 to 0.26	$p = 0,0913$
VivaSight vs. Arndt [mmHg]	-0,12	-2.8 to 2.6	$p = 0,9957$

Die Post-hoc Analyse zeigte eine Differenz zwischen DLT und Fuji UniblockerTM als ursächlich (34 mmHg vs. 31 mmHg, $p = 0,0179$).

3.9 Blutgasanalysen

3.9.1 Präoperative Blutgasanalyse

Tabelle 35 Präoperative BGA

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt	p-Wert
ph-Wert	7,44 ± 0	7,43 ± 0	7,43 ± 0	7,44 ± 0	p = 0,7064
paO ₂ [mmHg]	77 ± 13	76 ± 13	79 ± 11	76 ± 11	p = 0,817
paCO ₂ [mmHg]	36 ± 2	37 ± 4	37 ± 4	37 ± 4	p = 0,688
SaO ₂ [%]	95,6 ± 2,8	94,9 ± 2,8	96,5 ± 2	95,4 ± 2,9	p = 0,223
BE	0,6 ± 2	0,7 ± 2,2	0,7 ± 2,6	1,1 ± 2,9	p = 0,452
HCO ₃ [mmol/l]	24,7 ± 1,8	24,7 ± 2,2	25 ± 2,3	25,3 ± 2,4	p = 0,774

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

In der einfaktoriellen Varianzanalyse der präoperativen Blutgasanalyse waren keine Unterschiede zwischen den untersuchten Modellen nachweisbar.

3.9.2 Blutgasanalyse 2 nach 5 min Ein-Lungen-Ventilation

Tabelle 36 BGA 2 – Abnahme 5 min nach Ein-Lungen-Ventilation

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt	p-Wert
ph-Wert	7,41 ± 0,1	7,41 ± 0,1	7,40 ± 0,1	7,38 ± 0	p = 0,189
paO ₂ [mmHg]	245 ± 120	353 ± 113	344 ± 143	339 ± 122	p = 0,007
paCO ₂ [mmHg]	40 ± 6	41 ± 7	43 ± 7	45 ± 5	p = 0,022
SaO ₂ [%]	98,7 ± 1,8	99,1 ± 0,9	98,6 ± 2,6	98,8 ± 1,7	p = 0,997
BE	0,4 ± 2,4	0,69 ± 2,3	1,3 ± 3,3	0,9 ± 1,6	p = 0,841
HCO ₃ [mmol/l]	24,4 ± 2,4	24,9 ± 2,2	25,7 ± 3,3	25,5 ± 1,6	p = 0,259

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Die BGA zum Zeitpunkt 5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation differierte zwischen den Gruppen im Kruskal-Wallis-Test im paO₂. Parallel bestand in der ANOVA ein Unterschied im paCO₂.

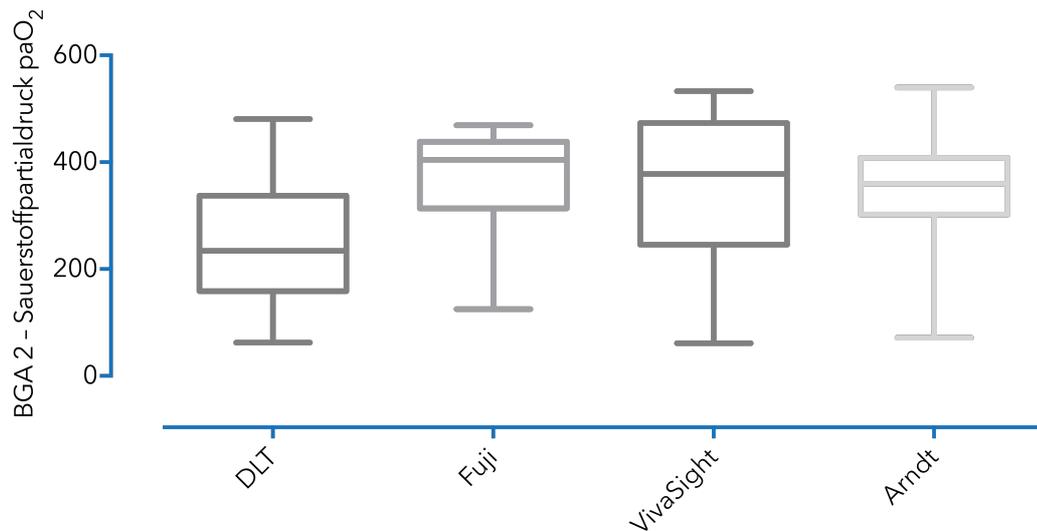


Abbildung 18 BGA 2 zum Zeitpunkt 5 min nach Beginn der Ein-Lungen-Ventilation – arterieller Sauerstoffpartialdruck paO₂ [mmHg]

Die arteriellen Sauerstoffpartialdrücke waren bei Verwendung eines Doppel-Lumen-Tubus im Vergleich zum Fuji Uniblocker™ oder VivaSight™-SL+EB reduziert (245 mmHg vs. 353 mmHg; 245 mmHg vs. 344 mmHg).

Tabelle 37 BGA 2 – paO₂ Post-hoc Analyse nach Dunn

	Rangsummendifferenz	p-Wert
DLT vs. Fuji [mmHg]	-25	p = 0,0150
DLT vs. VivaSight [mmHg]	-24	p = 0,0260
DLT vs. Arndt [mmHg]	-22	p = 0,0597
Fuji vs. VivaSight [mmHg]	1,4	p > 0,9999
Fuji vs. Arndt [mmHg]	3,7	p > 0,9999
VivaSight vs. Arndt [mmHg]	2,3	p > 0,9999

Tabelle 38 BGA 2 – paCO₂ Post-hoc Analyse nach Tukey

	Mittelwert-Differenz	95 % CI der Differenz	p-Wert
DLT vs. Fuji [mmHg]	-0,6	-5.2 to 4	p = 0,9959
DLT vs. VivaSight [mmHg]	-2,7	-7.3 to 1.9	p = 0,3864
DLT vs. Arndt [mmHg]	-4,6	-9.2 to 0	p = 0,0338
Fuji vs. VivaSight [mmHg]	-2,1	-6.6 to 2.5	p = 0,5135
Fuji vs. Arndt [mmHg]	-4	-8.5 to 0.5	p = 0,0566
VivaSight vs. Arndt [mmHg]	-1,9	-6.4 to 2.6	p = 0,6399

Die mittlere Differenz zwischen dem DLT und dem Arndt-Blocker betrug in der Post-hoc Analyse 4,6 mmHg ($p = 0,0338$).

3.9.3 Blutgasanalyse 3 nach 15 min Ein-Lungen-Ventilation

Tabelle 39 BGA 3 – Abnahme 15 min nach Ein-Lungen-Ventilation

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt	p-Wert
ph-Wert	7,39 ± 0,1	7,42 ± 0,1	7,41 ± 0,1	7,41 ± 0	$p = 0,370$
paO ₂ [mmHg]	158 ± 105	186 ± 104	172 ± 97	170 ± 80	$p = 0,675$
paCO ₂ [mmHg]	42 ± 6	39 ± 5	42 ± 10	41 ± 5	$p = 0,383$
SaO ₂ [%]	97,6 ± 2,1	97,8 ± 2,7	97,2 ± 3,4	97,8 ± 2,4	$p = 0,931$
BE	0,4 ± 2,8	1 ± 2,1	1,4 ± 3,5	1,1 ± 1,3	$p = 0,576$
HCO ₃ [mmol/l]	24,8 ± 2,4	25 ± 1,9	25,7 ± 3,7	25,2 ± 1,3	$p = 0,888$

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Die Auswertung der Blutgasanalyse zum Zeitpunkt 15 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation zeigte keine Differenzen.

3.9.4 Postoperative Blutgasanalyse

Tabelle 40 BGA 4 – postoperative Blutgasanalyse

	DLT	Fuji	VivaSight	Arndt	p-Wert
ph-Wert	7,35 ± 0,1	7,36 ± 0,1	7,35 ± 0,1	7,35 ± 0,1	$p = 0,990$
paO ₂ [mmHg]	131 ± 43	120 ± 55	134 ± 60	125 ± 40	$p = 0,619$
paCO ₂ [mmHg]	46 ± 8	47 ± 8	48 ± 7	48 ± 5	$p = 0,713$
SaO ₂ [%]	97,7 ± 1,7	96 ± 3,9	96,8 ± 3,3	97,1 ± 1,8	$p = 0,440$
BE	-0,3 ± 2,8	0,2 ± 2,4	1 ± 4	0,6 ± 2	$p = 0,4112$
HCO ₃ [mmol/l]	24,7 ± 2,6	25,3 ± 2,5	26 ± 4	25,6 ± 1,7	$p = 0,628$

Alle Werte in Mittelwert ± Standardabweichung

Auch die postoperative - bei Eintreffen im Aufwachraum erhobene - BGA war gleich bei allen Parametern der getesteten Modelle.

4 Diskussion

4.1 Diskussion der Ergebnisse

4.1.1 Dauer der Intubation und bronchoskopischen Platzierung der Atemweghilfsmittel

Dauer der Intubation

Die vorliegende Untersuchung unterteilt die Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation zum einen in die Intubation, zum anderen in die bronchoskopische Platzierung des Cuffballons im entsprechenden Stammbronchus. Studien für die reinen Intubationszeiten für Doppel-Lumen-Tuben vs. Single-Lumen-Tuben sind nicht verfügbar. In dieser Untersuchung wird die Intubationsdauer für die untersuchten Verfahren dokumentiert. Dargestellt wird die Zeit vom Beginn der Laryngoskopie bis zur Entfernung des Laryngoskops aus der Mundhöhle nach intratrachealer Platzierung des Tubus. Dieser Zeitraum wird gewählt, da er nur untersucherabhängig ist und nicht durch interpersonelle Unterschiede, beispielsweise in der Fixierungsdauer oder der Auskultation, beeinflusst wird.

