

Aus der Klinik für Thoraxchirurgie
der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Direktor: Prof. Dr. med. Jens Wippermann

**Verwendung von Doppellumentubus oder Bronchusblocker in der
Thoraxchirurgie: Klinischer Vergleich in Hinblick auf die postoperative
Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit sowie Komplikationen**

D i s s e r t a t i o n

**zur Erlangung des Doktorgrades Dr. med.
(doctor medicinae)**

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

vorgelegt von:

Johannes Carl Christian Schneider

aus:

Hannover

Magdeburg, Januar 2024

In dieser Dissertationsschrift wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. An dieser Stelle wird darauf hingewiesen, dass weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten ausdrücklich mitgemeint sind.

I. INHALTSVERZEICHNIS

I. Inhaltsverzeichnis	III
II. Abkürzungsverzeichnis	V
III. Tabellenverzeichnis	VI
IV. Abbildungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Pathophysiologie der Einlungenventilation	2
1.2 Mechanische Beatmung bei Einlungenventilation	4
1.3 Doppellumentubus	6
1.4 Bronchusblocker	9
1.5 Klinischer Einsatz von Doppellumentubus und Bronchusblocker	11
1.6 Komplikationen der Einlungenventilation	13
1.7 Komplikationen nach thoraxchirurgischen Eingriffen	14
1.8 Intensivaufenthalt nach ELV	16
1.9 Wissenschaftliche Fragestellung und Zielsetzung	17
1.10 Hypothesen der Dissertation	17
2 Material und Methoden	18
2.1 Studiendesign	18
2.2 Ethische Aspekte	18
2.3 Patientenkohorte	18
2.4 Datenerhebung	18
2.5 Einschlusskriterien	21
2.6 Ausschlusskriterien	21
2.7 Das Deutsche Thoraxregister	21
2.8 Statistische Analyse	23
3 Ergebnisse	24
3.1 Patientendaten	24
3.2 Chirurgische Daten	26

3.3	Anästhesiologische Daten	28
3.4	OP-Daten.....	30
3.5	Postoperative Daten	32
3.6	Komplikationen	35
4	Diskussion	39
4.1	Übersicht	39
4.2	Postoperative Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit	40
4.3	Postoperative Komplikationen	48
4.4	Limitationen und Methodendiskussion	54
4.5	Schlussfolgerung und Ausblick.....	57
5	Zusammenfassung.....	58
6	Literaturverzeichnis	59
7	Anhang	69
7.1	Danksagung	69
7.2	Ehrenerklärung	70
7.3	Lebenslauf	71

II. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ASA	American Society of Anaesthesiologists
BB	Bronchusblocker
BMI	body mass index
CHR	Charriere
CPAP	continuous positive airway pressure
CRP	C-reaktives Protein
DLT	Doppellumentubus
ELV	Einlungenventilation
FiO₂	fraktionierte, inspiratorische Sauerstofffraktion
FOB	fiberoptisches Bronchoskop
FR	French
ITS	Intensivstation
IQR	Interquartilabstand (inter quartile range)
KIS	Krankenhausinformationssystem
LPV	lung protective ventilation
MLT	Monolumentubus
OP	Operation
PEEP	Positive End Expiratory Pressure
PKK	postoperative kardiale Komplikationen
PPK	postoperative pulmonale Komplikationen
SD	Standardabweichung (standard deviation)
VALI	ventilator associated lung injury
VATS	video-assisted thoracoscopic surgery
VT	Tidalvolumen

III. TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Allgemeine Patientendaten.....	24
Tab. 2: Präoperative Infektsituation und Lungenfunktion.....	25
Tab. 3: OP-Indikationen.....	26
Tab. 4: Anästhesiologische Daten.....	29
Tab. 5: Weitere thoraxchirurgische Eingriffe.....	31
Tab. 6: Weitere OP-Daten.....	31
Tab. 7: Lungen-funktionelle Parameter der beatmeten Patienten auf der Intensivstation....	33
Tab. 8: Auftreten von postoperativen Komplikationen.....	35
Tab. 9: Maßnahmen bezüglich der Komplikationen.....	38

IV. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Schematische Darstellung der Lunge während Einlungenventilation.....	2
Abb. 2: Druck (P) - Zeit (t) - Kurven während volumenkontrollierter (VCV) und druckkontrollierter (PCV) mechanischer Beatmung.....	5
Abb. 3: Magill Endotrachealtubus (Dahlhausen Medizintechnik, Köln, Deutschland).....	6
Abb. 4: Rüsck linksbronchialer Doppellumentubus.....	7
Abb. 5: Korrekte Platzierung eines a) rechtsgängigen und b) linksgängigen Doppellumentubus nach endotrachealer Intubation.....	8
Abb. 6: Überblick über verschiedene Bronchusblocker.....	9
Abb. 7: Übersicht über die analysierte Patientenkohorte.....	20
Abb. 8: Eingabemaske des Deutschen Thoraxregisters, Abschnitt OP-Phase.....	22
Abb. 9: OP-Lokalisationen nach Atemwegszugang.....	27
Abb. 10: ASA-Score in beiden Studiengruppen.....	29
Abb. 11: Häufigkeit thoraxchirurgischer Operationen in unserem Studienkollektiv.....	30
Abb. 12: Postoperatives Verlegungsziel nach Atemwegszugang.....	32
Abb. 13: Postoperative Intensivtage nach verwendetem Atemwegszugang.....	34
Abb. 14: Beatmungsstunden auf ITS nach intraoperativ Atemwegszugang.....	34
Abb. 15: Postoperative Komplikationen nach Atemwegszugang.....	35
Abb. 16: Postoperative, nicht-chirurgische Komplikationen im Vergleich von Doppellumentubus und Bronchusblocker.....	36
Abb. 17: Herz-Kreislaufstillstände nach ASA-Score und Atemwegszugang.....	37
Abb. 18: ASA-Score nach American Society of Anaesthesiologists.....	41

1 EINLEITUNG

Die Ventilation der Lunge im Rahmen einer Allgemeinanästhesie stellt viele operative Fachbereiche, die an der Lunge selbst und umgebenden anatomischen Strukturen operieren müssen, vor eine Herausforderung. Die Mobilität und Größenausdehnung der Lunge erschwert einerseits ein sicheres chirurgisches Vorgehen und beschränkt andererseits die Exposition des Operationsgebietes. Seit der Einführung der Technik der Einlungenventilation in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts [2, 3] profitieren verschiedenste Disziplinen von dem erweiterten Spektrum der operativen Möglichkeiten an der Lunge.

Die Einlungenventilation (ELV) ist mittlerweile ein thoraxanästhesiologisches Standardverfahren, welches die Möglichkeit der mechanischen und funktionellen Separation der beiden Lungenflügel bietet. Eine der beiden Lungenhälften wird dabei von der Ventilation abgetrennt und kollabiert, die andere Hälfte wird ventiliert und dient allein der Oxygenierung des Patienten. Der Kollaps und die dadurch bedingte Größenabnahme des von der Luftzufuhr abgetrennten Lungenflügels bieten für verschiedenste operative Disziplinen Vorteile, da sich in der Folge intrathorakal die Übersicht über das Operationsgebiet vergrößert und Patient und Chirurg so von einer verbesserten Operabilität profitieren (Abb. 1). Insbesondere in der Thoraxchirurgie wird die Einlungenventilation bei tumorresezierenden Eingriffen an der Lunge wie Keilresektionen und Lobektomien, bei Dekortikationen oder Pleurektomien sowie bei Lungentransplantationen eingesetzt. Weitere operative Fachgebiete wie etwa die Wirbelsäulen-, Gefäß- und Abdominalchirurgie nutzen die Einlungenventilation für verschiedene chirurgische Eingriffe an thorakaler Wirbelsäule, Speiseröhre und Aorta.

Um die Separation der beiden Lungenflügel durchführen zu können, bedarf es einer endotrachealen Intubation mit einem Doppellumentubus (DLT) oder einem Monolumentubus (MLT) in Kombination mit einem Bronchusblocker (BB).

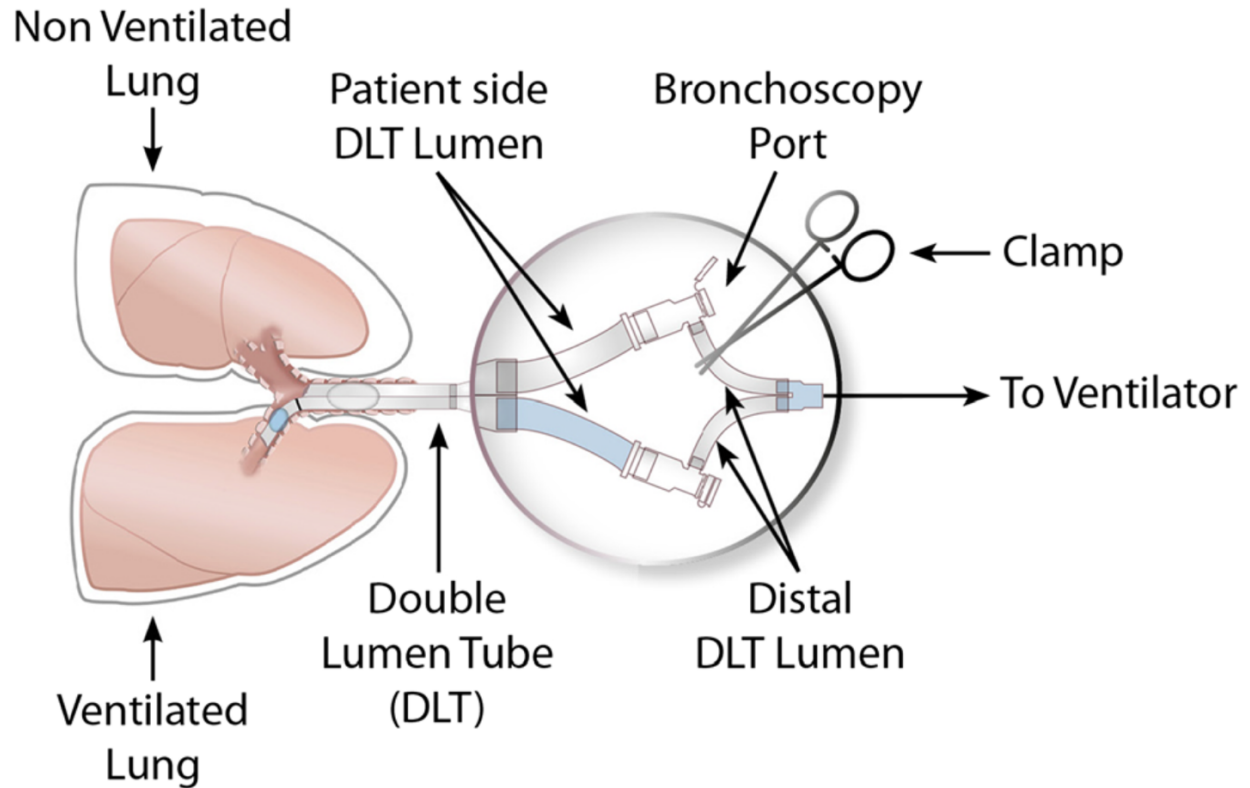


Abb. 1: Schematische Darstellung der Lunge während Einlungenventilation. Die Intubation erfolgte mit einem linksgängigen Doppellumentubus. Der Patient befindet sich in Linksseitenlage, die zu operierende, nicht-ventilierte Lunge (non ventilated lung) befindet sich oben. Die resultierende Größendifferenz der beiden Lungenhälften nach Befestigung der Klammer (Clamp) am weißen, trachealen Schenkel des Doppellumentubus ist eindrücklich dargestellt (aus [4]). (Mit freundlicher Genehmigung von SpringerNature.)

1.1 Pathophysiologie der Einlungenventilation

Die Anwendung einer Einlungenventilation stellt einen künstlichen Eingriff in die Lungenphysiologie dar und beeinträchtigt die Lungenfunktion erheblich.

Durch die Trennung eines Lungenflügels von der Luftzufuhr kommt es zu einer hochgradigen Minderung des Gesamtvolumens der Lunge. Dies führt zu einer vollständigen Verlagerung der Ventilation in die belüftete Lunge und folgend einer Störung der Oxygenierung des Blutes.

Pathophysiologisch spielt die Entstehung eines funktionellen (intrapulmonalen) Rechts-Links-*Shunts* in der nicht-ventilierten Lunge eine wichtige Rolle. In der nicht-ventilierten Lungenhälfte kann das perfundierende Blut nicht mehr oxygeniert werden. Da es trotzdem in die arterielle Strombahn gelangt und sich dort mit oxygeniertem Blut der ventilierten Lunge mischt, kommt es zur Hypoxämie.

Der durch den Shunt bedingten Hypoxämie begegnet der Körper durch die sogenannte hypoxisch-pulmonale Vasokonstriktion (HPV, Euler-Liljestrand-Mechanismus), welcher die Perfusion der nicht-ventilierten Lunge mindert und gleichzeitig die Durchblutung der ventilierten Lunge fördert. Ausgelöst wird dieser Mechanismus insbesondere durch einen niedrigen alveolären p_aO_2 [5]. Zusätzlich entsteht durch den Kollaps der nicht-ventilierten Lunge ein mechanisches Perfusionshindernis, welches die Durchblutung der nicht-ventilierten Lunge weiter reduziert.

1.2 Mechanische Beatmung bei Einlungenventilation

Im Rahmen der Einlungenventilation ist eine maschinelle, kontrollierte Überdruckbeatmung notwendig, welche einen wesentlichen Faktor für das Auftreten von Lungenschädigungen darstellt (*ventilator associated lung injury*, VALI) [6]. Der Entstehung von Volu- und Barotraumata im Rahmen der Ventilation wird dabei mit lungenprotektiven Beatmungsverfahren (*lung protective ventilation*, LPV) begegnet, welche das respiratorische Resultat signifikant bessern [7]. Der Open-Lung-Approach (OLA) stellt eine Erweiterung des Verfahrens dar [8].

1.2.1 Lungenprotektive Ventilation (LPV)

Die Empfehlungen für eine lungenprotektive Ventilation basieren auf adäquat eingestellten Werten insbesondere von Tidalvolumen (V_T) und *Positive Endexpiratory Pressure* (PEEP).

Tidalvolumen (V_T)

Die Anwendung niedriger Tidalvolumina gegenüber hohen Werten ist dabei vorteilhaft und senkt die Mortalität von Patienten mit *acute respiratory distress syndrome* (ARDS) und *acute lung injury* (ALI) [9]. In der Regel werden Tidalvolumina zwischen 5-6 ml/kg KG zur LPV angewandt [10, 11]. Zur Vermeidung von postoperativen, pulmonalen Komplikationen ist jedoch zusätzlich ein geeignet eingestellter PEEP notwendig [12].

Positiver Endexpiratorischer Druck (PEEP)

Die Applikation eines PEEP auf die ventilerte Lunge beugt dem Kollaps der Alveolen vor. Der PEEP sollte dabei für jeden Patienten individuell eingestellt werden. Grundsätzlich wird eine Einstellung auf Werte zwischen > 5 und $12 \text{ cmH}_2\text{O}$ empfohlen [11, 13].

1.2.2 Open-Lung-Ansatz

Der *Open-Lung-Ansatz* ist eine Beatmungsstrategie zur Verbesserung der Oxygenierung, zu deren Bestandteilen ein initiales Rekrutment-Manöver und die anschließende Applikation eines alveolären PEEP gehören [14]. In Kombination mit einem niedrigen Tidalvolumen können hohe Werte der *driving pressure* gesenkt werden [15] (Abb. 2). Die *driving pressure* (ΔP) stellt die Differenz aus dem Plateaudruck (p_{plat}) und PEEP dar und

sollte Werte von 15cmH₂O nicht übersteigen [16]. Hohe Werte der *driving pressure* werden mit dem gehäuftem Auftreten von postoperativen, pulmonalen Komplikationen in Verbindung gebracht [17]. Im Vergleich zur klassischen lungenprotektiven Ventilation (LPV) treten nach Anwendung von *driving pressure* geführten Einlungenventilationen in der Thoraxchirurgie nicht weniger PPK auf [18].

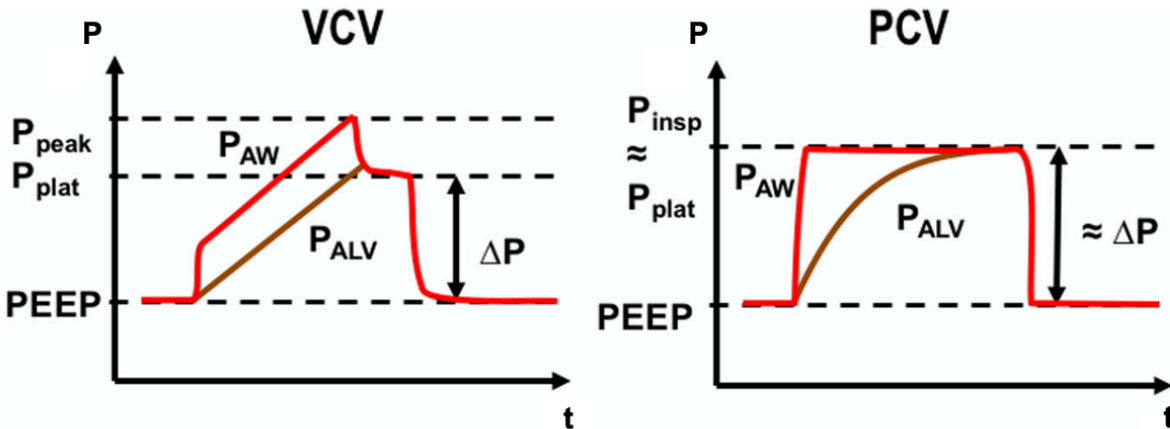


Abb. 2: Druck (P) - Zeit (t) - Kurven während volumenkontrollierter (VCV) und druckkontrollierter (PCV) mechanischer Beatmung. Die *driving pressure* errechnet sich aus der Differenz von Plateaudruck (P_{plat}) und PEEP. VCV = volume controlled ventilation, PCV = pressure controlled ventilation. P_{Peak} = Spitzendruck, P_{insp} = Inspirationsdruck (modifiziert nach [19]). (Mit freundlicher Genehmigung durch Creative Commons Lizenz: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.)

1.3 Doppellumentubus

Im Vergleich zum konventionellen Endotrachealtubus mit singulärem Lumen (Abb. 3) ist das Lumen eines Doppellumentubus in einen bronchialen und einen trachealen Schenkel unterteilt. Je nach Indikation finden eine linksgängige und eine rechtsgängige Ausführung Anwendung, die sich etwas in ihrem Aufbau unterscheiden. Beide Modelle verfügen über einen trachealen und einen bronchialen Balloncuff, die dem luftdichten Abschluss dienen (Abb. 4). Je nach Patient finden Größen zwischen 35 und 42 Charriere (Chr) Anwendung.

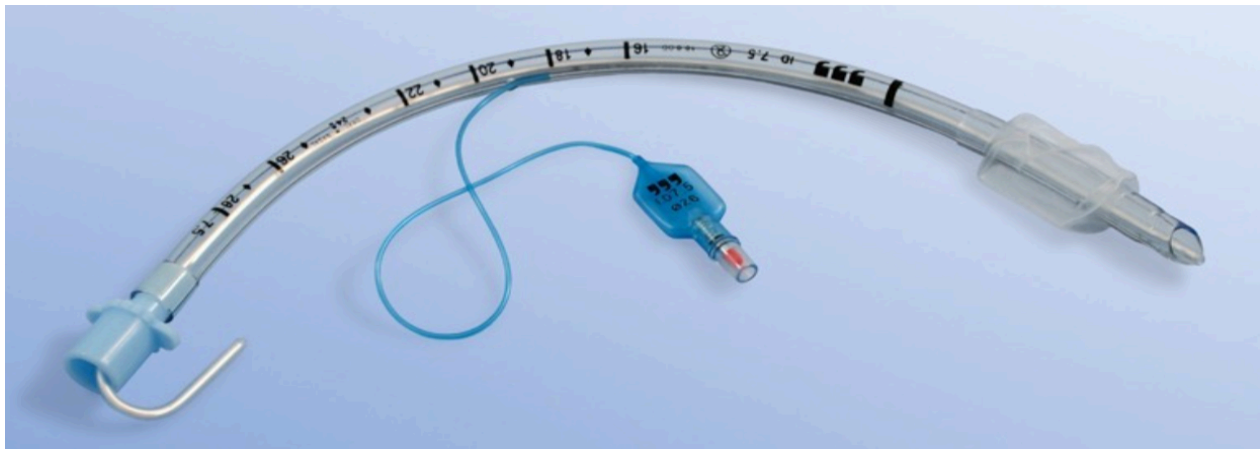


Abb. 3: Magill Endotrachealtubus (Dahlhausen Medizintechnik, Köln, Deutschland). (Mit freundlicher Genehmigung von der Firma Dahlhausen, Köln, Deutschland.)

Der bronchiale, blau markierte, Schenkel durchläuft das gesamte Lumen und bildet letztlich die Spitze des DLT, an der sich der Bronchialcuff und knapp dahinter die Ventilationsöffnung befinden. Beim linksgängigen Modell ist die Spitze leicht nach links abgeknickt, um in den linken Hauptbronchus geschoben werden zu können (Abb. 5). Da dieser anatomisch über eine längere Strecke keinen Lappenbronchus abgibt, ist der Bronchialcuff etwas größer ausgeprägt. Beim rechtsgängigen Modell ist die Spitze hingegen leicht nach rechts abgekippt. Aufgrund der Anatomie des rechtsseitigen Bronchialbaumes verfügt er über einen kleineren Bronchialcuff sowie zur Belüftung des früh abgehenden rechten Oberlappenbronchus über eine zweite, seitliche Ventilationsöffnung. Der Bronchialcuff beider Modelle befindet sich nach endotrachealer Intubation knapp 1 cm distal der Carina.

