

Aus der  
Radiologischen Universitätsklinik Tübingen  
Abteilung Diagnostische und Interventionelle Radiologie

**Komplikationsraten bei CT-gesteuerten Probeentnahmen  
aus der Lunge mit und ohne Blut-Patch**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Ludwig, geb. Risse, Elena Jana**

**2025**

Dekan: Professor Dr. rer. nat. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. med. Marius S. Horger

2. Berichterstatter: Professor Dr. med. Harry Magunia

Tag der Disputation: 11.03.2025

Meiner Familie und Simon in Dankbarkeit gewidmet



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>13</b>
1.1	Probeentnahmen aus der Lunge .....	13
1.1.1	Gängige Techniken der Probeentnahme aus der Lunge.....	14
1.2	Risiken und Komplikationen .....	15
1.2.1	Pneumothorax.....	17
1.2.2	Spannungspneumothorax .....	17
1.2.3	Iatrogenen Pneumothorax bei Probeentnahmen aus der Lunge und Behandlung.....	19
1.3	Methoden zur Reduktion von Komplikationen nach CT-gesteuerten Lungenbiopsien .....	20
1.3.1	Blut-Patch zur Reduktion von Komplikationen nach CT-gesteuerten Lungenbiopsien.....	22
1.4	Fragestellung/ Ziel der Studie.....	23
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>24</b>
2.1	CT-Geräte.....	24
2.2	Verwendete Software zur Datenerhebung.....	24
2.3	Materialliste Biopsie.....	25
2.3.1	Coaxial Nadelsystem .....	26
2.4	Untersucher .....	26
2.5	Blut-Patch .....	27
2.6	Vorbereitende Maßnahmen .....	28
2.7	Ablauf der Biopsie .....	29
2.8	Erfasste Daten.....	34
2.8.1	Kenngößen der zu punktierenden Läsionen .....	34
2.8.2	Erfasste Komplikationen .....	36
2.9	Statistik.....	38
2.10	Ethik.....	39
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>40</b>
3.1	Patienten .....	40
3.2	Vergleich Komplikationsraten mit und ohne Blut-Patch insgesamt.....	41
3.3	Abstand zur Pleura/ Tiefe der Läsion .....	42
3.3.1	Läsionen mit $\leq 2$ cm Abstand zur Pleura.....	42
3.3.2	Läsionen mit $> 2-4$ cm Abstand zur Pleura .....	43
3.3.3	Läsionen mit $> 4-5$ cm Abstand zur Pleura .....	43

3.3.4	Läsionen mit > 5 cm Abstand zur Pleura .....	44
3.3.5	Vergleich Tiefe der Läsion innerhalb der Blut-Patch bzw. Kontrollgruppe .....	45
3.4	Größe der Läsion .....	47
3.4.1	< 3 cm.....	47
3.4.2	≥ 3 cm.....	48
3.4.3	Vergleich Größe der Läsion innerhalb der Blut-Patch bzw. Kontrollgruppe .....	49
3.5	Nadelstärke .....	51
3.5.1	13 G Nadelsystem .....	51
3.5.2	15 G Nadelsystem .....	52
3.5.3	17 G Nadelsystem .....	52
3.5.4	19 G Nadelsystem .....	52
3.5.5	Unbekannte Nadelstärke .....	53
3.5.6	Vergleich Nadelstärke 17 G und 19 G innerhalb der jeweiligen Gruppe .....	55
3.5.7	Zusammenfassung Nadelstärke .....	56
3.6	Lokalisation der Läsion .....	58
3.6.1	Unterlappen.....	58
3.6.2	Oberlappen.....	59
3.6.3	Andere Lokalisation (Mittellappen, Mediastinum, Pleura).....	59
3.6.4	Vergleich Lokalisation der Läsion innerhalb der jeweiligen Gruppen .....	61
3.7	Anzahl der Proben .....	62
3.7.1	≤ 3 Proben.....	62
3.7.2	≥ 4 Proben.....	63
3.7.3	Vergleich Anzahl der Proben innerhalb der jeweiligen Gruppen .....	64
3.8	Erfahrenheit der Radiologen .....	66
3.8.1	Vergleich Erfahrungheit der Radiologen.....	66
3.8.2	Vergleich Erfahrungheit der Radiologen innerhalb der Blut-Patch bzw. Kontrollgruppe .....	68
3.8.3	Unterschiede bei Verwendung des Blut-Patches .....	70
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>72</b>
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	72
4.1.1	Diskussion der Ergebnisse im Detail .....	73
4.2	Verschiedene Patch-Formen .....	80

4.3	Blut-Patch .....	84
4.4	Stärken und Limitationen der Studie.....	86
4.5	Fazit.....	87
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>90</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>7</b>	<b>Erklärung zum Eigenanteil .....</b>	<b>102</b>
<b>8</b>	<b>Veröffentlichungen .....</b>	<b>103</b>

## Abkürzungsverzeichnis

### Allgemeine Abkürzungen

<u>Zeichen</u>	<u>Bedeutung</u>
ANOVA	analysis of variance (Varianzanalyse)
AUD	Australische Dollar
cm	Zentimeter
CT	Computertomografie
EBUS	Endobronchialer Ultraschall
G	Gauge
VATS	Video Assisted Thoracoscopic Surgery
%	Prozent

## Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: VERGLEICH PNEUMOTHORAXE MIT UND OHNE BLUT-PATCH.....	42
ABBILDUNG 2: VERGLEICH THORAXDRAINAGEN MIT UND OHNE BLUT-PATCH.....	42
ABBILDUNG 3: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN HINSICHTLICH DES ABSTANDES ZUR PLEURA.....	45
ABBILDUNG 4: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN HINSICHTLICH DES ABSTANDES ZUR PLEURA INNERHALB DER BLUT-PATCH-GRUPPE BZW. DER KONTROLLGRUPPE...	46
ABBILDUNG 5: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN HINSICHTLICH DER GRÖÖÖE DER LÄSION .....	49
ABBILDUNG 6: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN HINSICHTLICH DER GRÖÖÖE DER LÄSION INNERHALB DER BLUT-PATCH-GRUPPE BZW. DER KONTROLLGRUPPE .....	50
ABBILDUNG 7: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN NADELSTÄRKEN.....	54
ABBILDUNG 8: VERGLEICH NADELSTÄRKEN 17 G UND 19 G INNERHALB DER JEWELIGEN GRUPPE .....	56
ABBILDUNG 9: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN MIT UND OHNE BLUT-PATCH BEI VERWENDUNG EINES 17 G COAXIAL-NADELSYSTEMS .....	57
ABBILDUNG 10: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN LOKALISATIONEN DER LÄSION.....	60
ABBILDUNG 11: VERGLEICH LOKALISATION DER LÄSION INNERHALB DER JEWELIGEN GRUPPE .....	62
ABBILDUNG 12: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATEN BEI UNTERSCHIEDLICHER ANZAHL DER ENTNOMMENEN PROBEN.....	64
ABBILDUNG 13: VERGLEICH ANZAHL DER PROBEN INNERHALB DER JEWELIGEN GRUPPE	65
ABBILDUNG 14: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATE HINSICHTLICH DER ERFAHRENHEIT DER RADIOLOGEN .....	67
ABBILDUNG 15: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATE HINSICHTLICH DER ERFAHRENHEIT DER RADIOLOGEN INNERHALB DER BLUT-PATCH-GRUPPE BZW. DER KONTROLLGRUPPE .....	69
ABBILDUNG 16: VERGLEICH DER PNEUMOTHORAXRATE HINSICHTLICH DER ERFAHRENHEIT DER RADIOLOGEN BEI VERWENDUNG BLUT-PATCH BZW. KEIN BLUT-PATCH .....	71

## Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: MATERIALLISTE PUNKTION .....	25
TABELLE 2: ÜBERSICHT ANZAHL PUNKTIONEN JE RADIOLOGE .....	27
TABELLE 3: ERFASSTE DATEN.....	35
TABELLE 4: ERGEBNISSE BONFERRONI KORREKTUR.....	38
TABELLE 5: ÜBERSICHT ABSTAND ZUR PLEURA/ TIEFE DER LÄSION .....	47
TABELLE 6: ÜBERSICHT GRÖÖE DER LÄSION .....	51
TABELLE 7: ÜBERSICHT DER UNTERSCHIEDLICHEN NADELSTÄRKEN .....	58
TABELLE 8: ÜBERSICHT ANZAHL DER PROBEN .....	66
TABELLE 9: ÜBERSICHT ERFAHRENHEIT DER RADIOLOGEN .....	68

## **Bildverzeichnis**

BILD 1: BEISPIEL ABLAUF EINER PUNKTION: POSITIONIERUNG DES COAXIAL- NADELSYSTEMS .....	31
BILD 2: BEISPIEL ABLAUF EINER PUNKTION: DURCHDRINGEN DER HAUT UND THORAKALE STRUKTUREN BIS ZUR LUNGE .....	32
BILD 3: BEISPIEL ABLAUF EINER PUNKTION: POSITIONIERUNG DES COAXIAL- NADELSYSTEMS BIS ZUR LÄSION .....	33
BILD 4: BEISPIEL, WIE DIE GRÖÖE DER LÄSION (1) UND DER ABSTAND ZUR PLEURA (2) AUSGEMESSEN WURDE .....	36
BILD 5: BEISPIEL RÖNTGEN-THORAX-AUFNAHME EINES POSTINTERVENTIONELLEN PNEUMOTHORAXES .....	37



# 1 Einleitung

## 1.1 Probeentnahmen aus der Lunge

Raumforderungen in der Lunge sind nicht selten und können eine sehr vielfältige Ätiologie haben. Beispielsweise kann es sich um einen infektiösen, autoimmun, metastatischen oder tumorösen Prozess handeln. Einige dieser Erkrankungen kann man durch rein apparative Verfahren und/ oder labormedizinische Untersuchungen diagnostizieren (wie zum Beispiel häufig bei Pneumonien) (Ewig and Bauer T., 2016). Bei anderen, unklaren Lungenläsionen, die teilweise zufällig oder nebenbefundlich in einer Bildgebung entdeckt werden, bedarf es einer Probeentnahme mit anschließender histologischer, (molekular-)genetischer, mikrobiologischer und/ oder zytologischer Aufarbeitung. Diese dient dazu die Art der Lungenläsion bestimmen zu können und beispielsweise bösartige Neubildungen der Lunge zu detektieren, um diese gezielt und leitliniengerecht behandeln zu können.

Dazu zählen unter anderem die Lungenkarzinome. Diese gehören in Europa zu den Top 3 der Krebstodesursachen bei beiden Geschlechtern (Ferlay et al., 2018). Bei Hinweisen auf ein solches malignes Geschehen muss diese Verdachtsdiagnose gesichert oder ausgeschlossen werden. Hierzu ist das Gewinnen von Zellmaterial aus der Verdachtsläsion mit Hilfe einer Biopsie wichtig, um diese Probe anschließend wie oben beschrieben aufarbeiten und untersuchen zu können. Die Probeentnahme kann mit Hilfe verschiedener Methoden erfolgen.

### 1.1.1 Gängige Techniken der Probeentnahme aus der Lunge

Die gängigen Verfahren zur Probeentnahme aus der Lunge sind die bronchoskopisch gesteuerte transbronchiale Biopsie, die Ultraschall gesteuerte transthorakale Biopsie, die CT-gesteuerte transthorakale Biopsie und die thorakoskopische Biopsie.

Die Entscheidung welche Methode sich für die jeweilige Läsion am besten eignet, ist maßgeblich von ihrer Lokalisation abhängig. Aus diesem Grund wird vor der Intervention unter anderem eine Bildgebung durchgeführt und im Anschluss gemeinsam mit dem Patienten entschieden, welches Verfahren für den Patienten geeignet ist (Mahnken, 2014).

Bei zentral in der Lunge gelegenen, bronchusnahen Raumforderungen erfolgt die Probeentnahme meist im Rahmen einer Bronchoskopie. Teilweise kann diese unter Zuhilfenahme eines endobronchialen Ultraschalls (EBUS) erfolgen. Dazu wird der Patient zunächst systematisch bronchoskopiert. Aus makroskopisch oder im EBUS auffälligen Arealen bzw. aus Gebieten, die in der vorherigen Bildgebung abklärungsbedürftig sind, werden mit Hilfe einer Zange Proben entnommen. Häufig wird außerdem abschließend eine Bronchioalveoläre Lavage (Spülzytologie) durchgeführt. Die entnommenen Proben und die Spülzytologie werden im Anschluss aufgearbeitet und untersucht.

Periphere Lungenläsionen sind auf diese Weise meist schlechter zugänglich. Aus diesem Grund werden solche Läsionen in der Regel transthorakal punktiert. Die Probeentnahme kann in diesem Fall CT-gesteuert oder, wenn die Läsion der Pleura anliegt oder nah an der Pleura liegt, mit Hilfe eines transthorakalen Ult-

raschalls erfolgen. Ein Nachteil der ultraschallgesteuerten Methode ist allerdings, dass bei eventuell entstehenden Komplikationen, wie beispielsweise einem Pneumothorax, die Übersicht deutlich eingeschränkt ist (Mahnken, 2014). Dies liegt daran, dass es bei einem Pneumothorax zu einer Luftansammlung zwischen den beiden Pleurablättern kommt und diese Luft zu einer Reflexion des Ultraschalls und somit zu Artefakten führt (Blank et al., 2014).

In spezielleren Fällen oder bei unzureichender Diagnosesicherung kann außerdem eine Thorakoskopie notwendig sein. Dies erfolgt heutzutage meist videoassistent im Rahmen einer sogenannten VATS (Video Assisted Thoracoscopic Surgery). Hierbei können größere Proben entnommen, die Läsion komplett entfernt oder sogar eine Lunge reseziert werden (Bodner et al., 2000). Dieses Verfahren ist jedoch, vor allem bei tief gelegenen Läsionen, sehr invasiv (Mahnken, 2014). In der Literatur variieren die Zahlen zum intraoperativen Übergang in eine Thorakotomie sehr stark und werden zwischen 1,04 % und 33,1 % angegeben (Allen et al., 1996, Inderbitzi and Grillet, 1996, Park et al., 2011, Sawada et al., 2009).

## **1.2 Risiken und Komplikationen**

Wie bei allen medizinischen Eingriffen und Interventionen besteht auch bei einer Probeentnahme aus der Lunge das Risiko, dass während oder im Anschluss an die Intervention Komplikationen auftreten.

Bei Verletzungen von Gefäßen, kann es zu Blutungen (Hämorrhagie) unterschiedlichen Ausmaßes kommen. Diese sistieren häufig von selbst und sind nur

selten behandlungsbedürftig. Außerdem können während der perkutanen Punktion Hautnerven verletzt werden. Dadurch kann es im Anschluss zu Sensibilitätsstörungen im Bereich der Punktionsstelle kommen. Meist bilden sich diese jedoch innerhalb weniger Tage zurück.

Wie bei jedem medizinischen Eingriff werden auch vor der Punktion Allergien und Unverträglichkeiten anamnestisch erfragt. Es besteht jedoch immer das Risiko, dass es während oder im Anschluss an eine Intervention zu allergischen Reaktionen (z.B. gegen Desinfektionsmittel, Pflaster, Medikamente) oder sogar zu einer Anaphylaxie kommen kann. Sollte eine behandlungsbedürftige allergische Reaktion auftreten, muss dementsprechend reagiert und therapiert werden.

Wie bei allen Interventionen besteht ein geringes Risiko, dass beim Einbringen des Nadelsystems Keime mit eingebracht werden, die potenziell eine Infektion auslösen können. Da unter sterilen Kautelen gearbeitet wird, ist diese Komplikation allerdings sehr selten. Es besteht keine Indikation zur prophylaktischen antibiotischen Therapie.

Wenn mit der Nadel ein Bronchus und ein Gefäß in unmittelbarer Nähe verletzt werden oder mit dem Nadelsystem Luft in ein Gefäß eingebracht wird, so kann Luft in die Blutbahn gelangen und eine Luftembolie auslösen.

Da die Punktion unter ständiger Bildgebung erfolgt, ist Verletzung von Nachbarorganen sehr selten.

Eine der häufigsten Komplikationen ist die Entstehung eines Pneumothoraxes. Im Folgenden wird hierauf genauer eingegangen.

### **1.2.1 Pneumothorax**

Bei einem Pneumothorax gelangt Luft zwischen die beiden Pleurablätter. Dadurch geht der Unterdruck im Pleuraspalt verloren, sodass die Pleura visceralis (Lungenfell) und die Pleura parietalis (Brustfell) nicht mehr aneinander anliegen. Als Folge dessen und aufgrund der elastischen Rückstellkräfte der Lunge neigt diese dazu zu kollabieren (Herold, 2021). Somit werden die betroffenen Lungenabschnitte weniger gut belüftet und können nicht mehr adäquat am Gasaustausch teilnehmen. Der Patient wird mit weniger Sauerstoff versorgt, wodurch es zu Dyspnoe und kompensatorisch zu Tachypnoe kommen kann. Teilweise treten Brustschmerzen und/ oder einer Pleuritis als Begleitsymptome auf (Loiselle et al., 2013). Therapeutisch wird bei Patienten mit kleinen, nicht symptomatischen Pneumothoraxes zunächst abgewartet, da sich die Luft häufig von selber resorbiert. Dabei werden die Patienten klinisch beobachtet und es werden regelmäßig Röntgen-Thorax-Kontrollen angefertigt. Bei symptomatischen, großen oder sich vergrößernden Pneumothoraxes erfolgt meist die Therapie mit einer Thoraxdrainage. Die Einteilung der Größe der Pneumothoraxe erfolgt anhand einer Röntgen-Thorax-Aufnahme. Dabei wird der Abstand der Lunge von der Pleura an drei definierten Punkten gemessen und summiert. Bei einer Summe von bis zu 4 cm spricht man von einem kleinen, über 4 cm von einem großen Pneumothorax (Collins et al., 1995).

### **1.2.2 Spannungspneumothorax**

Eine Sonderform des Pneumothorax stellt der Spannungspneumothorax dar. Hierbei gelangt ebenfalls Luft in den Pleuraspalt, allerdings kommt es zu einem

Ventilmechanismus, bei dem bei der Inspiration weiterhin Luft in den Pleuraspalt gelangt, diese aber bei der Expiration nicht entweichen kann (Herold, 2021). Dies kann eine Verschiebung des Mediastinums zur gesunden Seite zur Folge haben, wodurch auch die nicht betroffene Lungenseite, das Herz und die großen, zunächst vor allem venösen Gefäße, eingeengt werden können (Herold, 2021). Dieser lebensbedrohliche Zustand muss zügig behandelt werden, da es insbesondere durch die Verlegung der großen Gefäße zu einer Verringerung des Herzzeitvolumens und somit zu einem obstruktiven Schock kommen kann. Daraus resultiert eine potentielle Minderversorgung des Organismus mit Sauerstoff, wodurch Gewebshypoxie und Zelluntergang drohen (Herold, 2021). Dies wiederum kann zum Versagen verschiedener, lebenswichtiger Organe, im schlimmsten Fall sogar zum Tod führen. Außerdem aggraviert die Minderbelüftung der kollabierten Lunge der betroffenen Seite und die Einengung der Lunge auf der gesunden Seite die Minderversorgung des Organismus mit Sauerstoff. Aus diesem Grund muss ein Spannungspneumothorax zügig therapiert werden. Dies erfolgt notfallmäßig mit einer Punktion in Bülow- oder Monaldi-Position (Herth, 2008). Dadurch kann die „eingefangene“ Luft entweichen und die Lunge der betroffenen Seite kann sich wieder entfalten. Resultierend daraus werden das Mediastinum, das Herz, die großen Gefäße und die Lunge, der nicht betroffenen Seite, nicht mehr verdrängt. Die endgültige Versorgung des Spannungspneumothorax erfolgt anschließend in der Klinik mit Hilfe einer Thoraxdrainage.