Die Intubation mit dem linksgeführten DLT benötigt nicht mehr Zeit als die mit einem Single-Lumen-Tubus. Die Verlängerung der Intubationsdauer mit dem VivaSight™-SL resultiert daraus, dass die an der Spitze des Tubus befindliche Kamera tracheoskopisch bis auf 2 cm an die Karina herangeführt werden muss, weil die Leuchtstärke der Lichtquelle sonst nicht für die exakte Platzierung des VivaSight™-EB ausreicht. Die tief tracheale Platzierung des rigiden VivaSight™-SL muss schon aus Gründen der Gewebeschonung langsamer erfolgen (vgl. Abbildung 13).

Dauer der fiberoptischen Platzierung

Der Zeitbedarf für die tracheoskopisch geführte Platzierung des VivaSight™-EB ist erwartungsgemäß kürzer als die der anderen Bronchusblocker und des DLT, da

aufgrund der kontinuierlichen Tracheoskopie über den externen Monitor auf das zusätzliche Einführen und Steuern einer Fiberoptik verzichtet werden kann (vgl. Abbildung 14).

Gesamtdauer der Intubation und Platzierung

Für die Vergleichbarkeit mit Daten anderer Autoren werden der Zeitraum der Intubation und der fiberoptischen Platzierung im Stammbronchus zu einer Gesamtdauer zusammengefasst.

In der vorliegenden Untersuchung können keine Unterschiede in der Gesamtplatzierungsdauer zwischen dem Doppel-Lumen-Tubus und einem Bronchusblocker nachgewiesen werden, insbesondere keine in der Konzeption als klinisch relevant angesehenen Differenzen von mehr als 60 s. Die Zeitdauer für die tief tracheale Intubation mit dem VivaSight™-SL wird durch die kurze tracheoskopische Platzierungszeit für den VivaSight™-EB ausgeglichen. Unterschiede in der Gesamtdauer bestehen nur zwischen VivaSight™-SL+EB und dem Arndt-Blocker (78 s vs. 106 s, $p = 0,015$).

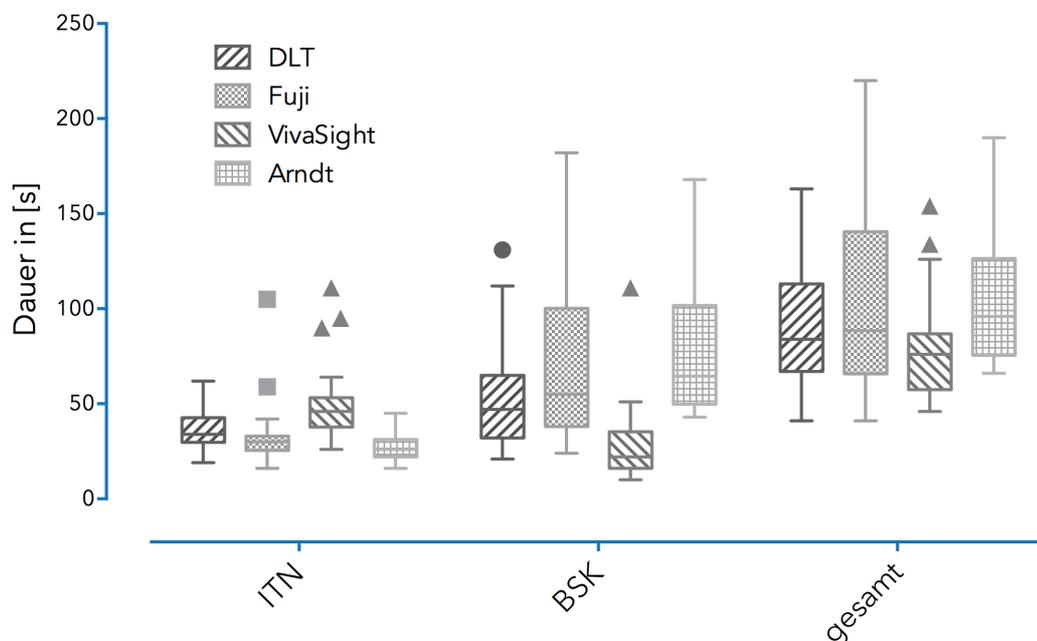


Abbildung 19 Dauer von Intubation, bronchoskopisch gesteuerter Platzierung und Gesamtdauer für alle untersuchten Modelle in [s]. ITN = Intubation, BSK = Bronchoskopie

Diese Ergebnisse stehen in deutlichem Gegensatz zu der veröffentlichten Metaanalyse von Clayton-Smith [79]. Diese fasst verfügbare Studien aus den Jahren 1996–2013 zusammen und kommt zum dem Schluss, dass der Zeitbedarf für die Platzierung von Doppel-Lumen-Tuben geringer ist als die von Bronchusblockern, mit einer mittleren Differenz von -51 s. Problematisch erscheint einerseits die Inklusion von vier Studien mit einer Entstehungszeit während oder direkt nach der Entwicklung des ersten modernen Bronchusblockers [9], so dass möglicherweise ein Anwender-Bias vorliegt. Auch sind in die Metaanalyse Studien eingeschlossen, die den DLT mit dem Univent-Tubus als Vorläufer der modernen Bronchusblocker vergleichen [71,72]. Zusätzlich unterscheiden sich neben den untersuchten Modellen auch die Dokumentationszeiträume. Narayanaswamy [85] verwendete den Zeitraum vom Beginn der Laryngoskopie bis hin zur Blockierung des endobronchialen Cuffs. Mourisse dagegen vermeldete Zeitspannen der reinen Intubation mit dem DLT bzw. Platzierung von Single-Lumen-Tubus und EZ-Blocker [86]. Die in die Metaanalyse mit 10 % Gewicht eingeflossenen Daten dieser Studie beinhalten nicht nur einen anderen Messzeitraum, sondern darüber hinaus folgt aus der blind durchgeführten Platzierung auch eine initiale Fehlpositionierungsrate von 79,6 %, deren Korrektur nicht im Rahmen der Gesamtdauer berücksichtigt wurde. Eine weitere in der Metaanalyse mit 15,7 % gewichtete Studie ist die Untersuchung von Dumans-Nizard [84]. Dort werden linksgeführte DLT mit Karina-Haken mit links- und rechtsseitig platzierten Cook® Cohen- und Arndt-Blockern verglichen, mit einem Trend zu kürzeren Platzierungszeiten für den DLT. Problematisch ist hier die Nutzung von Arndt-Blockern mit birnenförmigem Cuff auch für die rechtsseitige Platzierung, was aufgrund des elongierten Cuffs einerseits die genaue Platzierung verzögert und andererseits die Entlüftung des rechten Oberlappens erschweren kann [96]. Möglicherweise resultiert daraus die rechtsseitige Platzierungsdauer von 244 s ohne Unterschied zur linksseitigen von 253 s. Slinger empfiehlt 2011 die Verwendung sphärischer Cuffs für die rechtsbronchiale Platzierung sowie für den Arndt-Blocker die rechtsbronchiale Platzierung unter bronchoskopischer Sicht statt Führung [25]. Auch nach unserer Erfahrung platziert sich der Arndt-Blocker ungeführt fast ausschließlich im rechten Stambronchus.

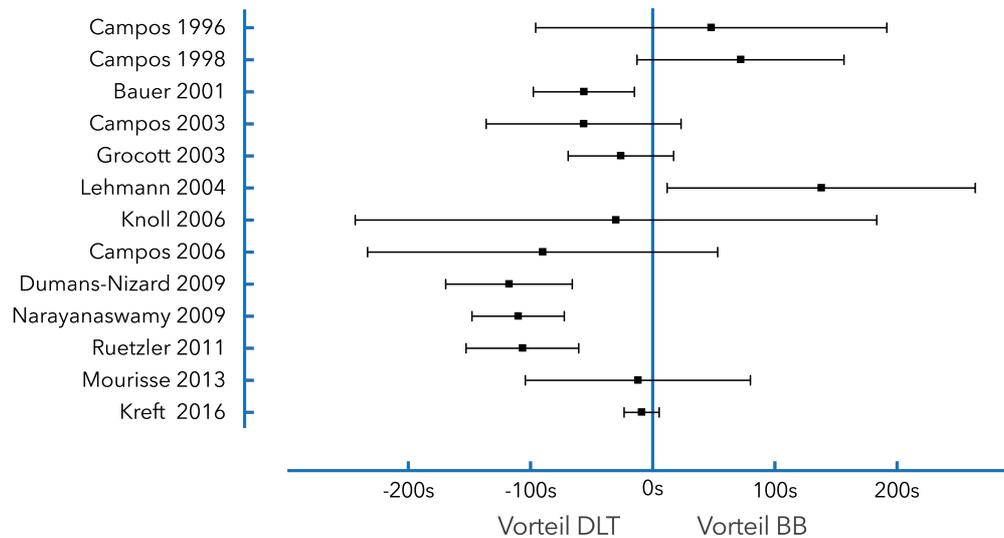


Abbildung 20 Forest-Plot klinischer Studien mit Darstellung unterschiedlicher Platzierungszeiten zwischen Doppel-Lumen-Tuben und Bronchusblockern.

In der Untersuchung von Narayanaswamy [85] wird die Platzierungsdauer zwischen dem DLT, Cook® Arndt-, Fuji Uniblocker™ und Cohen-Blocker verglichen. Der untersuchte Zeitraum vom Beginn der Laryngoskopie bis zur Blockierung des bronchialen DLT-Cuffs bzw. des Cuffs des Bronchusblockers ist vergleichbar mit der vorliegenden Studie, Angaben zu Zeitspannen der Tubusfixierung fehlen. Die Analyse erfolgt als t-Test zwischen der DLT-Gruppe und einer zusammengefassten Bronchusblocker-Gruppe. Die Platzierung des Doppel-Lumen-Tubus gelingt hier in $93 \text{ s} \pm 62 \text{ s}$. Verglichen mit den Bronchusblockern ($203 \text{ s} \pm 132 \text{ s}$) ergibt sich ein deutlicher Zeitvorteil für den Doppel-Lumen-Tubus. Diese Differenz lässt sich in den Daten der vorliegenden Untersuchung nicht reproduzieren, die Doppel-Lumen-Tuben sind nur unwesentlich schneller zu platzieren ($88 \text{ s} \pm 32 \text{ s}$) als die Modelle der Bronchusblockergruppe ($96 \text{ s} \pm 38 \text{ s}$). Ein statistisch oder klinisch relevanter Unterschied ist nicht nachweisbar.