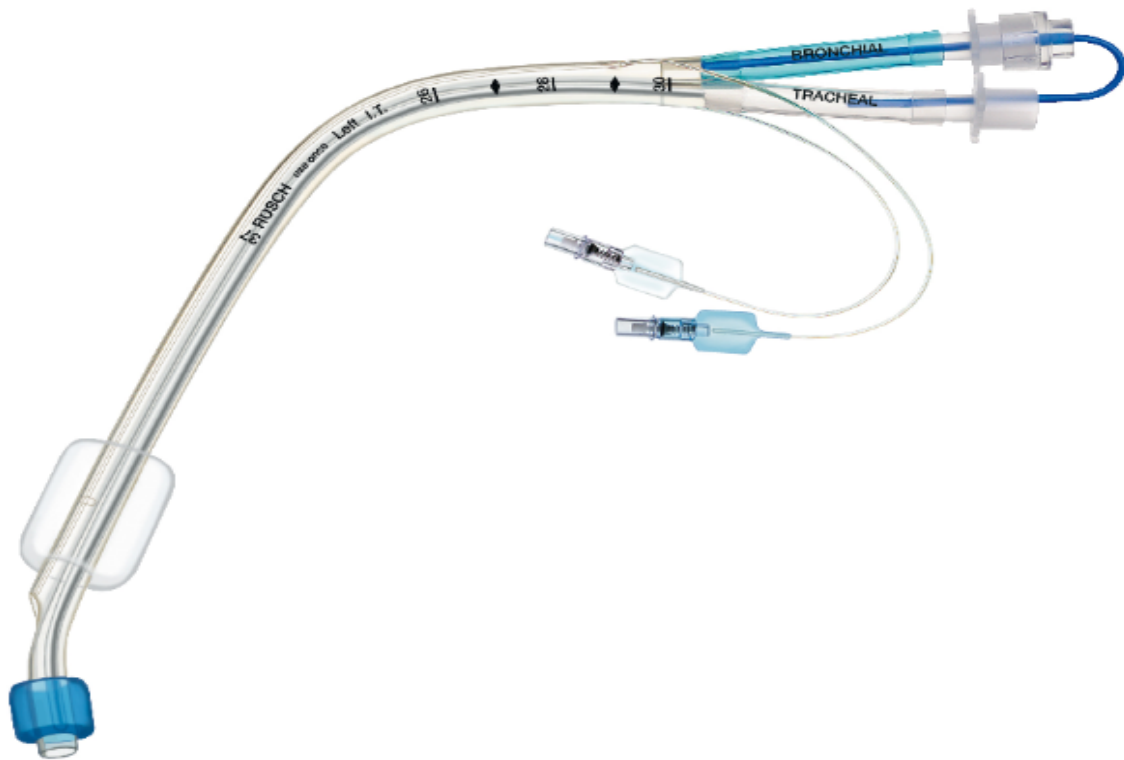


Abb. 4: Rüschi linksbronchialer Doppellumentubus. (Mit freundlicher Genehmigung durch Teleflex Incorporated © 2023. Alle Rechte vorbehalten.)

Der tracheale, durchsichtige, Schenkel endet hingegen direkt hinter dem Trachealcuff. Hier gibt er eine seitliche Ventilationsöffnung ab, welche der Belüftung des kontralateralen Lungenflügels dient. Je nach Ausführung neigt sich diese nach rechts oder links und befindet sich, nach korrekter endotrachealer Intubation, knapp proximal der Carina.

Die richtige Platzierung des DLT muss anschließend sowohl vor als auch nach der Umlagerung des Patienten zur Operation (OP) bronchoskopisch kontrolliert werden. Im Vergleich zur blinden Intubation mit nachfolgender anästhesiologischer Evaluation gilt der positive Nutzen der Bronchoskopie dabei als erwiesen [20]. Nachdem der tracheale Cuff geblockt wurde, wird das fiberoptische Bronchoskop (FOB) zunächst durch den trachealen und anschließend durch den bronchialen Schenkel geschoben und die Lage des DLT nach entsprechenden Kriterien überprüft. Bei korrekter Platzierung wird der bronchiale Cuff anschließend unter direktem Anblick zum luftdichten Abschluss geblockt. Der proximale Teil des DLT bleibt nach der endotrachealen Intubation sichtbar. Über einen speziellen Adapter werden beide Schenkel mit dem Beatmungsschlauch verbunden. Der Anästhesist startet die Beatmung in der Regel mit der Ventilation beider Lungenflügel. Bei Bedarf kann er, mithilfe einer Klemme, einen der beiden farblich und

wörtlich markierten Schenkel, von der Luftzufuhr abklemmen. Zur Reinflation der separierten Lunge muss diese Klemme im Anschluss lediglich wieder entfernt werden (Vgl. Abb. 1).

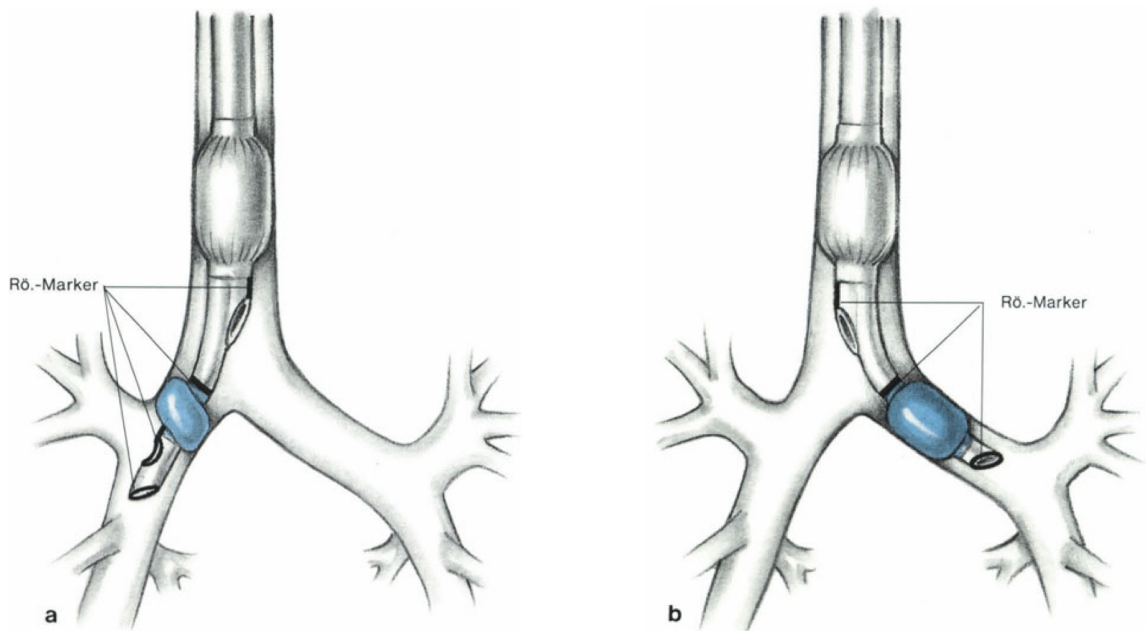


Abb. 5: Korrekte Platzierung eines a) rechtsgängigen und b) linksgängigen Doppellumentubus nach endotrachealer Intubation (modifiziert nach [21]). (Mit freundlicher Genehmigung von SpringerNature).

1.4 Bronchusblocker

Ein Bronchusblocker (BB) besteht aus einem dünnen, flexiblen Katheter, an dessen Spitze sich eine aufblasbare Ballonsonde (Blockercuff) befindet. Dieser wird, unter bronchoskopischer Kontrolle, durch oder entlang eines klassischen Endotrachealtubus (ETT) in den gewünschten Haupt-, Lappen- oder Segmentbronchus geschoben und anschließend über den zentralen Katheter geblockt. Seit der Erstpräsentation des Bronchusblockers durch Magill im Jahre 1936 wurden fortlaufend neue Konfigurationen entwickelt. In der klinischen Praxis finden heute der Arndt-Blocker® (Cook Critical Care, Bloomington, IN, USA), der Fuji Uniblocker™ (Teleflex, Wayne, PA, USA) sowie der EZ-Blocker (AnaestethIQ BV, Rotterdam, Niederlande) Verwendung.

Arndt-Blocker

Der erste erfolgreiche Einsatz des endobronchialen Blockers nach Arndt wurde 1999 durch Arndt *et al.* beschrieben [22]. Dieser zweilumige Bronchusblocker zeichnet sich durch eine kleine Schlaufe distal der Ballonsonde aus (Abb. 6).

Nachdem der Patient mit einem konventionellen Endotrachealtubus (ETT) intubiert wurde, muss das Bronchoskop zunächst durch diese Schlaufe gefädelt werden. Die zu blockende Stelle im Bronchialbaum wird nun bronchoskopisch aufgesucht und der Bronchusblocker

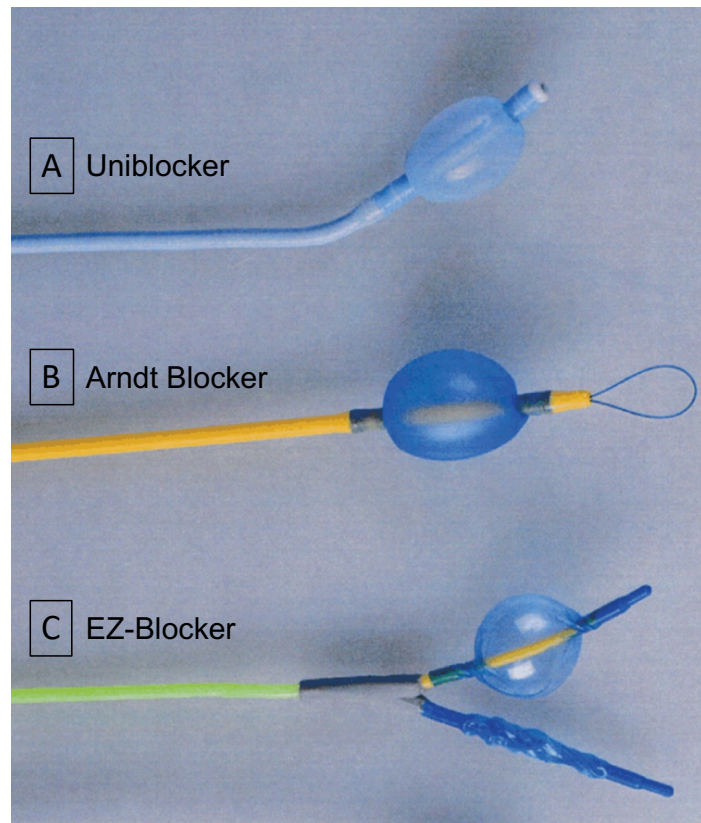


Abb. 6: Überblick über verschiedene Bronchusblocker. A: Uniblocker (Teleflex, Wayne, PA, USA) B: Arndt Endobronchial Blocker (Cook Critical Care, Bloomington, IN, USA), C: EZ-Blocker (AnaestethIQ, Rotterdam, Niederlande). (Modifiziert nach [1]) (Mit freundlicher Genehmigung durch Prof. Brodsky)

anschließend, über den als Führungsstruktur dienenden Betrachtungsschlauch des Bronchoskopes, an die richtige Stelle platziert und geblockt.

Fuji Uniblocker™

Der Fuji Uniblocker™ (Fuji Systems Corp., Tokyo, Japan) ist ein einlumiger Bronchusblocker, in dessen Wand ein Drahtnetz eingearbeitet ist. Dieses verleiht dem Uniblocker eine hohe Stabilität. Durch eine zusätzlich leicht vorgebogene Spitze wird die genaue Platzierung im gewünschten Hauptbronchus über eine Drehbewegung möglich. Erhältlich ist er in den Größen 1.7 mm (5 Fr) oder 3 mm (9 Fr).

EZ-Blocker

Der EZ-Blocker (AnaesthetIQ BV, Rotterdam, Niederlande) ist ein Y-förmiger Bronchusblocker. Durch diese Form, welche der Carina der Trachea nachempfunden ist, wird eine zu tiefe Platzierung während der Intubation verhindert. Da der EZ-Blocker an beiden distalen Enden über einen Balloncuff verfügt (Abb. 6), können, je nach Bedarf, die rechte oder linke Lungenhälfte belüftet werden. Somit ist er in der Funktion dem Doppellumentubus ähnlich [1].

1.5 Klinischer Einsatz von Doppellumentubus und Bronchusblocker

Grundsätzlich gelten Doppellumentubus und Bronchusblocker als gleichwertige Alternativen zur Herstellung einer Einlungenventilation. In der Thoraxchirurgie ist der Doppellumentubus weiterhin der Goldstandard der Einlungenventilation [23-26].

1.5.1 Indikationen

Die absoluten Indikationen zur Anwendung eines Doppellumentubus sind insbesondere Resektionen am rechten oder linken Hauptbronchus, das Aufsuchen von pulmonalen Fisteln durch einen ständigen Wechsel von Ventilation und Deflation der Lunge, sowie der Schutz eines Lungenflügels vor Kontamination durch Übertritt von potenziell infektiösem Sekret aus der kontralateralen Lunge.

Generell wird der linksgängige Doppellumentubus gegenüber dem rechtsgängigen Modell bevorzugt. Dies beruht insbesondere auf den anatomischen Gegebenheiten der Trachea und des Bronchialbaumes. Der linke Hauptbronchus ist mit 55–75° im Vergleich zum rechten Hauptbronchus mit ungefähr 30° stärker abgewinkelt (Abb. 5) [27]. Für den linksgängigen DLT resultiert daraus einerseits eine erschwerte Anlage, andererseits aber auch eine höhere Stabilität. Zusätzlich bestehen im Vergleich von rechtem und linkem Hauptbronchus deutliche Längenunterschiede, welche die korrekte Platzierung des Doppellumentubus erschweren können. Da der linke Hauptbronchus eine wesentlich größere Länge von Carina bis zum Abgang des Oberlappens aufweist, kann der bronchiale Cuff hier ohne erhöhtes Risiko einer Verlegung des Oberlappenbronchus platziert werden [28]. Der rechtsgängige DLT wird dementsprechend vor allem bei speziellen operativen Indikationen der linken Lunge, wie Pneumektomien oder Manschettenresektionen des Oberlappens eingesetzt.

Der Einsatz des Bronchusblockers erfolgt meist als Alternative zum Doppellumentubus bei anatomisch erschwertem Atemweg, bei bereits intubierten Patienten oder Patienten mit erhöhter Aspirationsgefahr. Zusätzlich ermöglicht der Bronchusblocker die Einlungenventilation bei Kindern unter 8 Jahren.

1.5.2 Positionierung

Im Rahmen von verschiedenen Metaanalysen konnte nachgewiesen werden, dass sich der Doppellumentubus im Vergleich zum Bronchusblocker schneller und seltener fehlerhaft platzieren lässt [24, 29]. Der Bronchusblocker hingegen weist eine höhere Anlagedauer sowie eine erhöhte Dislokationsrate mit nötiger intraoperativer Reposition auf [30, 31]. Zur Platzierung eines Doppellumentubus gilt die Nutzung eines flexiblen fiberoptischen Bronchoskops (FOB) als sinnvoll [20].

1.5.3 Zeit und Qualität der Lungendeflation

Eine rasche und vollständige Deflation der Lunge gilt, gegenüber dem Bronchusblocker, als Vorteil des Doppellumentubus [24, 32]. Der BB benötigt eine längere Zeit bis zum Kollaps des abgetrennten Lungenflügels, verursacht jedoch weniger postoperative Heiserkeit und Reizungen des Rachens [33]. Neuere Daten zeigen hingegen, dass der Einsatz eines BB im Rahmen einer *video assisted thoracoscopic surgery* (VATS) im Vergleich zum DLT mit einer signifikant niedrigeren Zeit zur vollständigen Lungendeflation bei gleichzeitig besserem Ergebnis assoziiert war [34]. Hinsichtlich der Qualität der Lungendeflation konnten, im Vergleich von DLT und BB, keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden [30, 35, 36].

1.5.4 Fehlpositionierungen

Aufgrund von möglichen Hypoxämien und Verlegungen des Atemweges stellen Fehlpositionierungen von Doppellumentubus oder Bronchusblocker ein Risiko für den Patienten dar. Der Bronchusblocker wies in dieser Hinsicht in verschiedenen Studien eine höhere Rate an Malpositionierungen nach seiner initialen Platzierung und der Umlagerung des Patienten zur Operation auf [24, 30, 37].

Interessanterweise stellt eine Operation an der nicht ventilierten rechten Lunge, aufgrund der kleineren Größe und somit geringeren Durchblutung der ventilierten linken Lunge, einen der größten Risikofaktoren für eine intraoperative Hypoxämie dar [24, 38].

1.6 Komplikationen der Einlungenventilation

Thoraxchirurgische Patienten leiden meist an schweren pulmonalen oder kardialen Vorerkrankungen. Zusätzlich bieten sowohl die anästhesiologischen Maßnahmen als auch die operativen Techniken in der Thoraxchirurgie Potential für Komplikationen. Komplikationen können dabei auf Basis der Vorerkrankungen, aufgrund der Operation, der nötigen Anästhesie entstehen oder als Kombination aller auftreten.

1.6.1 Primäre Schäden

Sowohl die Anwendung eines DLT als auch die des BB bedarf zunächst einer laryngoskopisch geführten Intubation, welche mit Schäden an Lippen, Zähnen und Zunge einhergehen kann. Für weitergehende Schäden an den tieferen Atemwegen ist insbesondere der DLT verantwortlich. Im Vergleich zum Bronchusblocker zeigte sich bei Patienten mit Doppellumentubus eine höhere Rate an postoperativer Heiserkeit und Stimmbandläsionen [33]. Hingegen waren bronchiale Verletzungen in beiden Gruppen vergleichbar häufig ausgeprägt [32, 39].

Als Risikofaktoren für eine Atemwegsverletzung durch einen DLT gelten dabei eine zu kraftvolle Platzierung, ein zu stark inflatierter Bronchialcuff sowie eine erneute Repositionierung des Patienten bei bereits geblocktem Bronchialcuff [40]. Die schwerwiegendste Komplikation stellt die Atemwegsruptur dar [41]. Die Rate an Atemwegsverletzungen kann durch eine Erwärmung des Doppellumentubus erniedrigt werden [42].

1.6.2 Sekundäre Schäden

Die ventilierte Lunge steht im Rahmen einer Einlungenventilation unter starken, unphysiologischen Belastungen. Baro-, Volu- sowie Atelektraumata können die Lunge dabei ernsthaft schädigen [6] und Komplikationen verursachen, die den Krankenhausaufenthalt verlängern und für den Patienten lebensbedrohliche Folgen haben. Morphologisch konnte eine diffuse, alveoläre Schädigung der ventilierten Lunge nachgewiesen werden [43].

1.7 Komplikationen nach thoraxchirurgischen Eingriffen

Postoperative Komplikationen stellen in der Thoraxchirurgie keine Seltenheit dar. In der Literatur schwanken die Angaben für das Auftreten einer postoperativen Komplikation zwischen 29 und 38 % [44-46]. Der zunehmende Anteil älterer Menschen in der Population führt zu einer Änderung in der Patientenstruktur und bedingt das häufigere Auftreten von kardialen und respiratorischen Komplikationen. Da postoperative Komplikationen einen direkten Einfluss auf das *Outcome* des Patienten haben, ist das Erkennen und Beschreiben von Komplikationen ein wichtiges Mittel der Qualitätssicherung in der Chirurgie. In dieser Arbeit sollen die klinisch relevanten kardiopulmonalen Komplikationen in Abhängigkeit von der angewandten Intubationsmethode analysiert werden.

1.7.1 Postoperative pulmonale Komplikationen (PPK)

Postoperative pulmonale Komplikationen (PPK) treten nach thoraxchirurgischen Eingriffen mit einer Inzidenz von bis zu 25 % auf [47-49]. Dabei tragen sie wesentlich zu längeren Krankenhausaufenthalten, postoperativen Verlegungen auf die Intensivstation sowie zu einer höheren Mortalität bei [49-52]. Die Gruppe der PPK gliedert sich nach Canet *et al.* und der *European Perioperative Clinical Outcome* (EPCO)-Definition in den respiratorischen Infekt, die Aspirationspneumonie, die respiratorische Insuffizienz, den Pleuraerguss, die Atelektase, den Pneumothorax sowie den Bronchospasmus [48].

Respiratorische Insuffizienz

Die respiratorische Insuffizienz ist die häufigste PPK nach Operationen mit Zweilungenventilation [53, 54]. Nach lungenresezierenden Eingriffen tritt sie in ungefähr 2 % der Fälle auf und kann Folge verschiedener anderer Komplikationen, unter anderem der respiratorischen Infektion oder einem ARDS, sein [55]. Insbesondere die *acute lung injury* (ALI) führt häufig zu einer respiratorischen Insuffizienz und mindert die postoperative Überlebenswahrscheinlichkeit signifikant [56].

Pneumonie

Grundsätzlich gehen thoraxchirurgische Eingriffe, im Vergleich zu anderen chirurgischen Disziplinen, mit einem erhöhten Risiko für postoperative Pneumonien einher [57].

Die Rate postoperativer Pneumonien nach thoraxchirurgischen Eingriffen liegt zwischen 2,5 und 4,1 % [44, 47]. Ihr Auftreten trägt maßgeblich zur Mortalität unter PPK bei [58, 59].

Risikofaktoren

Als unabhängige Risikofaktoren für die Entwicklung einer PPK wurden ein Alter > 75 Jahren, ein BMI ≥ 30 kg/m², ein ASA-Status ≥ 3 , aktives Rauchen bzw. eine Rauchervergangenheit und COPD identifiziert [52]. Eine Studie unter Lungenkrebspatienten mit VATS, identifizierte unabhängig von der Form der Einlungenventilation, eine OP-Dauer > 2h, eine intraoperative Flüssigkeitstherapie von ≥ 6 ml/kg/h, eine präoperative FEV1 $\leq 60\%$ sowie eine $p_aO_2 \leq 60$ mmHg als Risikofaktoren. Bezüglich der thoraxanästhesiologischen Techniken zeigte sich, dass PPK beim Einsatz eines Bronchusblockers (BB) zur Applikation einer Einlungenventilation im Rahmen von Lungenkrebsoperationen seltener vorkamen [60].

1.7.2 Postoperative kardiale Komplikationen (PKK)

In der Folge eines thoraxchirurgischen Eingriffs entwickeln ungefähr 2–3 % der Patienten eine kardiale Komplikation [61, 62]. Nach Lungenresektionen stehen die PKK als Todesursache an dritter Stelle [63].

Postoperatives Vorhofflimmern (POAF)

Das Vorhofflimmern nach thoraxchirurgischen Eingriffen an der Lunge stellt die häufigste kardiale Komplikation dar [64]. Je nach Ausmaß des lungenresezierenden Eingriffs variiert die Häufigkeit dieser Komplikation zwischen 10 und 40 % der Fälle [45, 64, 65]. Die klinische Relevanz ergibt sich für das thoraxchirurgische Patientenkontingent dabei unter anderem aus einem höheren postoperativen Schlaganfallrisiko und einer erhöhten Mortalität [66].

Herz-Kreislauf-Stillstand

Der Herz-Kreislauf-Stillstand stellt eine lebensbedrohliche Komplikation verschiedener akuter Erkrankungen wie etwa dem Myokardinfarkt, Arrhythmien oder einer Lungenembolie dar. In der Literatur wird er im Hinblick auf ungeplante ITS-Aufnahmen nach lungenresezierenden Eingriffen mit Häufigkeiten von 0,16–0,2 % angegeben [55, 67].