### **1.2.3 Iatrogenener Pneumothorax bei Probeentnahmen aus der Lunge und Behandlung**

Durch die in Kapitel 1.1.1 beschriebenen Punktionsverfahren zur Probeentnahme aus der Lunge, kann es zu einem, durch ärztlichen Einfluss entstandenen (iatrogenen), Pneumothorax kommen. Die meisten Pneumothoraxe dieser Art bilden sich ohne Komplikationen und ohne medizinische Interventionen zurück (Loiselle et al., 2013). Bei therapiebedürftigen Komplikationen kann die Behandlung bei kleinen Pneumothoraxen, wenig Dyspnoe und ohne Lungenvorerkrankungen durch Absaugen der Luft aus dem Pleuraraum erfolgen oder bei unzureichendem Erfolg beziehungsweise einem größeren Pneumothorax mit Hilfe einer Thoraxdrainage therapiert werden (Loiselle et al., 2013).

Neben möglichen Risiken für die Patienten bestehen auch wirtschaftliche Gründe, weshalb Komplikationen möglichst verhindert werden sollten. Bei Auftreten einer Komplikation verlängert sich der Krankenhausaufenthalt und die Kosten der Behandlung vervierfachen sich (Lokhandwala et al., 2017, Moreland et al., 2016). Eine Studie von Steinfert et al. vergleicht die Kosten bei EBUS-Biopsien mit denen CT-gesteuerter perkutaner Lungenbiopsien. Die Autoren beschreiben allgemein vergleichbare Kosten zwischen den beiden Verfahren (2,724 AUD CT-gesteuert vs. 2,748 AUD EBUS), allerdings haben eventuell entstehende Komplikationen einen entscheidenden Einfluss auf das Kosten-Nutzen-Ergebnis (Steinfert et al., 2013). Daher sollte stets die Methode ausgewählt werden, mit der das geringste Komplikationsrisiko bei gleichzeitig hoher diagnostischer Aussagekraft einhergeht.

### **1.3 Methoden zur Reduktion von Komplikationen nach CT-gesteuerten Lungenbiopsien**

Die Minimierung der Komplikationsraten bei CT-gesteuerten Lungenbiopsien stellt ein wichtiges Anliegen in der interventionellen Radiologie dar. Die häufigsten Komplikationen sind Pneumothoraxe und Blutungen, wohingegen Luftembolien und Tumoraussaat extrem selten vorkommen (Wu et al., 2011). In einer japanischen Studie mit 9783 Biopsien aus 124 Zentren wird der Pneumothorax als häufigste Komplikation mit 35,1 % genannt. Des Weiteren werden in dieser Studie auch vier Todesfälle (0,04 %) direkt nach der CT-gesteuerten Punktion beschrieben und drei weitere (0,03 %), die im Verlauf aufgrund von Tumoraussaat verstorben sind (Tomiyama et al., 2006). Auch wenn die Sterberate gering ausfällt, ist die Verhinderung von Komplikationen oberstes Gebot bei der Durchführung jeder Intervention.

Es gibt verschiedene Methoden und Ansätze, die die Komplikationsraten bei CT-gesteuerten Lungenbiopsien senken können. Wie bei allen medizinischen Eingriffen muss zunächst die Indikation vom Arzt im Austausch mit dem Patienten gestellt werden. Wenn die Indikation zur CT-gesteuerten Probeentnahme aus der Lunge vorliegt, sollte mittels Bildgebung eine genaue Planung des Eingriffs erfolgen. Hierbei ist darauf zu achten, dass der Zugangsweg möglichst gewebeschonend gewählt wird. Liegt die Läsion nahe an größeren Gefäßen, kann die Verwendung von Kontrastmittel erwogen werden, um diese Gefäße deutlicher darzustellen und diese während der Punktion nicht zu verletzen.

Außerdem sollten bereits im Vorfeld der Intervention und bei der Planung des Eingriffs eventuelle Risikofaktoren und Vorerkrankungen des Patienten ermittelt

und berücksichtigt werden, da in einigen Studien Risikofaktoren detektiert werden konnten, bei denen höhere Komplikationsraten auftreten. Dazu zählen die Größe der Läsion ( $\leq 2$  cm) und die Tiefe der Läsion (nahe an Pleura 0,1-2 cm oder  $\geq 2,1$ cm; am wenigsten, wenn Pleura angrenzt) (Li et al., 2015, Yeow et al., 2004). Zusätzlich beschreiben Yeow et al. die Erfahrung der Radiologen als Einfluss auf die Komplikationsrate. (Yeow et al., 2004). Li et al. detektierten außerdem noch den Nadel-Pleura-Winkel und das Vorhandensein von Emphysem als Risikofaktoren, die zu einer höheren Komplikationsrate führen (Li et al., 2015). Die Lagerung des Patienten während der Punktion sollte so geplant werden, dass der Patient während der Untersuchung ruhig liegen und die Läsion trotzdem gut erreicht werden kann.

Außerdem kann die Lagerung des Patienten nach der Punktion einen Einfluss auf die Entstehung postinterventioneller Komplikationen haben. Somit sollte sich der Patient nach der Punktion für einige Stunden auf die Seite legen, auf der die Probe entnommen wurde. Diese Methode zeigt in der Studie von Drumm et al. eine signifikante Reduktion der Pneumothoraxraten verglichen mit der postinterventionellen Lagerung in Bauch- oder Rückenlage (Drumm et al., 2019).

Des Weiteren gibt es unterschiedliche Verfahren, bei denen nach der Punktion der Stichkanal mit verschiedenen Materialien ausgefüllt wird und somit das Lungenparenchym komprimiert wird. Dafür werden unter anderem Kochsalz, ein Hydrogel-Plug, Gelatine oder autologes Blut verwendet (Billich et al., 2008, Grage et al., 2017, Leopardi and Patil, 2019, Malone et al., 2013).

### **1.3.1 Blut-Patch zur Reduktion von Komplikationen nach CT-gesteuerten Lungenbiopsien**

Im Jahr 1974 beschrieben McCartney et al., dass Patienten, die nach einer Punktion der Lunge nachgeblutet haben, weniger Komplikationen aufwiesen. Daraus schlossen die Autoren, dass dieses unbeabsichtigt entstandene Blut-Patch die Komplikationsraten bei CT-gesteuerten Punktionen senkt (McCartney et al., 1974).

In den darauffolgenden Jahren beschäftigten sich mehrere Studien mit der Frage, ob der Einsatz eines Blut-Patches die Komplikationsraten senken kann. Die Studien kamen dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen. Studien von Bourgoïn et al. und Herman et al. beschrieben 1988 und 1990 keinen signifikanten Unterschied in der Komplikationsrate (Pneumothorax und Bedarf einer Thoraxdrainage) zwischen Patienten, die mit Blut-Patch behandelt wurden und einer Kontrollgruppe, die nicht mit Blut-Patch behandelt wurde (Bourgoïn et al., 1988, Herman and Weisbrod, 1990). Im Jahr 2000 zeigte die Studie von Lang et al. signifikant weniger Pneumothoraxraten in der Blut-Patch-Gruppe, vorallem wenn Läsionen in der Tiefe punktiert wurden. Daraus resultierten weniger Interventionen (Thoraxdrainagen) und kürzere Krankenhausaufenthalte (Lang et al., 2000). Ebenfalls signifikant weniger Pneumothoraxe, Thoraxdrainagen und kürzere Krankenhausaufenthalte wiesen die Patienten in der Studie von Graffy et al. auf, die mit Blut-Patch behandelt wurden (Graffy et al., 2017). Auch Malone et al. konnten weniger Komplikationsraten in der Blut-Patch-Gruppe feststellen, jedoch war nur die Reduktion der benötigten Thoraxdrainagen statistisch signifikant geringer (Malone et al., 2013).

## **1.4 Fragestellung/ Ziel der Studie**

Die hier vorliegende Studie soll zeigen, ob die Verwendung eines Blut-Patches im Anschluss an eine CT-gesteuerte Probeentnahme aus der Lunge das Risiko eines postinterventionellen Pneumothorax reduziert. Darüber hinaus soll gezeigt werden, welche Risikofaktoren das Auftreten postinterventioneller Komplikationen begünstigen.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 CT-Geräte**

Alle für die Studie erzeugten CT-Bilderserien wurden mit Hilfe eines 4/16/64/128/256-slice MDCT (SOMATOM Definition Flash, SOMATOM Definition Force, SOMATOM Definition AS+, SOMATOM Sensation 64, SOMATOM Plus 4 oder 16; Siemens Healthineers, Forchheim, Deutschland) durchgeführt.

### **2.2 Verwendete Software zur Datenerhebung**

Das Patientenkollektiv wurde über eine Datenbankabfrage über das Radiologieinformationssystem (RIS) RadCentre (i-SOLUTIONS Health GmbH, Mannheim, Deutschland) ermittelt. Dabei wurden alle CT-gesteuerten Probeentnahmen des Thorax im Zeitraum von 01/2003 bis 06/2018 selektiert. Sowohl die Anzahl der entnommenen Proben sowie eventuelle postinterventionellen Komplikationen (Pneumothorax, Notwendigkeit einer Drainagenanlage) wurde aus den im RIS archivierten schriftlichen Befunden entnommen. Anschließend wurde in der Bildarchivierungssoftware Centricity PACS (GE Healthcare GmbH, Solingen, Deutschland) die interventionellen Bilderserien gesichtet und die Daten zur Läsion (maximaler axialer Diameter, Abstand zur Pleura und Lokalisation) erfasst. Die oben genannten Daten wurden tabellarisch mit Excel (Microsoft, Redmond, Washington, Vereinigte Staaten) erfasst und statistisch mittels Graph Pad Prism 5 (GraphPad Software Inc., Sand Diego, California, USA) ausgewertet.

## 2.3 Materialliste Biopsie

Nachfolgend ist eine tabellarische Darstellung der für die CT-gesteuerte Biopsie benötigten Materialien dargestellt.

	<b>Menge/ Größe</b>
<b>Kochsalz 0,9%</b>	50 ml
<b>Formaldehyd 3,5%</b>	20 ml
<b>Xylocain / Lidocain 1%</b>	10 – 20 ml
<b>Abdecktuch 2-lagig</b>	75 cm x 90 cm
<b>Biospiesystem Coaxial Achieve</b>	13 G, 15 G, 17 G, 19 G
<b>Handschuhe steril</b>	
<b>Kompressen Set</b>	1
<b>Lochtuch</b>	1
<b>OP-Mantel steril</b>	1
<b>Punktionsset</b>	1
<b>Venenverweilkanüle</b>	18 G, 20 G
<b>Pflaster (Opsite)</b>	
<b>Hautnadel</b>	
<b>Einmalspritze</b>	10 ml

Tabelle 1: Materialliste Punktion

### **2.3.1 Coaxial Nadelsystem**

Zur Probeentnahme wurde ein Coaxial-Nadelsystem verwendet. Dieses besteht aus einer Führungskanüle und einer sich darin befindenden Biopsienadel. Beim Auslösen des Nadelsystems gelangt die Biopsienadel aus dem Ende der Führungskanüle hinaus. Dabei wird die Läsion punktiert und man erhält einen Stanzzyylinder, welcher anschließend aufgearbeitet und untersucht werden kann. Durch das Coaxial-Nadelsystem können mehrere Proben aus der gleichen Läsion entnommen werden, ohne ein weiteres Mal perkutan punktieren zu müssen, da die Führungskanüle in der Position verbleiben kann.

Das Coaxial-Nadelsystem gibt es in verschiedenen Stärken. Je nach Größe und Lage der Läsion, dem gewählten Zugangsweg und der Konstitution des Patienten wählt der Untersucher die passende Nadelstärke aus. Die Größenangabe des Nadelsystems bezieht sich auf den Außendurchmesser der Führungskanüle.

## **2.4 Untersucher**

Die CT-gesteuerten transpulmonalen Biopsien wurden von insgesamt sieben Fachärzten für Radiologie durchgeführt, wovon ein Facharzt eine besonders hohe Expertise auf dem Gebiet der interventionellen Thoraxradiologie aufwies (> 300 durchgeführte Lungenpunktionen und > 10 Jahre Erfahrung hinsichtlich interventioneller Eingriffe des Thorax). Die verbleibenden sechs Fachärzte hatten mit jeweils < 30 durchgeführten transpulmonalen Biopsien ein vergleichbares Level an Erfahrung hinsichtlich interventioneller Eingriffe des Thorax (Perl et al., 2019).

<b>Radiologe</b>	<b>Anzahl Punktionen mit Blut-Patch</b>	<b>Anzahl Punktionen Kontrollgruppe</b>	<b>Gesamtanzahl Punktionen</b>
Radiologe 1	410	296	706
Radiologe 2	1	25	26
Radiologe 3	6	18	24
Radiologe 4	1	28	29
Radiologe 5		30	30
Radiologe 6	1	26	27
Radiologe 7		26	26

Tabelle 2: Übersicht Anzahl Punktionen je Radiologe

## **2.5 Blut-Patch**

Bei einem Blut-Patch wird der Stichkanal nach der Punktion mit autologem Blut okkludiert. Dabei wird direkt im Anschluss an die Punktion 5-10 ml Blut aus einer peripheren Vene des Patienten entnommen. Anschließend wird das Blut langsam während des Zurückziehens der Biopsienadel in den Stichkanal appliziert (1-Minuten-Intervalle pro Zentimeter). In der Lungenperipherie erfolgt das Zurückziehen der Nadel lediglich unter Aspiration.

In der hier beschriebenen Studie wurden insgesamt 419 (48%) der 868 Patienten mit einem Blut-Patch behandelt. Bei 449 Patienten (52%) erfolgte nach der Punktion keine Behandlung mit einem Blut-Patch (Kontrollgruppe).

Aufgrund der Publikation von Malone et al (Malone et al., 2013) und den darin beschriebenen besseren Ergebnissen bei Verwendung intrapulmonaler Blut-Patch wurden alle Patienten ab Juni 2013, die von dem erfahrenen Radiologen punktiert wurden, mit einem Blut-Patch versorgt. Insgesamt betraf dies 410 Patienten. Dies entspricht einer Behandlungsquote mit Blut-Patch von dem erfahrenen Radiologen von 58,07 %.

Neun weitere Patienten wurden im Zeitraum von 09/2003 bis 01/2012 von den weniger erfahrenen Radiologen mit einem Blut-Patch versorgt. Hieraus ergibt sich eine Behandlungsquote von 5,56 %.

## **2.6 Vorbereitende Maßnahmen**

Jeder Patient wurde nach Indikationsstellung für eine CT-gesteuerte transpulmonale Punktion über die damit einhergehenden Risiken und mögliche Komplikationen mindestens 24 Stunden vor der Punktion aufgeklärt. Zudem wurden eventuell vorhandene Allergien anamnestisch erfragt und die Patienten über mögliche allergische Reaktionen unter anderem auf Kontrastmittel oder Lokalanästhetika informiert. Weiterhin wurden die Patienten nach Blutgerinnungsstörungen und nach der Einnahme von Medikamenten, welche die Blutgerinnung beeinflussen, befragt. Bei Einnahme solcher Medikamente wurde individuell mit jedem Patienten besprochen, ob und wie lange die Einnahme pausiert werden sollte, beziehungsweise eine entsprechende Therapie zur Überbrückung eingeleitet.

Vor jeder Punktion erfolgte eine Laboruntersuchung des Blutes, bei der vor allem eine adäquate Blutgerinnung sichergestellt werden sollte.

Außerdem erhielt jeder Patient aus Sicherheitsgründen einen peripheren Venenkatheter, damit bei eventuell auftretenden Komplikationen schnell Medikamente oder Infusionslösungen verabreicht werden konnten. Über diese Venenverweilkanüle erfolgte ebenfalls die Blutentnahme bei Patienten, die mit einem Blut-Patch behandelt wurden.

Zur genauen Lokalisierung der Zielläsion sowie zur Planung des Zugangsweges erhielt jeder Patient im Vorfeld der Punktion eine diagnostisches CT-Untersuchung, die im Wesentlichen das Zielgebiet der zu punktierenden Läsion abbildete.

## **2.7 Ablauf der Biopsie**

Anhand des vorher durchgeführten Planungs-CTs wurde jeder Patient so auf dem CT-Tisch gelagert, dass der Zugang zur punktierenden Läsion möglichst nah und gewebeschonend gewählt werden konnte und fernab von größeren Gefäßen oder anderen vulnerablen Strukturen lag. Patienten, bei denen sich die Zielläsion nahe an größeren Gefäßen befand, erhielten vor der Punktion ein Kontrastmittel. Dadurch konnten diese Gefäße genauer dargestellt und der Zugangsweg zur punktierenden Läsion entsprechend gewählt werden.

Nach Desinfektion und sterilem Abdecken wurde die Punktionsstelle mit 10-20 ml Lidocain 1% betäubt. Anschließend wurde die Biopsienadel unter intermittierender bildgebender Lagekontrolle vorgeschoben. Abhängig von der Größe der zu punktierenden Läsion, der Konstitution des Patienten und dem Zugangsweg wurde ein Coaxiales-Nadelsystem der Stärke 13 G, 15 G, 17 G oder 19 G verwendet. Dieses Nadelsystem besteht aus einer Führungskanüle und einer sich darin befindenden Biopsienadel. Bei Läsionen mit einem Durchmesser unter 2 cm wurde die Führungskanüle knapp vor der Läsion platziert. War die Zielläsion größer als 2 cm, wurde die Führungskanüle bis in die Läsion hinein vorgeschoben.

Durch Auslösen des Nadelsystems gelangt die Biopsienadel aus der Spitze der Führungskanüle hinaus und entnimmt dabei einen oder mehrere Stanzzyylinder. Die bei der Punktion entnommenen Proben wurden in Formaldehyd fixiert und zur weiteren Diagnostik in die Pathologie versandt.

Während des Eingriffes waren die Patienten dazu angehalten möglichst flach und ruhig zu atmen, um sicherzustellen, dass sich die Zielläsion durch etwaige Lungenbewegungen möglichst wenig verschiebt. Größere Bewegungen der Lunge könnten dazu führen, dass die Biopsienadel das Gewebe verletzt, was wiederum die Komplikationsrate erhöhen könnte. Unterstützend bekamen die Patienten während der Punktion 3-5 l Sauerstoff pro Stunde über eine Sauerstoffmaske. Besondere Atemmanöver, wie beispielsweise das Anhalten der Atmung, waren nicht notwendig.

Bei den Patienten, die mit einem Blut-Patch behandelt wurden, erfolgte das Applizieren des autologen Blutes und Zurückziehen der Nadel wie in Kapitel 2.5 beschrieben. Bei den Patienten, die kein Blut-Patch erhielten, wurde die Nadel unter kontinuierlicher Aspiration herausgezogen. Die Punktionsstelle wurde bei allen Patienten mit Kompressen und entsprechenden Pflastern versorgt.

Um mögliche Komplikationen vorzubeugen wurden die Patienten angehalten für sechs Stunden auf der punktierten Seite liegen zu bleiben und nach Möglichkeit starkes Husten zu vermeiden.