Abbildung 21 Vergleich der Gesamtdauer der Platzierung zwischen Doppel-Lumen-Tuben und den zu einer Gruppe zusammengefasste Bronchusblockern in [s],
DLT = Doppel-Lumen-Tubus,
BB = Bronchusblocker

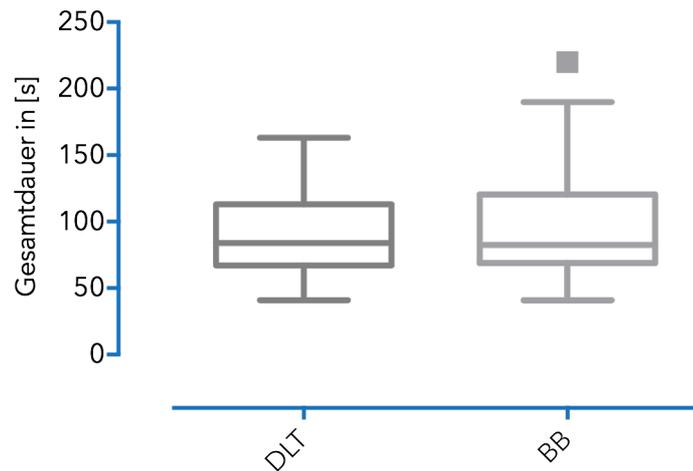


Tabelle 42 Gesamtdauer der Platzierung im Vergleich zweier Studien

	n	Narayanaswamy 2009 [s]	Kreft 2016 [s]
DLT	26	93 ± 62	88 ± 32
Bronchusblocker	78	203 ± 132	96 ± 38

Alle Daten als Mittelwert ± SD

Als Erklärung für den unterschiedlichen Zeitbedarf zur Platzierung von DLT und Bronchusblockern wird der Ausbildungs- und Erfahrungsstand der jungen Fachärzte angeführt, die unter Aufsicht von Thoraxanästhesisten die Studie durchführten. Die Kollegen waren erfahren im Umgang mit Doppel-Lumen-Tuben, nicht jedoch mit Bronchusblockern. Faktoren wie thoraxanästhesiologisch unerfahrene Kollegen wie in der Studie von Campos [74] bzw. unterschiedliche Ausbildungsstände der Untersucher im Umgang mit Doppel-Lumen-Tuben im Vergleich zu Bronchusblockern [85] scheinen einen erheblichen Einfluss zu haben. Die vorliegende Untersuchung wurde von nur einem narkoseführenden Anästhesisten und einem Thoraxchirurgen durchgeführt, so dass bei den Beteiligten sowohl Übung mit den zu untersuchenden Materialien als auch Routine im Operationsablauf bestand. In der Untersuchung von Narayanaswamy wurden nicht nur alle DLT, sondern auch alle Bronchusblocker im linken Stammbronchus platziert, was technisch anspruchsvoller ist und nach Bauer [81] und Vilà [83] auch zeitaufwändiger. Ein Teil der Diskrepanz in der Gesamtdauer vorheriger Studien zu unseren eigenen Ergebnissen könnte also auch daraus resultieren.

In dieser Studie besteht kein Unterschied in der Gesamtplatzierungsdauer zwischen dem Doppel-Lumen-Tubus und den Bronchusblockern. Die notwendige Gesamtdauer für die Platzierung des Arndt-Blockers ist höher als die des VivaSight™-SL+EB. Bezüglich eines Vergleichs nur zwischen dem DLT und dem VivaSight™-SL+EB wäre bei einer Effektgröße von $f = 0,159$ für die Detektion eines Unterschieds eine Fallzahl von 312 Patienten notwendig.

4.1.2 Dauer der Platzierung in Abhängigkeit der operierten Seite

In dieser Arbeit werden die Zeiten für die fiberoptische Platzierung des Cuffs des jeweiligen Bronchusblockers im linken bzw. rechten Hauptbronchus verglichen. Analog zu anderen Studien wurden nur linksgeführte DLT verwendet. Für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird die Gesamtdauer der Platzierung in Abhängigkeit der OP-Seite berechnet.

Tabelle 43 Gesamtdauer der Platzierung in Abhängigkeit der operierten Seite

	Links		Rechts		Signifikanz (t-Test)
	N	Mittelwert \pm SD	N	Mittelwert \pm SD	
Fuji	11	90 \pm 32	15	114 \pm 51	$p = 0,164^*$
VivaSight	9	74 \pm 23	17	81 \pm 29	$p = 0,557$
Arndt	5	132 \pm 38	21	100 \pm 31	$p = 0,065$

Mittelwert \pm Standardabweichung in [s], * = varianzinhomogen

Zwischen den untersuchten Bronchusblockern besteht kein Unterschied hinsichtlich der Seitenabhängigkeit ihrer Platzierungsdauer. Die Bewertung des Trends für den Arndt-Blocker muss bei nur 5/26 linksseitigen Platzierungen zurückhaltend erfolgen, subjektiv ist die linksseitige Arndt-Blockerplatzierung schwieriger. Die zeitlichen Unterschiede zu anderen Studien [85] in der Gesamtdauer bleiben auch bei Betrachtung ausschließlich linksseitig platzierter Bronchusblocker bestehen.

4.1.3 Schwierigkeitsgrad der bronchoskopischen Platzierung

Nach Mourisse [86] ist die bronchoskopische Platzierung des EZ-Blockers leichter als die des DLT. Die leichtere Platzierbarkeit des EZ-Blockers aufgrund seiner Doppel-Cuff-Architektur verhindert jedoch die Übertragbarkeit auf Ein-Cuff-Modelle. Des Weiteren verbietet das Fehlen einer etablierten Skala den Vergleich absoluter Ergebnisse. In der vorliegenden Studie gelangen 76,9 % der Intubationen mit dem linksgeführten Doppel-Lumen-Tubus leicht bis sehr leicht. Der Schwierigkeitsgrad der fiberoptischen Platzierung unabhängig von der operierten Seite zeigt ebenfalls keine Unterschiede zwischen dem DLT und den Bronchusblockern bzw. den Bronchusblockern untereinander. Werden die Bronchusblocker nach der intubierten Seite differenziert, zeigt sich für Fuji Uniblocker™ und VivaSight™-SL+EB ebenfalls kein Unterschied.

Die linksseitige fiberoptische Platzierung des Arndt-Blockers weist im Vergleich zu der rechtsseitigen einen erhöhten Schwierigkeitsgrad auf. Auch unter Beachtung der kleinen Stichprobe (5/26) erscheint das Ergebnis schlüssig. Als ursächlich ist die Schlaufe des Arndt-Blockers anzunehmen, welche die Führung des Blockers entlang der Fiberoptik ermöglicht. Bei rechtsseitiger Platzierung ist die Nutzung der Führungsschleife häufig nicht notwendig [25]. Auch bei linksseitiger Führung des Bronchoskops folgt der Blocker aufgrund seiner Rigidität häufig dem rechten Stambronchus. Dies birgt ein Verletzungsrisiko der Karina durch die somit zwischen beiden Stambronchien aufgespannte Schlaufe, die linksseitige Platzierung wird erschwert und verlängert. Die Retraktion der Schlaufe um etwa 1 cm durch eine Assistenzperson führt zu einer Annäherung der Schlaufe an das Bronchoskop und erleichtert die linksseitige Positionierung. Naturgemäß ist bei Nutzung nur eines Bronchoskops die Position der Blockerspitze proximal des Bronchoskops nicht darstellbar. Das Bronchoskop muss also tief in den linken Bronchialbaum eingeführt werden, um die endobronchiale Positionierung der Blockerspitze zu gewährleisten. Auch angesichts des Trends hin zu einem höheren Zeitbedarf für die linksseitige Arndt-Blocker-Anlage empfiehlt sich die primär rechtsseitige Verwendung eines Arndt-Blockers.

4.1.4 Initiale Fehlpositionierung und intraoperative Dislokation

Hinsichtlich der Rate initialer Fehlpositionierungen zeigen besonders die Untersuchungen von Campos [74] und Mourisse [86] die Notwendigkeit von fiberoptischen Lagekontrollen und -korrekturen nach blinder Platzierung, da die Raten initialer Fehlplatzierungen auch bei Doppel-Lumen-Tuben von >30 % bis zu 85 % [74] reichen.

Die intraoperative Dislokationshäufigkeit unterscheidet sich in dieser Untersuchung nicht zwischen den Gruppen. Ursächlich für die Dislokationen ist in 41/43 Fällen die Umlagerung des Patienten auf die Seite, verbunden mit der Reklination der Kopfes und der Verlängerung der oberen Atemwege [97]. Alle Dislokationen konnten während der obligatorischen fiberoptischen Kontrolle nach Umlagerung behoben werden. Die in dieser Studie aufgeführten Dislokationsraten sind höher als die von Ruetzler 2011 publizierten [80]. Diese fand lagerungsassoziierte Dislokationen bei 3/19 DLT und 7/20 EZ-Blockern. In der Studie von Narayanaswamy [85] zeigen sich sehr geringe Raten für den linksgeführten DLT und höhere 16/26 für den linksgeführten Arndt-Blocker. Dieses wird von den Autoren mit dem ellipsoiden Cuff des Arndt-Blockers erklärt. In beiden Studien ist der zu einer dokumentierten Dislokation führende Grad der Mobilisierung nicht beschrieben. Diese Untersuchung definiert eine Bewegung von mehr als einem Zentimeter (nach proximal) als Dislokation. Die präemptive tiefere Platzierung um 1 cm, wie von Campos [96] für das generelle Patientengut bzw. um 2 cm für stark adipöse Patienten [98] empfohlen, wurde nicht durchgeführt.