1.8 Intensivaufenthalt nach ELV

Intensivstationen sind ein zentrales und unverzichtbares Element der modernen Medizin zur Reduktion von Morbidität und Mortalität. Gleichzeitig sind die verfügbaren Ressourcen begrenzt und ein Intensivaufenthalt teuer.

In der Thoraxchirurgie hat die Intensivtherapie einen besonderen Stellenwert: Die operative Disziplin behandelt ein Patientenkollektiv, zu deren Eigenschaften häufig ein hohes Lebensalter, eine positive Raucheranamnese sowie eine oder mehrere chronische Erkrankungen wie COPD, arterielle Hypertonie, Diabetes und AVK gehören [68]. Andererseits erfolgen die operativen Eingriffe meist an Lunge und Atemapparat, welches die physiologische Reserve kompromittiert und für das Auftreten von kardiopulmonalen Komplikationen prädisponiert. Eine postoperative Intensivtherapie ist daher besonders wichtig. Hinsichtlich der postoperativen Intensivtherapie muss man dabei zwischen routinemäßigen, geplanten sowie ungeplanten, durch Komplikationen verursachte Aufnahmen, unterscheiden [69]. Routinemäßige Verlegungen auf die ITS nach thoraxchirurgischen Operationen sind mit Häufigkeiten von 11–13,4 % angegeben [70, 71]. Die Rate an Patienten, die nach Lungenresektionen ungeplant auf die ITS verlegt werden müssen, liegt dabei zwischen 2,3 und 6,3 % [55, 67, 72, 73].

1.8.1 Risikofaktoren für einen Intensivaufenthalt

Bisher wurden folgende Risikofaktoren für einen Intensivaufenthalt nach thoraxchirurgischem Eingriff identifiziert.

Einfluss des Anästhesieverfahrens

Eine Studie weist auf einen Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Intensivaufenthaltes mit der Wahl des Anästhesieverfahrens hin. Patienten, die eine balancierte, gasgeführte Anästhesie erhalten haben, mussten häufiger mit postoperativen Komplikationen ungeplant auf die Intensivstation verlegt werden [67]. Beim Vergleich zwischen DLT und BB zur Einlungenventilation bei Lungenresektionen zeigten Patienten der BB-Gruppe eine signifikant höhere Rate an ITS-Verlegungen [74]. Darüber hinaus verbrachten Patienten der BB-Gruppe im Vergleich eine signifikant längere Zeit auf der Intensivstation [75]. Patienten mit postoperativen, pulmonalen Komplikationen wurden häufiger auf die ITS aufgenommen [52] [76].

1.9 Wissenschaftliche Fragestellung und Zielsetzung

Die Wahl des richtigen Verfahrens zur perioperativen Lungenisolation ist und war in den vergangenen Jahren immer wieder Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen [24]. Die untersuchten Fragestellungen bezogen sich vorwiegend auf die präoperative Phase. Dabei sind Platzierungszeiten, Qualität der Deflation und das Auftreten von Atemwegsverletzungen untersucht worden [24, 37]. Trotz der wesentlich häufigeren Verwendung des Doppellumentubus gibt es insgesamt keine Hinweise für eine Überlegenheit im Vergleich zum Bronchusblocker. Die Wahl des „besten“ Verfahrens zur Einlungenventilation bleibt unklar.

Wissenschaftliche Arbeiten und Daten, die sich, im Vergleich der beiden Techniken zur Einstellung der Einlungenventilation, mit den postoperativen Komplikationen sowie der Beatmungs- und Intensivpflichtigkeit auseinandersetzen, sind rar [60, 74, 75].

In der vorliegenden Arbeit wird daher die Frage untersucht, ob die Wahl eines Bronchusblockers oder eines Doppellumentubus als Mittel zur Einlungenventilation einen Einfluss auf die postoperative Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit und auf das Auftreten spezifischer postoperativer Komplikationen hat.

1.10 Hypothesen der Dissertation

In der Analyse sollen die folgenden Null-Hypothesen untersucht werden:

- Patienten mit Doppellumentubus mussten nicht häufiger auf die Intensivstation verlegt werden als Patienten mit Bronchusblocker.
- Die Beatmungszeit von Patienten mit Doppellumentubus überstieg die von Patienten mit Bronchusblocker nicht.
- Die Komplikationsrate von Patienten mit Doppellumentubus war bei Patienten mit Bronchusblocker nicht höher.
- Das Auftreten von kardiologischen oder pneumologischen Komplikationen unterschied sich bei beiden Gruppen nicht.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 Studiendesign

Es wurde eine retrospektive, monozentrische Kohortenanalyse durchgeführt.

2.2 Ethische Aspekte

Die Analyse wurde durch die zuständige Ethik-Kommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät am Universitätsklinikum Magdeburg A. ö. R. genehmigt (Votum 132/20).

2.3 Patientenkohorte

Die Behandlungsverläufe aller Patienten, die sich im Zeitraum vom Januar 2017 bis Dezember 2019 am Universitätsklinikum Magdeburg, Klinik für Thoraxchirurgie, einer Operation unter Verwendung der Einlungenventilation unterzogen haben, wurden retrospektiv erfasst und ausgewertet (Vgl. Abb. 7).

2.4 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte auf Basis der archivierten und digitalisierten Patientenakten. Zur Dokumentation der Daten nutzten wir die Webapplikation des „Deutschen Thoraxregisters“. Folgende Daten flossen in die Analyse der Fragestellung ein:

- OP-Jahr
- Alter
- Geschlecht
- Größe, Gewicht, BMI
- OP-Indikation und Lokalisation
- Präoperative Laborparameter: CRP, Leukozyten
- Präoperativer, respiratorischer Infekt < 4 Wochen

- Präoperative Lungenfunktionsparameter: FEV1, Diffusion
- Hauptoperation
- Notfallindikation
- Operationstechnischer Zugang
- ASA-Score
- Dauer der Operation (Schnitt-Naht-Zeit)
- Dauer der Einlungenventilation (ELV-Zeit)
- Durchschnittlicher und niedrigster FiO₂-Wert
- Intraoperative Vasopressorgabe
- Körpertemperatur am OP-Ende
- Gabe von Erythrozytenkonzentraten
- Gabe von Plasma- (FFP) und Thrombozytenkonzentraten (TK), Gerinnungsfaktoren
- Gabe von Tranexamsäure
- Primäres Verlegungsziel: ITS, IMC, Normalstation

Für die ITS-Patienten wurden folgende Daten erhoben:

- Intubation bei Aufnahme: pH, pO₂, pCO₂, SAPS-Score
- Anzahl Intensiv-/ Überwachungstage
- Anzahl Beatmungstunden

Für die gesamte Patientenkohorte wurden zusätzlich folgende Daten erhoben:

- Auftreten von Komplikationen
- Postoperative, pulmonale Komplikationen (Resp. Insuffizienz und Pneumonie)
- Postoperative, kardiale Komplikationen (neues VHF, Myokardinfarkt, Herz-Kreislauf-Stillstand, Lungenembolie)
- Maßnahmen

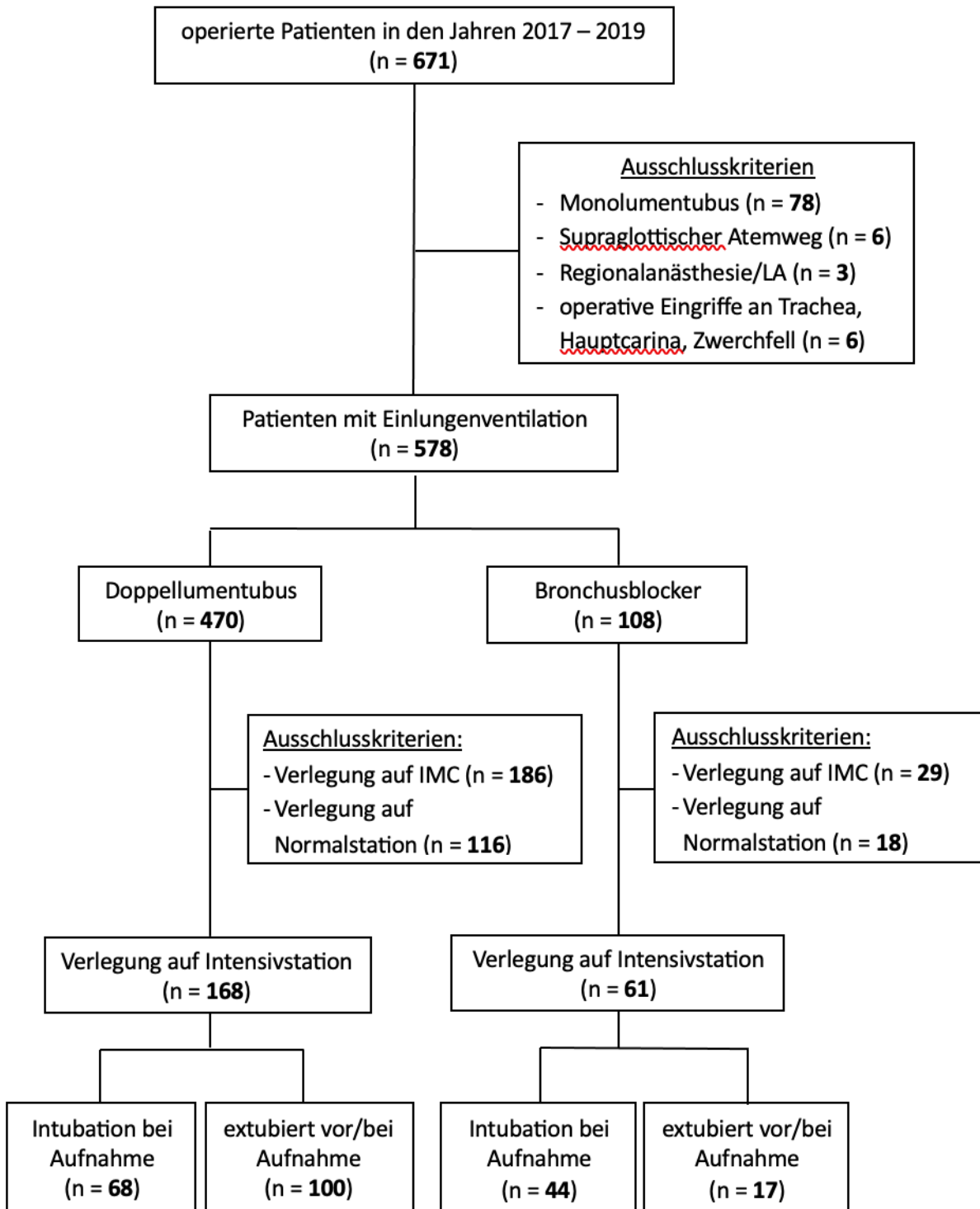


Abb. 7: Übersicht über die analysierte Patientenkohorte.

2.5 Einschlusskriterien

- Alter > 18 Jahre
- elektive oder notfallmäßige operative Eingriffe an der Lunge, Pleura, Mediastinum und Brustwand unter Einlungenventilation (ELV) mittels Doppellumentubus oder Bronchusblocker

2.6 Ausschlusskriterien

Wir schlossen Patienten, bei denen ein operativer Eingriff an Trachea, Bronchus oder Zwerchfell durchgeführt wurde, aus der Analyse aus, da wir bei diesen eine starke, postoperative Beeinträchtigung der Atemmechanik vermuten. Patienten mit Tracheostomata, laryngotrachealer Pathologie oder Kehlkopf-CA konnten in der Datenerhebung nicht identifiziert und somit nicht direkt ausgeschlossen werden.

2.7 Das Deutsche Thoraxregister

Das „Deutsche Thoraxregister“ ist ein bundesweites Benchmarking-Projekt, welches im Januar 2016 von der Deutschen Gesellschaft für Anästhesie und Intensivmedizin (DGAI) sowie der Deutschen Gesellschaft für Thoraxchirurgie (DGT) ins Leben gerufen wurde. Über eine spezielle Webapplikation auf der Website des „Deutschen Thoraxregisters“ können die teilnehmenden Kliniken ihre patientenbezogenen Daten eintragen und anschließend als einzelne Fälle abspeichern. Die Daten werden dabei für jedes Zentrum pseudoanonymisiert unter einzelnen Fallnummern gespeichert. Ein einzelner Fall umfasst dabei allgemeine Patientendaten, chirurgische, anästhesiologische sowie Daten der Intensiv- und Schmerzmedizin (siehe Datenerhebung). Über die Zeit entstehen so ausführliche Datensätze des behandelten Patientenkollektives (Abb. 8). Eine Teilnahme am „Deutschen Thoraxregister“ wird jeder Klinik ermöglicht, die mehr als 50 thoraxchirurgische Patienten im Jahr behandelt [77].

Durch die Implementierung des „Deutschen Thoraxregisters“ und die Teilnahme vieler verschiedener thoraxchirurgischen Zentren unterschiedlicher Größe wurde es erstmalig

möglich, eine umfassende, deutschlandweite Datenbank thoraxchirurgischer Patienten aufzubauen [77].

Der Nutzen des „Deutschen Thoraxregisters“ besteht vor allem in der umfassenden Möglichkeit der wissenschaftlichen Auswertung der standardisiert gesammelten Daten. Die erhobenen Patientenfälle lassen sich einerseits direkt durch verschiedene integrierte Funktionen innerhalb der Webapplikation auswerten, andererseits kann die Datenbank des eigenen Zentrums auch zur weiteren statistischen Analyse, beispielsweise als *Excel*-Datei (Microsoft, Washington, USA) extrahiert und anschließend für weitere statistische Berechnungen wissenschaftlich genutzt werden. Nach Freigabe der Patientenfälle durch das jeweilige Zentrum können auch andere Teilnehmer des „Deutschen Thoraxregisters“, welche über eine entsprechende Erlaubnis verfügen, die Daten zur Auswertung für eigene Fragestellungen heranziehen. Das hierdurch ermöglichte, bundesweite Benchmarking unter den verschiedenen thoraxchirurgischen Abteilungen bildet einen zusätzlichen, wertvollen Aspekt des Registers. Bisher existieren erst wenige Publikationen, die unter Verwendung von Daten des „Deutschen Thoraxregisters“ entstanden sind [25, 78].

The screenshot displays the 'Falleditor' application window for PatientID: 121426. The main content area is titled 'Operation (Haupt-OP)' and contains several sections for data entry:

- Operation (Haupt-OP):** Includes checkboxes for Lobektomie, Bilobektomie, Pneumonektomie, Segmentres., Keilresektion, Mediastinaltu., Brustwandres. Vollwand, Rippenresektion, Dekortikation, Trachearesektion, Bronchusresektion, Zwerchfellres./Plastik, Volumenres. Segment, Volumenres. Lappen, LAD mediastinal, and andere.
- Bronchoplastik:** Radio buttons for 'ja', 'Nein', and 'Bifurkationsresektion (Trachea)'.
- Notfallindikation:** Radio buttons for 'ja' and 'Nein'.
- Zugang:** Radio buttons for 'Offen', 'VATS', and 'Umsteiger'.
- Erweiterung:** Includes checkboxes for 'Keine', Angioplastik, Perikard, Vorhof, Brustwand, Zwerchfell, and Postop. Anordnung (Keine, Antibiose prophylaktisch, Antibiose therapeutisch, Antikoagulation therapeutisch, Tranexamsäure).

The left sidebar shows a list of patients with columns for PatientID, OP-Jahr, and Geb-Jahr. The right sidebar contains a search bar and a 'Benutzer schneiderj abmelden' button. The bottom of the window has navigation buttons like 'zur nächsten Korrektur springen' and 'Schließen'.

Abb. 8: Eingabemaske des Deutschen Thoraxregisters, Abschnitt OP-Phase.

2.8 Statistische Analyse

Nach Abschluss der Datenerhebung exportierten wir unsere Daten, unter der Nutzung von Excel 2022 (Microsoft, Redmond, Washington, USA) aus der Datenbank des Deutschen Thoraxregisters. Alle statistischen Berechnungen erfolgten unter Verwendung des Statistikprogrammes SPSS® Version 28 (IBM Corporation, Armonk, New York, USA). Die Prüfung der Variablen auf Normalverteilung erfolgte mittels Shapiro-Wilks-W-Tests sowie Normalverteilungsdiagrammen. Qualitative Merkmale wurden als absolute und relative Häufigkeiten, quantitative Merkmale wurden in den Tabellen als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder Median (Minima und Maxima) dargestellt. Abhängig von der Merkmalsart erfolgten die bivariaten Analysen mittels Chi-Quadrat-Tests oder Mann-Whitney-U-Tests. Dabei wurde das Signifikanzniveau auf 5% festgelegt. Aufgrund von fehlenden Werten ergeben sich bei einigen Variablen abweichende Fallzahlen, worauf an den betreffenden Stellen hingewiesen wird.

3 ERGEBNISSE

3.1 Patientendaten

Es wurden 578 Patienten der Klinik für Thoraxchirurgie der Universitätsmedizin Magdeburg eingeschlossen und analysiert. Die Gesamtkohorte der Patienten mit Einlungenventilation (ELV) teilt sich in die beiden Studiengruppen Doppellumentubus (DLT) und Bronchusblocker (BB).

3.1.1 Allgemeine Patientendaten

Die demographischen Daten unterschieden sich in beiden Studiengruppen nicht signifikant.

Tab. 1: Allgemeine Patientendaten.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
Geschlecht [m/w]	378/200	304/166	74/34	0,450
Alter bei OP [Jahre]	63 (19–86)	64 (19–86)	63 (19–86)	0,848
Größe [cm]	174 (150–201)	173 (150–197)	175 (153–201)	0,139
Gewicht [kg]	79 (38–168)	78 (38–168)	80 (45–140)	0,356
BMI [kg/m²]	26 (13–50)	26 (14–50)	27 (16–44)	0,793

Werte in Median (Min–Max) oder Anzahl (Prozent). BMI = body mass index.

3.1.2 Präoperative Infektsituation und Lungenfunktion

Die präoperativen Werte des C-reaktiven Proteins (CRP) lagen in der BB-Studiengruppe im Median deutlich über der Norm. Im Vergleich zur DLT-Gruppe ist das Ergebnis allerdings nicht signifikant. Die präoperative Lungenfunktion ähnelte sich in beiden Studiengruppen (Tab. 2).

Tab. 2: Präoperative Infektsituation und Lungenfunktion.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
CRP-präOP (n = 565)	9,3 (0,3–493,2)	8,7 (0,3–394,8) (n = 459)	14,5 (0,3–394,8) (n = 106)	0,054
Leuko-präOP (n = 577)	8,1 (1,7–114)	8 (1,7–114) (n = 469)	8,7 (3,1–29)	0,111
FEV1-präOP (n = 361)	80 (22–133)	80,5 (22–133) (n = 316)	79 (38–131) (n = 45)	0,584
Diffusion (n = 52)	66 (13–102)	65 (13–102) (n = 47)	76 (61–85) (n = 5)	0,131
Resp. Infekt ja < 4 Wochen (n = 518)	31 (6 %)	24 (5,6 %)	7 (7,9 %)	0,411

Werte in Median (Min–Max) oder Anzahl (Prozent). CRP = C-reaktives Protein, FEV1 = forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde. Aufgrund fehlender Dokumentation konnte bei diesen Variablen jeweils nur ein Teil der Patientenfälle der Gesamtkohorte in die Auswertung einfließen. Die Anzahl der statistisch genutzten Patientenfälle ist dabei jeweils unter den Variablen angegeben (n=x).

3.2 Chirurgische Daten

3.2.1 OP-Indikation

Der BB fand vermehrt bei gutartigen OP-Indikationen, der DLT hingegen eher bei onkologischen Operationen Anwendung.

Tab. 3: OP-Indikationen.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
<u>OP-Indikation</u>				0,028
RH/BroCa	220 (38,1 %)	194 (41,3 %)	26 (24,1 %)	
Lungenmetastase	37 (6,4 %)	29 (6,2 %)	8 (7,4 %)	
Mediastinaltumor	43 (7,4 %)	33 (7 %)	10 (9,3 %)	
Anderer Tumor	58 (10 %)	45 (9,6 %)	13 (12 %)	
Gutartig	135 (23,4 %)	102 (21,7 %)	33 (30,6 %)	
Septischer Fokus	79 (13,7 %)	61 (13 %)	18 (16,7 %)	
Revision	6 (1 %)	0 (0 %)	6 (1 %)	

Werte in Anzahl (Prozent). RH/Broca = Rundherd/Bronchialkarzinom. Anderer Tumor = Pleurakarzinose, Mesotheliom, Lymphom. Gutartig = u.a. Pneumothorax, Fibrothorax, Pleuraerguss, Chylothorax, Pleurektomie. Revision = Re-Operation.

3.2.2 OP-Lokalisation

Operationen an der Pleura wurden insgesamt mit 220 Patientenfällen (38 %) am häufigsten durchgeführt. Der Bronchusblocker wurde signifikant weniger häufig bei Operationen am rechten und linken Oberlappen eingesetzt. Bei Operationen an Pleura und Lymphknoten wurde der Bronchusblocker signifikant häufiger verwendet ($p = 0,005$).