Eine bis drei Stunden nach der Punktion erfolgte ein Kontroll-Röntgen des Thorax in einer Ebene und posterior-anteriorem Strahlengang während der Expira-

tion. Patienten, die dabei einen Pneumothorax zeigten, wurden im Verlauf weiter kontrolliert. Bei fortschreitendem Pneumothorax oder Hinweis auf einen Spannungspneumothorax wurde dieser mittels Thoraxdrainage versorgt.

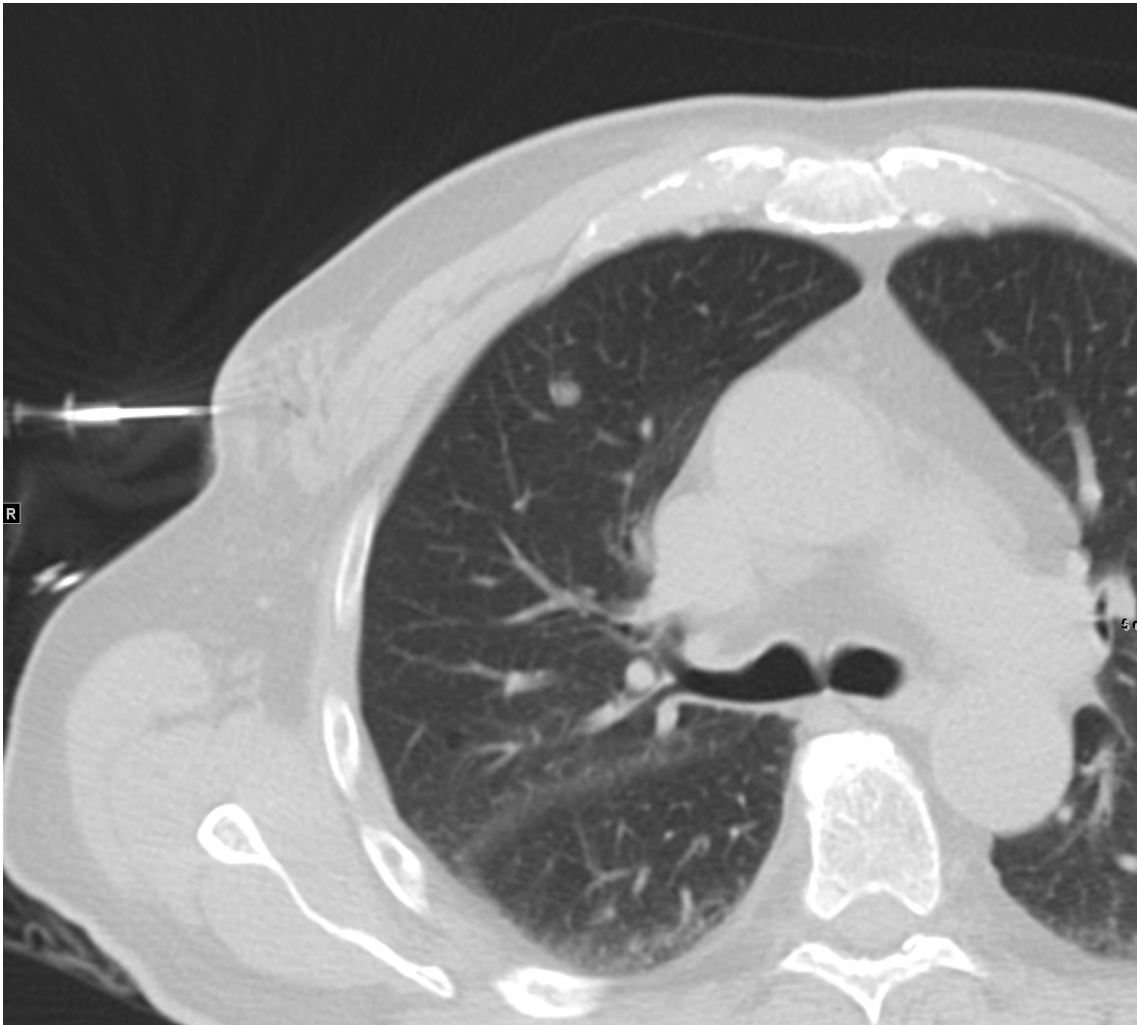


Bild 1: Beispiel Ablauf einer Punktion: Positionierung des Coaxial-Nadelsystems

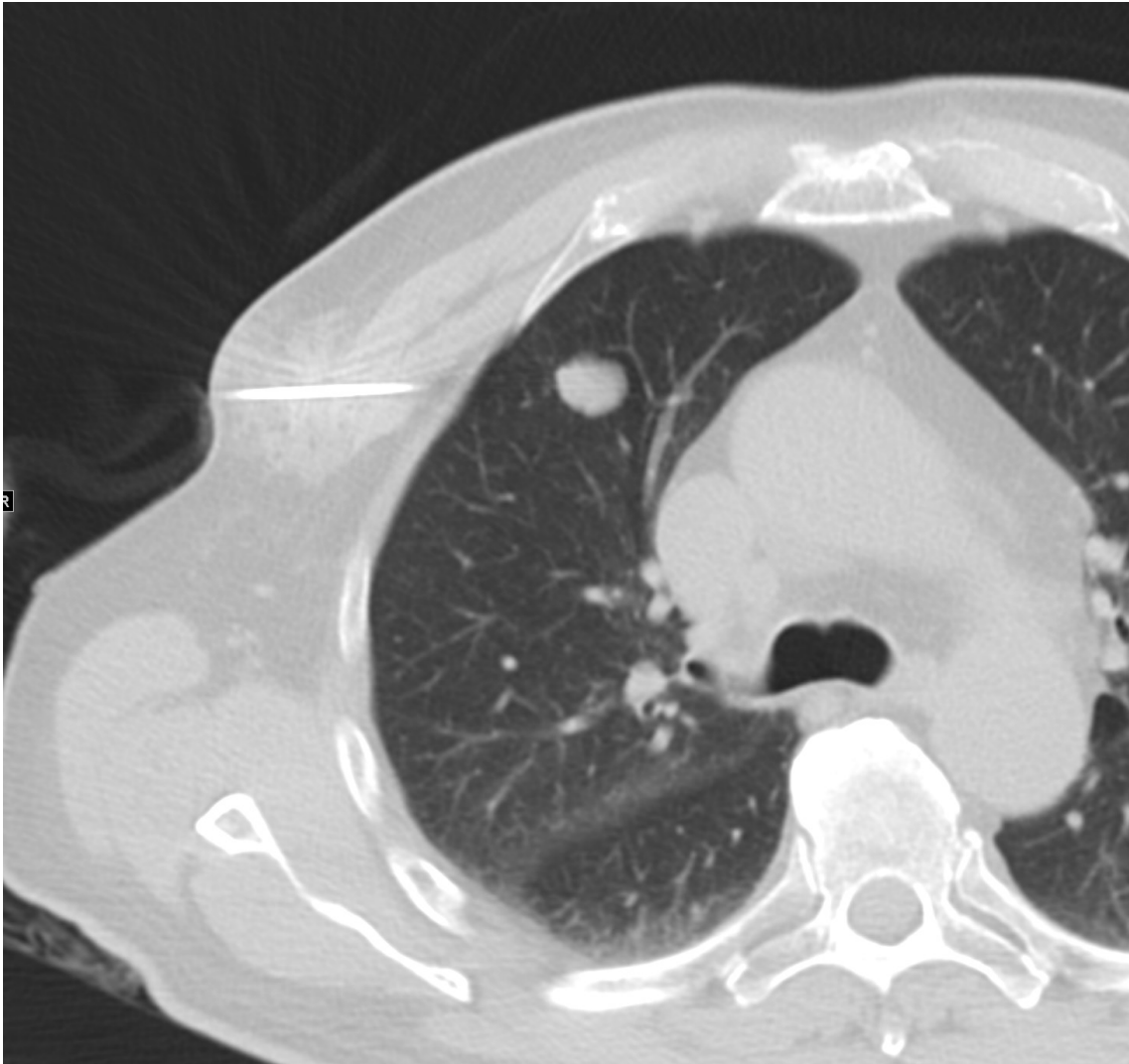


Bild 2: Beispiel Ablauf einer Punktion: Durchdringen der Haut und thorakale Strukturen bis zur Lunge

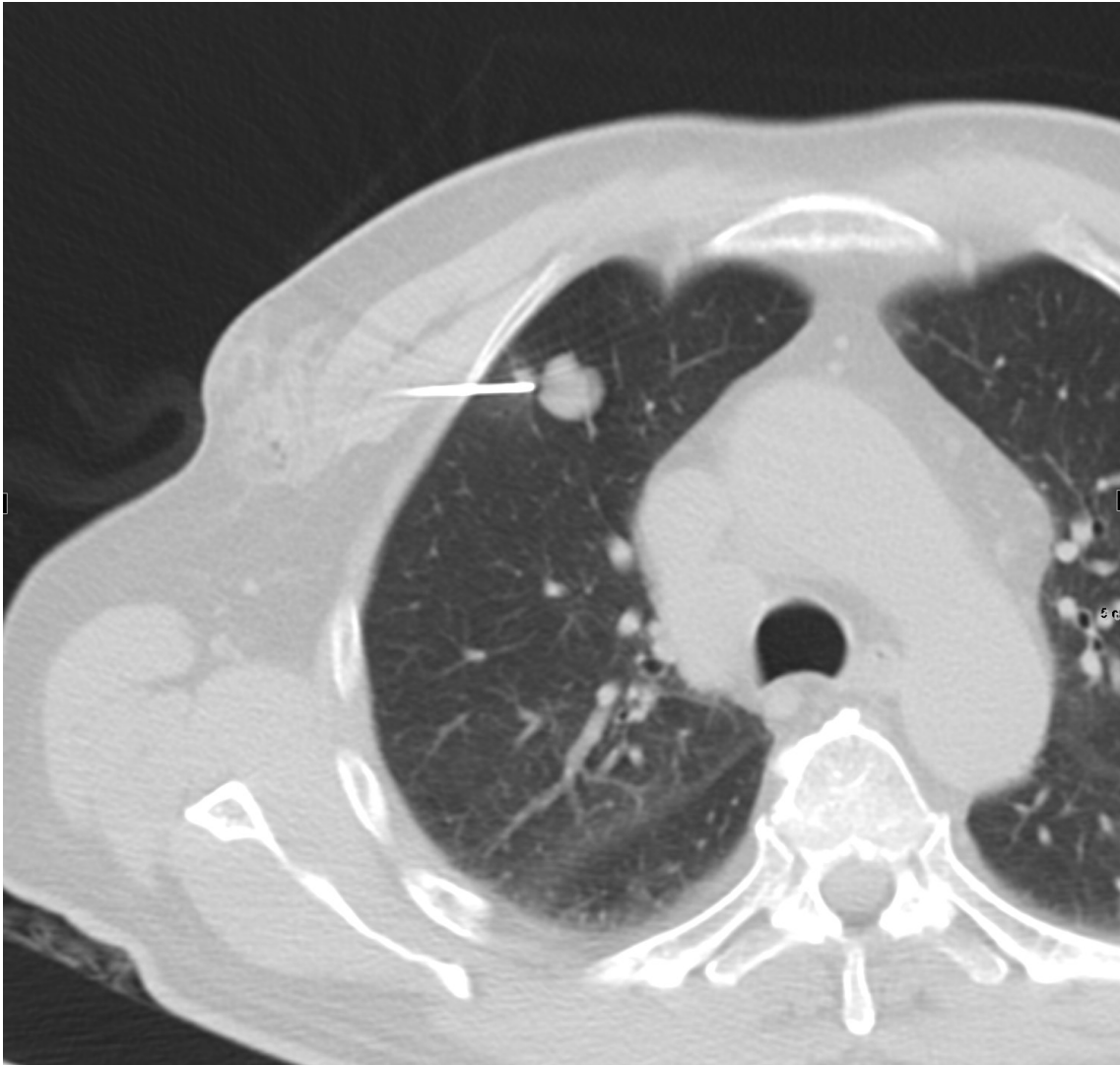


Bild 3: Beispiel Ablauf einer Punktion: Positionierung des Coaxial-Nadelsystems bis zur Läsion

## 2.8 Erfasste Daten

### 2.8.1 Kenngrößen der zu punktierenden Läsionen

#### 1. Größe der Läsion

Zur Ermittlung der Läsionsgröße wurde jeweils der größte axiale Durchmesser der Läsion vermessen, aus der die Probe entnommen wurde. Die Läsionen wurden dann in zwei Gruppen aufgeteilt: die erste Gruppe beschreibt Läsionen kleiner als 3 cm und die zweite solche, die 3 cm und größer sind.

#### 2. Abstand der Läsion zur Pleura

Zur Bestimmung der Läsionstiefe wurde die Strecke gemessen, die die Biopsienadel durch die Lunge geführt wurde. Die Abstände wurden in vier Gruppen eingeteilt: kleiner als 2 cm, zwischen 2 cm und 4 cm, zwischen 4 cm und 5 cm und größer als 5 cm.

#### 3. Lokalisation der Läsion

Die Lokalisation der Läsion wurde unterschieden in Oberlappen, Unterlappen oder anderer Lokalisation, sowie die betreffende Seite erfasst, in der sich die punktierte Läsion befand. Zu den anderen Lokalisationen wurde der Mittellappen, das Mediastinum und die Pleura gezählt. Die Seite war in der späteren Auswertung jedoch nicht von Bedeutung. Wa-

ren mehrere Lungenlappen von der Läsion betroffen so wurde der Lungenlappen dokumentiert, in dem sich die Läsion hauptsächlich befand.

#### 4. Anzahl der Proben

Zusätzlich wurde die Anzahl der Probeentnahmen dokumentiert. Darauf erfolgte die Einteilung in 1-3 oder in mehr als 3 Proben.

Größe der Läsion	< 3 cm		≥ 3 cm	
Abstand zur Pleura	≤ 2 cm	> 2-4 cm	> 4-5 cm	≥ 5 cm
Lokalisation der Läsion	Oberlappen	Andere Lokalisation	Untere Lappen	
	Links		Rechts	
Anzahl der Proben	≥ 3		≤ 4	

Tabelle 3: Erfasste Daten

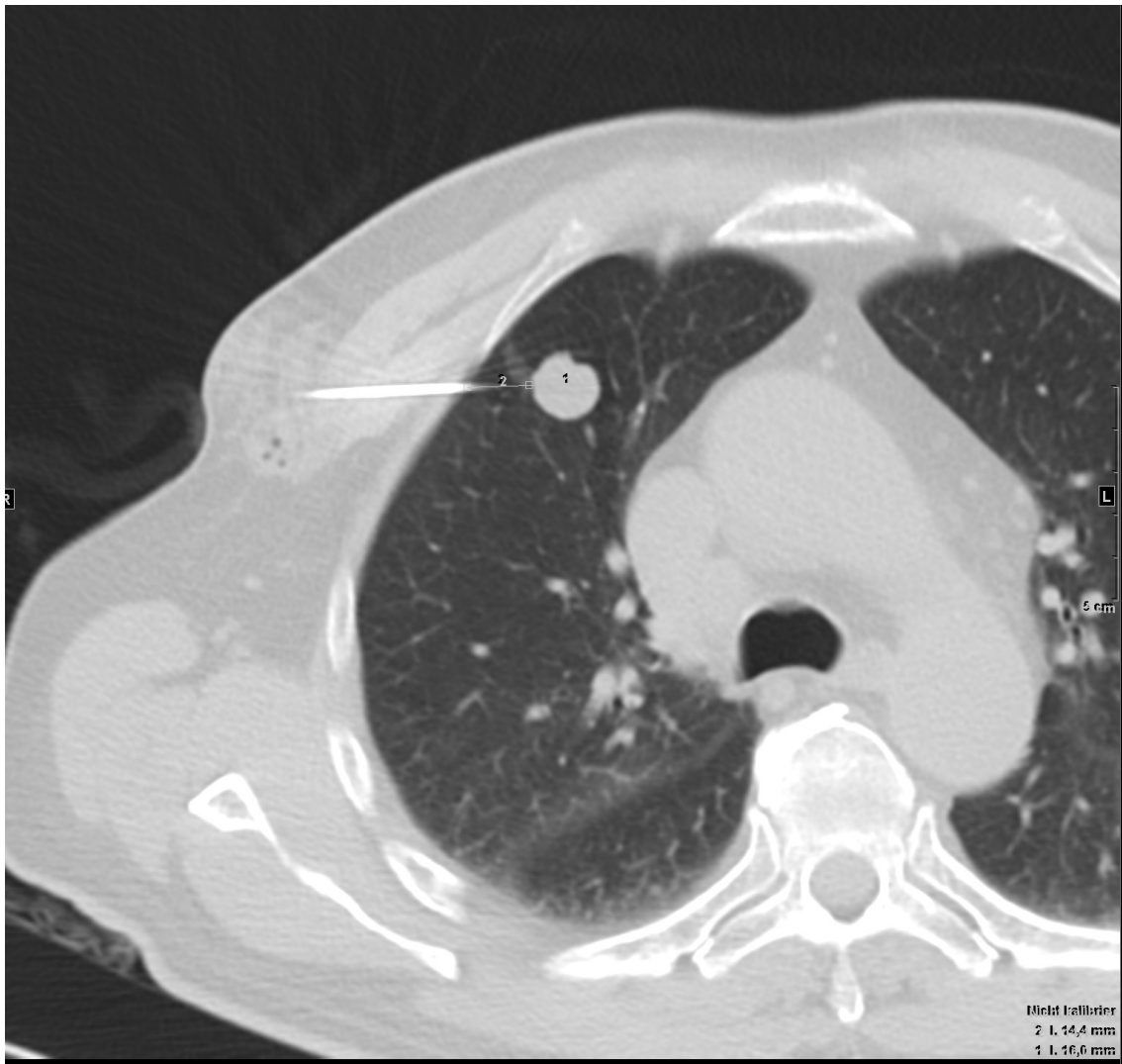


Bild 4: Beispiel, wie die Größe der Läsion (1) und der Abstand zur Pleura (2) ausgemessen wurde

### 2.8.2 Erfasste Komplikationen

Etwa eine bis drei Stunden nach der Punktion erhielt jeder Patient eine Röntgen-Thorax-Aufnahme. Zeigte sich ein Pneumothorax wurde je nach Größe und klinischem Zustand des Patienten entschieden, ob eine Verlaufskontrolle oder das Anlegen einer Thorax-drainage notwendig war. Bei der Auswertung wurde anhand der beschriebenen Befunde ermittelt, ob es zu einem iatrogenen

Pneumothorax gekommen ist und ob dieser mit Hilfe einer Thoraxdrainage versorgt werden musste.