Die seitendifferente Auswertung der Dislokationsraten ergibt nur für den Arndt-Blocker Unterschiede. Das Fehlen von Dislokationen des linksgeführten Arndt-Blockers ist jedoch als Folge der geringen Fallzahl zu sehen. Die Dislokationsraten der anderen Bronchusblocker sind nicht seitenabhängig. Für den Nachweis einer geringeren Dislokationsrate bei rechtsseitiger Platzierung der Arndt-Blocker, wie 1998 von Campos aufgrund des steilen Verlaufs des rechten Hauptbronchus vermutet [72], ist die vorliegende Untersuchung unterdimensioniert. Die seitenabhängige Dislokationsrate der ausschließlich linksgeführten Doppel-Lumen-

Tube unterscheidet sich nicht. Somit scheint die Dislokationshäufigkeit nicht durch die Schwerkraft bei Rechtsseitenlage des Patienten erhöht zu werden.

4.1.5 Chirurgische Exposition abhängig vom gewählten Verfahren

Eine validierte Skala für den Grad der Deflation ist in der Literatur nicht etabliert. Alle vorliegenden Studien beschreiben identische Expositionsgrade (Lung Collapse Score) unabhängig vom verwendeten Verfahren [78,80,85,89]. Unterschiede bestehen nach Zhong [78] und Campos [72] in der verlängerten Deflationsdauer der Bronchusblocker, die aus den schmalen Lumina der Blocker resultiert. In der vorliegenden Studie werden alle Patienten bis zur Lungenseparation mit einer $FiO_2 = 1,0$ ventiliert und die Bronchusblocker kontinuierlich abgesaugt. Die Deflationsdauer bis zur Beurteilung durch den Chirurgen ist für alle Verfahren gleich. Analog zu bisherigen Studien ist die Qualität der chirurgischen Exposition unabhängig vom eingesetzten Atemwegshilfsmittel.

Auch die Seite der endobronchialen Platzierung hat keinen Einfluss auf die Qualität der chirurgischen Exposition. Daraus lässt sich ableiten, dass die Cuff-Form moderner Bronchusblocker auch für den kurzen rechten Stammbronchus adäquat ist und die Deflation des rechten Oberlappens klinisch nicht relevant behindert.

4.1.6 Anzahl der Bronchoskopien, abhängig vom Verfahren

Die Anzahl der für die Einleitung und Aufrechterhaltung der Ein-Lungen-Ventilation notwendigen Bronchoskopien ist in der vorliegenden Untersuchung für die Verfahren DLT, Fuji UniblockerTM und Arndt-Blocker gleich. Ein postuliertes Vorteil des VivaSightTM-SL+EB ist die kontinuierliche tracheoskopische Überwachung des Atemwegs unter Vermeidung darüber hinausgehender Bronchoskopien. Limitierend ist das Fehlen eines Arbeitskanals in der Tracheoskopieoptik. Für den VivaSightTM-SL+EB gibt es derzeit keine vergleichenden Daten. Für den konzeptionell ähnlichen VivaSightTM-DL Tracheoskopie-DLT zeigen Studien keinen zusätzlichen Bronchoskopiebedarf [62,63,64]. Außerplanmäßige Gründe für fiberoptische Bronchoskopien mit

Arbeitskanal wie eine notwendige Sekretmobilisation [65] traten in dieser Untersuchung nicht auf.

4.2 Ventilation

Die notwendigen Beatmungsspitzen drücke für einen Doppel-Lumen-Tubus übersteigen jene für die Kombination aus Single-Lumen-Tubus und Bronchusblocker gering [76] bzw. sind identisch [85]. Ursächlich sind die beschriebenen Differenzen in den Tubus-Querschnitten und resultierenden Atemwegswiderständen (vgl. Abbildung 10). Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Ergebnisse zeigen keine Unterschiede zwischen den Verfahren für die Parameter Tidalvolumen, Atemfrequenz, Atemminutenvolumen und PEEP. Es finden sich klinisch irrelevante Unterschiede zwischen den petCO_2 -Werten nach 5min ELV (Arndt-Blocker vs. Fuji Uniblocker™ 34 cmH_2O vs. 30 cmH_2O) sowie nach 15min ELV (DLT vs. Fuji Uniblocker™ 34 cmH_2O vs. 31 cmH_2O).

Zum Zeitpunkt 5min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation besteht ein relevanter Unterschied von 0,1 in der eingesetzten FiO_2 zwischen dem Doppel-Lumen-Tubus und dem VivaSight™-SL+EB.

4.3 Blutgasanalysen

Die genutzten Atemwegshilfsmittel unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Ventilation nicht wesentlich. Letztendlich werden Ein-Lungen-Ventilation und Atemwegsseparation durch das Einbringen und Blocken eines Cuffs in einen Hauptbronchus erzielt. Ergebnisse sind der Ventilationsdefekt der betroffenen Lunge, die Totalatelektase und daraus resultierend die erhöhte Beimischung venösen Blutes mit Abfall des paO_2 , für dessen Ausprägung die Art des verwendeten Verfahrens unerheblich sein sollte. Differenzen in den Oxygenierungs- und Säure-Basen-Parametern sollten daher entweder aus inkorrektur Platzierung resultieren, Folge des Zeitraums vor der Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation oder artifizieller Natur sein.

4.3.1 Präoperative Blutgasanalyse

In der präoperativen BGA bestehen zwischen den randomisierten Studiengruppen keine Unterschiede.

4.3.2 Blutgasanalyse 5min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation

Eine Untersuchung bei kardiochirurgischen Patienten zeigte höhere Horowitz-Indices bei Verwendung des Arndt-Blocker vs. DLT [77] bei gleichzeitig reduzierter intrapulmonaler Shuntfraktion in der Bronchusblocker-Gruppe. In einer weiteren Studie wurden keine Oxygenierungsdifferenzen zwischen den Gruppen dokumentiert [76]. Die Autoren um Lehmann postulieren einen unvollständigen Kollaps der mit Arndt-Blockern instrumentierten Lunge als Ursache des Oxygenierungsvorteils [77]. Leider sind der Verlauf der FiO_2 und des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks in dieser Studie nicht dokumentiert.

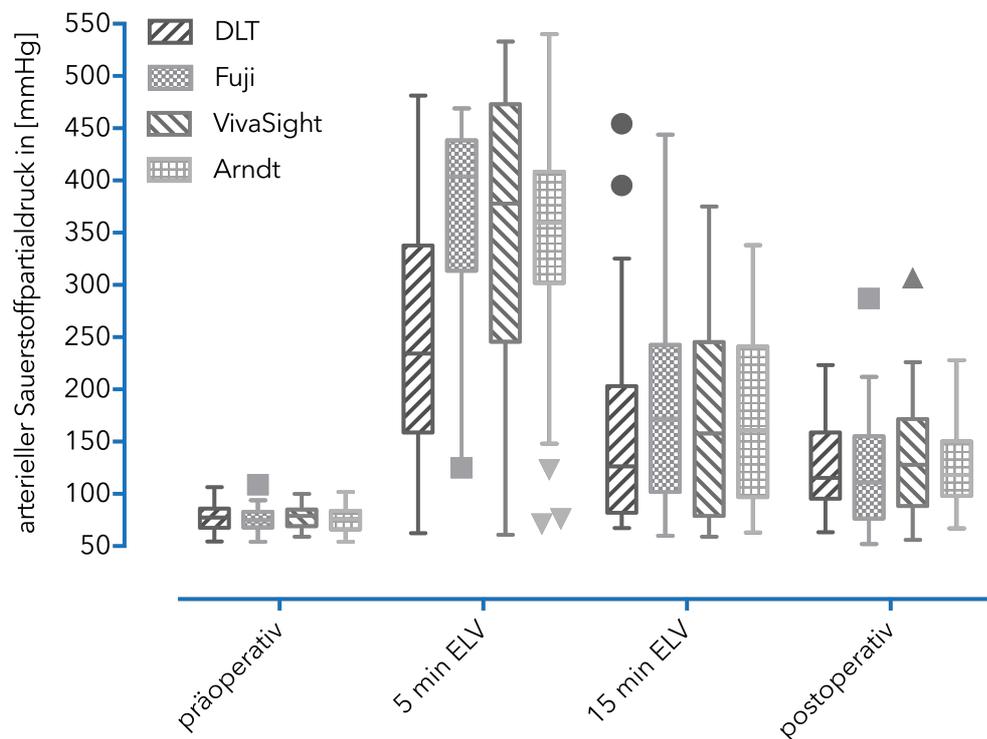


Abbildung 22 Darstellung des arteriellen Sauerstoffpartialdrucks zu den Zeitpunkten präoperativ, 5 min nach Beginn der ELV, 15 min nach Beginn der ELV sowie postoperativ in [mmHg].

In der vorliegenden Untersuchung bestehen zum Zeitpunkt 5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation zwischen den verwendeten Modellen Unterschiede in den arteriellen Sauerstoffpartialdrücken. Die mittlere Differenz zwischen dem DLT und den Bronchusblockern beträgt für den paO_2 klinisch relevante 100 mmHg. Folgt man Lehmann [77], ist eine insuffiziente Abdichtung der Bronchusblocker Ursache dieser Differenzen. Die Homogenität des Oxygenierungsvorteils aller Bronchusblocker im Vergleich zum DLT lässt aber auch Bauartunterschiede des Doppel-Lumen-Tubus, insbesondere des Innenlumens, als Grund vermuten. Die Präoxygenierung und Zwei-Lungen-Ventilation mit einer FiO_2 von 1,0 soll einerseits den Partialdruckabfall mit Beginn der Ein-Lungen-Ventilation reduzieren und andererseits über die Entwicklung einer Resorptionsatelektase die Deflation der nicht-ventilierten Lunge beschleunigen. Mit Beginn der ELV enthält die nicht ventilierte Lunge somit reinen Sauerstoff entsprechend ihrer funktionellen Residualkapazität. Im Fall des Doppel-Lumen-Tubus erfolgt die Deflation über die Resorption und über die Öffnung des bronchialen oder trachealen Schenkels zur Atmosphäre. Der effektive Innendurchmesser der Schenkel eines 39 Fr-DLTs beträgt 7 mm [92], womit ein Überwiegen dieses Deflationswegs schlüssig erscheint. Zum Zeitpunkt der BGA 5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation profitiert die Oxygenierung des Patienten aufgrund der schnellen Deflation nicht mehr von der initialen FiO_2 von 1,0.