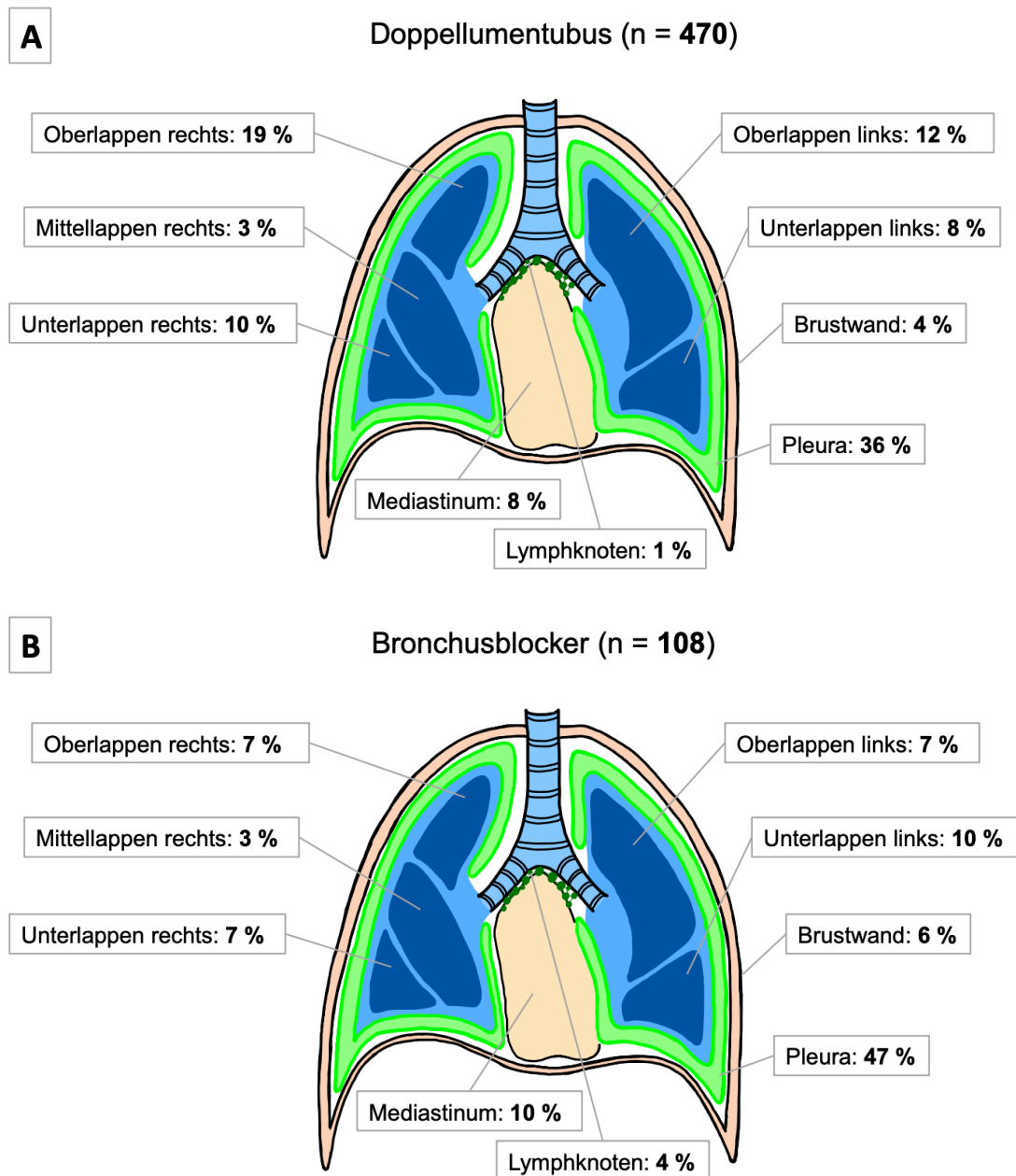


Abb. 9: OP-Lokalisationen nach Atemwegszugang. Werte in Prozent. Die OP-Lokalisation „Zentral rechts“ und „Zentral links“ sind im Bild nicht dargestellt, da sie insgesamt nur in 0,3 bzw. 0,2 % der Fälle vorkamen (modifiziert nach [79]).

3.3 Anästhesiologische Daten

3.3.1 ASA-Score

Die Verteilung des ASA-Scores (Empfehlung nach der *American Association of Anaesthesiologists*) unterschied sich in den Studiengruppen. Der Bronchusblocker fand bei Patienten mit einem ASA-Score von 4 signifikant häufiger Anwendung ($p = 0,009$).

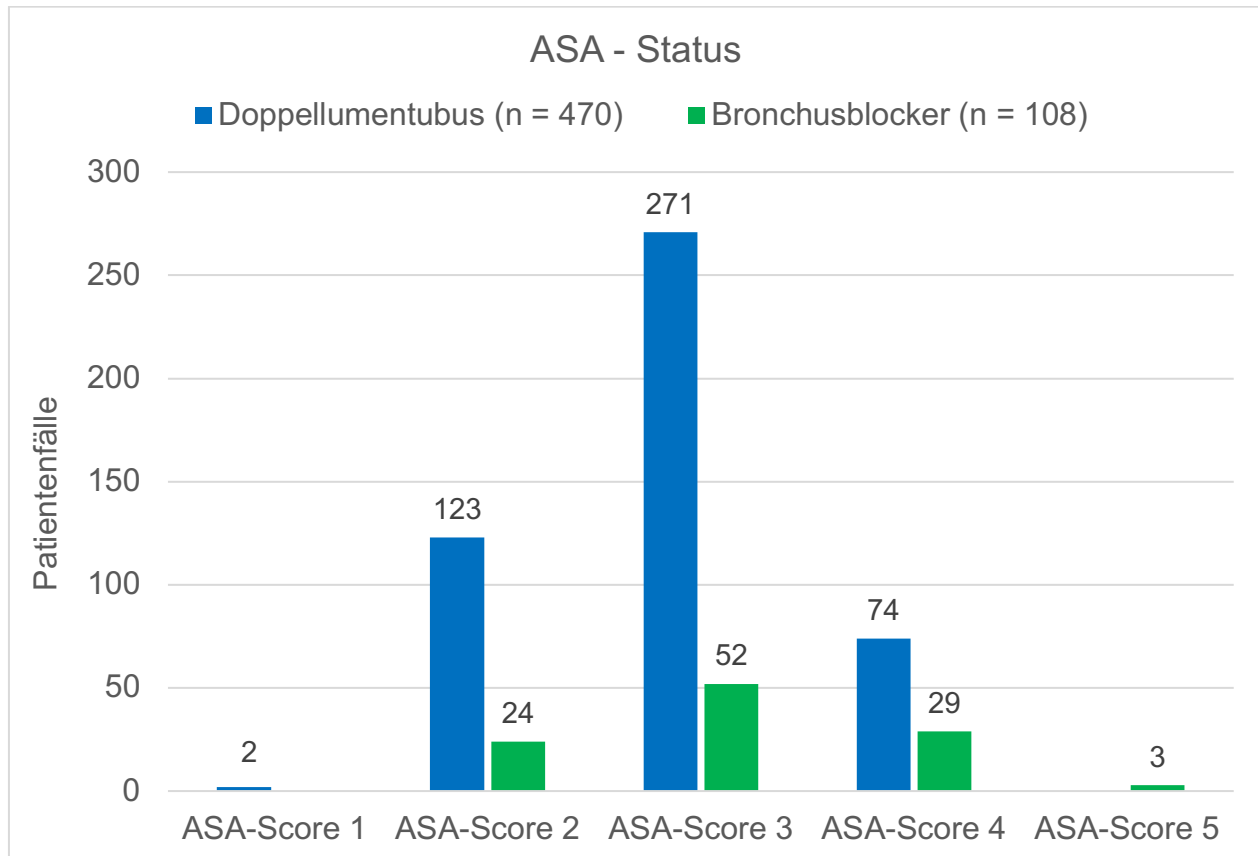


Abb. 10: ASA-Score in beiden Studiengruppen.

Die statistische Analyse der anästhesiologischen Daten ergab, dass die mechanische Beatmung von Patienten mit einem Bronchusblocker mit höheren Werten der fraktionierten inspiratorischen Sauerstoffkonzentration (FiO_2) durchgeführt wurde (Tab. 4). Darüber hinaus wurde in der BB-Gruppe während der Operation die Gabe von Vasopressoren und Blutersatzprodukten wie Erythrozytenkonzentraten, Plasmakonzentraten und Faktoren deutlich häufiger notwendig.

Tab. 4: Anästhesiologische Daten.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
ELV-Dauer [min] (n = 368)	64 (2–336)	64 (2–336) (n = 305)	64 (21–293) (n = 63)	0,705
Durchschnittliche FiO₂ [%] (n = 368)	61 (32–93)	60 (32–90) (n = 305)	68 (49–93) (n = 63)	< 0,001
Niedrigste FiO₂ [%]	57 (21–92)	57 (22–88)	60 (21–92)	< 0,001
Vasopressor nötig (n) (n = 577)	411 (71,2 %)	325 (69,3 %) (n = 469)	86 (79,6 %) (n = 108)	0,032
Temperatur OP-Ende [°C] (n = 460)	36±0,8	36±0,7 (n = 375)	36±1 (n = 85)	0,568
EK • nötig bei • Anzahl	49 (8,5 %) 0,2±0,9	31 (6,6 %) 0,15±0,8	18 (16,7 %) 0,4±1,2	< 0,001 < 0,001
FFP • nötig bei • Anzahl	9 (1,6 %) 0,07±0,6	3 (0,6 %) 0,4±0,5	6 (5,6 %) 0,17±0,8	0,002 < 0,001
TK • nötig bei • Anzahl	11 (1,9 %) 0,03±0,6	8 (1,7 %) 0,03	3 (2,8 %) 0,05	0,439 0,464
Faktoren • nötig bei	12 (2,1 %)	4 (0,9 %)	8 (7,4 %)	< 0,001
TXA • nötig bei	100 (17,3 %)	75 (16 %)	25 (23,1 %)	0,075

Werte in Median (Min–Max), Mittelwert ± Standardabweichung oder Anzahl (Prozent). ASA = American Society of Anaesthesiologists, ELV = Einlungenventilation, FiO₂ = fraktionierte, inspiratorische Sauerstoffkonzentration, EK = Erythrozytenkonzentrat, FFP = Fresh Frozen Plasma, TXA = Tranexamsäure. Aufgrund fehlender Dokumentation konnte bei einigen Variablen jeweils nur ein Teil der Patientenfälle der Gesamtkohorte in die Auswertung einfließen. Die Anzahl der statistisch genutzten Patientenfälle ist dabei jeweils unter den Variablen angegeben (n = x).

3.4 OP-Daten

3.4.1 Thoraxchirurgische Eingriffe

Die an unserer Gesamtkohorte durchgeführten, thoraxchirurgischen Eingriffe zeigten in beiden Studiengruppen eine vergleichbare Verteilung ($p = 0,133$). Im untersuchten Zeitraum wurden am häufigsten die Keilresektion, die Lobektomie, die Dekortikation sowie „Andere“ durchgeführt. Zu letztgenannter Operation zählten wir in der Datenerhebung die Pleurektomie, die (Talkum-) Pleurodese, die Adhäsiolelyse sowie die diagnostische Pleurabiopsie.

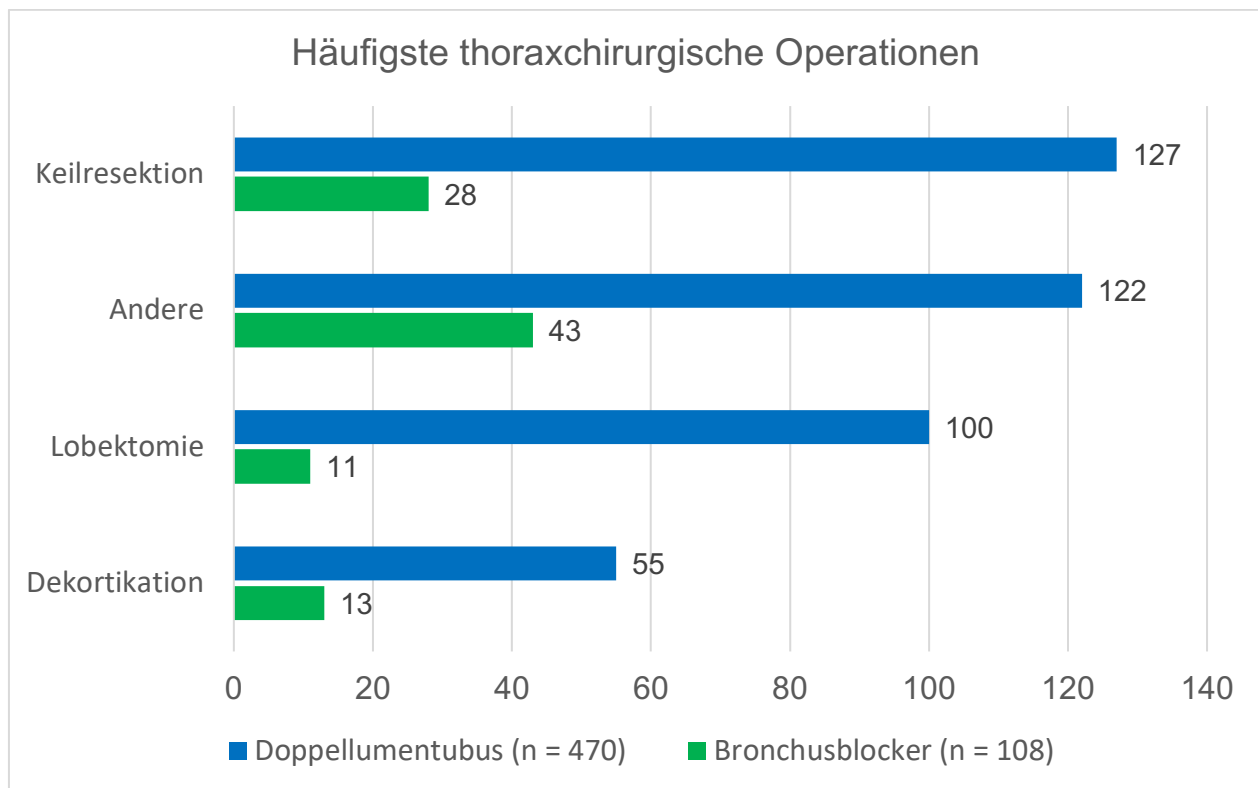


Abb. 11: Häufigkeit thoraxchirurgischer Operationen in unserem Studienkollektiv. Werte in Anzahl. Andere = Pleurektomie, (Talkum-) Pleurodese, Adhäsiolelyse und diagnostische Pleurabiopsie.

Die weniger häufig durchgeführten thoraxchirurgischen Eingriffe innerhalb unserer Patientenkohorte sind in der folgenden Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5: Weitere thoraxchirurgische Eingriffe.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
Operation				0,133
Bilobektomie	12 (2,1 %)	11 (2,3 %)	1 (0,9%)	
Pneumektomie	4 (0,7 %)	4 (0,9 %)	0 (0 %)	
Segmentresektion	11 (1,9 %)	9 (1,9 %)	2 (1,9 %)	
Mediastinaltumor	40 (6,9 %)	31 (6,6 %)	9 (8,3 %)	
Brustwandresektion	1 (0,2 %)	1 (0,2 %)	0 (0 %)	
Rippenresektion	5 (0,9 %)	5 (1,1 %)	0 (0 %)	
Volumenreduktion	3 (0,5 %)	3 (0,5 %)	0 (0 %)	
LAD mediastinal	3 (0,5 %)	2 (0,4 %)	1 (0,9 %)	

Werte in Anzahl (Prozent).

3.4.2 Weitere OP-Daten

Auffällig war, dass der Bronchusblocker sowohl bei Notfallindikationen als auch bei offen-chirurgischen Zugangswegen zum Operationsgebiet häufiger eingesetzt wurde. Wenn im Rahmen einer Operation ein Wechsel des Zugangsverfahrens nötig wurde (Umsteiger), war jedoch der DLT signifikant häufiger in Verwendung.

Tab. 6: Weitere OP-Daten.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
Notfallindikation [n,%]	57 (9,9 %)	33 (7,1 %)	24 (22,2 %)	< 0,001
Zugang				0,012
• Offen	178 (30,8 %)	133 (28,3 %)	45 (41,7 %)	
• VATS	333 (57,6 %)	277 (58,9 %)	56 (51,9 %)	
• Umsteiger	67 (11,6 %)	60 (12,8 %)	7 (6,5 %)	
OP-Dauer [min]	89 (15–424)	89 (16–424)	87 (15–352)	0,399

Werte in Anzahl (Prozent) oder Median (Min–Max). VATS = video assisted thoracoscopic surgery. Umsteiger = Wechsel von VATS auf Offen.

3.5 Postoperative Daten

3.5.1 Postoperatives Verlegungsziel

Die Patienten der untersuchten Gesamtkohorte wurden postoperativ in den meisten Fällen auf die Intensivstation verlegt (39 %). Nur 23 % der Patienten konnten postoperativ direkt auf die Normalstation verlegt werden. In Abb. 12 sind die Verlegungsraten der beiden Studiengruppen dargestellt. Eine Auffälligkeit zeigt hier die BB-Gruppe, deren Patienten mit 57 % im Vergleich zur DLT-Gruppe mit 38 % besonders häufig auf die ITS verlegt worden sind. Patienten der DLT-Gruppe wurden hingegen häufiger auf IMC und Normalstation verlegt ($p < 0,001$).

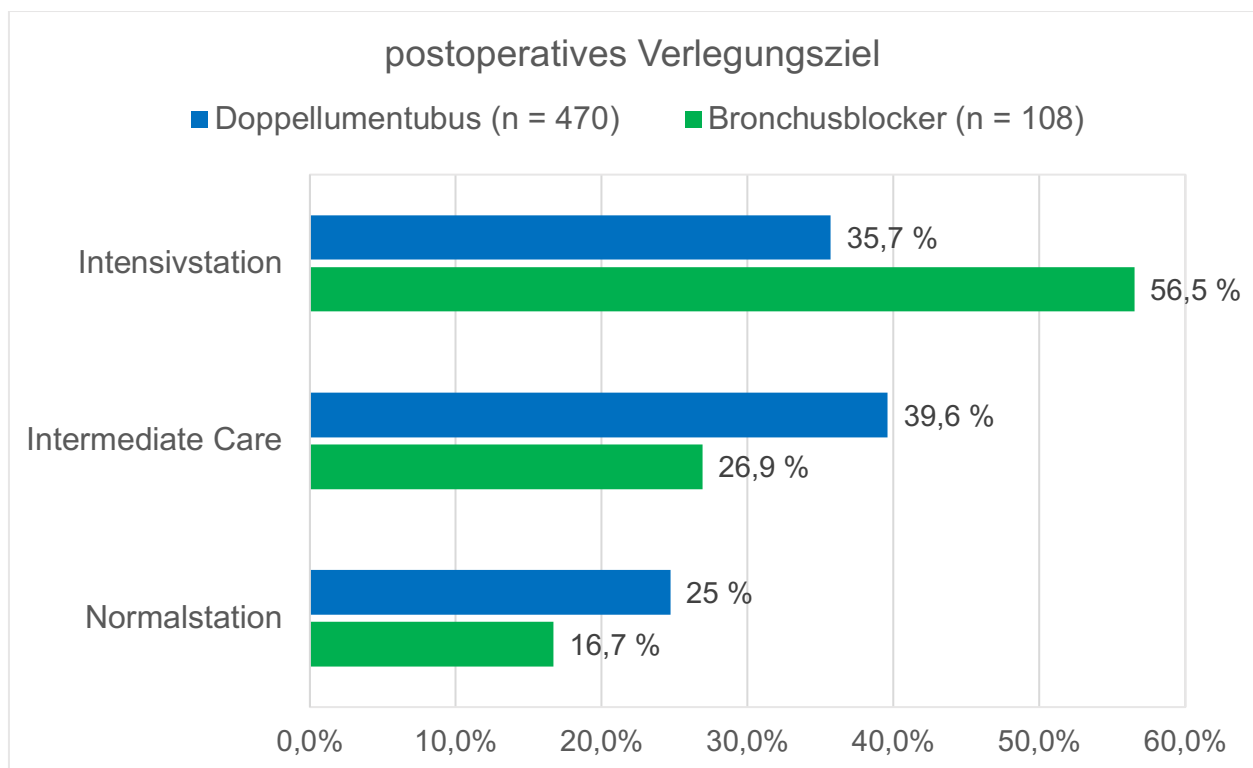


Abb. 12: Postoperatives Verlegungsziel nach Atemwegszugang. Werte in Prozent.

3.5.2 Daten der Intensivpatienten

In Tab. 7 und den Abb. 13 und 14 ist die Subgruppenanalyse der Patienten dargestellt, die postoperativ auf die Intensivstation verlegt worden sind (n = 229, 40 % der Gesamtkohorte). Patienten der BB-Studiengruppe waren signifikant häufiger bereits bei Aufnahme auf der ITS intubiert und zeigten in der arteriellen Blutgasanalyse einen höheren arteriellen Kohlendioxidpartialdruck (paCO₂).

Tab. 7: Lungen-funktionelle Parameter der beatmeten Patienten auf der Intensivstation.

	ELV (n = 229)	DLT (n = 168)	BB (n = 61)	p-Wert
Intubation bei Aufnahme	112 (48,9 %)	68 (40,5 %)	44 (72,1 %)	< 0,001
pH (n = 225, 98,3 %)	7,38 (6,98–7,7)	7,38 (7,14–7,6)	7,38 (6,98–7,7)	0,488
paO₂ [mmHg] (n = 224, 97,8 %)	104 (45–423)	100 (51–309)	114 (45–423)	0,434
paCO₂ [mmHg] (n = 225, 98,3 %)	43 (20–135)	43 (20–135)	46 (26–80)	0,038
SAP-Score (n = 99, 43,2 %)	39 (12–80)	36 (12–71) (n = 66)	46 (22–80) (n = 33)	0,165

Werte in Median (Min–Max) oder Anzahl n (Prozent). Die Variablen pH, paO₂, paCO₂ und SAP-Score beruhen jeweils auf einer unterschiedlichen Anzahl von nutzbaren Patientenfällen, was jeweils in den zugehörigen Klammern angegeben wurde. paO₂ = arterieller Sauerstoffpartialdruck, paCO₂ = arterieller Kohlendioxidpartialdruck, SAP-Score = simplified acute physiology score.

Eine intensivmedizinische Überwachung war bei den meisten Patienten nur wenige Tage erforderlich. Diejenigen Patienten, die intraoperativ einen Bronchusblocker erhielten, mussten postoperativ länger auf der ITS überwacht werden: Patienten der DLT-Gruppe blieben im Median 1 Tag auf der ITS, hingegen konnten Patienten der BB-Gruppe nach 2 Tagen wieder von der ITS entlassen werden (Abb. 13). Das Ergebnis wurde nur annähernd signifikant (p = 0,052).

Der Vergleich der beiden Studiengruppen bezüglich der Beatmungstunden ergab, dass Patienten der BB-Studiengruppe im Median mit 11 Stunden versus 5 Stunden signifikant länger beatmet werden mussten (p < 0,001) (Abb. 14).