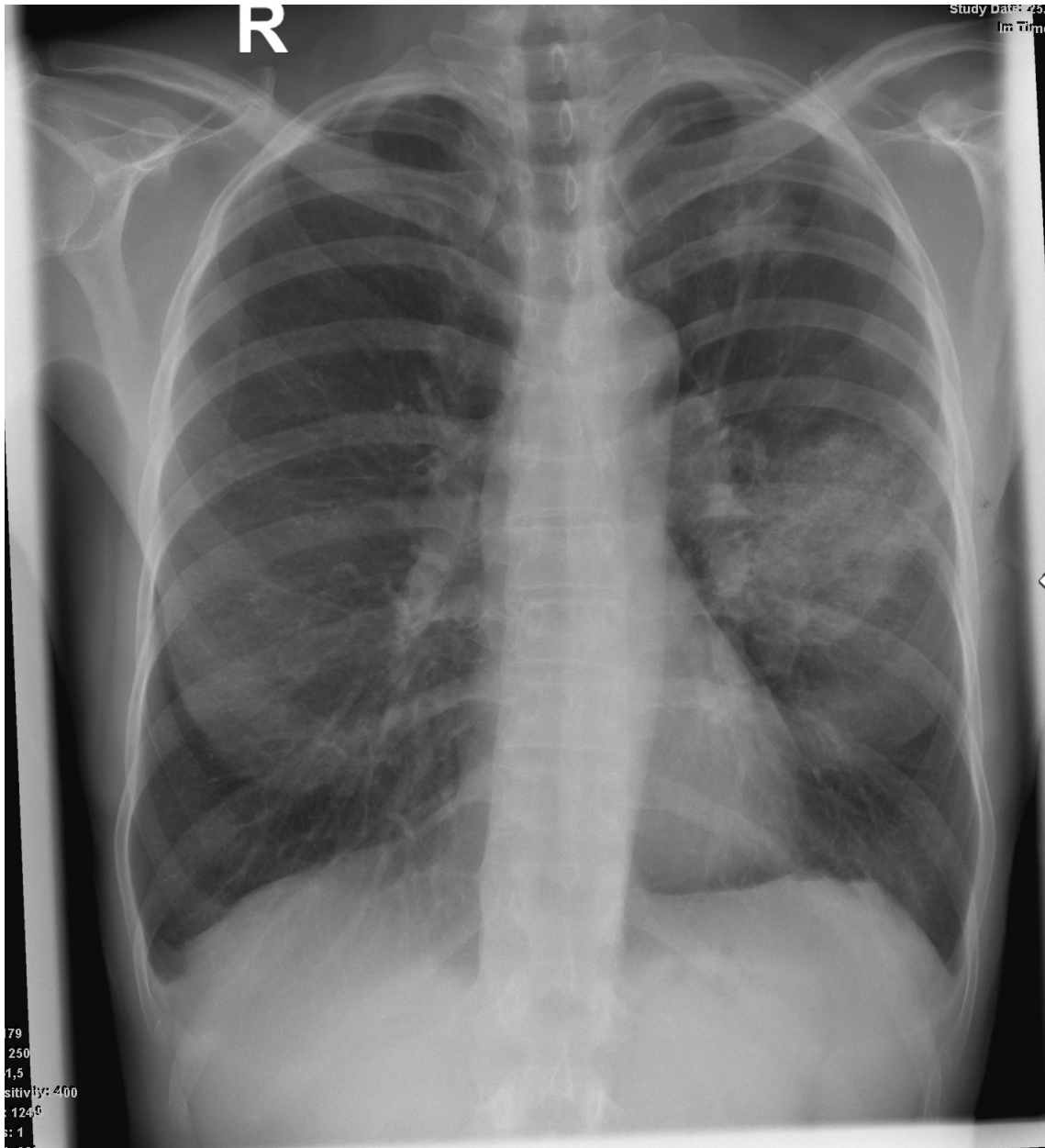


Bild 5: Beispiel Röntgen-Thorax-Aufnahme eines postinterventionellen Pneumothoraxes

## 2.9 Statistik

Die Komplikationsraten mit und ohne Blut-Patch wurden mit Kreuztabellen ausgewertet. Als Voraussetzung für die folgenden Tests wurden die Daten mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests wurden die normalverteilten Daten auf signifikante Unterschiede untersucht. Für kleine Fallzahlen wurde der Exakte Fischer-Test verwendet. Um die Unabhängigkeit der einzelnen Risikofaktoren nachzuweisen, wurde zusätzlich eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt, die wiederum mit dem Bonferroni-Test spezifiziert wurde. Bei einem p-Wert von  $< 0,05$  wurden Unterschiede als statistisch signifikant definiert.

Vergleich der Gruppen	Mittelwertdifferenz	t	Signifikant? P $< 0,05$ ?	Zusammenfassung	95% Konfidenzintervall
Abstand zur Pleura $> 5$ cm vs Anzahl der Proben $\geq 4$ Proben	-57,25	1,17	No	ns	-222,7 to 108,2
Abstand zur Pleura $> 5$ cm vs Größe der Läsion $< 3$ cm	-51,75	1,057	No	ns	-217,2 to 113,7
Abstand zur Pleura $> 5$ cm vs 17 G Nadelsystem	-92,75	1,895	No	ns	-258,2 to 72,70
Abstand zur Pleura $> 5$ cm vs Lokalisation der Läsion Unterlappen	-83,75	1,711	No	ns	-249,2 to 81,70
Abstand zur Pleura $> 5$ cm vs Erfahrungheit der Radiologen Punkteure mit $< 30$ Punktionen	-38,5	0,7866	No	ns	-203,9 to 126,9
Anzahl der Proben $\geq 4$ Proben vs Größe der Läsion $< 3$ cm	5,5	0,1124	No	ns	-159,9 to 170,9
Anzahl der Proben $\geq 4$ Proben vs 17 G Nadelsystem	-35,5	0,7253	No	ns	-200,9 to 129,9
Anzahl der Proben $\geq 4$ Proben vs Lokalisation der Läsion Unterlappen	-26,5	0,5414	No	ns	-191,9 to 138,9
Anzahl der Proben $\geq 4$ Proben vs Erfahrungheit der Radiologen Punkteure mit $< 30$ Punktionen	18,75	0,3831	No	ns	-146,7 to 184,2
Größe der Läsion $< 3$ cm vs 17 G Nadelsystem	-41	0,8377	No	ns	-206,4 to 124,4
Größe der Läsion $< 3$ cm vs Lokalisation der Läsion Unterlappen	-32	0,6538	No	ns	-197,4 to 133,4
Größe der Läsion $< 3$ cm vs Erfahrungheit der Radiologen Punkteure mit $< 30$ Punktionen	13,25	0,2707	No	ns	-152,2 to 178,7
Nadelgröße 17 G vs Lokalisation der Läsion Unterlappen	9	0,1839	No	ns	-156,4 to 174,4
Nadelgröße 17 G vs Erfahrungheit der Radiologen Punkteure mit $< 30$ Punktionen	54,25	1,108	No	ns	-111,2 to 219,7
Lokalisation der Läsion Unterlappen vs Erfahrungheit der Radiologen Punkteure mit $< 30$ Punktionen	45,25	0,9245	No	ns	-120,2 to 210,7

Tabelle 4: Ergebnisse Bonferroni Korrektur

## **2.10 Ethik**

Die Ethik-Kommission des Universitätsklinikums Tübingen (Vorsitzender: Prof. Dr. med. D. Luft) erteilte am 20.08.2018 die Studienzustimmung (Projekt-Nummer: 545/2018BO2).

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Patienten**

Die vorliegende Studie basiert auf der retrospektiven Auswertung von 868 aufeinander folgenden Patienten (530 Männer (61,06 %) und 338 Frauen (38,94 %)), die sich im Zeitraum von 01/2003 bis 06/2018 am Universitätsklinikum Tübingen einer CT-gesteuerten transpulmonalen Biopsie unterzogen. Das mittlere Alter der Patienten lag bei 63,9 Jahren mit einer Altersspanne von 19 bis 95 Jahren.

Von den beschriebenen Patientien erhielten 419 (48,3%) ein Blut-Patch. 449 (51,7 %) Patienten wurden nicht mit einem Blut-Patch behandelt. Um zu überprüfen, ob die individuellen Risikofaktoren zwischen diesen beiden Gruppen unabhängig voneinander betrachtet werden können, wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Bonferroni-Korrektur angewandt. Diese ergab keinen signifikanten Unterschied, sodass die individuellen Risikofaktoren unabhängig voneinander betrachtet werden können.

In die Studie eingeschlossen wurden alle CT-gesteuerten perkutanen Probeentnahmen der Thoraxregion, bei denen der Zugangsweg zur Zielläsion durch die Lunge führte (z.B. Biopsie unklarer pulmonaler Läsionen oder transpulmonale Punktion mediastinaler Lymphknoten). Nicht in die Studie eingeschlossen wurden die Fälle, bei denen die Probeentnahme vorzeitig abgebrochen werden musste oder bei denen der Zugangsweg zur Zielläsion nicht durch die Lunge führte (z.B. Punktionen der Thoraxwand oder Punktion axillärer Lymphknoten).

### **3.2 Vergleich Komplikationsraten mit und ohne Blut-Patch insgesamt**

Das primäre Ziel dieser Studie ist der Vergleich zweier Patientengruppen hinsichtlich ihrer Komplikationsraten. Die erste Patientengruppe wurde postinterventionell mit einem Blut-Patch versorgt. Bei der Kontrollgruppe erfolgte keine Behandlung mit einem Blut-Patch.

Insgesamt entwickelten 114 (13,13 %) der 868 Patienten einen Pneumothorax.

In der Gruppe der Patienten, die nach der Punktion mit einem Blut-Patch behandelt wurden, waren dies insgesamt 45 (10,74 %) von 419. Bei den Patienten, die kein Blut-Patch erhielten, zeigten 69 (15,37 %) von 449 einen

Pneumothorax. Daraus ergibt sich eine signifikant niedrigere Pneumothoraxrate ( $p = 0,04$ ) bei den Patienten der Blut-Patch-Gruppe.

13 Patienten der Blut-Patch-Gruppe (3,10 %) mussten postinterventionell mit einer Thoraxdrainage versorgt werden. In der Kontrollgruppe benötigten 26 Patienten (5,79 %) eine Thoraxdrainage. Hier liegt statistisch kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,06$ ) vor.

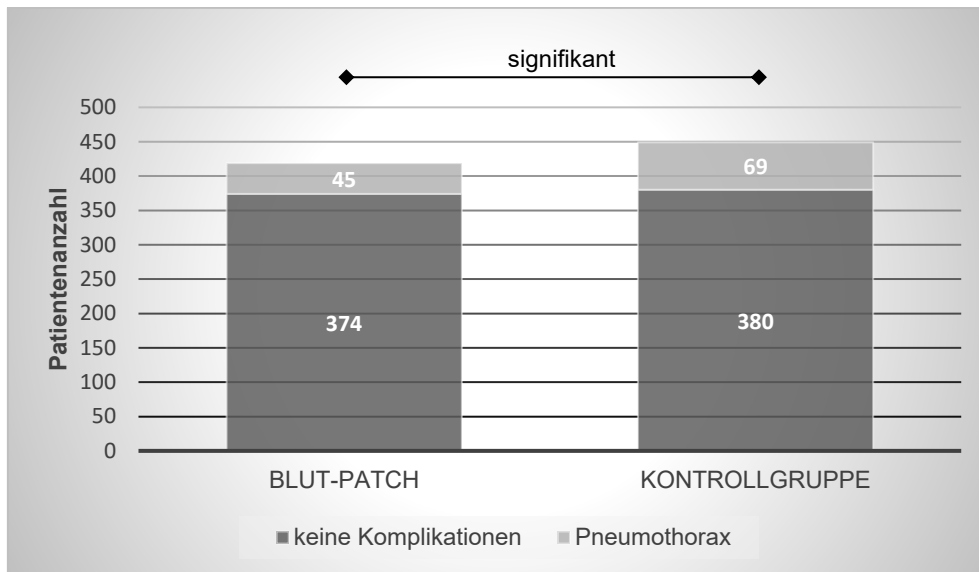


Abbildung 1: Vergleich Pneumothoraxe mit und ohne Blut-Patch

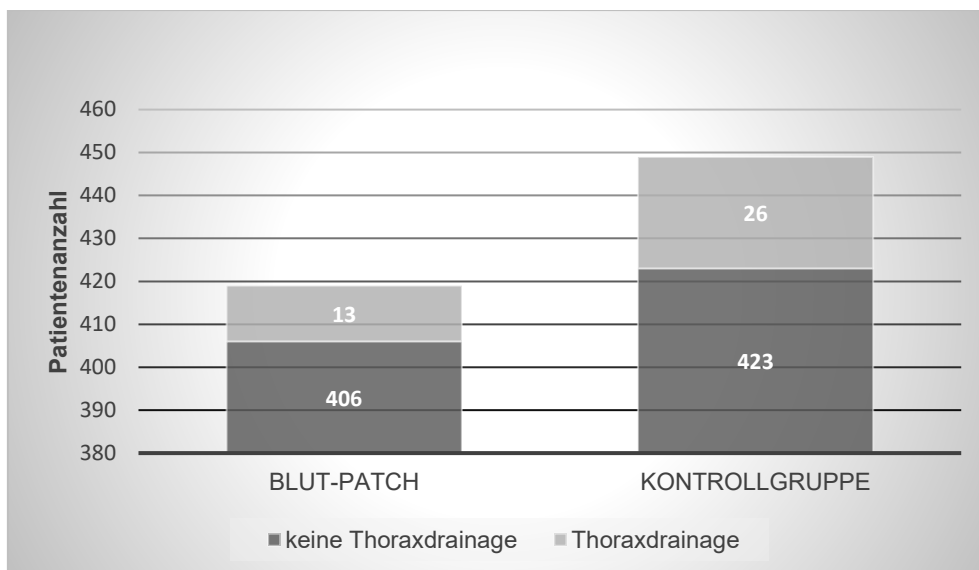


Abbildung 2: Vergleich Thoraxdrainagen mit und ohne Blut-Patch

### 3.3 Abstand zur Pleura/ Tiefe der Läsion

#### 3.3.1 Läsionen mit $\leq 2$ cm Abstand zur Pleura

Von den insgesamt 419 Patienten, die mit einem Blut-Patch behandelt wurden, lag die zu punktierende Läsion bei 316 Patienten  $\leq 2$  cm entfernt von der

Pleura. Bei 23 Personen (7,28 %) aus dieser Gruppe entwickelte sich ein Pneumothorax.

In der zweiten Patientengruppe, welche nicht mit Blut-Patch behandelt wurden, lag bei 366 Patienten die Läsion  $\leq 2$  cm entfernt von der Pleura. Einen Pneumothorax entwickelten davon 47 Patienten (12,84 %).

Im Vergleich ist die Pneumothoraxrate bei den genannten Patienten signifikant geringer ( $p = 0,02$ ), die postinterventionell mit einem Blut-Patch behandelt wurden.

### **3.3.2 Läsionen mit > 2-4 cm Abstand zur Pleura**

In 62 Fällen wurden Läsionen mit einem Abstand zur Pleura von > 2-4 cm punktiert und anschließend mit Blut-Patch behandelt. 13 (20,97 %) dieser Patienten zeigten nach der Punktion einen Pneumothorax.

Bei 58 Patienten der Kontrollgruppe lag die Zielläsion in einem Abstand zur Pleura von > 2-4 cm. Davon zeigten elf Patienten (18,97 %) postinterventionell einen Pneumothorax. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = 0,78$ ).

### **3.3.3 Läsionen mit > 4-5 cm Abstand zur Pleura**

Insgesamt lag bei 31 Patienten die Zielläsion > 4-5 cm entfernt von der Pleura – 17 Patienten wurden postinterventionell mit einem Blut-Patch behandelt. Hier-von entwickelten wiederum zwei Patienten (11,77 %) einen Pneumothorax. Die anderen 14 Patienten wurden ohne Blut-Patch behandelt. Von diesen zeigten sechs (42,86 %) postinterventionell einen Pneumothorax.

Patienten, welche postinterventionell mit einem Blut-Patch behandelt wurden, entwickelten in dieser Gruppe eine signifikant geringere Pneumothoraxrate ( $p = 0,049$ ).

#### **3.3.4 Läsionen mit > 5 cm Abstand zur Pleura**

Bei 24 Patienten, die mit Blut-Patch behandelt wurden, lag die Läsion tiefer als 5 cm. Hier zeigten sieben Patienten (29,17 %) einen Pneumothorax.

Über 5 cm tief lag die Läsion bei 11 Patienten der zweiten Gruppe. Von diesen entwickelten 5 (45,45 %) einen Pneumothorax. Hier ist statistisch kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,346$ ) zu ermitteln.

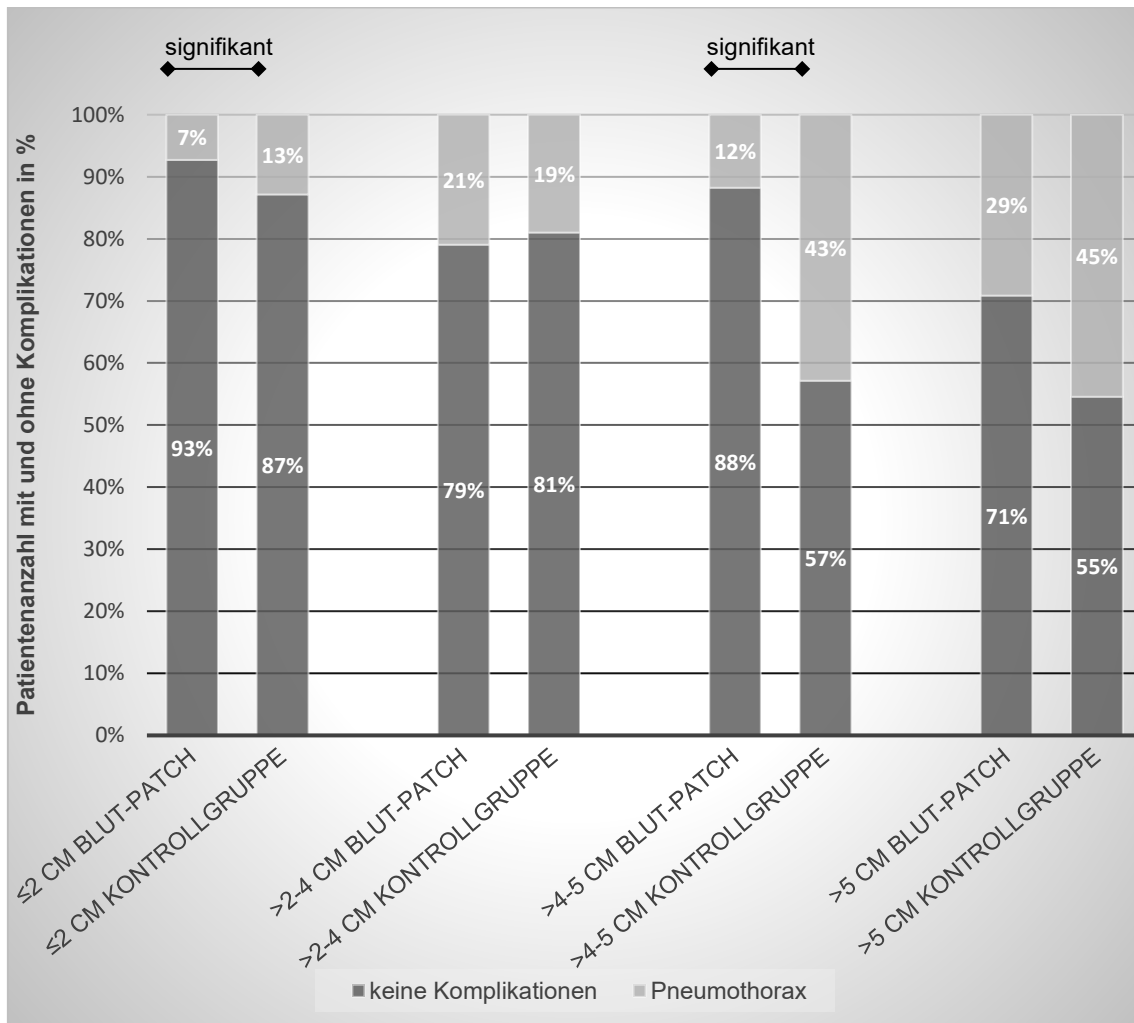


Abbildung 3: Vergleich der Pneumothoraxraten hinsichtlich des Abstandes zur Pleura

### 3.3.5 Vergleich Tiefe der Läsion innerhalb der Blut-Patch bzw. Kontrollgruppe

Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe zeigt sich ein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens eines Pneumothoraxes. Innerhalb dieser Gruppe ist bei dem Vergleich zwischen  $\leq 2$  cm und  $> 2-4$  cm ( $p = 0,001$ ) bzw. zwischen  $\leq 2$  cm und  $> 5$  cm ( $p = 0,0003$ ) eine signifikant höhere Komplikationsrate bei den

tiefer gelegenen Läsionen zu erkennen. Zwischen den anderen Eindringtiefen besteht kein signifikanter Unterschied.