Die Innendurchmesser der 9 Fr Bronchusblocker betragen zwischen 1,4 und 1,6 mm [99]. Entsprechend höher ist der Anteil der Resorption an der Deflation der nicht-ventilierten Lunge. Dass die Resorption etwa einer halben funktionellen Residualkapazität reinen Sauerstoffes zu einem Oxygenierungsvorteil zum Zeitpunkt 5 min führt, ist vorstellbar.

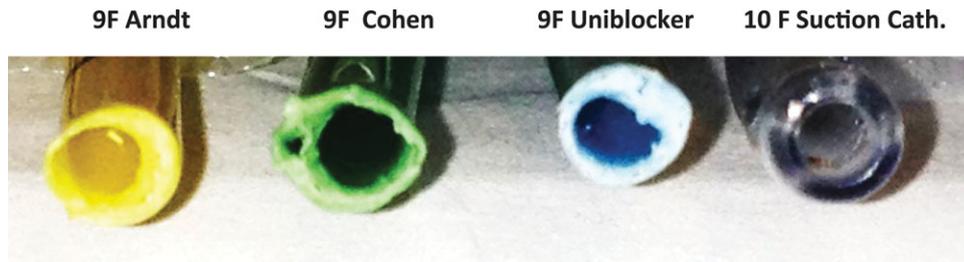


Abbildung 23 Innendurchmesser des 9 Fr Arndt-Blockers, 9 Fr Cohen-Blockers, 9 Fr Fuji Uniblockers™ sowie des dem Doppel-Lumen-Tubus beiliegenden 10 Fr Absaugkatheters. Das Lumen des VivaSight™-EB entspricht dem des Fuji Uniblockers™

Die gezeigten Unterschiede der arteriellen Kohlendioxidpartialdrücke korrelieren nicht mit Mittelwertdifferenzen der petCO_2 -Werte. Entsprechend sind Differenzen der Kohlendioxidpartialdrücke zwischen den untersuchten Geräten eher Ausdruck der individuellen Streuung der alveolo-arteriellen CO_2 -Partialdruckdifferenz als verfahrensbedingt. Die Säure-Base-Parameter sind zum Zeitpunkt 5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation für alle Modelle vergleichbar.

4.3.3 Blutgasanalyse 15min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation

In der BGA zum Zeitpunkt 15 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation bestehen zwischen den randomisierten Studiengruppen keine Unterschiede. Die zum Zeitpunkt 5 min nach Etablierung der Ein-Lungen-Ventilation bestehenden Unterschiede der arteriellen Sauerstoffpartialdrücke sind in dieser BGA nicht mehr nachweisbar. Eine Insuffizienz der Bronchusblockercuffs hätte wie bei Lehmann [77] zu anhaltenden Unterschieden während der gesamten Ein-Lungen-Ventilation führen oder Korrekturen notwendig machen müssen, was allerdings nicht im höheren Maße als bei den DLT der Fall war.

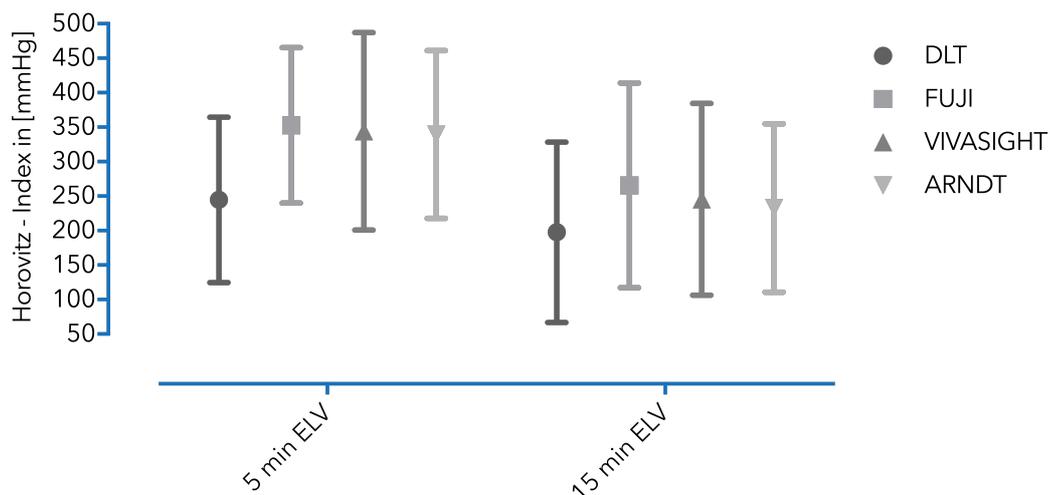


Abbildung 24 Horowitz-Indices [$\text{paO}_2/\text{FiO}_2$] bei Verwendung verschiedener Modelle zu den Zeitpunkten 5 min nach Beginn der ELV und 15 min nach Beginn der ELV.

4.3.4 Postoperative Blutgasanalyse

Die Variablen der postoperativen BGA sind zwischen den randomisierten Studiengruppen nicht unterschiedlich.

4.4 Diskussion der Methodik

Im Rahmen der Studie wurden die Patienten randomisiert, eine Verblindung war wegen der unterschiedlichen Methoden der Atemwegstrennung nicht möglich. Allerdings würde eine Verblindung auch kaum anwendertypische Störfaktoren reduzieren, da die Platzierung der DLT und Bronchusblocker von einem erfahrenen Facharzt vorgenommen wurde. Die statistische Analyse erfolgte in Unkenntnis der Gruppencharakteristik. Die Entfernung primär eingeschlossener Patienten aufgrund von Kontraindikationen gegen die DLT-Nutzung oder anderer Ausschlusskriterien war nicht notwendig. Nur ein Patient konnte nicht direkt am OP-Ende extubiert werden, eine Dokumentation des Zeitbedarfs für die Umintubation von Doppel-Lumen-Tubus zu Single-Lumen-Tubus muss deshalb entfallen.

Die potentielle Histaminliberation durch Nutzung von Mivacurium als Muskelrelaxans wurde gegen die Gefahren einer nicht ausreichenden Erholung der Muskelfunktion abgewogen. In einigen Fällen kam Mivacurium bei Operationen mit

erwarteter Anästhesiedauer unter 30min zum Einsatz. Klinisch fassbare histaminvermittelte Ereignisse traten nicht auf.

Eine Nachverfolgung von Atemwegsverletzungen und Heiserkeit im weiteren postoperativen Verlauf [90] war nicht Teil des Studienprotokolls. Die Inzidenz fiberoptisch gesicherter Rötungen der trachealen und bronchialen Mukosa blieb deutlich unter denen von anderen Autoren [90]. Insgesamt sind die detektierten Unterschiede zwischen dem Doppel-Lumen-Tubus und der zusammengefaßten Bronchusblocker-Gruppe, insbesondere hinsichtlich der Gesamtdauer der Platzierung (Effektgröße $d = 0,229$), deutlich geringer als nach publizierten Studien [85] mit einer Effektgröße von $d = 1,144$ abzusehen. Entsprechend würde die Annahme der Nullhypothese eine Fallzahl von $n = 600$ erfordern.

Die geringe Fallzahl linksseitig platzierter Arndt-Blocker lässt eine Aussage über den seitenabhängigen Schwierigkeitsgrad der Positionierung nicht zu, wenngleich die prolongierte linksseitige Anlagedauer anderer Untersuchungen [82,83,84] ein Indiz darstellt. Aufgrund der Konzeption der Auswertungsbögen wurde der Schwierigkeitsgrad der Intubation mit den Single-Lumen-Tuben nicht dokumentiert, wodurch keine vergleichende Bewertung der Intubation mit einem DLT möglich ist.

5 Zusammenfassung

Moderne Bronchusblocker können dem Doppel-Lumen-Tubus, der als Goldstandard betrachtet wird, als gleichwertig gelten. Ergebnisse für Platzierungszeiten, Dislokationsraten, Qualität der chirurgischen Exposition und Raten an Atemwegsverletzungen hängen weniger vom verwendeten Modell als von der Erfahrung des beteiligten Anästhesisten ab. Mit zunehmender Häufigkeit minimalinvasiver Eingriffe, die in den Bereichen Kardio- und Neurochirurgie häufiger mit postoperativer Nachbeatmung verbunden sind, ergeben sich Vorteile für die Bronchusblocker [66]. Klare Indikationen für Doppel-Lumen-Tuben wie Manschettenresektionen bei zentralen Tumoren oder die Sekretkontrolle bei Bronchiektasien, Lungenabszessen oder Tuberkulose werden seltener [79]. Zunehmend werden jedoch Patientenkollektive, bei denen, aufgrund von Voroperationen, multimodaler Therapie im Sinne von Radiatio oder extremen Lebensaltern, die Intubation mit dem Doppel-Lumen-Tubus entweder erschwert oder unmöglich ist, mit Ein-Lungen-Ventilation operiert. Eine Anästhesieeinleitung bei nicht nüchternen Patienten, der schwierige Atemweg oder die fiberoptische Wachintubation für die Ein-Lungen-Ventilation sind die Domäne der Bronchusblocker [87]. Der VivaSight™-DL als aktuelle Weiterentwicklung des Doppel-Lumen-Tubus ermöglicht eine kontinuierliche Lagekontrolle, teilt aber die Nachteile des DLT hinsichtlich der Dimensionen und Frequenz von Atemwegsverletzungen. Der VivaSight™-SL+EB soll die endobronchiale Platzierung erleichtern, die kontinuierliche Lagekontrolle gewährleisten und Kosten für die fiberoptische Bronchoskopie reduzieren.