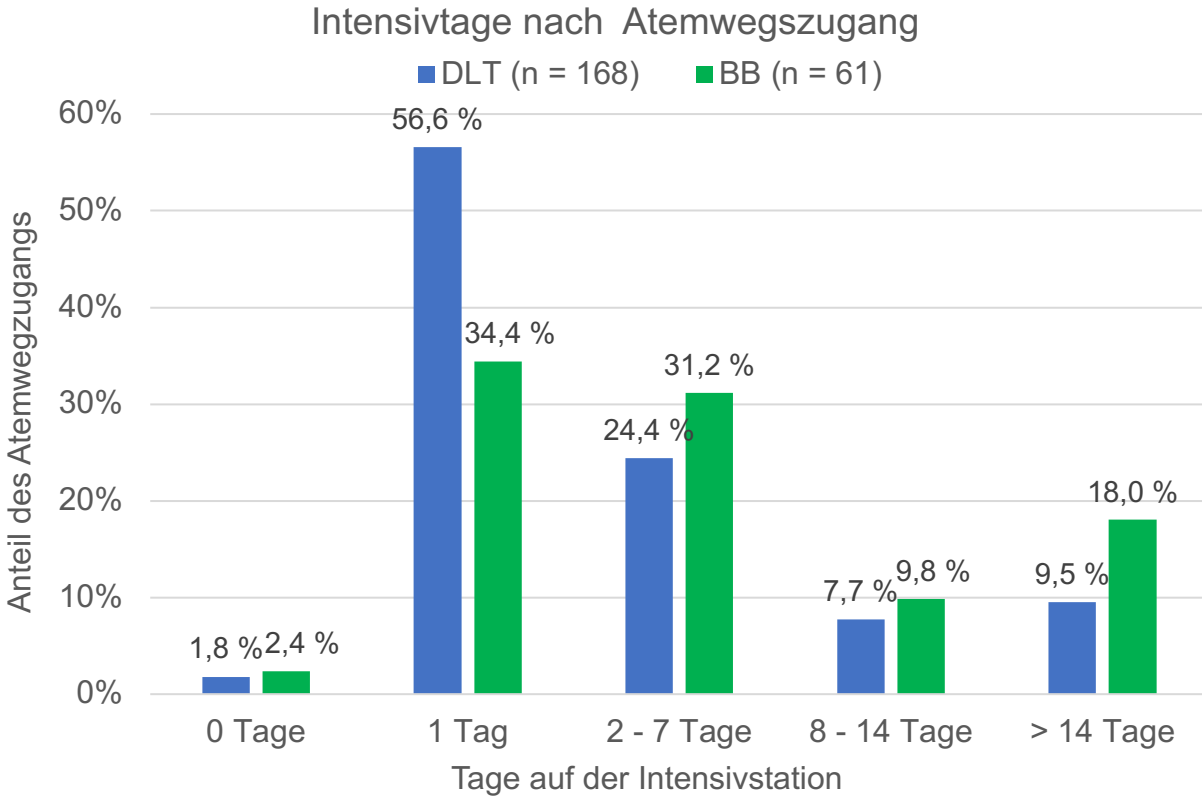


Abb. 13: Postoperative Intensivtage nach intraoperativ verwendetem Atemwegszugang. Werte in Prozent. 0 Tage = Rückverlegung auf IMC oder Normalstation am Aufnahmetag. 1 Tag = Aufenthalt über die erste Nacht hinaus.

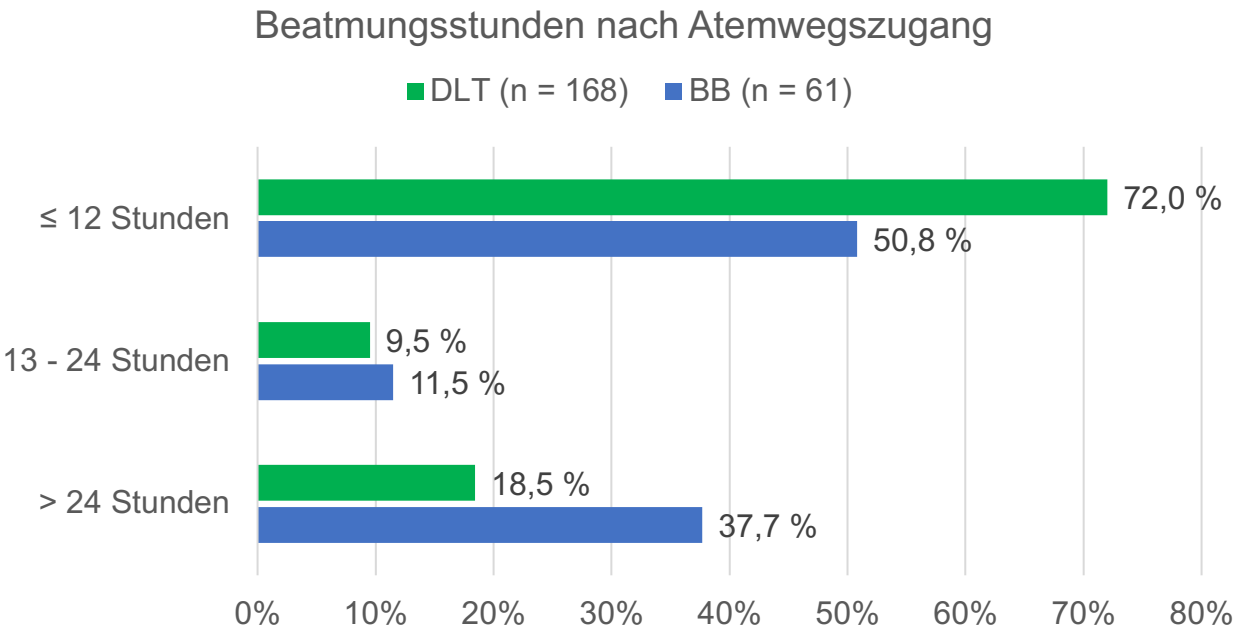


Abb. 14: Beatmungsstunden auf ITS nach intraoperativ verwendetem Atemwegszugang. Werte in Prozent.

3.6 Komplikationen

Unsere Analyse zeigte, dass postoperative Komplikationen in der Bronchusblocker-Studiengruppe signifikant häufiger auftraten (Tab. 8).

Tab. 8: Auftreten von postoperativen Komplikationen.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n = 108)	p-Wert
Komplikationen				0,010
• aufgetreten bei	221 (38 %)	168 (36 %)	53 (49 %)	

Werte in Anzahl (Prozent).

In das in Tab. 8 dargestellte Ergebnis der univariaten Analyse fließen dabei sowohl respiratorische und kardiovaskuläre als auch anästhesiologische und chirurgische Komplikationen ein. Dies ist in der Art und Weise der Datenerhebung über das Deutsche Thoraxregister begründet. Diese Arbeit hat sich jedoch zum Ziel gesetzt, lediglich nicht-chirurgische und nicht-anästhesiologische Komplikationen auszuwerten, weshalb im Folgenden nur noch die vorher definierten pulmonalen und kardialen Komplikationen detailliert dargestellt und ausführlich diskutiert werden.

Die relativen Häufigkeiten von postoperativen pulmonalen und kardialen Komplikationen (Abb. 15 und 16) unterschieden sich in beiden Gruppen nicht signifikant ($p = 0,380$ und $p = 0,567$).

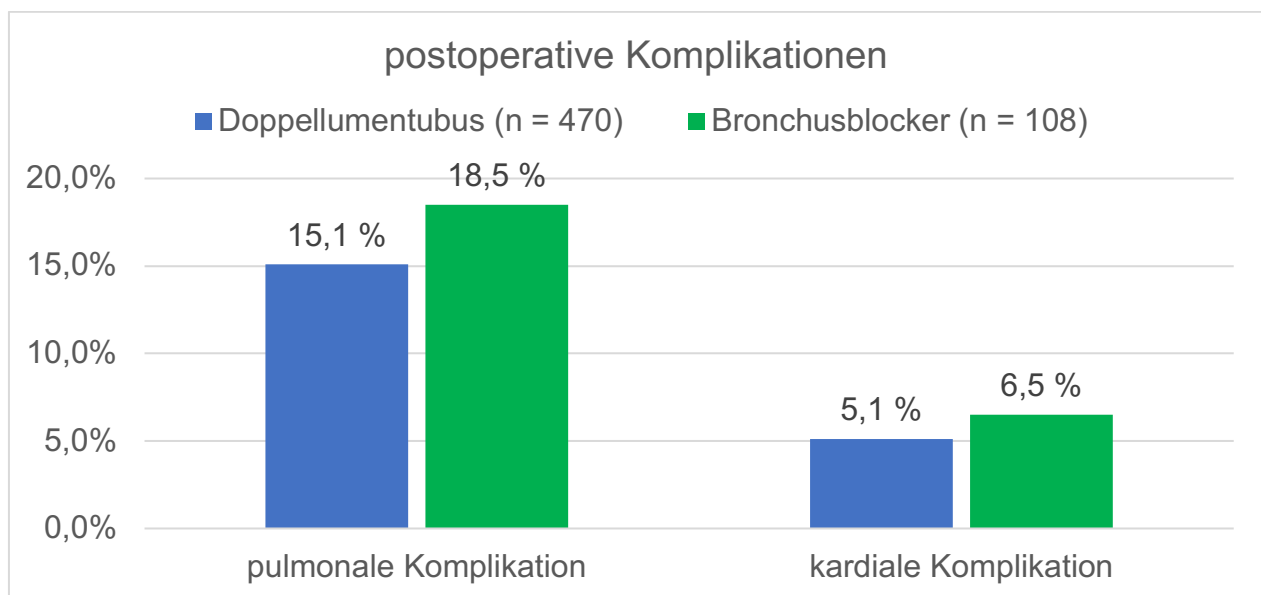


Abb. 15: Postoperative Komplikationen nach Atemwegszugang. Werte in Prozent. Patienten mit mindestens einer pulmonalen oder kardialen Komplikation.

3.6.1 Postoperative pulmonale Komplikationen (PPK)

Die postoperativen pulmonalen Komplikationen (PPK) respiratorische Insuffizienz und Pneumonie zeigten in beiden Studiengruppen eine vergleichbare Verteilung ($p = 0,252$ und $p = 0,847$).

3.6.2 Postoperative kardiovaskuläre Komplikationen (PKK)

Postoperative kardiovaskuläre Komplikationen (PKK) waren insgesamt selten. Der Vergleich der beiden Studiengruppen ergab, dass in der BB-Gruppe signifikant mehr Herz-Kreislaufstillstände als in der DLT-Gruppe auftraten ($p = 0,037$).

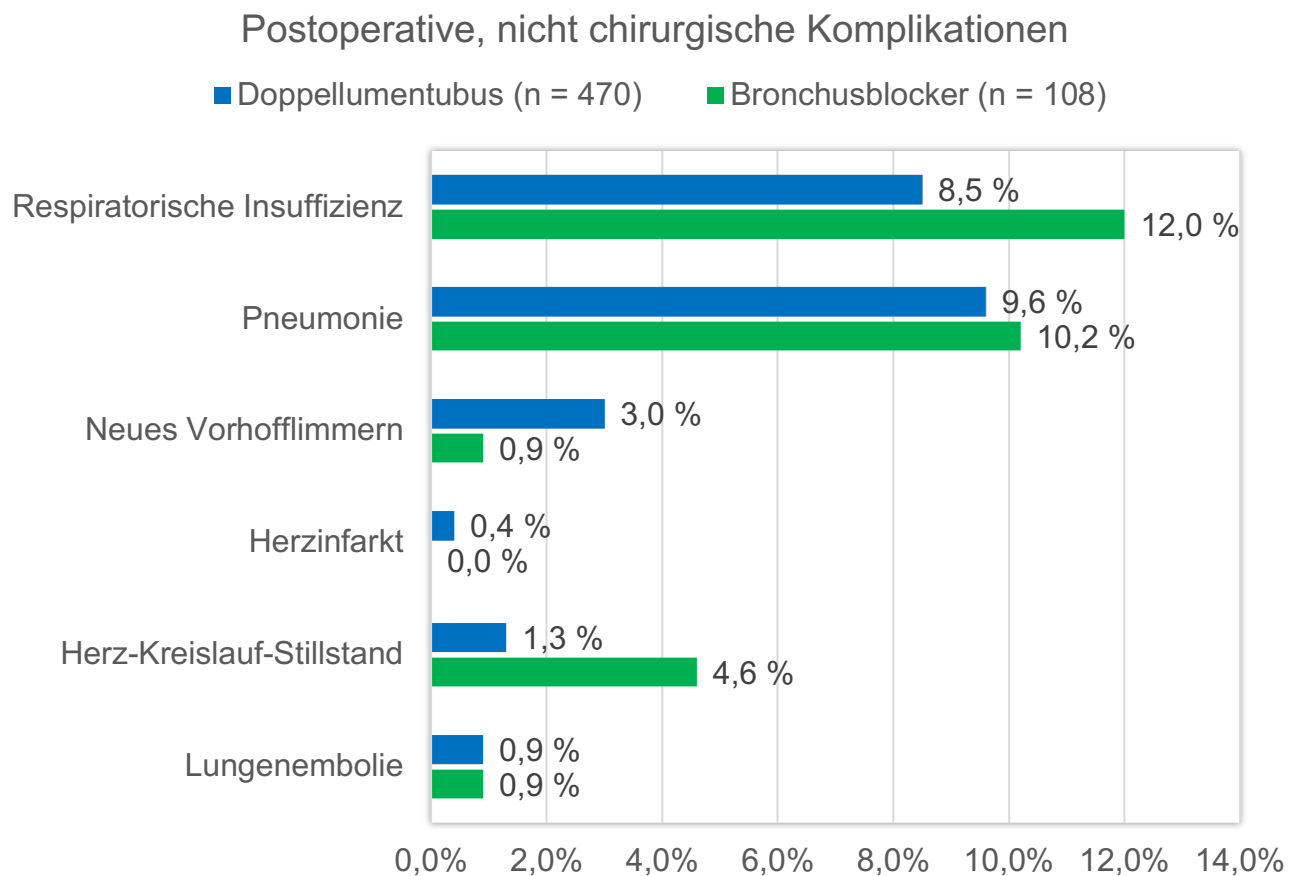


Abb. 16: Postoperative, nicht-chirurgische Komplikationen im Vergleich von DLT und BB. Werte in Prozent.

3.6.3 Herz-Kreislaufstillstand

Die weitergehende Analyse ergab, dass der Herz-Kreislaufstillstand als Komplikation in der ASA-Gruppe 5 signifikant häufiger auftrat als bei Patienten mit ASA-Score 2 ($p = 0,016$).

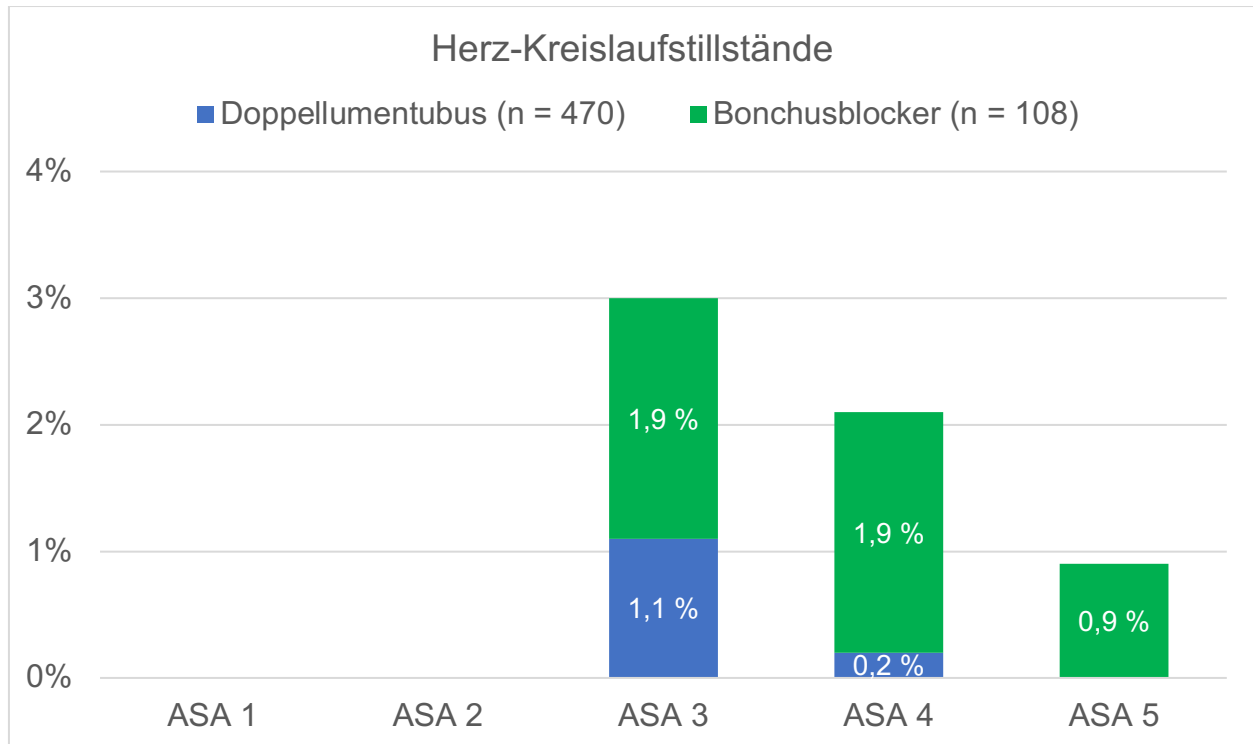


Abb. 17: Herz-Kreislaufstillstände nach ASA-Score und Atemwegszugang. Werte in Prozent.

3.6.4 Maßnahmen

Die postoperativen Maßnahmen, mit denen dem Auftreten von postoperativen Komplikationen begegnet wurde, unterschieden sich in den Studiengruppen nicht signifikant. In der DLT-Gruppe wurden neun Patienten (1,9 %) reanimiert, obwohl in den postoperativen, kardialen Komplikationen nur sechs Herz-Kreislauf-Stillstände dokumentiert wurden.

Tab. 9: Maßnahmen bezüglich der Komplikationen.

	ELV (n = 578)	DLT (n = 470)	BB (n= 108)	p-Wert
Ungeplante ITS-Aufnahme	28 (4,8 %)	23 (4,9 %)	5 (4,6 %)	0,908
NIV	38 (6,6 %)	32 (6,8 %)	6 (5,6 %)	0,636
Re-Intubation	34 (5,9 %)	27 (5,7 %)	7 (6,5 %)	0,769
ECMO	1 (0,2 %)	1 (0,2 %)	0 (0 %)	1,00
Reanimation	14 (2,4 %)	9 (1,9 %)	5 (4,6 %)	0,325

Werte in Anzahl (Prozent). NIV = nicht-invasive Ventilation, ECMO = extracorporeal mechanic oxygenation.

4 DISKUSSION

4.1 Übersicht

Der Bronchusblocker gilt im Vergleich zum Doppellumentubus als gleichwertiges Mittel zur Separation der Atemwege im Rahmen einer Einlungenventilation. Klare Hinweise für die Überlegenheit eines der beiden Verfahren gibt es bisher jedoch nicht [80].

Es existieren viele Studien, die sich mit der postoperativen Intensivpflichtigkeit und insbesondere mit postoperativen pulmonalen sowie kardialen Komplikationen nach thoraxchirurgischen Eingriffen beschäftigt haben. Ein möglicher Einfluss des verwendeten Mittels zur Atemwegsseparation, namentlich eines Doppellumentubus oder eines Bronchusblockers auf die postoperative Intensivpflichtigkeit oder das Vorkommen von postoperativen pulmonalen oder kardialen Komplikationen ist bisher erst in wenigen Studien untersucht worden [60, 67, 81, 82].

Dementsprechend war das Ziel dieser Dissertationsschrift die Einschätzung, inwieweit die Wahl eines Doppellumentubus oder eines Bronchusblockers als Mittel zur Herstellung einer Einlungenventilation einen Einfluss auf die postoperative Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit sowie von Komplikationen haben könnte.

Dabei bestand die angewandte Methodik in der vorliegenden Arbeit in der Auswertung der Daten von 578 Patienten, die sich im Zeitraum von Januar 2017 bis Dezember 2019 an der thoraxchirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Magdeburg einer Operation unter Anwendung einer Einlungenventilation unterzogen haben. Die Datenerhebung erfolgte im Vorhinein unter Anwendung des Deutschen Thoraxregisters.

4.2 Postoperative Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit

Unabhängig von der Art des gewählten Atemweges zur Lungenseparation ist die Verlegungsrate auf Intensivstationen nach thoraxchirurgischen Operationen hoch. Eine Umfrage unter anästhesiologischen Chefarzten ergab, dass die postoperative Intensivverlegungsrate thoraxchirurgischer Patienten von den Versorgungsmöglichkeiten des jeweiligen Zentrums abhängig ist. Universitätskliniken hatten dabei insgesamt eine geringere Verlegungsrate als Kliniken niedriger Versorgungsstufen, in denen nahezu jeder Patient postoperativ auf die ITS verlegt wurde [26]. Intensivverlegungen spielen also im thoraxchirurgischen Alltag eine wichtige Rolle. Für die weitere Analyse ist es daher sinnvoll, zwischen geplanten (elektiven) und ungeplanten ITS-Verlegungen, die meist im Rahmen von postoperativen Komplikationen nötig werden, zu unterscheiden. Letztere werden gesondert im Kapitel Komplikationen diskutiert (Vgl. Kap. 4.3.3).

4.2.1 Postoperatives Verlegungsziel

In der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass Patienten der BB-Studiengruppe mit 57 % wesentlich häufiger postoperativ auf die ITS verlegt wurden als Patienten der DLT-Studiengruppe mit 36 %. Darüber hinaus wurden die Patienten, die intraoperativ einen Bronchusblocker erhalten haben, in 70 % der Fälle intubiert auf die Intensivstation verlegt, während dies bei Patienten der DLT-Studiengruppe in nur 40 % der Fälle war.

Im Vergleich dazu berichten Wang *et al.* in ihrer aktuellen Publikation einer großen, vergleichbaren Kohortenstudie unter taiwanesischen Patienten, dass Patienten mit Bronchusblocker mit einem Prozentsatz von 45 % der Fälle signifikant häufiger postoperativ auf die ITS verlegt wurden als Patienten mit Doppellumentubus (40 % der Fälle) [81]. Die Untersuchungen von Wang *et al.* bestätigen also unser Ergebnis der vermehrten ITS-Verlegungen von thoraxchirurgischen Patienten der BB-Studiengruppe. Die Begründung dieser signifikanten Differenz sehen die Autoren unter anderem darin, dass Anästhesisten den Bronchusblocker bei Patienten mit starken Komorbiditäten bevorzugen würden. Da der BB im Vergleich zu DLT neben einem geringeren Atemwegstrauma zusätzlich die nötige Umintubation überflüssig mache, würden die Patienten so von einer kürzeren Erholungsphase profitieren [81].

Die Vermutung von Wang *et al.*, Patienten mit mehreren Komorbiditäten würden eher einen Bronchusblocker erhalten, lassen sich durch unsere Ergebnisse bestätigen.

4.2.2 Komorbiditäten

ASA-Score

Da wir in unserer Studie keine genauen Vorerkrankungen oder Komorbiditäten erhoben haben, wurde der ASA-Score, welcher ein Maß für die körperliche Gesundheit des Patienten darstellt und im anästhesiologischen Alltag nach wie vor eine wichtige Rolle spielt, als Alternative herangezogen (Abb. 18). Tatsächlich ergab die Analyse unserer Daten, dass in der BB-Studiengruppe signifikant mehr Patienten mit einem ASA-Score 4 (schwer kranker Patient mit konstanter Lebensbedrohung) vertreten waren. Dieses Ergebnis wird durch die Untersuchungen von Pieretti *et al.* gestützt, welche einen hohen ASA-Score als Risikofaktor für eine nötige postoperative Intensivtherapie nach Lungenresektionen identifizierten [83]. Aktuelle Literatur von Langiano *et al.* und Risse *et al.*, in der ebenfalls Untersuchungen zum Vergleich von Doppellumentubus und Bronchusblocker angestellt wurden, zeigen allerdings im Vergleich zu unseren Ergebnissen ein umgekehrtes Bild.