In der Kontrollgruppe ist die Komplikationsrate höher, wenn die Punktionen mit größerem Abstand zur Pleura punktiert werden. Ein statistisch signifikanter Unterschied lässt sich zwischen der Gruppe, die einen Abstand von  $\leq 2$  cm zur Pleura und derer die  $> 4-5$  cm Abstand zu Pleura beschreibt ( $p = 0,0015$ ) und zwischen den Gruppen  $\leq 2$  cm und  $> 5$  cm ( $p = 0,002$ ) feststellen.

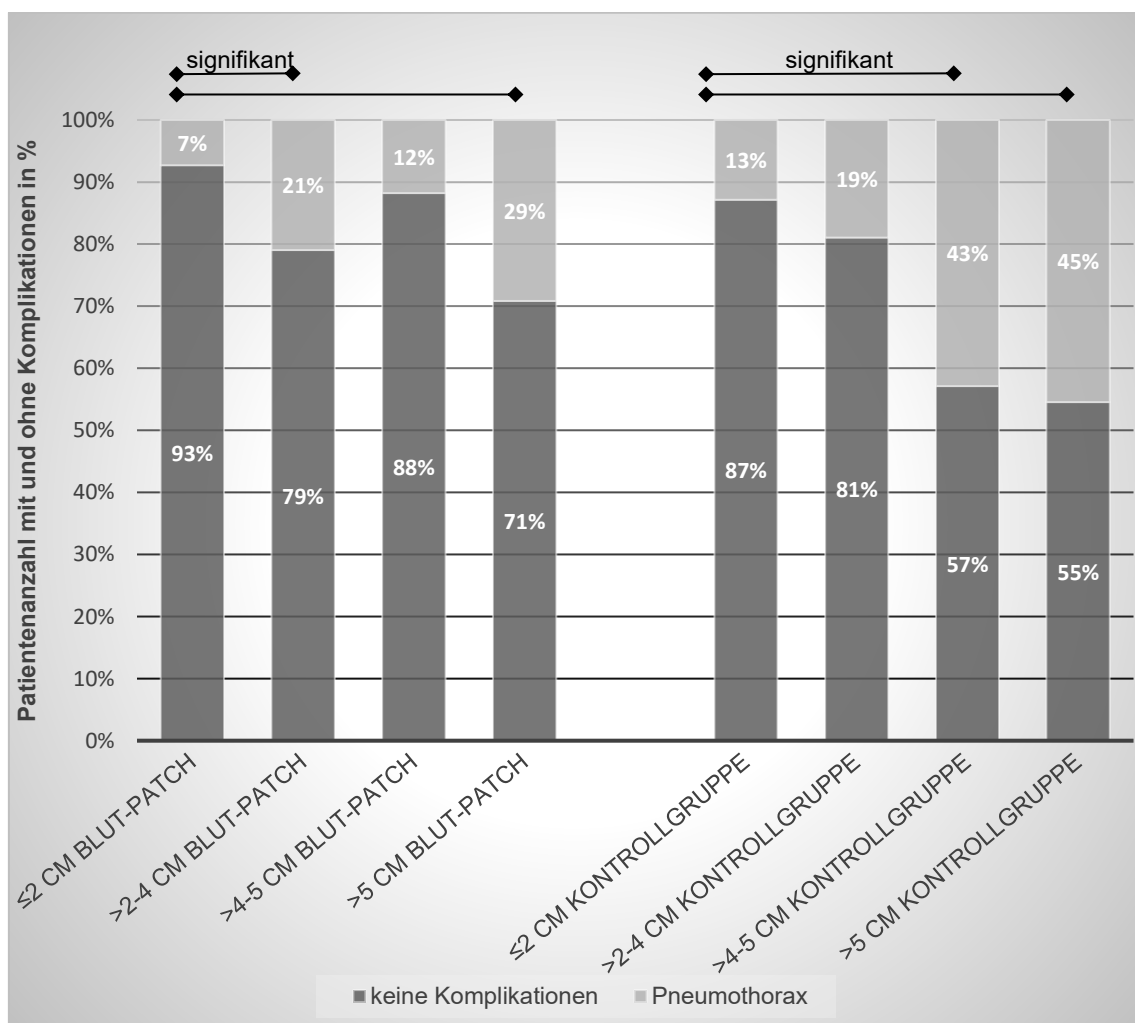


Abbildung 4: Vergleich der Pneumothoraxraten hinsichtlich des Abstandes zur Pleura innerhalb der Blut-Patch-Gruppe bzw. der Kontrollgruppe

Abstand zur Pleura		keine Komplikationen	Pneumothorax	Gesamt
Blutpatch	≤2 cm	293 (93%)	23 (7%)	316
	>2-4 cm	49 (79%)	13 (21%)	62
	>4-5 cm	15 (88%)	2 (12%)	17
	>5 cm	17 (71%)	7 (29%)	24
<b>Blutpatch Gesamt</b>		<b>374 (89%)</b>	<b>45 (11%)</b>	<b>419</b>
Kontrollgruppe	≤2 cm	319 (87%)	47 (13%)	366
	>2-4 cm	47 (81%)	11 (19%)	58
	>4-5 cm	8 (57%)	6 (43%)	14
	>5 cm	6 (55%)	5 (45%)	11
<b>Kontrollgruppe Ge- samt</b>		<b>380 (85%)</b>	<b>69 (15%)</b>	<b>449</b>
<b>Gesamt</b>		<b>754 (87%)</b>	<b>114 (13%)</b>	<b>868</b>

Tabelle 5: Übersicht Abstand zur Pleura/ Tiefe der Läsion (modifiziert nach  
(Perl et al., 2019))

### 3.4 Größe der Läsion

#### 3.4.1 < 3 cm

In der Patientengruppe, die mit Blut-Patch behandelt wurden, war bei 221 Patienten die zu punktierende Läsion < 3 cm groß. Von diesen Patienten zeigten 31 (14,03 %) im Kontrollröntgen einen Pneumothorax. Bei 182 Patienten der Gruppe, die nicht mit einem Blut-Patch versorgt wurden, wurde eine Läsion < 3

cm punktiert. 36 (19,78 %) dieser Patienten entwickelten einen postinterventionellen Pneumothorax. Dieser Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p = 0,12$ ).

#### **3.4.2 $\geq 3$ cm**

Bei 198 Patienten der Blut-Patch-Gruppe wurde eine Läsion  $\geq 3$  cm punktiert. Hiervon entwickelten 14 Patienten (7,07 %) postinterventionell einen Pneumothorax.

Die anderen 267 Fälle der Kontrollgruppe, zeigten eine zu punktierende Läsion  $\geq 3$  cm. Die Pneumothoraxrate liegt hier bei 12,36 % (33 Fälle). Statistisch ist dies als nicht signifikant ( $p = 0,06$ ) zu bewerten.

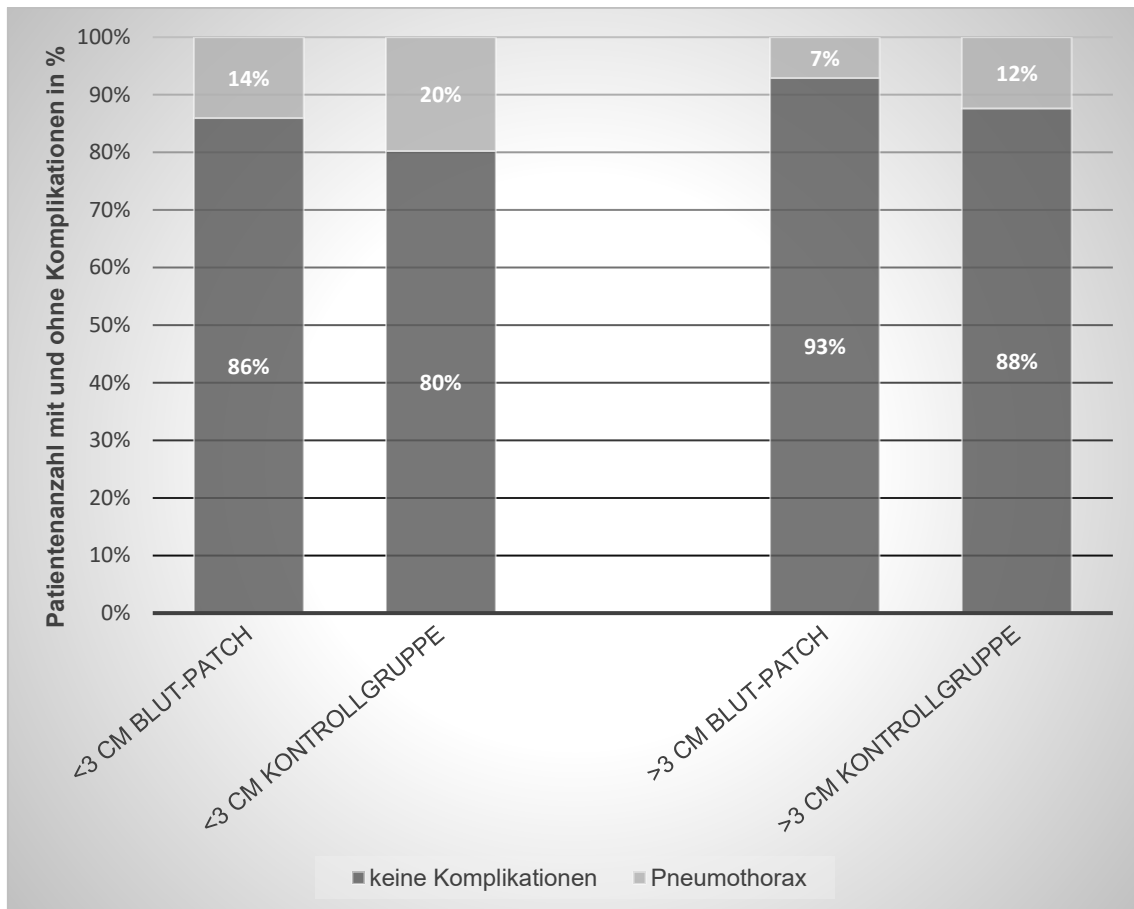


Abbildung 5: Vergleich der Pneumothoraxraten hinsichtlich der Größe der Läsion

### 3.4.3 Vergleich Größe der Läsion innerhalb der Blut-Patch bzw. Kontrollgruppe

Beide Patientengruppe zeigen innerhalb der jeweiligen Gruppe eine signifikant niedrigere Komplikationsrate bei Punktionen, bei denen die Zielläsion  $\geq 3$  cm war, verglichen mit Zielläsionen  $< 3$  cm (Blut-Patch-Gruppe:  $p = 0,02$ ; Kontrollgruppe:  $p = 0,03$ ).

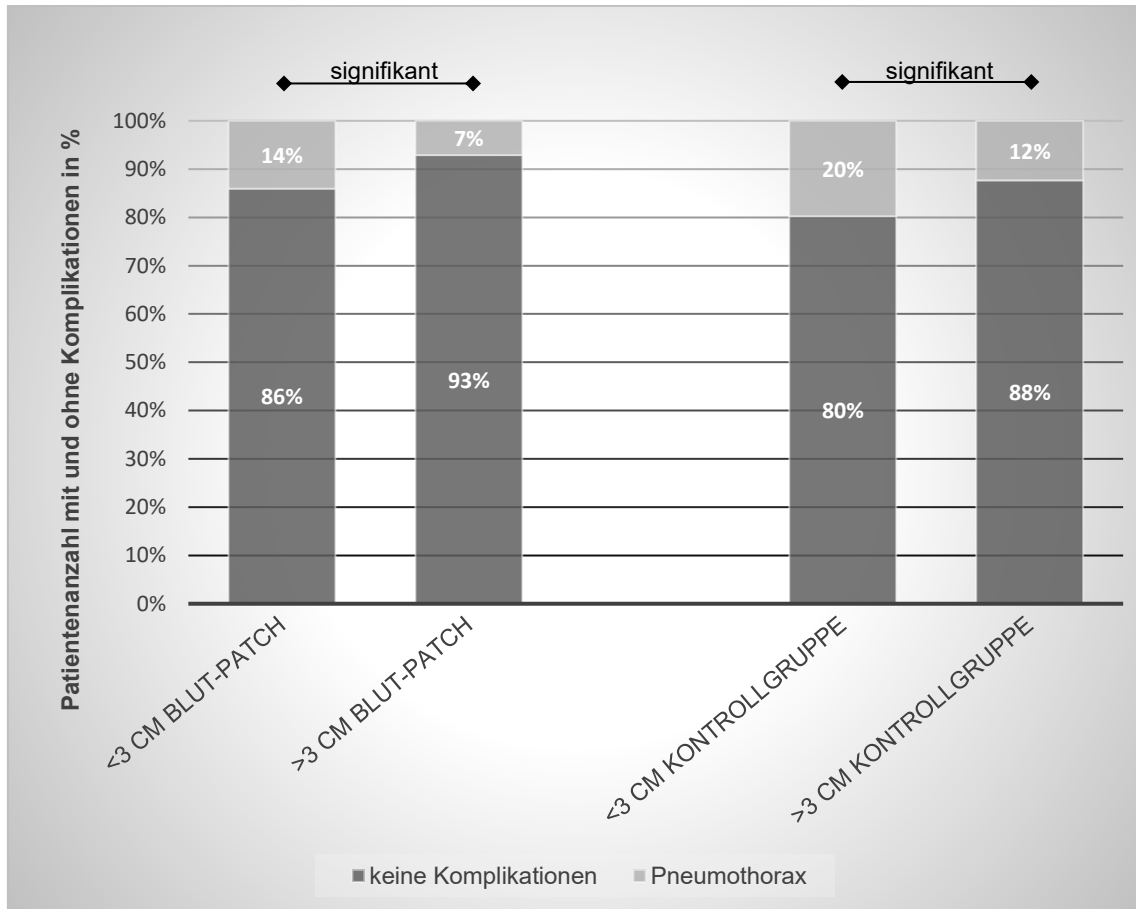


Abbildung 6: Vergleich der Pneumothoraxraten hinsichtlich der Größe der Läsion innerhalb der Blut-Patch-Gruppe bzw. der Kontrollgruppe

Größe der Läsion		keine Komplikationen	Pneumothorax	Gesamt
Blutpatch	<3cm	221 (88%)	31 (12%)	252
	≥3 cm	198 (93%)	14 (7%)	212
<b>Blutpatch Gesamt</b>		<b>419 (90%)</b>	<b>45 (10%)</b>	<b>464</b>
Kontrollgruppe	<3cm	182 (83%)	36 (17%)	218
	≥3 cm	267 (89%)	33 (11%)	300
<b>Kontrollgruppe Gesamt</b>		<b>449 (87%)</b>	<b>69 (13%)</b>	<b>518</b>
<b>Gesamt</b>		<b>868 (88%)</b>	<b>114 (12%)</b>	<b>982</b>

Tabelle 6: Übersicht Größe der Läsion

### 3.5 Nadelstärke

Für die Punktionen wurde ein Coaxiales Nadelsystem mit den Nadelstärken 13 G, 15 G, 17 G oder 19 G verwendet. Die Größenangaben beziehen sich auf den Außendurchmesser der Führungskanüle. Die innerhalb liegende Punktionsnadel ist 1 G kleiner als die Führungskanüle.

#### 3.5.1 13 G Nadelsystem

In der Patientengruppe, die mit Blut-Patch behandelt wurden, wurde dreimal das 13 G Nadelsystem benutzt. Hierbei kam es in einem Fall (33,33 %) zu einem Pneumothorax. Bei den Patienten, die ohne Blut-Patch behandelt wurden,

wurden insgesamt sieben mit einem 13 G Nadelsystem punktiert. Keiner dieser Patienten entwickelte postinterventionell eine Komplikation. Aufgrund der geringen Patientenanzahl kann hier keine statistische Signifikanz ermittelt werden.

### **3.5.2 15 G Nadelsystem**

23 Patienten der Blut-Patch-Gruppe wurden mit einer 15 G Nadel punktiert, wovon ein Patient (4,35 %) einen Pneumothorax entwickelte. In 28 Fällen der Kontrollgruppe wurde das 15G-Nadelsystem verwendet, wovon einer (3,57 %) einen Pneumothorax entwickelte. Statistisch ist hier kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,89$ ) zu erkennen.

### **3.5.3 17 G Nadelsystem**

Bei 200 Patienten, die postinterventionell ein Blut Patch bekamen, wurde eine Nadelsystem der Stärke 17 G verwendet. Davon kam es in 16 Fällen (8 %) zu einem Pneumothorax. Bei 176 Patienten der Kontrollgruppe wurde ein Nadelsystem der Stärke 17 G verwendet. Von diesen Patienten zeigten 26 (14,77 %) im Kontrollröntgenbild einen Pneumothorax. Dieser Unterschied wird als statistisch signifikant ( $p = 0,04$ ) angesehen.

### **3.5.4 19 G Nadelsystem**

Das 19 G-Nadelsystem wurde bei 165 Patienten der Blut-Patch-Gruppe angewandt. Von diesen zeigten 26 (15,76 %) im Verlauf einen Pneumothorax. 185 Patienten der Gruppe, die nicht mit einem Blut-Patch behandelt wurde, erhielten eine Punktion mit einem 19 G-Nadelsystem. Davon entwickelten 32 Patienten

(17,3 %) einen Pneumothorax. Dieser Unterschied ist als statistisch nicht signifikant ( $p = 0,7$ ) zu bewerten.

### **3.5.5 Unbekannte Nadelstärke**

Bei 28 Patienten, die mit einem Blut-Patch behandelt wurde, ließ sich retrospektiv nicht mehr nachvollziehen, welche Nadelstärke verwendet wurde. Einer (3,57 %) dieser Patienten entwickelte im Anschluss einen Pneumothorax.

Bei 53 Patienten der Kontrollgruppe ist nicht nachvollziehbar, welche Nadelstärke verwendet wurde. Die Pneumothoraxrate beträgt hier 18,87 % (10 Patienten).