Die vorliegende Studie zeigt für den VivaSight™-SL+EB im Vergleich zum DLT keinen statistisch oder klinisch relevanten Unterschied in der Zeit für die endobronchiale Platzierung, im Schwierigkeitsgrad der Anwendung, oder der lagerungsbedingten Dislokationsrate. Für den Chirurgen ergeben sich bei gleicher Deflationszeit keine Unterschiede im Expositionsgrad. Zusätzliche Bronchoskopien

waren bei einigen DLT notwendig, jedoch bei keinem VivaSight™-SL+EB. Der Beschaffungspreis für den VivaSight™-SL+EB im Vergleich zum DLT ist höher. Während allein aus Kostengründen der Doppel-Lumen-Tubus das meistgenutzte Verfahren für die Atemwegsseparation bleiben dürfte, profitieren spezielle Patientengruppen von der Vorhaltung und Anwendung eines modernen Bronchusblockers, ohne dass Nachteile hinsichtlich verlängerter Anlagedauer, erhöhten Dislokationsraten oder verschlechterter chirurgischer Exposition zu befürchten sind. Dieser Vorteil kann jedoch nur genutzt werden, wenn die verantwortlichen Anästhesisten im Umgang mit dem Bronchusblocker erfahren sind [100]. Die weltweite Zunahme multiresistenter Erreger und insbesondere deren mögliche Übertragung durch wiederverwendbare fiberoptische Bronchoskope [101] können künftig Wettbewerbsvorteile für Einwegmaterialien zur Atemwegsseparation mit integrierter Kameraoptik darstellen. Weiterentwicklungen im Bereich der Monitortechnologie und flexiblerer Materialien können eine Ausweitung ihrer Indikationen zur Folge haben.

Literaturverzeichnis

- [1] E. Cohen, Recommendations for airway control and difficult airway management in thoracic anesthesia and lung separation procedures. Are we ready for the challenge? *Minerva Anesthesiol.* 75 (2009) 3–5.
- [2] J.B. Brodsky, H.J.M. Lemmens, The history of anesthesia for thoracic surgery, *Minerva Anesthesiol.* 73 (2007) 513–524.
- [3] J.W. Gale, R.M. Waters, Closed Endobronchial Anesthesia in Thoracic Surgery: Preliminary Report*, *Anesthesia & Analgesia.* 11 (1932).
- [4] A.E. Guedel, R.M. Waters, A New Intratracheal Catheter*, *Anesthesia & Analgesia.* 7 N2 - (1928).
- [5] E. Archibald, A consideration of the dangers of lobectomy, *J Thorac Surg.* 1935 (n.d.) 335–351.
- [6] R.J. Ginsberg, New technique for one-lung anesthesia using an endobronchial blocker, *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.* 82 (1981) 542–546.
- [7] H. Inoue, A. Shohtsu, J. Ogawa, S. Koide, S. Kawada, Endotracheal tube with movable blocker to prevent aspiration of intratracheal bleeding, *Ann. Thorac. Surg.* 37 (1984) 497–499.
- [8] J.L. Benumof, Fiberoptic bronchoscopy and double-lumen tube position, *Anesthesiology.* 65 (1986) 117–118.
- [9] G.A. Arndt, S.T. Delessio, P.W. Kranner, W. Orzepowski, B. Ceranski, B. Valtysson, One-lung ventilation when intubation is difficult - presentation of a new endobronchial blocker, *Acta Anaesthesiol Scand.* 43 (1999) 356–358. doi:10.1034/j.1399-6576.1999.430320.x.
- [10] E. Cohen, The Cohen Flexitip Endobronchial Blocker: An Alternative to a Double Lumen Tube, *Anesthesia & Analgesia.* 101 (2005) 1877–1879. doi:10.1213/01.ANE.0000184116.86888.D9.
- [11] S. Tanabe, A. Tanaka, T. Nishino, [Experience using an improved bronchial blocker (Phycon TCB bronchial blocker)], *Masui.* 53 (2004) 1317–1319.
- [12] H.E. Mungroop, P.T.Y. Wai, M.N. Morei, B.G. Loef, A.H. Epema, Lung isolation with a new Y-shaped endobronchial blocking device, the EZ-Blocker®, *Br. J. Anaesth.* 104 (2010) 119–120. doi:10.1093/bja/aep353.
- [13] E. Carlens, A new flexible double-lumen catheter for bronchspirometry, *J Thorac Surg.* 18 (1949) 742–746.
- [14] V.O. Bjork, E. Carlens, The prevention of spread during pulmonary resection by the use of a double-lumen catheter, *J Thorac Surg.* 20 (1950) 151–157.
- [15] F.L. Robertshaw, Low resistance double-lumen endobronchial tubes, *Br. J. Anaesth.* 34 (1962) 576–579.
- [16] J.B. Brodsky, H.G. Tobler, J.B. Mark, A double-lumen endobronchial tube for tracheostomies, *Anesthesiology.* 74 (1991) 387–388.
- [17] L. Gunnarsson, L. Tokics, H. Gustavsson, G. Hedenstierna, Influence of age on atelectasis formation and gas exchange impairment during general anaesthesia, *Br. J. Anaesth.* 66 (1991) 423–432.
- [18] K.P. Grichnik, J.A. Clark, Pathophysiology and management of one-lung

- ventilation, *Thorac Surg Clin.* 15 (2005) 85–103. doi:10.1016/j.thorsurg.2004.09.004.
- [19] J. Benumof, *Anesthesia for thoracic surgery*, Philadelphia : W.B. Saunders, 1995.
- [20] J.B. West, C.T. Dollery, A. Naimark, Distribution of blood flow in isolated lung; relation to vascular and alveolar pressures, *Journal of Applied Physiology.* 19 (1964) 713–724.
- [21] T.S. Hakim, R. Lisbona, G.W. Dean, Gravity-independent inequality in pulmonary blood flow in humans, *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 63 (1987) 1114–1121.
- [22] M. Mure, K.B. Domino, T. Robertson, M.P. Hlastala, R.W. Glenny, Pulmonary blood flow does not redistribute in dogs with reposition from supine to left lateral position, *Anesthesiology.* 89 (1998) 483–492.
- [23] D.J. Ross, P. Wu, Z. Mohsenifar, Assessment of postural differences in regional pulmonary perfusion in man by single-photon emission computerized tomography, *Clin. Sci.* 92 (1997) 81–85. doi:10.1042/cs0920081.
- [24] K. Rehder, Postural changes in respiratory function, *Acta Anaesthesiol Scand Suppl.* 113 (1998) 13–16.
- [25] M.F. Peter Slinger, *Principles and Practice of Anesthesia for Thoracic Surgery*, Springer Science & Business Media, New York, NY, 2011. doi:10.1007/978-1-4419-0184-2.
- [26] P.F. Dunn, Physiology of the lateral decubitus position and one-lung ventilation, *Int Anesthesiol Clin.* 38 (2000) 25–53.
- [27] J. Nagendran, K. Stewart, M. Hoskinson, S.L. Archer, An anesthesiologist's guide to hypoxic pulmonary vasoconstriction: implications for managing single-lung anesthesia and atelectasis, *Current Opinion in Anaesthesiology.* 19 (2006) 34–43. doi:10.1097/01.aco.0000192777.09527.9e.
- [28] P.G. Lawler, J.F. Nunn, A reassessment of the validity of the iso-shunt graph, *Br. J. Anaesth.* 56 (1984) 1325–1335.
- [29] J. Lohser, S. Ishikawa, Physiology of the Lateral Decubitus Position, *Open Chest and One-Lung Ventilation*, in: *Principles and Practice of Anesthesia for Thoracic Surgery*, Springer New York, New York, NY, 2011: pp. 71–82. doi:10.1007/978-1-4419-0184-2_5.
- [30] G. Hedenstierna, L. Tokics, A. Strandberg, H. Lundquist, B. Brismar, Correlation of gas exchange impairment to development of atelectasis during anaesthesia and muscle paralysis, *Acta Anaesthesiol Scand.* 30 (1986) 183–191.
- [31] F. Kerbaul, M. Bellezza, C. Guidon, L. Roussel, M. Imbert, J.-P. Carpentier, et al., Effects of sevoflurane on hypoxic pulmonary vasoconstriction in anaesthetized piglets, *Br. J. Anaesth.* 85 (2000) 440–445.
- [32] C. Ferrando, A. Mugarra, A. Gutierrez, J.A. Carbonell, M. García, M. Soro, et al., Setting individualized positive end-expiratory pressure level with a positive end-expiratory pressure decrement trial after a recruitment maneuver improves oxygenation and lung mechanics during one-lung ventilation, *Anesthesia & Analgesia.* 118 (2014) 657–665. doi:10.1213/ANE.000000000000105.
- [33] T. Schilling, A. Kozian, M. Senturk, C. Huth, A. Reinhold, G. Hedenstierna, et al., Effects of volatile and intravenous anesthesia on the alveolar and systemic inflammatory response in thoracic surgical patients, *Anesthesiology.* 115 (2011) 65–74. doi:10.1097/ALN.0b013e318214b9de.
- [34] B.E. Marshall, C. Marshall, Continuity of response to hypoxic pulmonary vasoconstriction, *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 49 (1980) 189–196.
- [35] S. Watanabe, E. Noguchi, S. Yamada, N. Hamada, T. Kano, Sequential changes of arterial oxygen tension in the supine position during one-lung ventilation, *Anesthesia &*

Analgesia. 90 (2000) 28–34.