Kategorie	Körperlicher Status
ASA I	normaler gesunder Patient
ASA II	Patient mit milder systemischer Erkrankung
ASA III	Patient mit schwerer systemischer Erkrankung
ASA IV	Patient mit schwerer systemischer Erkrankung, die eine konstante Bedrohung für das Leben darstellt
ASA V	moribunder Patient, der ohne operativen Eingriff voraussichtlich nicht überleben wird

Abb. 18: ASA-Score nach American Society of Anaesthesiologists (übersetzt nach [84]).

So wurde in beiden Studien bei Patienten mit einem ASA-Score von 4 der DLT häufiger verwendet. Darüber hinaus lag die Rate an Patienten mit einem ASA-Score von 4 immer unter 10 % [24, 36]. Im Gegensatz dazu lag die Anzahl der als ASA 3 klassifizierten

Patienten in Studien von Risse *et al.* und Kozower *et al.* mit ungefähr 10 Prozentpunkten deutlich über unseren Ergebnissen [36, 85].

Eine Erklärung für diese Differenzen könnte sein, dass die Einordnung des Patienten in die ASA-Klassifikation durch den behandelnden Arzt individuell unterschiedlich eingeschätzt wird. Diese These würde eine Studie von Curatolo *et al.* stützen: Die Autoren wiesen in Ihren Untersuchungen nach, dass Ärzte chirurgischer Disziplinen den ASA-Score von Patienten regelhaft zu niedrig klassifizieren [86]. Darüber hinaus konnte eine ältere Publikation von Haynes *et al.*, in der 10 verschiedenen Patientenfälle durch 113 Anästhesisten in den entsprechenden ASA-Score eingeordnet werden sollten, zeigen, dass die Entscheidungen zwar eine klare Tendenz zeigten, es jedoch keinen einzigen Patientenfall gab, in der sich alle Teilnehmenden über den ASA-Score einig waren [87].

In den Untersuchungen von Wang *et al.* wurde allerdings der *Charlson Comorbidity Index* (CCI), der zur Abschätzung einer 10-Jahres-Mortalität verwendet werden kann, zur Beschreibung der körperlichen Gesundheit der Patienten verwendet. Ähnlich unseren Ergebnissen hatten Patienten der BB-Studiengruppe dabei einen signifikant höheren CCI. Für unsere Studie ergibt sich somit die Schlussfolgerung, dass der ASA-Score die körperliche Verfassung des Patienten gut abbildet und als Maß für Komorbiditäten und Vorerkrankungen dienen kann. Allerdings lässt sich der ASA-Score mit unseren Ergebnissen nicht als direkter Einflussfaktor für eine höhere Rate an Intensivverlegungen in der BB-Gruppe bestätigen.

Beatmungsparameter

Vielmehr könnte die hohe Rate an postoperativen ITS-Verlegungen der BB-Studiengruppe durch andere von uns erhobene anästhesiologische Daten erklärt werden. Neben dem ASA-Score waren intraoperativ die Werte der durchschnittlichen sowie der niedrigsten fraktionierten, inspiratorischen Sauerstofffraktion (FiO_2) im Vergleich zur DLT-Studiengruppe erhöht.

Während der druckkontrollierten Ventilation (*pressure controlled ventilation*, PCV), welche meistens im Rahmen der klassischen Einlungenventilation (ELV) beziehungsweise der lungenprotektiven Ventilation (LPV) verwendet wird, beruht die Einstellung der FiO_2 in unserem Hause auf Basis der pulsoximetrisch gemessenen, peripheren Sättigung und

der Blutgasanalyse (BGA) des Patienten. Darüber hinaus stellen das Tidalvolumen (V_T) und die PEEP in der klassischen ELV und LPV wichtige Parameter dar (Vgl. Kap. 1.2). Die höher eingestellten FiO_2 -Werte könnten also auf vermehrte pulmonale Störungen, eventuell sogar vermehrte Hypoxämien (periphere Sauerstoffsättigung, $SpO_2 < 90 \%$) in der BB-Studiengruppe hinweisen. Intraoperative Hypoxämien korrelieren dabei mit dem vermehrten Auftreten von postoperativen Komplikationen. In dieser Hinsicht zeigten Kazan *et al.*, dass Hypoxämien im Rahmen thoraxchirurgischer Eingriffe unter ELV mit einem höheren Risiko für Vorhofflimmern (VHF), Pneumonien und einer respiratorischen Insuffizienz assoziiert waren [88]. Zusätzlich konnte durch Okahara *et al.* ein hoch eingestellter FiO_2 als unabhängiger Risikofaktor für das Auftreten von PPK identifiziert werden [89]. Diese Resultate könnten somit mitbedeutend für die höhere Intensivverlegungsrate der BB-Studiengruppe gewesen sein. Gleichzeitig stellt sich die Frage, ob die Anwendung des Bronchusblockers zu schlechteren Sauerstoffsättigungen im Blut des Patienten führen könnte. Dahingehend ergab eine aktuelle Metaanalyse von Palaczynski *et al.*, dass intraoperative Hypoxämien mit 13 % in den DLT-Studiengruppen häufiger als in den BB-Studiengruppen mit 6 % auftraten [37]. Da wir nicht über intraoperativen Daten des SpO_2 verfügen und sich zusätzlich keine Unterschiede in der präoperativen Lungenfunktionstestung der beiden Studiengruppen zeigten (Vgl. Tab. 2), können wir an dieser Stelle keine Verbindung zwischen dem Mittel zur Atemwegsseparation und dem vermehrten Auftreten von Hypoxämien zeigen. Darüber hinaus zeigten die oben genannten, von Kazan *et al.* [88] identifizierten Komplikationen in unseren Untersuchungen in den beiden Studiengruppen keine Differenzen.

Transfusion

Die in unseren Untersuchungen gezeigte, signifikant höhere intraoperative Verwendung von Vasopressoren sowie Blutersatzprodukten wie Erythrozytenkonzentraten (EK), Thrombozytenkonzentraten (TK) und Plasmakonzentraten (*fresh frozen plasma*, FFP) in der BB-Studiengruppe lässt ebenfalls vermuten, dass diese Patienten insgesamt schwerer erkrankt waren beziehungsweise sich Operationen mit einem erhöhten Risiko unterzogen haben. Insofern könnte dies eine Erklärung für die höhere Rate an postoperativen Intensivverlegungen sowie die höhere Rate an intubiert verlegten Patienten liefern. Diese Vermutung wird durch eine große Kohortenstudie von Cywinski

et al. bestätigt, in der unter 2068 Patienten mit offenen Lungenresektionen, eine intraoperativ nötige Bluttransfusion als Risikofaktor für eine über das OP-Ende hinaus gehende Beatmung identifiziert wurde [90].

Präoperative Infektsituation

Die präoperativ erhöhten CRP-Werte der BB-Studiengruppe sowie die im Vergleich zur DLT-Studiengruppe leicht erhöhte Neigung zu respiratorischen Infekten würde die These, dass insgesamt schwerer erkrankte Patienten einen BB erhalten, unterstreichen.

Notfallindikation

Die Studienergebnisse zeigten, dass Operationen, die unter Anwendung des Bronchusblockers stattfanden, signifikant häufiger als Notfallindikationen gelistet waren. In Anbetracht der Tatsache, dass der betreuende Anästhesist in der Regel vor seinem ersten Patientenkontakt über eine OP mit Notfallindikation oder mit offen-chirurgischem Verfahren in Kenntnis gesetzt wird, scheint sich dieser in genannten Fällen eher für den Bronchusblocker zu entscheiden. Dazu passt auch das bereits diskutierte Ergebnis bezüglich des ASA-Scores. Dahingehend zeigte aktuelle Literatur von Mehta *et al.*, dass unter anderem ein hoher ASA-Status die Chance, thorakoskopisch operiert zu werden, senkt. Gleichzeitig war das offen-chirurgische Vorgehen bei Lobektomien und Segmentektomien in Hinblick auf die Mortalität, die Dauer des Krankenhausaufenthaltes sowie auf Komplikationen mit einem schlechteren Outcome assoziiert [91]. Diese Studie würde also wiederum die These stützen, dass eher die Komorbiditäten des Patienten für die hohen Intensivverlegungen verantwortlich sind und weniger die Anwendung des Bronchusblockers.

4.2.3 Verfahrensspezifische Faktoren

Indikationen

Zusätzlich zu den bereits genannten Einflussfaktoren könnten auch die Indikationen des Bronchusblockers, beispielsweise die Anwendung bei bereits intubierten Patienten sowie im Falle eines schwierigen Atemweges, mitverantwortlich für eine höhere Rate an Intensivverlegungen der BB-Studiengruppe gewesen sein. So werden ITS-Patienten im Falle einer OP-Indikation beatmet in den OP und anschließend wieder zurück auf die ITS verlegt. Ein schwieriger Atemweg kann verschiedene Komplikationen zur Folge haben.

Umintubation

Die Nutzung eines Doppellumentubus bedingt, dass Patienten, die postoperativ auf die Intensivstation verlegt werden sollen, umintubiert werden müssen. Diese Maßnahme, bei der der intraoperativ notwendige und genutzte Doppellumentubus durch einen konventionellen Monolumentubus ausgetauscht werden muss, stellt ein Risiko für den Patienten dar [92]. Zur Minimierung von Komplikationen werden dabei spezielle Führungsstäbe, sogenannte Cook-Stäbe (*airway exchange catheter*, AEC), verwendet. Dabei konnte in den Studien von McLean *et al.* bei der Umintubation von DLT auf MLT mittels eines AEC kein einziger fehlgeschlagener Umintubationsversuch verzeichnet werden [93]. Neben diesem potenziellen Risiko kann die Umintubation eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen und womöglich einen stringent geplanten OP-Saalplan aus dem Takt bringen. In der Studie von Suzuki *et al.* wurde für die Umintubation von DLT auf MLT ein mittlerer Zeitwert von 106 Sekunden gemessen [94]. Die Anlage eines Bronchusblockers könnte also einen zeitlichen Vorteil darstellen, da dieser einerseits postoperativ einfacher entfernt werden kann und somit andererseits der gesicherte Atemweg und die Oxygenierung des Patienten nicht gefährdet wird. Der Patient kann nahtlos und intubiert auf die ITS verbracht werden. Das Risiko der Umintubation und die potenzielle Zeitersparnis könnte somit einen Grund darstellen, wieso Patienten mit im Vorhinein bereits geplanter ITS-Aufnahme, eher einen Bronchusblocker als einen Doppellumentubus zur Atemwegsseparation erhalten.

4.2.4 Dauer des Intensiv Aufenthaltes und Beatmungszeit

Unsere Untersuchungen zeigten, dass Patienten der BB-Studiengruppe im Median nach zwei Tagen Aufenthalt und 11 Stunden Beatmungszeit von der ITS entlassen werden konnten, Patienten der DLT-Studiengruppe nach einem Tag und 5 Stunden Beatmungszeit. Lediglich das Ergebnis der Beatmungszeit war dabei signifikant unterschiedlich, die Aufenthaltsdauer hingegen nur knapp.

Hinsichtlich unserer Fragestellung ist verfügbare Literatur zur Dauer des Intensiv Aufenthaltes nach thoraxchirurgischen Operationen selten. In einer aktuellen Untersuchung von Granell *et al.* zeigte sich im Vergleich zweier verschiedener DLT, dass die postoperative Intensivdauer zwischen 1,3 und 1,4 Tagen schwankte. Angaben über die Beatmungsdauer machten die Autoren nicht [95]. Daten einer großen Kohortenstudie mit taiwanesischen Patienten, welche von Yu *et al.* durchgeführt wurde, zeigten ein ähnliches Bild. Patienten der DLT- sowie der BB-Studiengruppe waren postoperativ im Median ein Tag auf der Intensivstation und wurden dort auch jeweils für ein Tag beatmet. Eine Angabe der Beatmungsdauer in Stunden erfolgt jedoch nicht [75]. In der oben bereits erwähnten Kohortenstudie von Wang *et al.* zeigte sich, dass Patienten der DLT-Studiengruppe mit 0,45 Tagen kürzer auf der Intensivstation waren als Patienten der BB-Studiengruppe mit 0,52 Tagen.

Während der Datenerhebung achteten wir betreffend der postoperativen Intensiv- und Beatmungsparameter auf eine möglichst genaue Datenerhebung. Da das Eingabeportal des Deutschen Thoraxregisters hinsichtlich der Intensivtage auch die Anzahl 0 zuließ, zählten wir einen vollen Tag auf der Intensivstation, sobald der Patient mindestens eine Nacht auf dieser verblieb. Eine Verlegung am Tag der Aufnahme wurde dementsprechend mit einer 0 gekennzeichnet. Bezüglich der Beatmungsstunden sieht das Deutsche Thoraxregister die Eintragung inklusive Stunden mit nicht-invasiver Ventilation (NIV) vor. Diese definierten wir aufgrund unvollständiger Handlungsanweisungen seitens des Deutschen Thoraxregisters als High-Flow-O₂-Therapie sowie am Beatmungsgerät eingestellten *continuous positive airway pressure*-Modus (CPAP). Folgend wurden die Beatmungsstunden anhand der elektronischen Intensivkurve händisch ausgezählt, weshalb wir nun über sehr genaue Daten hinsichtlich der Beatmungsdauer verfügen.

Sowohl die Untersuchungen von Wang *et al.* als auch von Yu *et al.* stellen große retrospektive Kohortenanalysen mit mehreren tausend eingeschlossenen taiwanesischen Patienten dar. Im Hinblick auf die Vergleichbarkeit unserer Ergebnisse mit der Studie von Wang *et al.* ergeben sich zwei problematische Punkte: Erstens machen die Autoren hinsichtlich des postoperative Intensivaufenthaltes keine Angaben über die Einheit ihres Ergebnisses. So wird der postoperativen Intensivaufenthalt in der BB-Gruppe lediglich mit 0,52 und für die DLT-Gruppe mit 0,45 angegeben. Notwendigerweise interpretieren wir diese Zahlen als Angabe in Tagen. Zweitens ergeben sich im Vergleich von Tabellen und schriftlichen Ergebnissen Unklarheiten, da Aussagen zum Intensivaufenthalt teilweise nicht übereinstimmen [81]. Dies lässt Zweifel an der Wissenschaftlichkeit der Studie aufkommen. Im Falle einer richtigen Deutung wären die Intensivaufenthalte in den Untersuchungen von Wang *et al.* in beiden Studiengruppen mit ungefähr 0,5 Tagen (12 h) ähnlich und im Vergleich zu unseren Ergebnissen, insbesondere in der BB-Studiengruppe, deutlich kürzer. Diese Differenz könnte Ergebnis einer deutlich höheren Verwendungsrate des Bronchusblockers in taiwanesischen Kliniken sein. So geben Wang *et al.* an, dass diese im Jahr 2016 bei 11,3 % lag, wohingegen in deutschen Kliniken Verwendungsraten von lediglich 2,8 % üblich waren [81]. Die geringeren Intensivaufenthalte könnten somit Ausdruck besserer Erfahrungswerte im postoperativen Umgang mit BB-Patienten in Taiwan sein.

In der von Yu *et al.* durchgeführten Studie geben die Autoren die Dauer des Intensivaufenthaltes in Tagen inklusive des Interquartilabstandes an. Für die DLT-Gruppe ergab sich dabei 1 (0–3) Tag und für die BB-Gruppe 1 (0–4) Tage, welches in der Untersuchung einen signifikanten Unterschied darstellt [75]. Somit bestätigen unsere Daten die längere Intensivaufenthaltsdauer von Patienten der BB-Studiengruppe. Die Untersuchungen von Granell *et al.* ergaben, basierend auf einer retrospektiven Analyse von 100 Patienten, lediglich für zwei verschiedene Doppellumentuben Intensivaufenthalte zwischen 1,3 und 1,4 Tagen und sind somit mit unseren Ergebnissen vergleichbar [95]. Zusammenfassend sind unsere Studienergebnisse nur bedingt mit denen von bereits vorhandener Literatur zum Thema vergleichbar. Da diese einerseits in sehr geringer Anzahl vorhanden ist und andererseits teilweise mit wissenschaftlichen Bedenken einhergehen, bedarf es dringend weiterer Untersuchungen zu diesem Thema.

4.3 Postoperative Komplikationen

4.3.1 Postoperative, pulmonale Komplikationen (PPK)

Die vorliegende Studie zeigt, dass pulmonale Komplikationen, zu denen wir die respiratorische Insuffizienz und die Pneumonie zählten, postoperativ in der BB-Studiengruppe etwas häufiger auftraten (DLT 18,0 % vs. BB 21,3 %). Das Ergebnis wurde jedoch nicht signifikant. Im Vergleich der beiden Studiengruppen ergab sich weder bei der respiratorischen Insuffizienz (DLT 8,5 % vs. BB 12 %) noch bei der Pneumonie (DLT 9,6 % vs. BB 10,2 %) eine unterschiedliche Verteilung.

Im Hinblick auf eine aktuelle Publikation von Liu *et al.*, in der das Auftreten von PPK unter operierten Lungenkrebspatienten untersucht wurde, zeigten sich hingegen in der DLT-Gruppe wesentlich höhere Inzidenzen an PPK (DLT 38 % vs. BB 25 %). Der respiratorische Infekt kam mit 14 % in der BB-Gruppe wesentlich seltener vor als in der DLT-Gruppe mit 30 %. Die Rate an postoperativen respiratorischen Insuffizienzen war mit < 1 % in beiden Studiengruppen sehr niedrig [60]. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Zheng *et al.* im Rahmen einer randomisierten kontrollierten Studie unter Tuberkulosepatienten, in welcher der postoperative respiratorische Infekt innerhalb einer Woche nach Operation in der BB-Studiengruppe wesentlich seltener vorkam (DLT 15 % vs. BB 3 %) [82].

Die Differenz der Gesamtinzidenzen von PPK bei Liu *et al.* von 31,9 % und uns mit 18,9 % erklärt sich unter anderem dadurch, dass die Autoren weit mehr pulmonale Komplikationen in ihre Analyse einschlossen. Während wir die Pneumonie und die respiratorische Insuffizienz analysierten, bezogen Liu *et al.* zusätzlich zur respiratorischen Insuffizienz den respiratorischen Infekt, den Bronchospasmus, den Pleuraerguss sowie die Atelektase in ihre Analyse ein. Eine Gemeinsamkeit von unserer Studie und den Untersuchungen von Liu *et al.* stellt die Erhebung des ASA-Scores dar. Interessant ist in den Studien von Liu *et al.*, dass in der BB-Gruppe signifikant mehr Patienten mit dem ASA-Score 1 und 2 und in der DLT-Gruppe mehr Patienten mit ASA-Score 3 und 4 vertreten waren. Im Vergleich zu unserer Studie ist die Verteilung des ASA-Score über die Studiengruppen also genau umgekehrt. Unsere Ergebnisse sind zwar nicht statistisch signifikant, allerdings traten sowohl die Pneumonie als auch die respiratorische Insuffizienz in der BB-Gruppe, in der in unserer Studie ein signifikant höherer Anteil an

ASA 4 vertreten war, insgesamt häufiger auf. Da die PPK also abhängig von der ASA-Verteilung aufzutreten scheinen, können wir das Ergebnis von Liu *et al.*, der ASA-Score sei ein unabhängiger Risikofaktor für PPK, stützen [60]. Im Kontrast dazu stehen einerseits die Untersuchungen von Zheng *et al.*, deren Patientenkohorte rein aus Patienten mit ASA-Score 1 und 2 bestand und somit eher auf ein multifaktorielles Geschehen im Auftreten von PPK hindeutet [82]. Andererseits ergab eine der ersten Arbeiten auf Basis von Daten des Deutschen Thoraxregisters von Kaufmann *et al.*, dass bei Lungenkrebspatienten bezüglich eines ASA-Score ≥ 3 kein Einfluss auf das Auftreten von postoperativen, pulmonalen Komplikationen nachgewiesen werden konnte [78].

Respiratorische Insuffizienz

Unsere Studie ergab, dass im Vergleich der beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der respiratorischen Insuffizienz bestehen. Dennoch ist die Differenz der Inzidenzen zu den Untersuchungen von Liu *et al.* [60] interessant.

Liu *et al.* geben die von ihnen erhobene Rate der postoperativen respiratorischen Insuffizienz mit Inzidenzen von 0,7 % in der DLT-Gruppe und 0,4 % in der BB-Gruppe an. Da sie keinen statistisch signifikanten Unterschied feststellen konnten, trafen die Autoren hinsichtlich dieses Ergebnisses keine differenzierte Aussage [60]. Dies ist insofern verwunderlich, da sie ausführen, die gleiche Aufstellung an PPK zu verwenden, wie sie auch in der ARISCAT-Studie [48] beschrieben wurden. In der von Canet *et al.* durchgeführten ARISCAT-Studie, welche vor allem Daten von orthopädischen und allgemeinchirurgischen Patienten auswertete und sieben Risikofaktoren für das Auftreten von PPK definierte, war die respiratorische Insuffizienz mit 4,7 % die häufigste PPK. Dabei waren thoraxchirurgische Patienten allerdings nur mit einem Anteil von 1,2 % vertreten [48]. Insofern stellt sich die Frage, wie die respiratorische Insuffizienz in den Untersuchungen von Liu *et al.* bei einem rein thoraxchirurgischen Patientenkollektiv so niedrig ausgefallen sein kann. Obwohl in der Studie von Liu *et al.* höhere Stichproben zur Verfügung standen, erscheinen unsere Ergebnisse, mit Inzidenzen von ca. 10 % in beiden Studiengruppen, wesentlich plausibler. Zusätzlich stützen sie die Ergebnisse von Yu *et al.*, die kürzlich bei Patienten mit BB ein deutlich erhöhtes Risiko für Wiederaufnahmen durch eine respiratorische Insuffizienz innerhalb des ersten postoperativen Jahres feststellten [75].

Pneumonie

In unseren Untersuchungen zeigte sich hinsichtlich der postoperativen Pneumonie weder der Doppellumentubus noch der Bronchusblocker als möglicher Einflussfaktor. In beiden Studiengruppen trat die Pneumonie in ungefähr 10 % der Fälle auf.