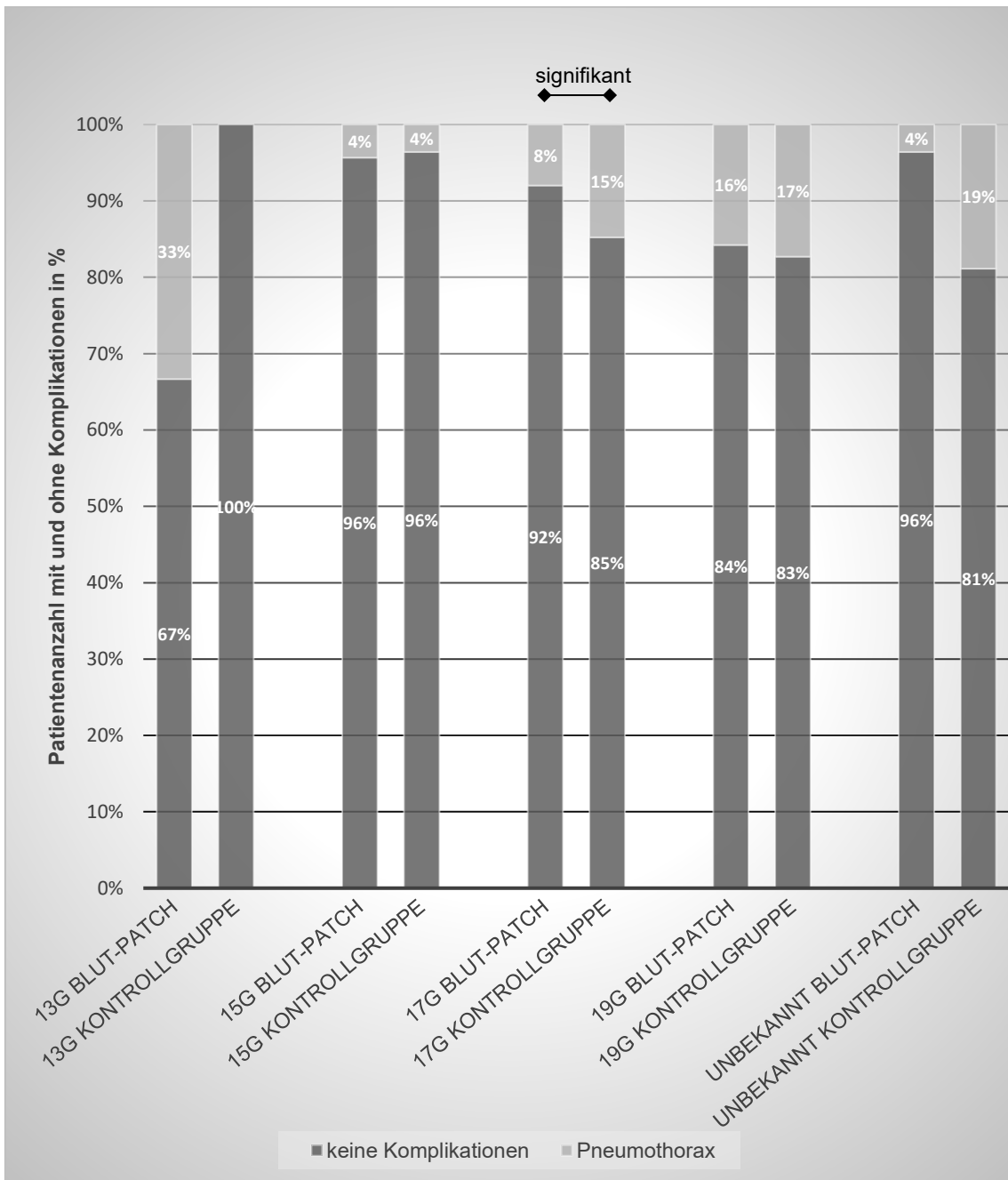


Abbildung 7: Vergleich der Pneumothoraxraten bei unterschiedlichen Nadelstärken

### **3.5.6 Vergleich Nadelstärke 17 G und 19 G innerhalb der jeweiligen Gruppe**

In beiden Patientengruppen wurde insgesamt mit Abstand am häufigsten die Nadelstärken 17 G und 19 G verwendet. Aus diesem Grund wurde im Folgenden ein Vergleich zwischen diesen beiden Nadelstärken ausgewertet. Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe konnte zwischen den Patienten, die mit einem 17 G und denen, die mit einem 19 G Coaxial-Nadelsystem punktiert wurden ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,02$ ) festgestellt werden. Es traten mehr Pneumothorax bei Patienten auf, die mit einer 19 G Nadel punktiert wurden. In der Kontrollgruppe gab es beim Vergleich zwischen den Nadelstärken 17 G und 19 G keinen signifikanten Unterschied ( $p = 0,51$ ).

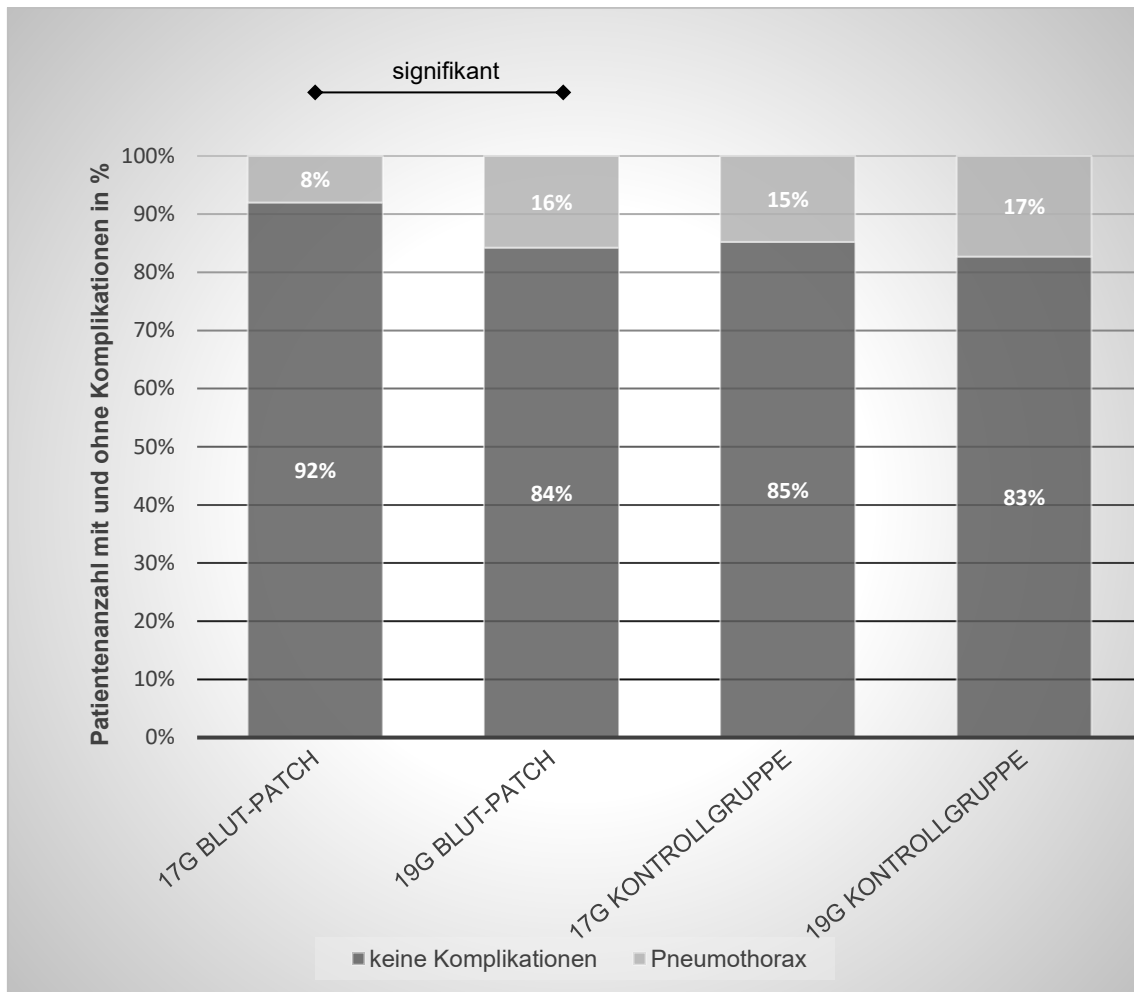


Abbildung 8: Vergleich Nadelstärken 17 G und 19 G innerhalb der jeweiligen Gruppe

### 3.5.7 Zusammenfassung Nadelstärke

Bei 376 der 868 Punktionen (43,32 %), und damit am häufigsten, wurde das 17 G Nadelsystem benutzt. Im Vergleich der Komplikationsraten beider Patientengruppen zeigt sich allein hier ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,04$ ). Für die anderen Nadelstärken zeigt sich kein statistisch signifikanter Unterschied.

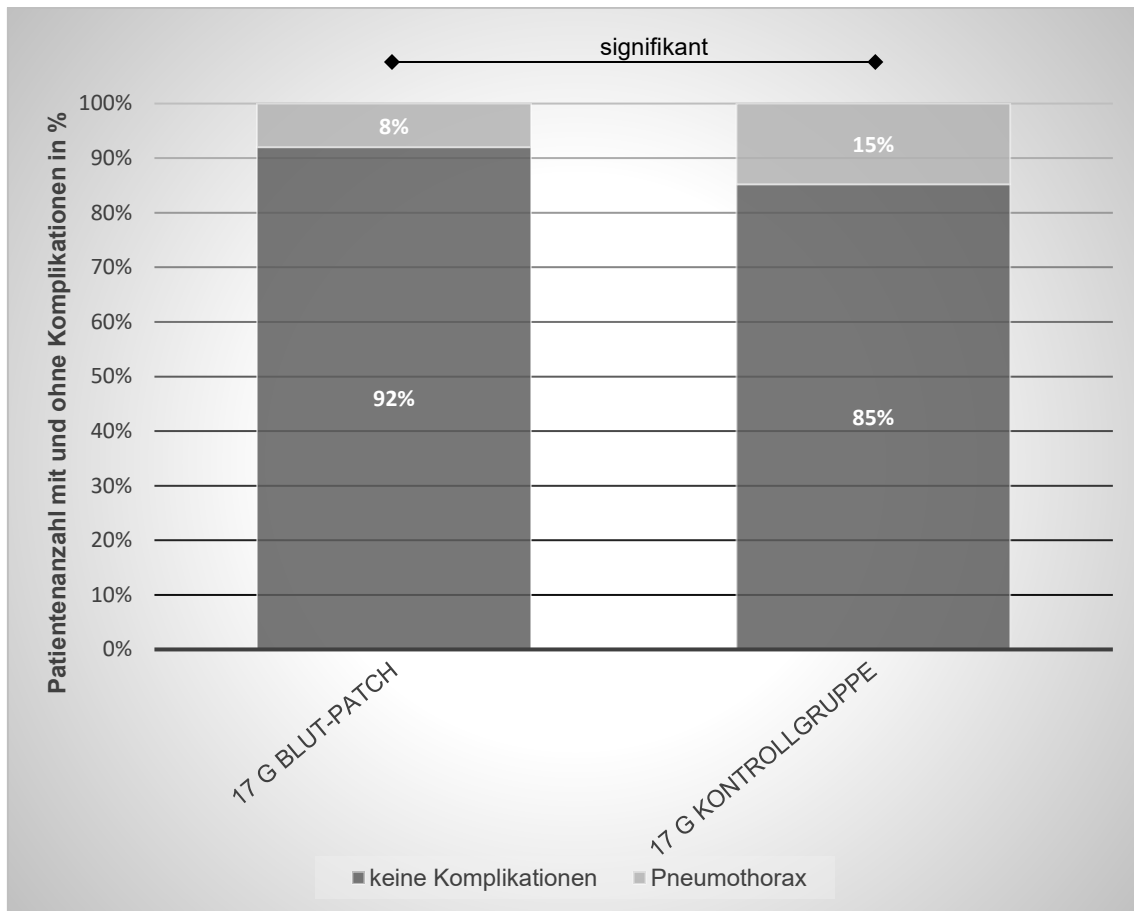


Abbildung 9: Vergleich der Pneumothoraxraten mit und ohne Blut-Patch bei Verwendung eines 17 G Coaxial-Nadelsystems

	Nadelstärke	keine Komplikationen	Pneumothorax	Gesamt
Blutpatch	13 G	2 (67%)	1 (33%)	3
	15 G	22 (96%)	1 (4%)	23
	17 G	184 (92%)	16 (8%)	200
	19 G	139 (84%)	26 (16%)	165
	unbekannt	27 (96%)	1 (4%)	28
<b>Blutpatch Gesamt</b>		<b>374 (89%)</b>	<b>45 (11%)</b>	<b>419</b>
Kontrollgruppe	13 G	7 (100%)	0 (0%)	7
	15 G	27 (96%)	1 (4%)	28
	17 G	150 (85%)	26 (15%)	176
	19 G	153 (83%)	32 (17%)	185
	unbekannt	43 (81%)	10 (19%)	53
<b>Kontrollgruppe Gesamt</b>		<b>380 (85%)</b>	<b>69 (15%)</b>	<b>449</b>
<b>Gesamt</b>		<b>754 (87%)</b>	<b>114 (13%)</b>	<b>868</b>

Tabelle 7: Übersicht der unterschiedlichen Nadelstärken (modifiziert nach (Perl et al., 2019))

### 3.6 Lokalisation der Läsion

#### 3.6.1 Unterlappen

In der Patientengruppe, die mit Blut-Patch behandelt wurde, erfolgte in 180 Fällen eine Punktion des Unterlappens. 13 dieser Patienten entwickelten einen

Pneumothorax (7,22 %). In der Kontrollgruppe wurde der Unterlappen insgesamt 156-mal punktiert. Dabei traten bei 33 Patienten (21,15 %) eine Komplikation in Form eines Pneumothorax auf. Dieser Unterschied ist statistisch als signifikant ( $p = 0,0002$ ) anzusehen.

### **3.6.2 Oberlappen**

Insgesamt wurde 392-mal der Oberlappen punktiert – 190-mal mit postinterventioneller Blut-Patch-Behandlung und 202-mal ohne. 31 Patienten (16,32 %) der Blut-Patch-Gruppe entwickelten einen Pneumothorax. In der Kontrollgruppe trat bei 31 Patienten (15,35 %) ein Pneumothorax auf. Hier besteht keine statistische Signifikanz ( $p = 0,79$ ).

### **3.6.3 Andere Lokalisation (Mittellappen, Mediastinum, Pleura)**

Bei 49 der mit Blut-Patch behandelten Patienten, wurde der Mittellappen, das Mediastinum oder die Pleura punktiert. Ein Patient (2,04 %) zeigte postinterventionell einen Pneumothorax. In der Kontrollgruppe wurde 91-mal eine andere Lokalisation als Unter- oder Oberlappen punktiert. Von diesen Patienten entwickelten fünf (5,5 %) einen Pneumothorax. Statistisch ergibt sich kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,34$ ).

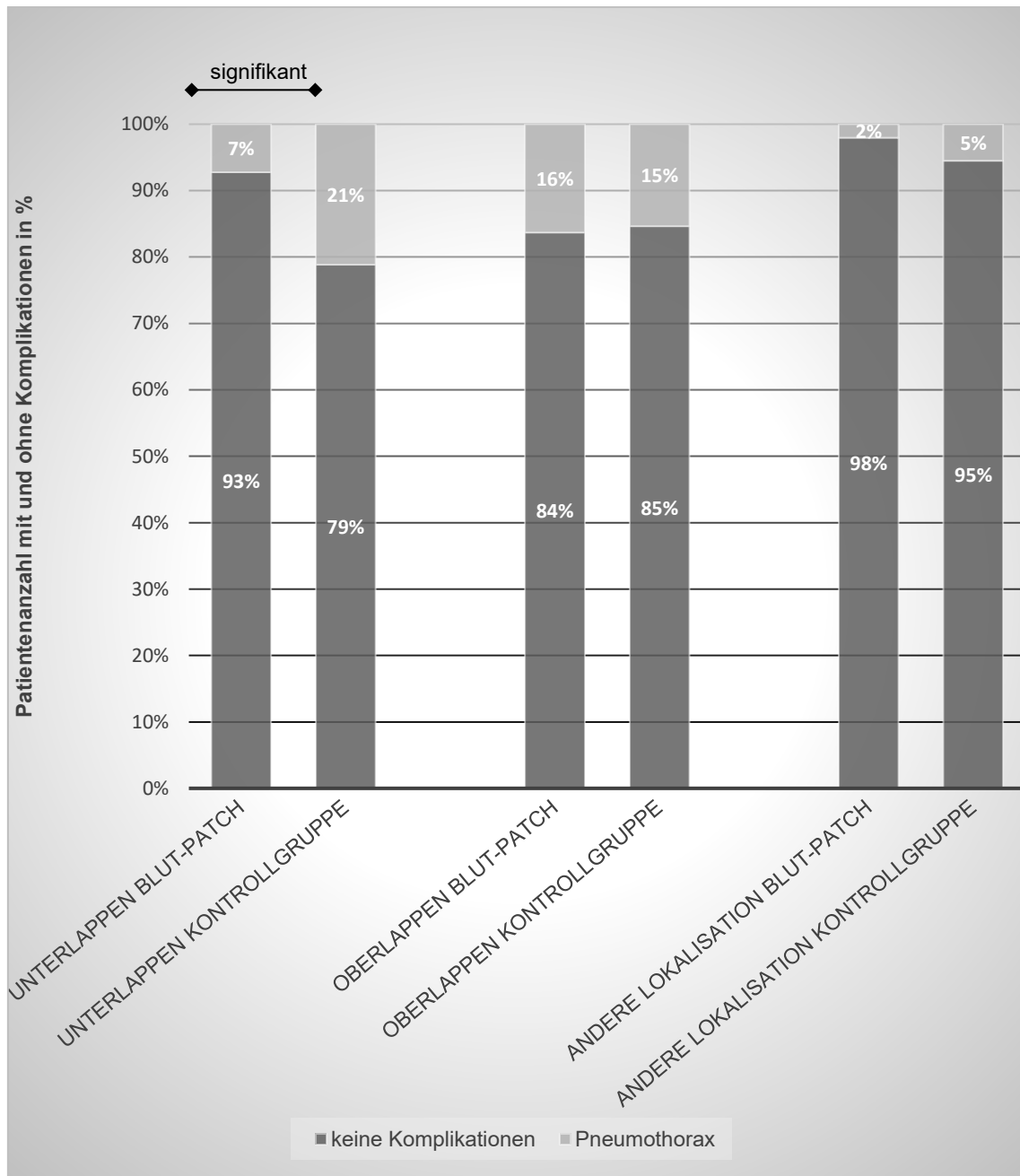


Abbildung 10: Vergleich der Pneumothoraxraten bei unterschiedlichen Lokalisationen der Läsion

#### **3.6.4 Vergleich Lokalisation der Läsion innerhalb der jeweiligen Gruppen**

Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe zeigten sich signifikant mehr Pneumothoraxe bei Punktionen des Oberlappens im Vergleich zu Punktionen des Unterlappens ( $p = 0,007$ ). In der Kontrollgruppe konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p = 0,16$ ).