- [36] K.L. Dorrington, C. Clar, J.D. Young, M. Jonas, J.G. Tansley, P.A. Robbins, Time course of the human pulmonary vascular response to 8 hours of isocapnic hypoxia, *Am J Physiol.* 273 (1997) H1126–34.
- [37] N.P. Talbot, G.M. Balanos, K.L. Dorrington, P.A. Robbins, Two temporal components within the human pulmonary vascular response to approximately 2 h of isocapnic hypoxia, *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 98 (2005) 1125–1139. doi:10.1152/jappphysiol.00903.2004.
- [38] A.B. Lumb, P. Slinger, Hypoxic pulmonary vasoconstriction: physiology and anesthetic implications, *Anesthesiology.* 122 (2015) 932–946. doi:10.1097/ALN.0000000000000569.
- [39] A. Kozian, T. Schilling, F. Freden, E. Maripuu, C. Rocken, C. Strang, et al., One-lung ventilation induces hyperperfusion and alveolar damage in the ventilated lung: an experimental study, *Br. J. Anaesth.* 100 (2008) 549–559. doi:10.1093/bja/aen021.
- [40] V.M. Ranieri, P.M. Suter, C. Tortorella, R. De Tullio, J.M. Dayer, A. Brienza, et al., Effect of Mechanical Ventilation on Inflammatory Mediators in Patients With Acute Respiratory Distress Syndrome, *Jama.* 282 (1999) 54–61. doi:10.1001/jama.282.1.54.
- [41] T.A.R.D.S. Network, Ventilation with Lower Tidal Volumes as Compared with Traditional Tidal Volumes for Acute Lung Injury and the Acute Respiratory Distress Syndrome, *N. Engl. J. Med.* 342 (2000) 1301–1308. doi:10.1056/NEJM200005043421801.
- [42] A. Kozian, T. Schilling, H. Schütze, M. Senturk, T. Hachenberg, G. Hedenstierna, Ventilatory protective strategies during thoracic surgery: effects of alveolar recruitment maneuver and low-tidal volume ventilation on lung density distribution, *Anesthesiology.* 114 (2011) 1025–1035. doi:10.1097/ALN.0b013e3182164356.
- [43] G. Choi, E.K. Wolthuis, P. Bresser, M. Levi, T. van der Poll, M. Dzoljic, et al., Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents alveolar coagulation in patients without lung injury, *Anesthesiology.* 105 (2006) 689–695.
- [44] W. Karzai, K. Schwarzkopf, Hypoxemia during one-lung ventilation: prediction, prevention, and treatment, *Anesthesiology.* 110 (2009) 1402–1411. doi:10.1097/ALN.0b013e31819fb15d.
- [45] G. Della Rocca, C. Coccia, Ventilatory management of one-lung ventilation, *Minerva Anesthesiol.* 77 (2011) 534–536.
- [46] M. Fujiwara, K. Abe, T. Mashimo, The effect of positive end-expiratory pressure and continuous positive airway pressure on the oxygenation and shunt fraction during one-lung ventilation with propofol anesthesia, *J Clin Anesth.* 13 (2001) 473–477.
- [47] N.M. Sentürk, A. Dilek, E. Camci, E. Sentürk, M. Orhan, M. Tuğrul, et al., Effects of positive end-expiratory pressure on ventilatory and oxygenation parameters during pressure-controlled one-lung ventilation, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 19 (2005) 71–75. doi:10.1053/j.jvca.2004.11.013.
- [48] F. Valenza, G. Ronzoni, L. Perrone, M. Valsecchi, S. Sibilla, M. Nosotti, et al., Positive end-expiratory pressure applied to the dependent lung during one-lung ventilation improves oxygenation and respiratory mechanics in patients with high FEV1, *Eur J Anaesthesiol.* 21 (2004) 938–943.
- [49] Y. Ren, Z.L. Peng, Q.S. Xue, B.W. Yu, The effect of timing of application of positive end-expiratory pressure on oxygenation during one-lung ventilation, *Anaesth Intensive Care.* 36 (2008) 544–548.

- [50] S. Inomata, T. Nishikawa, S. Saito, S. Kihara, “Best” PEEP during one-lung ventilation, *Br. J. Anaesth.* 78 (1997) 754–756.
- [51] P.D. Slinger, Acute lung injury after pulmonary resection: more pieces of the puzzle, *Anesthesia & Analgesia.* 97 (2003) 1555–1557.
- [52] M. Licker, P. Fauconnet, Y. Villiger, J.-M. Tschopp, Acute lung injury and outcomes after thoracic surgery, *Current Opinion in Anaesthesiology.* 22 (2009) 61–67. doi:10.1097/ACO.0b013e32831b466c.
- [53] G. Cinnella, S. Grasso, C. Natale, F. Sollitto, M. Cacciapaglia, M. Angiolillo, et al., Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation, *Acta Anaesthesiol Scand.* 52 (2008) 766–775. doi:10.1111/j.1399-6576.2008.01652.x.
- [54] G. Tusman, S.H. Böhm, F. Melkun, D. Staltari, C. Quinzio, C. Nador, et al., Alveolar recruitment strategy increases arterial oxygenation during one-lung ventilation, *Ann. Thorac. Surg.* 73 (2002) 1204–1209.
- [55] C. Unzueta, G. Tusman, F. Suarez-Sipmann, S. Böhm, V. Moral, Alveolar recruitment improves ventilation during thoracic surgery: a randomized controlled trial, *Br. J. Anaesth.* 108 (2012) 517–524. doi:10.1093/bja/aer415.
- [56] H.U. Rothen, P. Neumann, J.E. Berglund, J. Valtysson, A. Magnusson, G. Hedenstierna, Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia, *Br. J. Anaesth.* 82 (1999) 551–556.
- [57] J.B. Brodsky, H.J.M. Lemmens, Tracheal width and left double-lumen tube size: a formula to estimate left-bronchial width, *J Clin Anesth.* 17 (2005) 267–270. doi:10.1016/j.jclinane.2004.07.008.
- [58] V. Thomas, S.M. Neustein, Tracheal laceration after the use of an airway exchange catheter for double-lumen tube placement, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 21 (2007) 718–719. doi:10.1053/j.jvca.2006.08.002.
- [59] J.-H. Seo, T.-K. Kwon, Y. Jeon, D.M. Hong, H.J. Kim, J.-H. Bahk, Comparison of techniques for double-lumen endobronchial intubation: 90° or 180° rotation during advancement through the glottis, *Br. J. Anaesth.* 111 (2013) 812–817. doi:10.1093/bja/aet203.
- [60] J.B. Brodsky, Lung separation and the difficult airway, *Br. J. Anaesth.* 103 Suppl 1 (2009) i66–75. doi:10.1093/bja/aep262.
- [61] E.M. Koopman, M. Barak, E. Weber, M.J.A. Valk, R.T.I. de Schepper, R.A. Bouwman, et al., Evaluation of a new double-lumen endobronchial tube with an integrated camera (VivaSight-DLTM): a prospective multicentre observational study, *Anaesthesia.* 70 (2015) 962–968. doi:10.1111/anae.13068.
- [62] J. Massot, V. Dumand-Nizard, M. Fischler, M. Le Guen, Evaluation of the Double-lumen Tube Vivasight-DL (DLT-ETView): A Prospective Single-center Study, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 0 (2015) 1544–1549. doi:10.1053/j.jvca.2015.04.031.
- [63] R. Schuepbach, B. Grande, G. Camen, A.R. Schmidt, H. Fischer, D.I. Sessler, et al., Intubation with VivaSight or conventional left-sided double-lumen tubes: a randomized trial, *Can J Anaesth.* 62 (2015) 762–769. doi:10.1007/s12630-015-0329-8.
- [64] D. Levy-Faber, Y. Malyanker, R.-R. Nir, L.A. Best, M. Barak, Comparison of VivaSight double-lumen tube with a conventional double-lumen tube in adult patients undergoing video-assisted thoracoscopic surgery, *Anaesthesia.* 70 (2015) 1259–1263. doi:10.1111/anae.13177.
- [65] J.S. Heir, R. Purugganan, T.A. Jackson, P.H. Norman, J.P. Cata, A. Kosturakis, et al., A retrospective evaluation of the use of video-capable double-lumen endotracheal

- tubes in thoracic surgery, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 28 (2014) 870–872. doi:10.1053/j.jvca.2013.11.011.
- [66] E. Cohen, Pro: The New Bronchial Blockers Are Preferable to Double-Lumen Tubes for Lung Isolation, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 22 (2008) 920–924. doi:10.1053/j.jvca.2008.09.002.
- [67] P. Slinger, Con: The New Bronchial Blockers Are Not Preferable to Double-Lumen Tubes for Lung Isolation, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 22 (2008) 925–929. doi:10.1053/j.jvca.2008.09.001.
- [68] W.J. Russell, T.S. Strong, Dimensions of double-lumen tracheobronchial tubes, *Anaesth Intensive Care.* 31 (2003) 50–53.
- [69] R.D. Miller, L.I. Eriksson, L.A. Fleisher, J.P. Wiener-Kronish, *Miller's anesthesia*, 2014.
- [70] B.G. Fitzmaurice, J.B. Brodsky, Airway rupture from double-lumen tubes, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 13 (1999) 322–329.
- [71] J.H. Campos, D.K. Reasoner, J.R. Moyers, Comparison of a modified double-lumen endotracheal tube with a single-lumen tube with enclosed bronchial blocker, *Anesthesia & Analgesia.* 83 (1996) 1268–1272.
- [72] J.H. Campos, F.C. Massa, Is there a better right-sided tube for one-lung ventilation? A comparison of the right-sided double-lumen tube with the single-lumen tube with right-sided enclosed bronchial blocker, *Anesthesia & Analgesia.* 86 (1998) 696–700.
- [73] J.H. Campos, K.H. Kernstine, A Comparison of a Left-Sided Broncho-Cath® with the Torque Control Blocker Univent and the Wire-Guided Blocker, *Anesthesia & Analgesia.* 96 (2003) 283–289. doi:10.1213/00000539-200301000-00056.
- [74] J.H. Campos, NA, E.A. Hallam, T. Van Natta, Devices for lung isolation used by anesthesiologists with limited thoracic experience: Comparison of double-lumen endotracheal tube, Univent® torque control blocker ..., *Anesthesiology.* 51 (2006) 50. doi:10.1097/SA.0b013e31802f8d30.
- [75] H.P. Grocott, T.R. Darrow, D.L. Whiteheart, D.D. Glower, M.S. Smith, Lung isolation during port-access cardiac surgery: double-lumen endotracheal tube versus single-lumen endotracheal tube with a bronchial blocker, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 17 (2003) 725–727.
- [76] E. J, B. AM, R. J, S. S, K. H, B. W, et al., The use of a bronchial blocker compared with a double-lumen tube for single-lung ventilation during minimally invasive direct coronary artery bypass surgery, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 16 (2002) 452–455. doi:10.1053/jcan.2002.125144.
- [77] A. Lehmann, C. Zeitler, J. Lang, F. Isgro, A.-H. Kiessling, J. Boldt, A comparison of the Arndt endobronchial blocker with a double lumen tube in robotic cardiac surgery, *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 39 (2004) 353–359. doi:10.1055/s-2004-814514.
- [78] T. Zhong, W. Wang, J. Chen, L. Ran, D.A. Story, Sore throat or hoarse voice with bronchial blockers or double-lumen tubes for lung isolation: a randomised, prospective trial, *Anaesth Intensive Care.* 37 (2009) 441–446.
- [79] A. Clayton-Smith, K. Bennett, R.P. Alston, G. Adams, G. Brown, T. Hawthorne, et al., A Comparison of the Efficacy and Adverse Effects of Double-Lumen Endobronchial Tubes and Bronchial Blockers in Thoracic Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 29 (2015) 955–966. doi:10.1053/j.jvca.2014.11.017.