Für den Vergleich zu den oben bereits genannten Studien ergibt sich ein Problem der Definitionen. Während wir die postoperative Pneumonie gemäß der Verfahrensanweisungen des deutschen Thoraxregisters (neu aufgetretenes pulmonales Infiltrat, steigende Infektparameter, eitriger Auswurf, steigender Sauerstoffbedarf und/oder Notwendigkeit einer antibiotischen Therapie aufgrund eines respiratorischen Infekts') definierten [96], werteten Liu *et al.* die respiratorische Infektion aus. Diese diagnostizierten die Autoren, wenn der Patient mindestens ein Kriterium erfüllte (neues oder sich vergrößerndes pulmonales Infiltrat, verändertes Sputum, Fieber, Leukozytose) und dabei zusätzlich mit Antibiotika behandelt werden musste [60]. Zheng *et al.* und Yu *et al.* analysierten wiederum die pulmonale Infektion, welche Zheng *et al.* nicht näher definierten. Yu *et al.* verwendeten die ICD-9-Klassifikation, fassten unter der pulmonalen Infektion jedoch die Pneumonie, das Empyem sowie den Lungen- und Mediastinalabszess zusammen [75, 82].

Da sich unsere Definition somit stark mit der von Liu *et al.* ähnelt, ist die Vergleichbarkeit der beiden Studien bezüglich dieser Komplikationen, trotz unterschiedlicher Benennung, gewährleistet. Dabei zeigt ein Blick auf die Ergebnisse von Liu *et al.*, dass die respiratorische Infektion nach Anwendung eines DLT doppelt so häufig vorkam wie nach Anwendung eines BB [60]. Unsere, im Vergleich niedrigen Inzidenzen für eine postoperative Pneumonie könnten somit einerseits als Indikator für ein gutes postoperatives stationäres Management am Universitätsklinikum Magdeburg sprechen. Andererseits wären die Ergebnisse auch durch die Zusammensetzung der Studienpopulation erklärbar. Während Liu *et al.* eine Kohorte untersuchte, deren Patienten sich ausnahmslos lungenresezierenden Eingriffen unterzogen haben, untersuchten wir eine heterogene Studienpopulation, bei denen alle Arten von thoraxchirurgischen Operationen durchgeführt wurden (Abb. 11). Letztendlich lässt sich die Schlussfolgerung der betrachteten Studien, dass der Nutzen des Bronchusblockers mit einer geringeren Inzidenz von PPK einhergehe und somit dem DLT überlegen sei, mit den von uns erhobenen Daten nicht bestätigen.

4.3.2 Postoperative, kardiale Komplikationen (PKK)

In der vorliegenden Studie untersuchten wir unsere Patientenkohorte auf das postoperative Auftreten von vier verschiedenen kardialen Komplikationen, wobei wir das Vorhofflimmern, den Herzinfarkt, den Herz-Kreislaufstillstand und die Lungenembolie auswerteten. Dabei ergab die statistische Analyse, dass in der DLT-Studiengruppe insgesamt 26 Patienten (5,1 %) und in der BB-Studiengruppe 7 Patienten (6,5 %) eine PKK entwickelten. Im direkten Vergleich der beiden Studiengruppen ergaben sich dabei also keine signifikanten Differenzen. Allerdings traten somit in beiden Studiengruppen insgesamt höhere Inzidenzen an PKK auf als in vergleichbaren Studien, die sich mit PKK nach lungenresezierenden Eingriffen beschäftigten. In einer interessanten Studie von Brunelli *et al.*, in der die Anwendung eines überarbeiteten kardiologischen Risikoindex (ThRCRI) für die präoperative kardiologische Evaluation geprüft wurde, ergab sich eine Rate an PKK von 3,3 % [62]. Diese im Vergleich zu unseren Ergebnissen um ungefähr 2 % verminderte Rate könnte sich dadurch erklären, dass in der genannten Studie jeder Patient eine ausführliche präoperative, kardiologische Risikoabschätzung durch einen Experten erhielt. Insgesamt ist die Studie allerdings nur bedingt mit unseren Ergebnissen vergleichbar, da in die Auswertung nur schwerste kardiologische Komplikationen wie den akuten Myokardinfarkt, das Lungenödem, Kammerflimmern, den kompletten Herzblock sowie kardial bedingten Todesfälle miteinbezogen wurden. Die häufigste kardiale Komplikation nach thoraxchirurgischen Eingriffen, das postoperative Vorhofflimmern, ist beispielsweise nicht betrachtet worden. Trotzdem wäre es vorstellbar, dass die Durchführung einer präoperativen kardiologischen Risikoevaluation die Rate an PKK auch am Universitätsklinikum Magdeburg in beiden Studiengruppen senken könnte. Der positive Nutzen des ThRCRI ist dabei beispielsweise in Arbeiten von Ferguson *et al.* bestätigt und validiert worden [97, 98].

Vorhofflimmern

Das neu aufgetretene Vorhofflimmern (VHF) trat in der Gesamtkohorte (ELV-Gruppe) mit einer Inzidenz von 2,6 % auf. Dies unterschreitet die Werte der vorhandenen Literatur deutlich, welche das VHF nach thoraxchirurgischen Operationen mit Werten zwischen 9,9 % und 21 % beschreibt [45, 65, 99]. Hinsichtlich unserer Fragestellung fanden wir in der vorliegenden Studie jedoch keine Hinweise, dass die Lungenseparation durch DLT oder BB einen Einfluss auf das Auftreten eines postoperativen Vorhofflimmerns haben könnte. Die nicht signifikante, im Vergleich zur BB-Studiengruppe jedoch leicht erhöhte Rate von 3 % in der DLT-Studiengruppe könnte sich durch ein vermehrtes Auftreten von intraoperativen Hypoxämien erklären, die Kazan *et al.* als Risikofaktor für ein postoperatives Vorhofflimmern identifizierten [88].

Myokardinfarkt

Der Myokardinfarkt zeigte in den Studiengruppen keine signifikant unterschiedliche Verteilung. Insgesamt erlitten lediglich zwei Patienten (0,4 %) der DLT-Gruppe einen Myokardinfarkt. Diese Anzahl ist mit den Angaben vorhandener Literatur vergleichbar, in der bei thoraxchirurgischen Patienten Inzidenzen zwischen 0,3 % und 0,7 % zu finden sind [85, 99, 100].

Herz-Kreislaufstillstand

Der postoperative Herz-Kreislaufstillstand stellt die einzige kardiale Komplikation dar, die im Vergleich der beiden Studiengruppen signifikante Unterschiede zeigte. In der DLT-Gruppe trat diese Komplikation bei 1,3 % und in der BB-Gruppe 4,9 % der Patienten auf. Grundsätzlich können Herz-Kreislaufstillstände verschiedenste Ursachen haben. Im Hinblick auf die von uns ausgewerteten Daten fanden wir in einer weitergehenden Analyse, dass insbesondere Patienten mit einem ASA-Score von 4 einen Herz-Kreislaufstillstand erlitten haben. Die erhöhte Rate an Herz-Kreislaufstillständen in der BB-Studiengruppe, in der wir einen signifikant höheren Anteil an Patienten mit höherem ASA-Score feststellten, könnte somit erneut als Ausdruck eines Patientenkollektivs mit verschiedenen schweren Vorerkrankungen und Komorbiditäten verstanden werden, welches weiter oben in der Diskussion zum Thema Intensivpflichtigkeit bereits ausführlich dargestellt wurde.

Lungenembolie

Die postoperative Lungenembolie, welche gemäß der EPCO-Definition durch eine CT-Untersuchung bestätigt werden musste, war sehr selten und trat in beiden Studiengruppen bei 0,9 % der Patienten auf. Dieser Wert wird somit durch die Ergebnisse anderer Studien bestätigt, die Lungenembolien nach thoraxchirurgischen Operationen mit Inzidenzen zwischen 0,4 und 1,4 % angeben [97, 99].

4.3.3 Maßnahmen

Die von uns erhobenen Maßnahmen, mit denen dem Auftreten von pulmonalen und kardialen Komplikationen begegnet wurde, zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Studiengruppen. Auffällig ist, dass in der DLT-Gruppe 9 Patienten (1,9 %) reanimiert werden mussten, obwohl bei nur 6 Patienten die Komplikation eines Herz-Kreislaufstillstandes dokumentiert wurde. Aufgrund des retrospektiven Charakters der vorliegenden Studie kann nicht nachvollzogen werden, weshalb diese 3 Patienten reanimationspflichtig geworden sind und wie das letztendliche Outcome gewesen ist.

Ungeplante ITS-Aufnahmen

In unserer Studie konnten wir bezüglich der ungeplanten ITS-Aufnahmen keine Differenzen zwischen den Studiengruppen feststellen. Eine aktuelle Studie von Yang *et al.* konnte jedoch einen Zusammenhang mit der Behandlungsmethode nachweisen: Patienten der BB-Studiengruppe wurden mit 5,6 % im Vergleich zur DLT-Studiengruppe mit 2,6 % signifikant häufiger kurz postoperativ auf die ITS verlegt [74]. Im Hinblick auf zusätzliche Literatur zeigt sich, dass unsere Studiengruppen mit jeweils 4,9 % (DLT) und 4,6 % (BB) ungeplanter ITS-Aufnahmen leicht über dem Niveau von vergleichbaren Studien liegen, welche die Rate ungeplanter ITS-Aufnahmen nach Lungenresektionen zwischen 2,3 und 2,6 % angeben [55, 67, 72].

4.4 Limitationen und Methodendiskussion

4.4.1 Einflussfaktoren auf Aussagekraft und Validität

Schlussendlich stellt sich die Frage, ob unsere Beobachtungen tatsächlich in einem direkten Zusammenhang mit dem jeweils angewandten Beatmungsverfahren stehen oder ob die Ergebnisse der vorliegenden Studie möglicherweise durch einen statistischen Fehler, etwa den sogenannten Stichprobenfehler (*selection bias*), verzerrt worden sein könnten. Der Stichprobenfehler gehört zu den systematischen statistischen Fehlern und tritt beispielsweise dann auf, wenn die untersuchte Stichprobe nicht vollständig auf einer Zufallsverteilung beruht. Dies wäre dann der Fall, wenn beispielsweise die objektiv schwerer Erkrankten Patienten eher den BB als den DLT zur Lungentrennung erhalten hätten.

Für unsere Studie ergeben sich mehrere mögliche Hinweise auf den genannten Bias. So stellten wir Untersuchungen zu zwei verschiedenen Studiengruppen an, in denen die Patienten entweder den Doppellumentubus oder alternativ den Bronchusblocker zur Etablierung einer Einlungenventilation erhielten. Da DLT und BB grundsätzlich zwei gleichwertige Verfahren zur Einstellung einer Einlungenventilation darstellen trifft dabei an erster Stelle der behandelnde Anästhesist klinisch und individuell die Entscheidung, welcher Patient welches Mittel zur Atemwegstrennung erhalten soll. Da somit keine zufällige Zuteilung der Patienten in die Vergleichsgruppen erfolgte, würde hier bereits ein Selektionsbias vorliegen [101]. Die Auswahl beruht dabei insbesondere auf der persönlichen klinischen Erfahrung des Anästhesisten, bestimmten medizinischen Indikationen sowie auf hausüblichen Standards. So finden beide Mittel zur Trennung der Atemwege, wie bereits in Kapitel 1.5 beschrieben, teilweise in unterschiedlichen Bereichen der Thoraxanästhesie und auf Basis verschiedener Patientencharakteristika Anwendung. Hierbei lässt sich beispielsweise die Verwendung des BB bei bereits vorintubierten Patienten nennen, was zumindest in Teilen für die bereits mehrfach geäußerte, aus unseren Daten hervorgehende Beobachtung sprechen könnte, dass insbesondere die schwerer Erkrankten Patienten den BB als Mittel zur Atemwegstrennung erhielten. Dementsprechend wäre also die ebenfalls von uns beobachtete stärkere Inanspruchnahme von Intensivkapazitäten, respektive direkt

postoperative und intubierte Intensivverlegungen, sowie die Tendenz zu vermehrten Komplikationen in der BB-Gruppe erklärbar.

Allerdings stellt eine Tendenz keine signifikanten Ergebnisse dar. Der Fakt, dass sich die Häufigkeit unserer erhobenen respiratorischen und kardialen Komplikationen zwischen den beiden Studiengruppen also nicht signifikant voneinander unterscheiden lässt und wir somit statistisch vergleichbare Ergebnisse fanden, würde somit gegen eine stattgehabte Selektion sprechen. Es wäre denkbar, dass sich die statistischen Unterschiede, im Falle einer stattgehabten Selektion, hinsichtlich der postoperativen Komplikationen noch deutlicher hätten zeigen müssen. In unseren Beobachtungen war der postoperative Herz-Kreislaufstillstand die einzige postoperative Komplikation, die zwischen den beiden Studiengruppen signifikante Unterschiede zeigte und in der BB-Studiengruppe wesentlich häufiger auftrat. Diese Patienten hatten zwar einen höheren ASA-Score, allerdings wird die Aussagekraft deutlich durch die geringe Gesamtanzahl ($n = 11$) der Komplikation gemindert. Insgesamt scheinen die postoperativen Komplikationen also unabhängig von der Wahl des Mittels zur Atemwegsseparation aufzutreten, was wiederum gegen eine stattgehabte Selektion sprechen würde. Allerdings werteten wir in unserer Studie Patientendaten einer universitären thoraxchirurgischen Klinik aus, weshalb im Rahmen des Auftrages der Maximalversorgung in der Regel mit einem ohnehin schwerer vorerkrankten Patientenkontext zu rechnen ist und somit eine weitere Ausweitung des Stichprobenfehlers im Sinne einer Vorselektion denkbar wäre.

4.4.2 Limitationen

Die hier vorliegende Studie hat verschiedene Limitationen. Erstens schränkt der retrospektive Charakter dieser monozentrischen Kohortenanalyse die Übertragbarkeit unserer Ergebnisse auf andere Kliniken ein. Dies liegt insbesondere darin begründet, dass die Ergebnisse durch viele mögliche, nicht besichtigte Störfaktoren verzerrt worden sein könnten. Zweitens konnten aufgrund der retrospektiven Datenerhebung verschiedene Parameter einzelner Patienten in den elektronischen Patientenakten nicht ausfindig gemacht werden. Diese Problematik beruhte dabei meistens auf einer unvollständigen Dokumentation oder auf fehlenden eingescannten Dokumenten. Für unsere Studie resultierte daraus eine teilweise unterschiedliche Anzahl statistisch nutzbarer Patientenfälle für bestimmte Variablen. Drittens waren ausführliche Vorerkrankungen und Komorbiditäten, die sehr wohl einen Einfluss auf die Notwendigkeit einer postoperativen Intensivtherapie beziehungsweise auf das Entstehen postoperativer Komplikationen haben können, nicht Teil der Analyse. Der verwendete ASA-Score als Maß für die körperliche Gesundheit bildet diese dabei womöglich nicht ausreichend ab. Viertens könnten die verschiedenen existierenden Definitionen der postoperativen Komplikationen zu einer Über- bzw. Unterbewertung der jeweiligen Komplikation geführt haben. Fünftens wurde in dieser Dissertationsschrift häufig Literatur verwendet, die sich mit Patientenkohorten auseinandersetzt, die lungenreseziert worden sind. Dies liegt in der großen Verfügbarkeit an Literatur zum Thema Lungentumoren begründet. Da in unserer Patientenkohorte allerdings nur bei knapp 51 % der Patienten lungenresezierende Eingriffe durchgeführt wurden, könnte dies zu abweichenden Ergebnissen beigetragen haben. Erschwerend kam hinzu, dass die Anwendung einer Einlungenventilation, beispielsweise im Rahmen von Studien zu postoperativen pulmonalen Komplikationen (PPK) zum Ausschluss dieser Patienten führte [102]. Schlussendlich ist die Wahl eines Doppellumentubus oder eines Bronchusblockers als Mittel zur Herstellung einer Atemwegsseparation eine Entscheidung des behandelnden Anästhesisten. Im Rahmen dieser retrospektiven Analyse kann somit ein Selektionsbias nicht ausgeschlossen werden.

4.4.3 Methodendiskussion

Prospektive und retrospektive Studien, die wissenschaftliche Fragestellungen auf Basis von Registerdaten beantworten möchten, zählt man zu den Beobachtungsstudien. Diese sogenannte Registerforschung stellt dabei eine Form der Versorgungsforschung dar. Die Grundlage dieser Forschung, die medizinischen Register, haben sich in Deutschland inzwischen in vielfältiger Form etabliert. In Deutschland genießt insbesondere das TraumaRegister der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie (DGU®) große Aufmerksamkeit, da es mit knapp 36.000 dokumentierten Patienten im Jahre 2021 und einer hohen Anzahl wissenschaftlicher Veröffentlichungen zu den größten in Deutschland zählt [103]. Zu den Vorteilen der Registerforschung zählt dabei die meist unkomplizierte und standardisierte Möglichkeit der Erhebung medizinischer Daten. Die dadurch recht starren Datenmengen bedingen allerdings, dass nicht jede wissenschaftliche Fragestellung beantwortet werden kann. Es besteht also keine Möglichkeit, zusätzliche, für gewisse Fragestellungen womöglich wichtige Variablen nachträglich in die Datenauswertung mit einfließen zu lassen.

4.5 Schlussfolgerung und Ausblick

Zusammenfassend zeigen die von uns erhobenen Daten, dass die Patienten unserer Patientenkohorte, deren Einlungenventilation mittels der Anwendung eines Bronchusblockers durchgeführt wurde, insgesamt schwerer erkrankt waren. Zusätzlich zeigte sich, dass die Entscheidungen und Präferenzen des behandelnden Anästhesisten bei der Wahl des Mittels zur Atemwegsseparation sowie auf die postoperative Intensivtherapie, eine wichtige Rolle spielen.

Die Anlage eines Bronchusblockers oder eines Doppellumentubus ist also nicht allein der prädiktive Faktor für eine Aufnahme auf die Intensivstation, eine längere Intensivdauer und Beatmungspflichtigkeit sowie für postoperative pulmonale und kardiale Komplikationen. Ein Mehrwert des einen oder anderen Verfahrens lässt sich aus unseren Ergebnissen nicht ableiten.

Zur Bestätigung oder Ablehnung unserer Erkenntnisse bedarf es daher in der Zukunft weiteren prospektiven, randomisiert kontrollierten Studien.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser Dissertationsschrift war die Beurteilung, inwieweit die Wahl eines Doppellumentubus oder eines Bronchusblockers als Mittel zur Herstellung einer Einlungenventilation einen Einfluss auf die postoperative Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit sowie von kardialen und pulmonalen Komplikationen hat. Bezüglich dieser Fragestellung werteten wir im Rahmen einer retrospektiven monozentrischen Kohortenanalyse die Daten von 578 Patienten aus, die sich im Zeitraum von Januar 2017 bis Dezember 2019 an der thoraxchirurgischen Klinik des Universitätsklinikums Magdeburg einer Operation unter Anwendung einer Einlungenventilation unterzogen haben.

Im Ergebnis fanden wir, dass Patienten mit einem Bronchusblocker in 57 % der Fälle postoperativ auf die Intensivstation verlegt wurden, Patienten mit Doppellumentubus in nur 36 % der Fälle. Dabei wurden 70 % der Patienten mit einem Bronchusblocker postoperativ intubiert auf die Intensivstation verlegt. Hier wick die Beatmungsdauer der Bronchusblocker-Studiengruppe mit 11 Stunden im Median signifikant von derer der Doppellumentubus-Studiengruppe mit 5 Stunden ab. In der BB-Studiengruppe verzeichneten wir eine Rate an kardialen und pulmonalen Komplikationen, die im Vergleich zur DLT-Studiengruppe leicht erhöht war. Lediglich der Herz-Kreislaufstillstand trat in der BB-Studiengruppe mit 5 % signifikant häufiger auf.

Zusammenfassend fanden wir keine Hinweise auf eine direkte Kausalität. Vielmehr lassen sich die beobachteten Unterschiede zwischen dem gewählten Verfahren für eine Einlungenventilation durch beeinflussende patienteneigene, anästhesiologische und operationsbedingte Faktoren erklären. Eine Unterlegenheit in der Anwendung des Doppellumentubus oder des Bronchusblockers konnte nicht konklusiv gezeigt werden. Weitere Studien zur Untersuchung möglicher Vor- und Nachteile der verschiedenen Methoden werden benötigt.

6 LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Brodsky JB. Lung Separation. p. 243-9.
- [2] Gale JW, Waters RM. Closed Endobronchial Anesthesia in Thoracic Surgery: Preliminary Report*. *Anesthesia & Analgesia*. 1932;11(6).
- [3] Guedel AE, Waters RM. A New Intratracheal Catheter*. *Anesthesia & Analgesia*. 1928;7(4).
- [4] Somma J, Couture EJ, Pelletier S, Provencher S, Moreault O, Lohser J, et al. Non-ventilated lung deflation during one-lung ventilation with a double-lumen endotracheal tube: a randomized-controlled trial of occluding the non-ventilated endobronchial lumen before pleural opening. *Can J Anaesth*. 2021;68(6):801-11.
- [5] Lumb AB, Slinger P. Hypoxic pulmonary vasoconstriction: physiology and anesthetic implications. *Anesthesiology*. 2015;122(4):932-46.
- [6] Lohser J, Slinger P. Lung Injury After One-Lung Ventilation: A Review of the Pathophysiologic Mechanisms Affecting the Ventilated and the Collapsed Lung. *Anesth Analg*. 2015;121(2):302-18.
- [7] Licker M, Diaper J, Villiger Y, Spiliopoulos A, Licker V, Robert J, et al. Impact of intraoperative lung-protective interventions in patients undergoing lung cancer surgery. *Critical Care*. 2009;13(2):R41.
- [8] Ferrando C, Suarez-Sipmann F, Tusman G, León I, Romero E, Gracia E, et al. Open lung approach versus standard protective strategies: Effects on driving pressure and ventilatory efficiency during anesthesia - A pilot, randomized controlled trial. *PLOS ONE*. 2017;12(5):e0177399.
- [9] Brower RG, Matthay MA, Morris A, Schoenfeld D, Thompson BT, Wheeler A. 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*. 2000;342(18):1301-8.
- [10] El Tahan MR, Pasin L, Marczin N, Landoni G. Impact of Low Tidal Volumes During One-Lung Ventilation. A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2017;31(5):1767-73.
- [11] Kaufmann K, Heinrich S. Minimizing postoperative pulmonary complications in thoracic surgery patients. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2021;34(1):13-9.