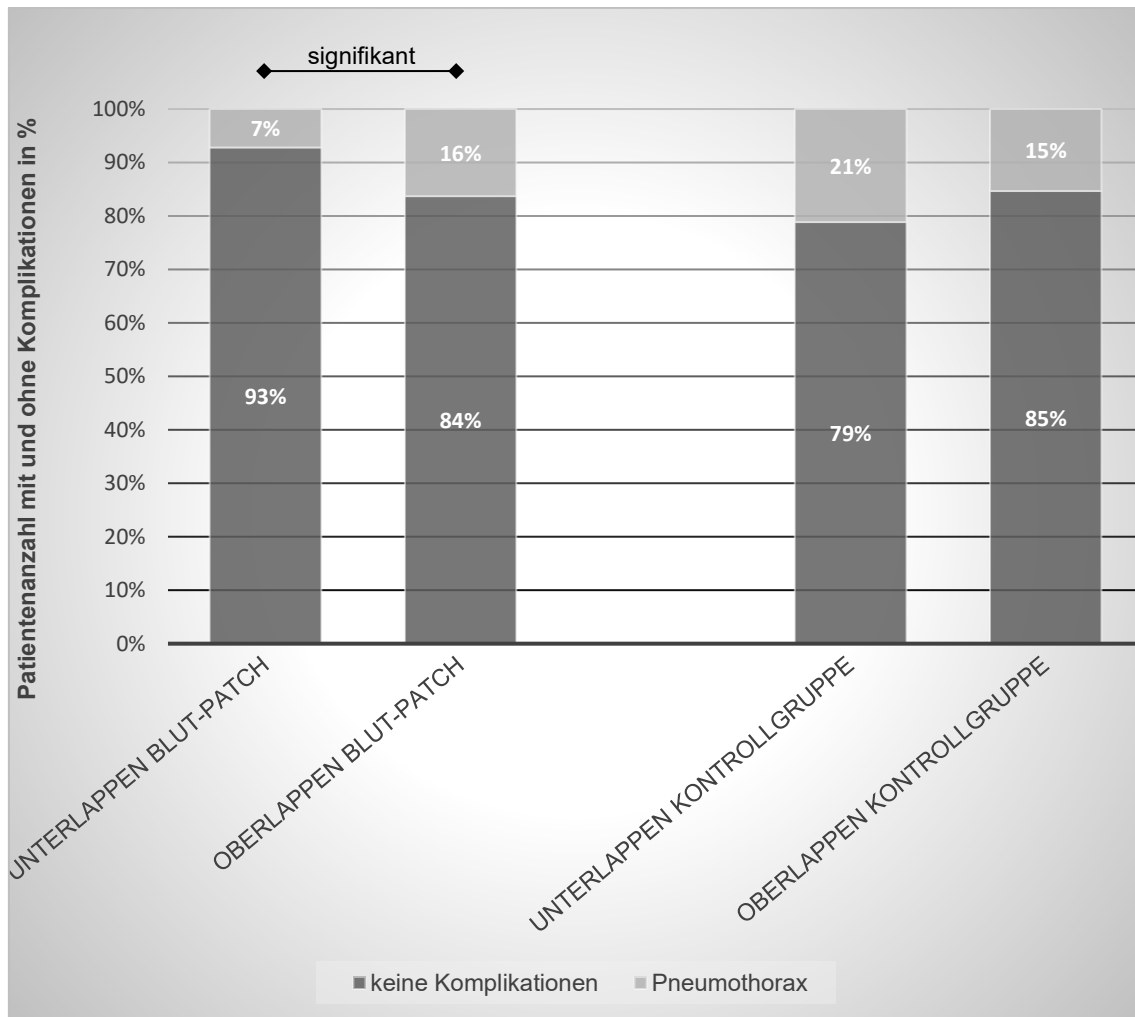


Abbildung 11: Vergleich Lokalisation der Läsion innerhalb der jeweiligen Gruppe

### 3.7 Anzahl der Proben

#### 3.7.1 $\leq 3$ Proben

Bei 307 Patienten, die mit einem Blut-Patch behandelt worden sind, wurden  $\leq 3$  Proben entnommen. Von diesen Patienten entwickelten 39 (12,7 %) postinterventionell einen Pneumothorax. In der Kontrollgruppe wurden bei 313 Patienten

≤ 3 Proben entnommen. Hiervon bekamen 47 Patienten (15,02 %) einen Pneumothorax. Dies stellt keinen statistisch signifikanten Unterschied dar ( $p = 0,4$ ).

### **3.7.2 ≥ 4 Proben**

Bei 112 Patienten der Blut-Patch-Gruppe wurden ≥ 4 Proben entnommen. Davon zeigten sechs Patienten (5,36 %) nach der Punktion einen Pneumothorax. In der Kontrollgruppe entwickelten 22 von 136 Patienten (16,18 %), bei denen ≥ 4 Proben entnommen wurden, einen Pneumothorax. Die Pneumothoraxrate ist bei den Patienten, die postinterventionell mit Blut-Patch behandelt wurden, somit signifikant ( $p = 0,01$ ) geringer.

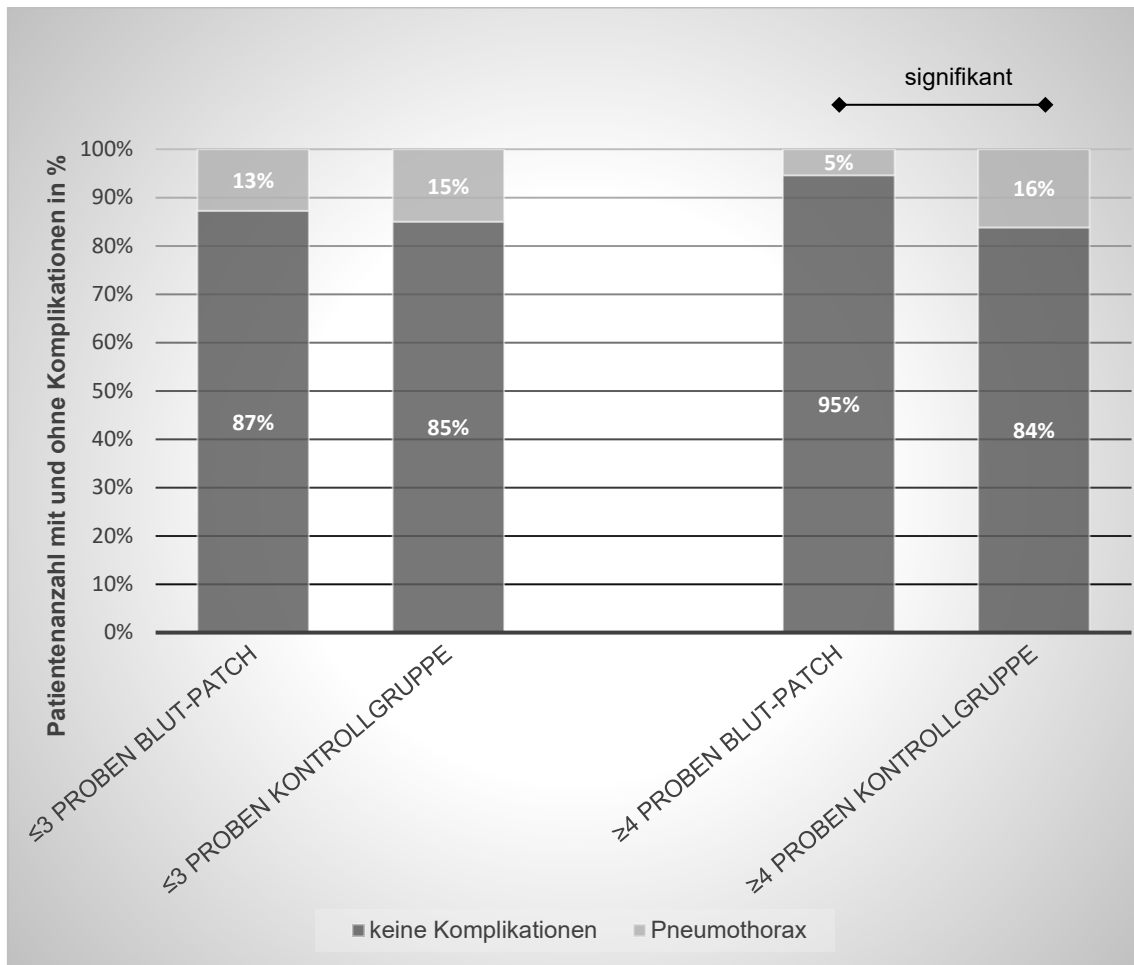


Abbildung 12: Vergleich der Pneumothoraxraten bei unterschiedlicher Anzahl der entnommenen Proben

### 3.7.3 Vergleich Anzahl der Proben innerhalb der jeweiligen Gruppen

Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe konnten signifikant mehr Pneumothoraxe festgestellt werden, wenn  $\leq 3$  Proben entnommen wurden im Vergleich zur Entnahme von  $\geq 4$  Proben ( $p = 0,03$ ). In der Kontrollgruppe konnte kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p = 0,75$ ).

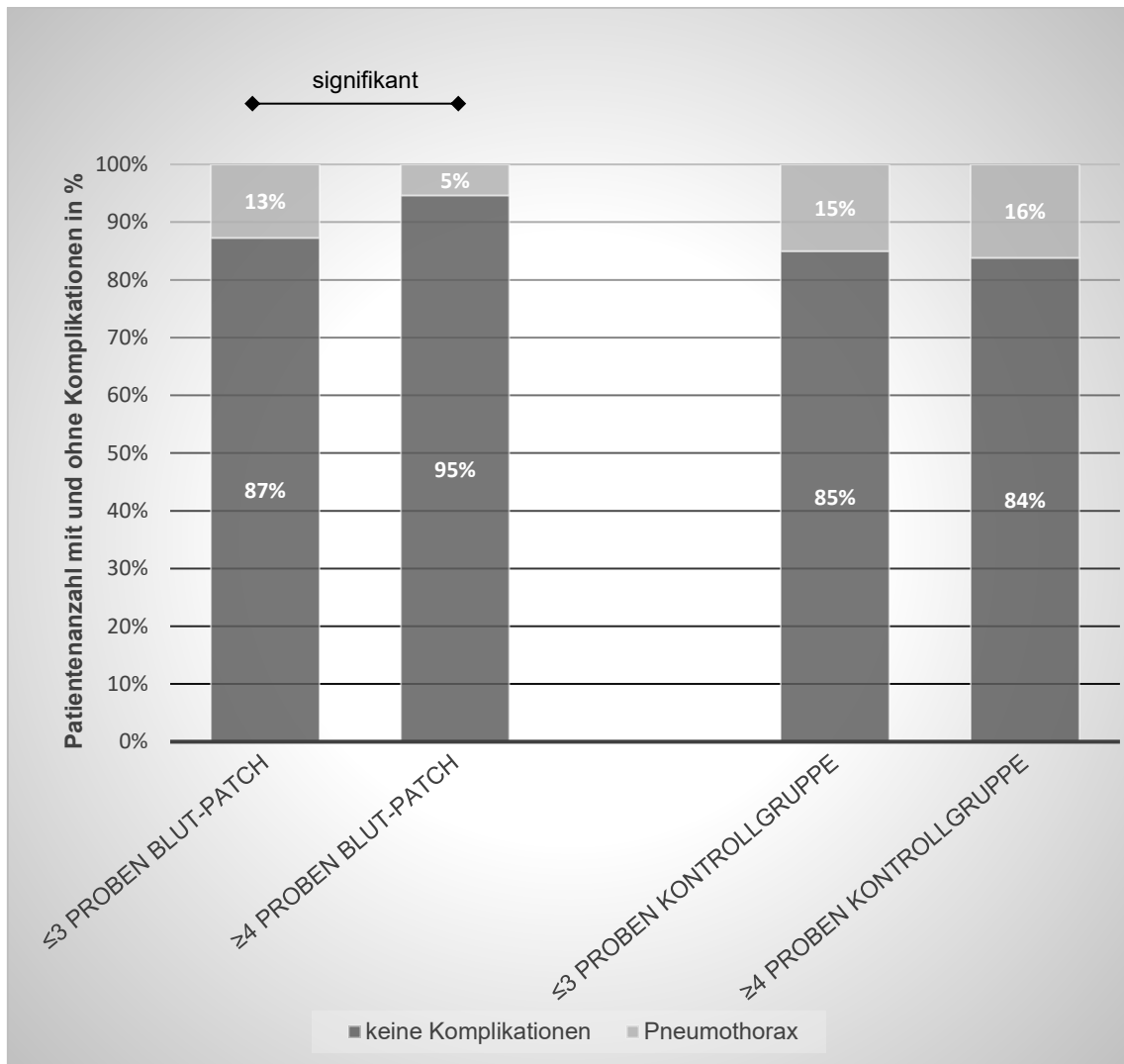


Abbildung 13: Vergleich Anzahl der Proben innerhalb der jeweiligen Gruppe

Anzahl der Proben		keine Komplikationen	Pneumothorax	Gesamt
Blutpatch	≤ 3	268 (87%)	39 (13%)	307
	≥ 4	106 (95%)	6 (5%)	112
<b>Blutpatch Gesamt</b>		<b>374 (89%)</b>	<b>45 (11%)</b>	<b>419</b>
Kontrollgruppe	≤ 3	266 (85%)	47 (15%)	313
	≥ 4	114 (84%)	22 (16%)	136
<b>Kontrollgruppe Gesamt</b>		<b>380 (85%)</b>	<b>69 (15%)</b>	<b>449</b>
<b>Gesamt</b>		<b>754 (87%)</b>	<b>114 (13%)</b>	<b>868</b>

Tabelle 8: Übersicht Anzahl der Proben

### 3.8 Erfahrungheit der Radiologen

#### 3.8.1 Vergleich Erfahrungheit der Radiologen

Insgesamt wurden 706 der Punktionen von einem Radiologen mit besonders hoher Expertise durchgeführt. Davon entwickelten 75 Patienten (10,62 %) einen Pneumothorax.

Die anderen 162 Punktionen wurden von sechs weiteren Radiologen vollzogen.

In 39 Fällen (24,07 %) zeigte sich postinterventionell ein Pneumothorax.

Somit ist die Komplikationsrate des besonders erfahrenen Radiologen signifikant kleiner ( $p = 0,000004849$ ) verglichen mit der Komplikationsrate der anderen sechs Radiologen.

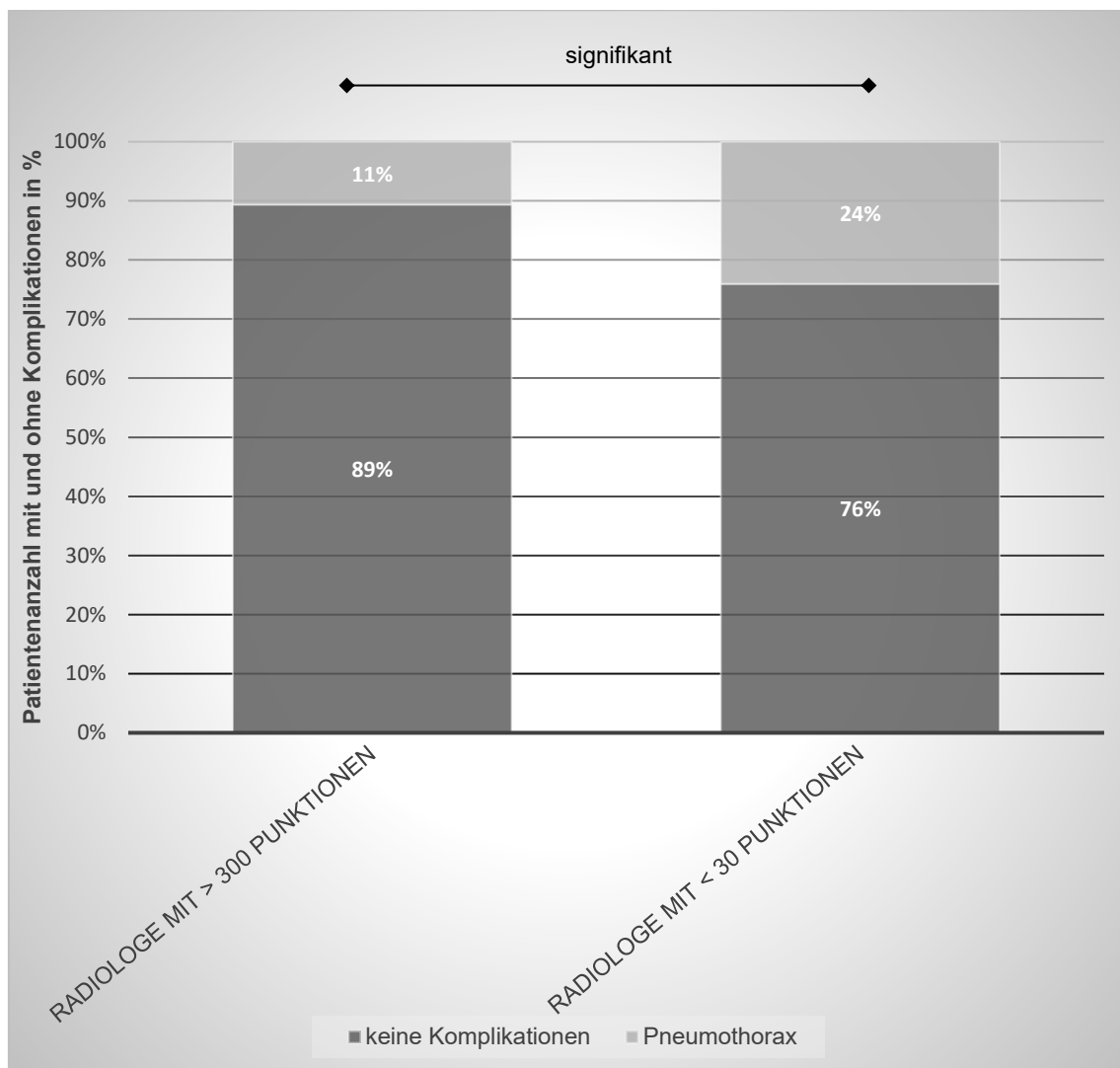


Abbildung 14: Vergleich der Pneumothoraxrate hinsichtlich der Erfahrung der Radiologen

Erfahrenheit		keine Komplika- tionen	Pneumothorax	Gesamt
Blutpatch	>30 Punktio- nen	366 (89%)	44 (11%)	410
	<30 Punktio- nen	8 (89%)	1 (11%)	9
<b>Blutpatch Gesamt</b>		<b>374 (89%)</b>	<b>45 (11%)</b>	<b>419</b>
Kontrollgruppe	>30 Punktio- nen	265 (90%)	31 (10%)	296
	<30 Punktio- nen	115 (75%)	38 (25%)	153
<b>Kontrollgruppe Gesamt</b>		<b>380 (85%)</b>	<b>69 (15%)</b>	<b>449</b>
<b>Gesamt</b>		<b>754 (87%)</b>	<b>114 (13%)</b>	<b>868</b>

Tabelle 9: Übersicht Erfahrungheit der Radiologen (modifiziert nach (Perl et al., 2019))

### 3.8.2 Vergleich Erfahrungheit der Radiologen innerhalb der Blut-Patch bzw. Kontrollgruppe

Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe gibt es keinen signifikanten  $p = 0,97$  Unterschied bei der Entstehung von Komplikationen, wenn man die Erfahrungheit des Radiologen vergleicht. Bei dem besonders erfahrenen Radiologen tritt bei 44 von 410 Punktionen (11 %) ein Pneumothorax auf, bei den anderen Radiologen bei einem von neun Punktionen (11 %).

Im Gegensatz dazu zeigen sich signifikant ( $p = 0,0001$ ) weniger Komplikationen in der Kontrollgruppe, wenn der besonders erfahrene Radiologe die Punktion durchführt (31 von 296 (10 %) versus 38 von 153 (25 %)).