- [80] K. Ruetzler, G. Grubhofer, W. Schmid, D. Papp, S. Nabecker, D. Hutschala, et al., Randomized clinical trial comparing double-lumen tube and EZ-Blocker for single-lung ventilation, *Br. J. Anaesth.* 106 (2011) 896–902. doi:10.1093/bja/aer086.
- [81] C. Bauer, C. Winter, J.G. Hentz, X. Ducrocq, A. Steib, J.P. Dupeyron, Bronchial blocker compared to double-lumen tube for one-lung ventilation during thoracoscopy, *Acta Anaesthesiol Scand.* 45 (2001) 250–254. doi:10.1111/j.1399-6576.2001.450218.x.
- [82] E. Vilà, C. Ibáñez, A. Gomes, M. Rodríguez, E. Fernandez, R. Garcia, et al., A comparison of double-lumen endotracheal tube and Arndt bronchial blocker in right and left thoracic surgery, *Eur J Anaesthesiol.* 23 (2006) 73–74. doi:10.1097/00003643-200606001-00262.
- [83] E. Vilà, R. García Guasch, C. Ibáñez, M. Rodríguez, L. Martínez, P. López de Castro, [Comparison of the double-lumen endotracheal tube and the Arndt bronchial blocker used by inexperienced anesthesiologists in right- and left-sided thoracic surgery], *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 54 (2007) 602–607.
- [84] V. Dumans-Nizard, N. Liu, P.-A. Laloë, M. Fischler, A Comparison of the Deflecting-Tip Bronchial Blocker With a Wire-Guided Blocker or Left-Sided Double-Lumen Tube, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 23 (2009) 501–505. doi:10.1053/j.jvca.2009.02.002.
- [85] M. Narayanaswamy, K. McRae, P. Slinger, G. Dugas, G.W. Kanellakos, A. Roscoe, et al., Choosing a Lung Isolation Device for Thoracic Surgery: A Randomized Trial of Three Bronchial Blockers Versus Double-Lumen Tubes, *Anesthesia & Analgesia.* 108 (2009) 1097–1101. doi:10.1213/ane.0b013e3181999339.
- [86] J. Mourisse, J. Liesveld, A. Verhagen, G. van Rooij, S. van der Heide, O. Schuurbiens-Siebers, et al., Efficiency, efficacy, and safety of EZ-blocker compared with left-sided double-lumen tube for one-lung ventilation, *Anesthesiology.* 118 (2013) 550–561. doi:10.1097/ALN.0b013e3182834f2d.
- [87] J.H. Campos, Lung isolation techniques, *Anesthesiol Clin North America.* 19 (2001) 455–474.
- [88] A. Kus, T. Hosten, Y. Gurkan, A.G. Akgul, M. Solak, K. Toker, A Comparison of the EZ-Blocker with a Cohen Flex-Tip Blocker for One-Lung Ventilation, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 28 (2013) 1–4. doi:10.1053/j.jvca.2013.02.006.
- [89] H. Zheng, Y. Duan, W.-M. Geng, W. Liu, G.-K. Gao, C. Wang, [A comparison of double-lumen endotracheal tube with univent blocker and bronchial blocker during thoracic surgical anesthesia], *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 92 (2012) 2481–2484.
- [90] H. Knoll, S. Ziegeler, J.-U. Schreiber, H. Buchinger, P. Bialas, K. Semyonov, et al., Airway Injuries after One-lung Ventilation: A Comparison between Double-lumen Tube and Endobronchial Blocker: A Randomized, Prospective, Controlled Trial, *Anesthesiology.* 105 (2006) 471–216. doi:10.1111/j.1365-2044.1992.tb02121.x.
- [91] P.D. Slinger, L. Lesiuk, Flow resistances of disposable double-lumen, single-lumen, and Univent tubes, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 12 (1998) 142–144.
- [92] M.S. Hannallah, S.C. Miller, S.I. Kurzer, M.C. Tefft, The effective diameter and airflow resistance of the individual lumens of left polyvinyl chloride double-lumen endobronchial tubes, *Anesthesia & Analgesia.* 82 (1996) 867–869.
- [93] M.F. Tvede, M.S. Kristensen, M. Nyhus-Andreasen, A cost analysis of reusable and disposable flexible optical scopes for intubation, *Acta Anaesthesiol Scand.* 56 (2012) 577–584. doi:10.1111/j.1399-6576.2012.02653.x.
- [94] M. Aïssou, M. Coroir, C. Debes, T. Camus, N. Hadri, C. Gutton, et al., [Cost analysis comparing single-use (Ambu® aScope™) and conventional reusable fiberoptic

- flexible scopes for difficult tracheal intubation], *Ann Fr Anesth Reanim.* 32 (2013) 291–295. doi:10.1016/j.annfar.2013.01.014.
- [95] F. Faul, E. Erdfelder, A.-G. Lang, A. Buchner, G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences, *Behav Res Methods.* 39 (2007) 175–191.
- [96] J.H. Campos, An update on bronchial blockers during lung separation techniques in adults, *Anesthesia & Analgesia.* 97 (2003) 1266–1274.
- [97] S. Saito, S. Dohi, H. Naito, Alteration of double-lumen endobronchial tube position by flexion and extension of the neck, *Anesthesiology.* 62 (1985) 696–697.
- [98] J.H. Campos, E.A. Hallam, K. Ueda, Lung isolation in the morbidly obese patient: a comparison of a left-sided double-lumen tracheal tube with the Arndt® wire-guided blocker, *Br. J. Anaesth.* 109 (2012) 630–635. doi:10.1093/bja/aes206.
- [99] J.H. Campos, Which device should be considered the best for lung isolation: double-lumen endotracheal tube versus bronchial blockers, *Current Opinion in Anaesthesiology.* 20 (2007) 27–31. doi:10.1097/ACO.0b013e3280111e2a.
- [100] S.M. Neustein, Pro: bronchial blockers should be used routinely for providing one-lung ventilation, *J. Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 29 (2015) 234–236. doi:10.1053/j.jvca.2014.07.028.
- [101] FDA, Safety Communications - Infections Associated with Reprocessed Flexible Bronchoscopes: FDA Safety Communication, (n.d.). doi:10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2012.35.009.

Danksagungen

Ich danke meinem Doktorvater PD Dr. Dr. med. Thomas Schilling, D.E.A.A. für Geduld, Lob und vernichtende Kritik.

Für die Idee zu der zugrundeliegenden Studie und deren intensive Begleitung danke ich PD Dr. Dr. med. Alf Kozian und Prof. Dr. med. Dr. Thomas Hachenberg.

Meinen Eltern danke ich herzlich für ihre fortwährende Unterstützung und ihr Interesse an meiner Arbeit.

Meiner Freundin danke ich von ganzem Herzen für ihre unermüdliche Unterstützung, ihre Liebe und Motivation.

Ehrenerklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

„Vergleich eines neuen Bronchusblockers mit etablierten Verfahren zur Atemwegsseparation hinsichtlich Handhabung und klinischer Parameter“

in der Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie
der Otto-von-Guericke-Universität / Medizinische Fakultät
Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R.

mit Unterstützung durch PD Dr. Dr. med. Thomas Schilling, D.E.A.A.

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Magdeburg, den 01.12.2016

Tom Kreft

Curriculum Vitae

- 1992-1997** Anne-Frank-Gymnasium Berlin - Allgemeine Hochschulreife
- 1997-1998** Landesrettungsdienstschule Berlin - Rettungssanitäterausbildung
- 1998-2006** Humboldt-Universität zu Berlin - Studium der Humanmedizin
- 07.07.2006** Approbation als Arzt
- 2006-2008** Carl-Thiem-Klinikum Cottbus
Klinik für Anästhesiologie, Intensivtherapie und Palliativmedizin
Chefarzt Dr. med. Günter Haring
Zentral-OP
- 2009-2013** Vivantes Klinikum im Friedrichshain
Klinik für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie
Chefarzt PD Dr. med. Siegfried Veit
Zentral-OP, 05/2010-10/2013 operative Intensivstation
- 24.09.2012** Anerkennung als Facharzt für Anästhesiologie
- 30.04.2013** Zusatzbezeichnung Notfallmedizin
- seit 2013** Klinik für Anästhesiologie und Intensivtherapie
der Otto-von-Guericke-Universität / Medizinische Fakultät
Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R.
Chefarzt Prof. Dr. med. Thomas Hachenberg
Kardioanästhesie
- 28.09.2013** EDAIC Part 1
- 22.03.2014** EDAIC Part 2
- 06.11.2014** Good Clinical Practice
- 17.08.2015** Zusatzbezeichnung Anästhesiologische Intensivmedizin