- [12] Blank RS, Colquhoun DA, Durieux ME, Kozower BD, McMurry TL, Bender SP, et al. Management of One-lung Ventilation: Impact of Tidal Volume on Complications after Thoracic Surgery. *Anesthesiology*. 2016;124(6):1286-95.
- [13] Loop T. Einlungenventilation. *Anästhesiologie Intensivmedizin*. 2020;61:579-86.
- [14] Lachmann B. Open up the lung and keep the lung open. *Intensive Care Med*. 1992;18(6):319-21.
- [15] Belda J, Ferrando C, Garutti I. The Effects of an Open-Lung Approach During One-Lung Ventilation on Postoperative Pulmonary Complications and Driving Pressure: A Descriptive, Multicenter National Study. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*. 2018;32(6):2665-72.
- [16] Amato MB, Meade MO, Slutsky AS, Brochard L, Costa EL, Schoenfeld DA, et al. Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2015;372(8):747-55.
- [17] Neto AS, Hemmes SN, Barbas CS, Beiderlinden M, Fernandez-Bustamante A, Futier E, et al. Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *Lancet Respir Med*. 2016;4(4):272-80.
- [18] Park M, Yoon S, Nam JS, Ahn HJ, Kim H, Kim HJ, et al. Driving pressure-guided ventilation and postoperative pulmonary complications in thoracic surgery: a multicentre randomised clinical trial. *Br J Anaesth*. 2023;130(1):e106-e18.
- [19] Silva PL, Ball L, Rocco PRM, Pelosi P. Power to mechanical power to minimize ventilator-induced lung injury? *Intensive Care Med Exp*. 2019;7(Suppl 1):38.
- [20] de Bellis M, Accardo R, Di Maio M, La Manna C, Rossi GB, Pace MC, et al. Is flexible bronchoscopy necessary to confirm the position of double-lumen tubes before thoracic surgery? *Eur J Cardiothorac Surg*. 2011;40(4):912-6.
- [21] Groh J, Dieterich HJ, Peter K. Besonderheiten der Anästhesie beim intrathorakalen Eingriff. In: Heberer G, Schildberg FW, Sunder-Plassmann L, Vogt-Moykopf I, editors. *Lunge und Mediastinum: Anatomie Diagnostik Indikationen Technik Ergebnisse*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 1991. p. 116-30.
- [22] Arndt GA, DeLessio ST, Kranner PW, Orzepowski W, Ceranski B, Valtysson B. One-lung ventilation when intubation is difficult--presentation of a new endobronchial blocker. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1999;43(3):356-8.

[23] Brodsky JB, Lemmens HJ. Left double-lumen tubes: clinical experience with 1,170 patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2003;17(3):289-98.

[24] Langiano N, Fiorelli S, Deana C, Baroselli A, Bignami EG, Matellon C, et al. Airway management in anesthesia for thoracic surgery: a "real life" observational study. *J Thorac Dis*. 2019;11(8):3257-69.

[25] Niedmers H, Defosse JM, Wappler F, Lopez A, Schieren M, Arbeitsgruppe des Deutschen T. [Current approaches to anesthetic management in thoracic surgery-An evaluation from the German Thoracic Registry]. *Anaesthesist*. 2022.

[26] Defosse J, Schieren M, Bohmer A, von Dossow V, Loop T, Wappler F, et al. [A Germany-wide survey on anaesthesia in thoracic surgery]. *Anaesthesist*. 2016;65(6):449-57.

[27] Müller MR, Watzka SB. *Expertise Thoraxchirurgie*: Georg Thieme Verlag; 2016.

[28] Benumof JL, Partridge BL, Salvatierra C, Keating J. Margin of safety in positioning modern double-lumen endotracheal tubes. *Anesthesiology*. 1987;67(5):729-38.

[29] Clayton-Smith A, Bennett K, Alston RP, Adams G, Brown G, Hawthorne T, 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*. 2015;29(4):955-66.

[30] Narayanaswamy M, McRae K, Slinger P, Dugas G, Kanellakos GW, Roscoe A, et al. Choosing a lung isolation device for thoracic surgery: a randomized trial of three bronchial blockers versus double-lumen tubes. *Anesth Analg*. 2009;108(4):1097-101.

[31] Bauer C, Winter C, Hentz JG, Ducrocq X, Steib A, Dupeyron JP. Bronchial blocker compared to double-lumen tube for one-lung ventilation during thoracoscopy. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2001;45(2):250-4.

[32] Zhong T, Wang W, Chen J, Ran L, Story DA. Sore throat or hoarse voice with bronchial blockers or double-lumen tubes for lung isolation: a randomised, prospective trial. *Anaesth Intensive Care*. 2009;37(3):441-6.

[33] Lu Y, Dai W, Zong Z, Xiao Y, Wu D, Liu X, et al. Bronchial Blocker Versus Left Double-Lumen Endotracheal Tube for One-Lung Ventilation in Right Video-Assisted Thoracoscopic Surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018;32(1):297-301.

[34] Bussieres JS, Somma J, Del Castillo JL, Lemieux J, Conti M, Ugalde PA, et al. Bronchial blocker versus left double-lumen endotracheal tube in video-assisted

thoracoscopic surgery: a randomized-controlled trial examining time and quality of lung deflation. *Can J Anaesth.* 2016;63(7):818-27.

[35] Zheng H, Duan Y, Geng WM, Liu W, Gao GK, Wang C. [A comparison of double-lumen endotracheal tube with univent blocker and bronchial blocker during thoracic surgical anesthesia]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 2012;92(35):2481-4.

[36] Risse J, Szeder K, Schubert AK, Wiesmann T, Dinges HC, Feldmann C, et al. Comparison of left double lumen tube and y-shaped and double-ended bronchial blocker for one lung ventilation in thoracic surgery-a randomised controlled clinical trial. *BMC Anesthesiol.* 2022;22(1):92.

[37] Palaczynski P, Misiolek H, Szarpak L, Smereka J, Pruc M, Rydel M, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of Efficiency and Safety of Double-Lumen Tube and Bronchial Blocker for One-Lung Ventilation. *J Clin Med.* 2023;12(5).

[38] Slinger P, Suissa S, Triolet W. Predicting arterial oxygenation during one-lung anaesthesia. *Can J Anaesth.* 1992;39(10):1030-5.

[39] Knoll H, Ziegeler S, Schreiber JU, Buchinger H, Bialas P, Semyonov K, et al. Airway injuries after one-lung ventilation: a comparison between double-lumen tube and endobronchial blocker: a randomized, prospective, controlled trial. *Anesthesiology.* 2006;105(3):471-7.

[40] Klein U, Wiedemann K. Anästhesie in der Thoraxchirurgie - Teil 1: Präoperative Befunderhebung, Vorbereitung und Atemwegssicherung. *Anästh Intensivmedizin.* 2011;52:263-83.

[41] Liu S, Mao Y, Qiu P, Faridovich KA, Dong Y. Airway Rupture Caused by Double-Lumen Tubes: A Review of 187 Cases. *Anesth Analg.* 2020;131(5):1485-90.

[42] Seo JH, Cho CW, Hong DM, Jeon Y, Bahk JH. The effects of thermal softening of double-lumen endobronchial tubes on postoperative sore throat, hoarseness and vocal cord injuries: a prospective double-blind randomized trial. *Br J Anaesth.* 2016;116(2):282-8.

[43] Kozian A, Schilling T, Freden F, Maripuu E, Rocken C, Strang C, et al. One-lung ventilation induces hyperperfusion and alveolar damage in the ventilated lung: an experimental study. *Br J Anaesth.* 2008;100(4):549-59.

[44] Allen MS, Darling GE, Pechet TT, Mitchell JD, Herndon JE, 2nd, Landreneau RJ, et al. Morbidity and mortality of major pulmonary resections in patients with early-stage lung cancer: initial results of the randomized, prospective ACOSOG Z0030 trial. *Ann Thorac Surg.* 2006;81(3):1013-9; discussion 9-20.

- [45] Seely AJ, Ivanovic J, Threader J, Al-Hussaini A, Al-Shehab D, Ramsay T, et al. Systematic classification of morbidity and mortality after thoracic surgery. *Ann Thorac Surg.* 2010;90(3):936-42; discussion 42.
- [46] Bedat B, Abdelnour-Berchtold E, Perneger T, Licker MJ, Stefani A, Krull M, et al. Comparison of postoperative complications between segmentectomy and lobectomy by video-assisted thoracic surgery: a multicenter study. *J Cardiothorac Surg.* 2019;14(1):189.
- [47] Ceppa DP, Kosinski AS, Berry MF, Tong BC, Harpole DH, Mitchell JD, et al. Thoracoscopic lobectomy has increasing benefit in patients with poor pulmonary function: a Society of Thoracic Surgeons Database analysis. *Ann Surg.* 2012;256(3):487-93.
- [48] Canet J, Gallart L, Gomar C, Paluzie G, Valles J, Castillo J, et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort. *Anesthesiology.* 2010;113(6):1338-50.
- [49] LaPar DJ, Bhamidipati CM, Lau CL, Jones DR, Kozower BD. The Society of Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery Database: establishing generalizability to national lung cancer resection outcomes. *Ann Thorac Surg.* 2012;94(1):216-21; discussion 21.
- [50] Nojiri T, Hamasaki T, Inoue M, Shintani Y, Takeuchi Y, Maeda H, et al. Long-Term Impact of Postoperative Complications on Cancer Recurrence Following Lung Cancer Surgery. *Annals of Surgical Oncology.* 2017;24(4):1135-42.
- [51] Steéphan F, Boucheseiche S, Hollande J, Flahault A, Cheffi A, Bazelly B, et al. Pulmonary Complications Following Lung Resection: A Comprehensive Analysis of Incidence and Possible Risk Factors. *Chest.* 2000;118(5):1263-70.
- [52] Agostini P, Cieslik H, Rathinam S, Bishay E, Kalkat MS, Rajesh PB, et al. Postoperative pulmonary complications following thoracic surgery: are there any modifiable risk factors? *Thorax.* 2010;65(9):815-8.
- [53] Mazo V, Sabate S, Canet J, Gallart L, de Abreu MG, Belda J, et al. Prospective external validation of a predictive score for postoperative pulmonary complications. *Anesthesiology.* 2014;121(2):219-31.
- [54] Jammer I, Wickboldt N, Sander M, Smith A, Schultz MJ, Pelosi P, et al. Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) definitions: a statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measures. *Eur J Anaesthesiol.* 2015;32(2):88-105.
- [55] McCall PJ, Macfie A, Kinsella J, Shelley BG. Critical care after lung resection: CALoR 1, a single-centre pilot study. *Anaesthesia.* 2015;70(12):1382-9.

- [56] Fernandez-Perez ER, Sprung J, Afessa B, Warner DO, Vachon CM, Schroeder DR, et al. Intraoperative ventilator settings and acute lung injury after elective surgery: a nested case control study. *Thorax*. 2009;64(2):121-7.
- [57] Arozullah AM, Khuri SF, Henderson WG, Daley J, Participants in the National Veterans Affairs Surgical Quality Improvement P. Development and validation of a multifactorial risk index for predicting postoperative pneumonia after major noncardiac surgery. *Ann Intern Med*. 2001;135(10):847-57.
- [58] Schussler O, Alifano M, Dermine H, Strano S, Casetta A, Sepulveda S, et al. Postoperative pneumonia after major lung resection. *Am J Respir Crit Care Med*. 2006;173(10):1161-9.
- [59] Radu DM, Jauregui F, Seguin A, Foulon C, Destable MD, Azorin J, et al. Postoperative pneumonia after major pulmonary resections: an unsolved problem in thoracic surgery. *Ann Thorac Surg*. 2007;84(5):1669-73.
- [60] Liu W, Jin F, Wang H-M, Yong F-F, Wu Z, Jia H-Q. The association between double-lumen tube versus bronchial blocker and postoperative pulmonary complications in patients after lung cancer surgery. *Frontiers in Oncology*. 2022;12.
- [61] Brunelli A, Varela G, Salati M, Jimenez MF, Pompili C, Novoa N, et al. Recalibration of the revised cardiac risk index in lung resection candidates. *Ann Thorac Surg*. 2010;90(1):199-203.
- [62] Brunelli A, Cassivi SD, Fibla J, Halgren LA, Wigle DA, Allen MS, et al. External validation of the recalibrated thoracic revised cardiac risk index for predicting the risk of major cardiac complications after lung resection. *Ann Thorac Surg*. 2011;92(2):445-8.
- [63] McMillan RR, Berger A, Sima CS, Lou F, Dycoco J, Rusch V, et al. Thirty-day mortality underestimates the risk of early death after major resections for thoracic malignancies. *Ann Thorac Surg*. 2014;98(5):1769-74; discussion 74-5.
- [64] De Decker K, Jorens PG, Van Schil P. Cardiac complications after noncardiac thoracic surgery: an evidence-based current review. *Ann Thorac Surg*. 2003;75(4):1340-8.
- [65] Imperatori A, Mariscalco G, Riganti G, Rotolo N, Conti V, Dominioni L. Atrial fibrillation after pulmonary lobectomy for lung cancer affects long-term survival in a prospective single-center study. *J Cardiothorac Surg*. 2012;7:4.
- [66] Lin MH, Kamel H, Singer DE, Wu YL, Lee M, Ovbiagele B. Perioperative/Postoperative Atrial Fibrillation and Risk of Subsequent Stroke and/or Mortality. *Stroke*. 2019;50(6):1364-71.

- [67] Shelley BG, McCall PJ, Glass A, Orzechowska I, Klein AA, Association of Cardiothoracic A, et al. Association between anaesthetic technique and unplanned admission to intensive care after thoracic lung resection surgery: the second Association of Cardiothoracic Anaesthesia and Critical Care (ACTACC) National Audit. *Anaesthesia*. 2019;74(9):1121-9.
- [68] McKenna SS. Critical Care for the Thoracic Surgery Patient. In: Sugarbaker DJ, Bueno R, Colson YL, Jaklitsch MT, Krasna MJ, Mentzer SJ, et al., editors. *Adult Chest Surgery*, 2e. New York, NY: McGraw-Hill Education; 2015.
- [69] Licker M. Anaesthetic management and unplanned admission to intensive care after thoracic surgery. *Anaesthesia*. 2019;74(9):1083-6.
- [70] Okiror L, Patel N, Kho P, Ladas G, Dusmet M, Jordan S, et al. Predicting risk of intensive care unit admission after resection for non-small cell lung cancer: a validation study. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2012;14(1):31-3.
- [71] Bruceta M, De Souza L, Carr ZJ, Bonavia A, Kunselman AR, Karamchandani K. Post-operative intensive care unit admission after elective non-cardiac surgery: A single-center analysis of the NSQIP database. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2020;64(3):319-28.
- [72] Shelley B, McCall P, Glass A, Orzechowska I, Klein A, Association of Cardiothoracic A, et al. Outcome following unplanned critical care admission after lung resection. *JTCVS Open*. 2022;9:281-90.
- [73] Brunelli A, Ferguson MK, Rocco G, Pieretti P, Vigneswaran WT, Morgan-Hughes NJ, et al. A scoring system predicting the risk for intensive care unit admission for complications after major lung resection: a multicenter analysis. *Ann Thorac Surg*. 2008;86(1):213-8.
- [74] Yang L, Wei X, Wang B, Dai R, Xiao F, Xu J. A comparison between bronchial blockers and double-lumen tubes for patients undergoing lung resection: A propensity score-matched cohort study. *International Journal of Medical Sciences*. 2022;19(11):1706-14.
- [75] Yu C-H, Chen Y-C, Liang F-W, Chen J-Y, Ho C-H, Chu C-C. Postoperative outcomes of lung separation with double-lumen tubes and bronchial blockers. *Asian Journal of Anesthesiology*. 2021.
- [76] Agostini PJ, Lugg ST, Adams K, Smith T, Kalkat MS, Rajesh PB, et al. Risk factors and short-term outcomes of postoperative pulmonary complications after VATS lobectomy. *J Cardiothorac Surg*. 2018;13(1):28.

- [77] Defosse J, Schieren M, Loop T, Arndt C, Rohrig R, Stoelben E, et al. [The German Thorax Registry: Implementation of an Established Tool of Perioperative Health Care Research]. *Zentralbl Chir.* 2017;142(3):330-6.
- [78] Kaufmann KB, Loop T, Heinrich S, Working Group of the German Thorax R. Risk factors for post-operative pulmonary complications in lung cancer patients after video-assisted thoracoscopic lung resection: Results of the German Thorax Registry. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2019;63(8):1009-18.
- [79] Unbekannter Autor. Brustsituation. Card2Brain Lernkartei. 2023. URL: https://card2brain.ch/box/20171020_brustsituation_4 (Stand: 05.01.2024)
- [80] Campos JH, Ueda K. Lung separation in the morbidly obese patient. *Anesthesiol Res Pract.* 2012;2012:207598.
- [81] Wang YC, Chang CH, Wang YT, Huang CH, Lin PL, Cheng YJ. A survey of one-lung ventilation device in lung resection surgeries in Taiwan-A population-based nationwide cohort study. *J Formos Med Assoc.* 2020;119(1 Pt 3):449-54.
- [82] Zheng M, Niu Z, Chen P, Feng D, Wang L, Nie Y, et al. Effects of bronchial blockers on one-lung ventilation in general anesthesia: A randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore).* 2019;98(41):e17387.
- [83] Pieretti P, Alifano M, Roche N, Vincenzi M, Forti Parri SN, Zackova M, et al. Predictors of an appropriate admission to an ICU after a major pulmonary resection. *Respiration.* 2006;73(2):157-65.
- [84] American Society of Anesthesiologists. ASA Physical Status Classification System. 2020. URL: <https://www.asahq.org/standards-and-practice-parameters/statement-on-asa-physical-status-classification-system> (Stand: 05.01.2024)
- [85] Kozower BD, O'Brien SM, Kosinski AS, Magee MJ, Dokholyan R, Jacobs JP, et al. The Society of Thoracic Surgeons Composite Score for Rating Program Performance for Lobectomy for Lung Cancer. *Ann Thorac Surg.* 2016;101(4):1379-86; discussion 86-7.
- [86] Curatolo C, Goldberg A, Maerz D, Lin HM, Shah H, Trinh M. ASA physical status assignment by non-anesthesia providers: Do surgeons consistently downgrade the ASA score preoperatively? *J Clin Anesth.* 2017;38:123-8.
- [87] Haynes SR, Lawler PG. An assessment of the consistency of ASA physical status classification allocation. *Anaesthesia.* 1995;50(3):195-9.

- [88] Kazan R, Bracco D, Hemmerling TM. Reduced cerebral oxygen saturation measured by absolute cerebral oximetry during thoracic surgery correlates with postoperative complications. *Br J Anaesth.* 2009;103(6):811-6.
- [89] Okahara S, Shimizu K, Suzuki S, Ishii K, Morimatsu H. Associations between intraoperative ventilator settings during one-lung ventilation and postoperative pulmonary complications: a prospective observational study. *BMC Anesthesiol.* 2018;18(1):13.
- [90] Cywinski JB, Xu M, Sessler DI, Mason D, Koch CG. Predictors of prolonged postoperative endotracheal intubation in patients undergoing thoracotomy for lung resection. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009;23(6):766-9.
- [91] Mehta H, Osasona A, Shan Y, Goodwin JS, Okereke IC. Trends and Outcomes of Thoracoscopic Lobectomy or Segmentectomy: A National Surgical Quality Improvement Project Analysis. *Semin Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;30(3):350-9.
- [92] Wu HL, Tai YH, Wei LF, Cheng HW, Ho CM. Bronchial lumen is the safer route for an airway exchange catheter in double-lumen tube replacement: preventable complication in airway management for thoracic surgery. *J Thorac Dis.* 2017;9(10):E903-e6.
- [93] McLean S, Lanam CR, Benedict W, Kirkpatrick N, Kheterpal S, Ramachandran SK. Airway exchange failure and complications with the use of the Cook Airway Exchange Catheter(R): a single center cohort study of 1177 patients. *Anesth Analg.* 2013;117(6):1325-7.
- [94] Suzuki A, Uraoka M, Kimura K, Sato S. Effects of using two airway exchange catheters on laryngeal passage during change from a double-lumen tracheal tube to a single-lumen tracheal tube. *Br J Anaesth.* 2007;99(3):440-3.
- [95] Granell M, Petrini G, Kot P, Murcia M, Morales J, Guijarro R, et al. Intubation with vivasight double-lumen tube versus conventional double-lumen tube in adult patients undergoing lung resection: A retrospective analysis. *Ann Card Anaesth.* 2022;25(3):279-85.
- [96] Defosse J. Verfahrensweisung: Erläuterungen zur Bearbeitung der Erhebungsbögen des Deutschen Thoraxregisters. 2016. URL: <https://www.thoraxregister.de/images/PDFs/Erlauterungen-zum-Bearbeiten-der-Erhebungsbogen-Entwurf.pdf> (Stand: 05.01.2024).
- [97] Ferguson MK, Celauro AD, Vigneswaran WT. Validation of a modified scoring system for cardiovascular risk associated with major lung resection. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2012;41(3):598-602.

[98] Ferguson MK, Saha-Chaudhuri P, Mitchell JD, Varela G, Brunelli A. Prediction of major cardiovascular events after lung resection using a modified scoring system. *Ann Thorac Surg.* 2014;97(4):1135-40.

[99] Park BJ. Is surgical morbidity decreased with minimally invasive lobectomy? *Cancer J.* 2011;17(1):18-22.

[100] Chen FF, Zhang D, Wang YL, Xiong B. Video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy versus open lobectomy in patients with clinical stage I non-small cell lung cancer: a meta-analysis. *Eur J Surg Oncol.* 2013;39(9):957-63.

[101] Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG): Biasarten. 2023. URL: <https://www.iqwig.de/sonstiges/glossar/biasarten.html> (Stand: 05.01.2024)

[102] investigators LV. Epidemiology, practice of ventilation and outcome for patients at increased risk of postoperative pulmonary complications: LAS VEGAS - an observational study in 29 countries. *Eur J Anaesthesiol.* 2017;34(8):492-507.

[103] Lefering R, Höfer C. TraumaRegister DGU - Jahresbericht 2021. 2022. URL: https://www.auc-online.de/fileadmin/AUC/Dokumente/Register/TraumaRegister_DGU/TR-DGU-Jahresbericht_2022.pdf (Stand: 05.01.2024)

7 ANHANG

7.1 Danksagung

Die Danksagung ist in der Version aus Datenschutzgründen nicht enthalten.

7.2 Ehrenerklärung

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

„Verwendung von Doppellumentubus oder Bronchusblocker in der Thoraxchirurgie: Klinischer Vergleich in Hinblick auf die postoperative Intensiv- und Beatmungspflichtigkeit sowie Komplikationen“

an der Klinik für Thoraxchirurgie der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg mit Unterstützung durch Prof. Dr. Thorsten Walles und Dr. Matthias Martmüller ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Während der Verfassung 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 19.01.2024

Johannes Schneider

7.3 Lebenslauf

Der Lebenslauf ist in der Version aus Datenschutzgründen nicht enthalten.