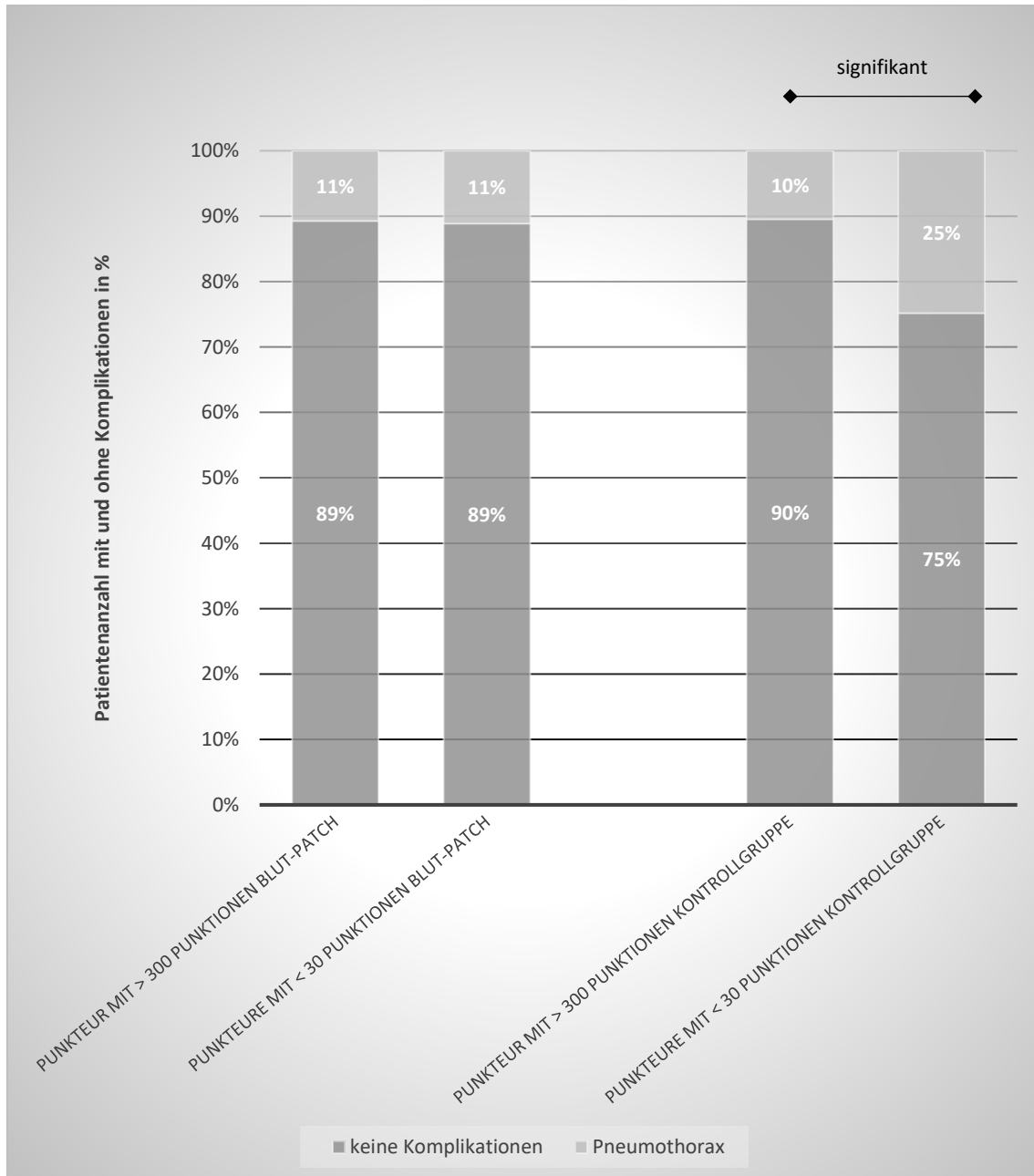


Abbildung 15: Vergleich der Pneumothoraxrate hinsichtlich der Erfahrung der Radiologen innerhalb der Blut-Patch-Gruppe bzw. der Kontrollgruppe

### 3.8.3 Unterschiede bei Verwendung des Blut-Patches

Bei dem Radiologen mit besonders großer Punktions-Erfahrung konnte kein signifikanter ( $p = 0,91$ ) Unterschied in der Komplikationsrate bei Verwendung eines Blut-Patches festgestellt werden. In der Blut-Patch-Gruppe entwickelte sich bei 44 Patienten (10,73 %) ein Pneumothorax, in der Kontrollgruppe bei 31 Patienten (10,47 %). Bei 12 Patienten (2,93 %) der Blut-Patch-Gruppe war eine Versorgung mit einer Thoraxdrainage notwendig, in der Kontrollgruppe bei 10 Patienten (3,38 %).

Die Gruppe der Radiologen, die jeweils weniger als 30 Punktionen durchgeführt haben, verursachten bei Verwendung des Blut-Patches nicht signifikant ( $p = 0,35$ ) weniger Komplikationen. Hier entwickelten neun Patienten (11,11 %) mit Blut-Patch einen Pneumothorax wohingegen 38 Patienten (24,84 %) ohne Blut-Patch einen Pneumothorax entwickelten. Eine Thoraxdrainage benötigte ein Patient (11,11 %) aus der Blut-Patch-Gruppe und 16 Patienten (10,46 %) der Kontrollgruppe.

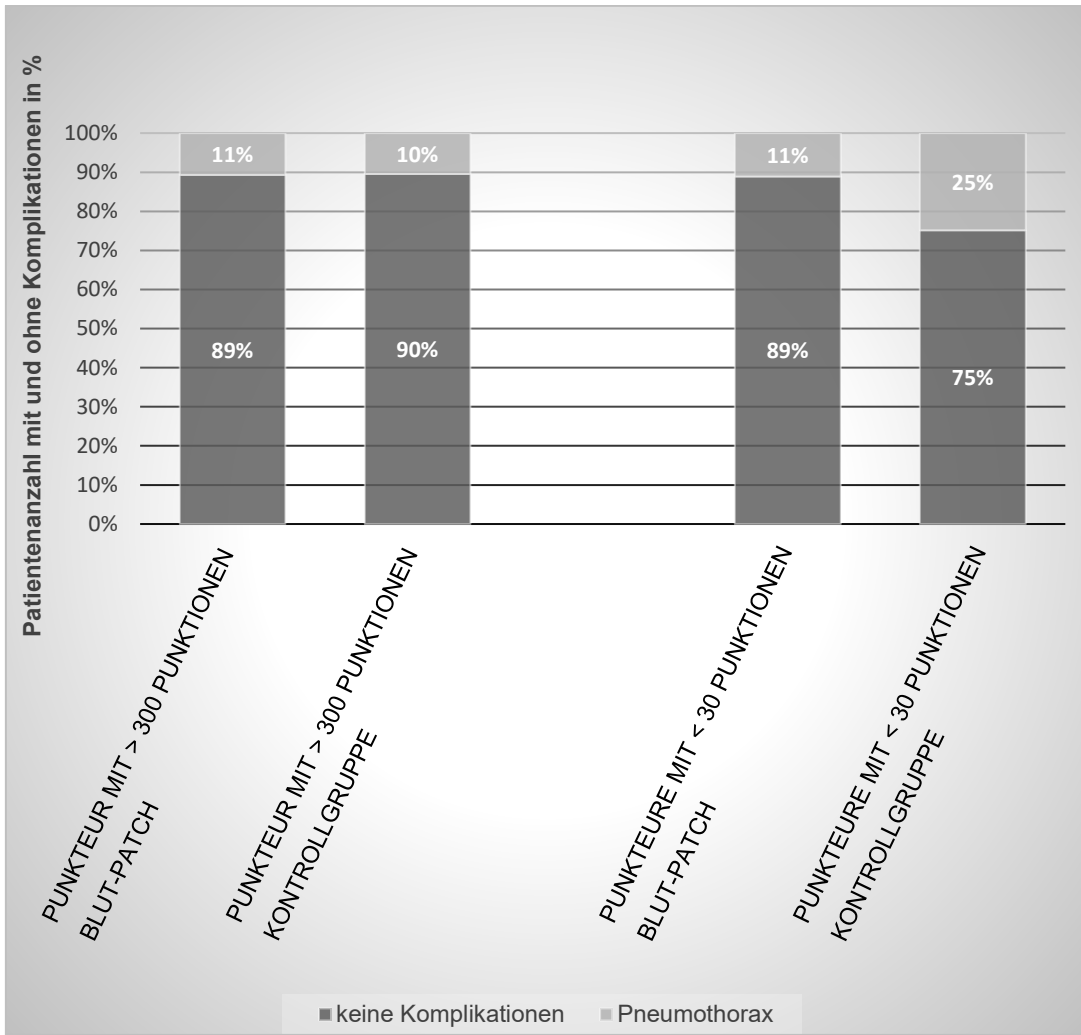


Abbildung 16: Vergleich der Pneumothoraxrate hinsichtlich der Erfahrung der Radiologen bei Verwendung Blut-Patch bzw. kein Blut-Patch

## 4 Diskussion

### 4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der CT-gesteuerten transpulmonalen Biopsie kann es, wie bei jedem medizinischen Eingriff, zu Komplikationen kommen. Neben Blutungen tritt hierbei als häufigste Komplikation die Entwicklung eines Pneumothorax auf (Wu et al., 2011). Die Angaben, wie häufig Patienten einen Pneumothorax nach einer Probeentnahme aus der Lunge entwickeln, variieren in der Literatur sehr stark: es werden Pneumothoraxraten zwischen 8 und 61 % beschrieben (Billich et al., 2008, Boskovic et al., 2014, Graffy et al., 2017, Heerink et al., 2017, Kuban et al., 2015, Lal et al., 2012, Moreland et al., 2016, Petsas et al., 1995). In einer Metaanalyse von Heerink et al. wurden 32 Paper mit insgesamt 8133 Schneidbiopsien untersucht. Dabei wurde eine mittlere Pneumothoraxrate von 25,3 % bestimmt (Heerink et al., 2017). In der in dieser Dissertationsschrift beschriebenen Studie lag die Pneumothoraxrate insgesamt bei 13,13 %.

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen eine signifikant ( $p = 0,04$ ) niedrigere Pneumothoraxrate bei den Patienten, die nach der CT-gesteuerten Lungenbiopsie mit einem Blut-Patch behandelt wurden, gegenüber den Patienten aus der Kontrollgruppe (10,74 % vs. 15,37 %). In anderen Studien wurde ebenso eine geringere Rate an Pneumothoraxen beschrieben, wenn nach CT-gesteuerten Lungenbiopsien eine Behandlung mit Blut-Patch erfolgte. Jedoch konnten nicht alle dieser Studien einen statistisch signifikanten Unterschied zeigen (Bourgouin et al., 1988, Graffy et al., 2017, Herman and Weisbrod, 1990, Lang et al., 2000, Malone et al., 2013).

In der hier beschriebenen Studie benötigten insgesamt 4,49 % der Patienten postinterventionell eine Thoraxdrainage zur Behandlung des Pneumothoraxes. In der Blut-Patch-Gruppe betrug die Rate 3,1 % und in der Kontrollgruppe benötigten 5,8 % eine Thoraxdrainage. Dieser Unterschied ist statistisch als nicht signifikant anzusehen. Zum gleichen Ergebnis kamen ebenso Bourgoïn et al. und Herman et al (Bourgoïn et al., 1988, Herman and Weisbrod, 1990), welche in ihren Studien Feinnadelbiopsien aus der Lunge untersuchten. Graffy et al. hingegen konnten einen signifikanten Unterschied zwischen Blut-Patch und Kontrollgruppe hinsichtlich der Rate an Pneumothoraxe und darauffolgend benötigten Interventionen, wie z.B. Thoraxdrainagen feststellen (Graffy et al., 2017).

In der hier beschriebenen Studie wurden keine postinterventionellen parenchymalen Blutungen erfasst. Eine solche Blutung kann den gleichen Effekt haben, wie ein vom Arzt appliziertes Blut-Patch. Wenn man die Fälle einer postinterventionellen parenchymalen Blutung detektiert hätte, wären möglicherweise die Unterschiede zwischen Kontrollgruppe und Blut-Patch-Gruppe hinsichtlich der Komplikationsraten noch deutlicher ausgefallen.

#### **4.1.1 Diskussion der Ergebnisse im Detail**

Wie bereits im Ergebnissteil beschrieben steigen die Pneumothoraxraten in beiden Gruppen signifikant an, je größer der Abstand zur Pleura ist. In der Blut-Patch-Gruppe kam es zu signifikant mehr Pneumothoraxen im Vergleich zwischen  $\leq 2$  cm und  $> 2-4$  cm, sowie zwischen  $\leq 2$  cm und  $> 5$  cm Abstand zur Pleura. Die Patienten der Kontrollgruppe entwickelten signifikant mehr

Pneumothoraxe im Vergleich zwischen  $\leq 2$  cm und  $> 4-5$  cm, sowie zwischen  $\leq 2$  cm und  $> 5$  cm Abstand zur Pleura.

Durch den entsprechend längeren Stichkanal besteht eine erhöhte Gefahr, dass während der Punktion Atemwege verletzt werden und somit Luft zwischen die Pleurablätter gelangen kann. Kuban et al. bestätigten ebenfalls diese Beobachtung in ihrer Studie. Läsionen mit  $> 4$  cm Abstand zur Pleura hatten die höchste Komplikationsrate (Pneumothorax und Bedarf einer Thoraxdrainage), wohingegen Läsionen mit einem Stichkanal  $< 2$  cm am wenigsten Komplikationen zeigten (Kuban et al., 2015).

In der hier beschriebenen Studie betrug die Pneumothoraxrate 11,76 % bei  $> 4-5$  cm und 29,17 % bei  $> 5$  cm mit Blutpatch vs. 42,86 % bei  $> 4-5$  cm und 45,45 % bei  $> 5$  cm bei Behandlung ohne Blutpatch. Bei Läsionen  $\leq 2$  cm zeigten 7,28 % der Patienten, die mit Blut-Patch behandelt wurden, einen Pneumothorax vs. 12,84 % der Patienten aus der Kontrollgruppe.

Lang et al. konnten in ihrer Studie ebenfalls zeigen, dass die Anwendung eines Blut-Patches das Komplikationsrisiko bei der Punktion von tiefen Läsionen reduzieren kann (Lang et al., 2000).

Allerdings besteht auch bei direkt subpleural gelegenen Läsionen ein größeres Risiko zur Entwicklung eines Pneumothorax, da diese Läsionen schwieriger zu punktieren sind und leichter Luft zwischen die Pleurablätter gelangt (Yeow et al., 2004).

In beiden untersuchten Gruppen konnte eine signifikant geringere Rate an Pneumothoraxen festgestellt werden, wenn Läsionen mit einem Durchmesser von  $\geq 3$  cm punktiert wurden. Kleinere Läsionen sind technisch schwieriger zu

punktieren: die Führungskanüle des Coaxial-Nadelsystems wird bei kleineren Läsionen direkt vor der Läsion platziert und nicht, wie es bei größeren Läsionen möglich ist, bis in die zu punktierende Läsion hinein vorgeschoben. Dadurch können sich kleinere Läsionen durch die Atemexkursionen des Patienten eher verschieben und es kann häufiger zu Fehlpunktionen kommen. Aus diesem Grund kann es notwendig sein, dass die Nadel häufiger neu positioniert werden muss und sich die Punktionsdauer verlängert, wodurch wiederum das Risiko eines Pneumothoraxes steigt (Yeow et al., 2004). Kuban et al. konnten in ihrer Studie ebenfalls zeigen, dass Läsionen > 3 cm die niedrigste Komplikationsrate (Pneumothorax und Bedarf einer Thoraxdrainage) aufwiesen. Die höchste Komplikationsrate beschrieben sie bei Läsionen ≤ 2 cm (Kuban et al., 2015).

Insgesamt wurde in der hier beschriebenen Studie am häufigsten, 376-mal (43,32 %), ein Coaxial-Nadelsystem mit einer Nadelstärke von 17 G verwendet. Bei den Patienten, die mit einer 17 G-Nadel punktiert wurden, entwickelten die Patienten aus der Blut-Patch Gruppe signifikant weniger Pneumothoraxe. 8 % der Blut-Patch-Gruppe und 14,77 % der Kontrollgruppe bildeten einen Pneumothorax aus, wenn mit einer 17 G Nadel punktiert wurde.

Bei anderen Nadelstärken konnte kein statistisch signifikanter Unterschied gezeigt werden.

Durch die retrospektive Auswertung der Patientendaten konnte bei 28 Punktio-  
nen nicht mehr nachvollzogen werden, welche Nadelstärke verwendet wurde. Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe kam es zu signifikant mehr Pneumothoraxe bei Verwendung des 19 G-Coaxial-Nadelsystems verglichen mit der 17 G Na-

del. Bei Betrachtung der Kontrollgruppe gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen 17 G und 19 G Nadelstärke. Andere Studien konnten eine signifikant höhere Pneumothoraxrate nachweisen, wenn eine größere Punktionsnadel verwendet wurde. Kuban et al. zeigten bei einer 18 G Nadel bei 35 % einen Pneumothorax vs. 24,5 % bei Verwendung einer 19 G Nadel (Kuban et al., 2015). Auch Zhang et al. beschreiben eine höhere Komplikationsrate bei steigendem Nadeldurchmesser (Zhang et al., 2018). Warum es in dieser Studie zu divergierenden Ergebnissen gekommen ist, lässt sich aus den Daten nicht eindeutig begründen.

In einigen Fällen ist allerdings eine größere Nadelstärke notwendig, da damit größere Proben entnommen werden können. Dies wird besonders in der personalisierten Medizin für eine histologische, genetische und molekulare Untersuchung der Proben immer bedeutender, um damit ein individuell angepasstes Therapiekonzept entwickeln zu können (Kuban et al., 2015, Zhang et al., 2018). Bei allen Punktionen wurde die Probeentnahme mit einem Coaxial-Nadelsystem durchgeführt. Der Vorteil darin besteht, dass man bei der Entnahme mehrerer Proben nur einmal die Pleura punktieren muss (Lal et al., 2012, Zhang et al., 2018) und sich die Dauer der Punktion verkürzt (Zhang et al., 2018). Somit verringert sich das Risiko Luft in den Pleuraspalt einzubringen und dementsprechend geringer ist das Risiko einen Pneumothorax zu erzeugen (Zhang et al., 2018).

Bei dem Coaxial-Nadelsystem handelt es sich um ein Schneidbiopsie-Verfahren. Im Vergleich zur Feinnadelaspirationsbiopsie besteht bei einer perkutanen

Probeentnahme aus der Lunge das gleiche Risiko einen Pneumothorax zu verursachen, jedoch ist bei der Stanzbiopsie das Blutungsrisiko höher (Boskovic et al., 2014). Die Entnahme einer Stanzbiopsie ist allerdings häufig bei Probeentnahmen aus der Lunge notwendig, da man eine bestimmte Menge an Material und Zellen für die histopathologische Untersuchung benötigt, um anschließend eine hohe diagnostische Aussagekraft zu erreichen. Eine Feinnadelaspirationsbiopsie wird vorzugsweise für eine zytologische oder mikrobiologische Diagnostik verwendet (Boskovic et al., 2014). In der Metaanalyse von Heerink et al. konnten höhere Komplikationsraten erfasst werden, wenn mit einem Coaxial-Nadelsystem punktiert wurde, allerdings sind diese für schwere Komplikationen (also beispielsweise ein Pneumothorax, der eine Intervention erfordert) statistisch nicht signifikant (Heerink et al., 2017). Zhang et al. beschreiben vor allem eine höhere diagnostische Aussagekraft bei kleinen, tief liegenden Läsionen bei gleichzeitiger Reduktion des Pneumothoraxrisikos (Zhang et al., 2018).

Bei der Atmung nimmt die Exkursion der Lunge von den oberen Anteilen zu den unteren zu. Demnach ist die Punktion einer Läsion im Unterlappen technisch anspruchsvoller, da sich die Lunge und mit ihr die Läsion mehr bewegt als in anderen Lungenabschnitten. Folglich ist die Gefahr einer Verletzung von Lungenparenchym und/ oder Atemwege und somit auch die Pneumothoraxrate größer.

Divergierend dazu konnte in dieser Studie innerhalb der Blut-Patch-Gruppe eine erhöhte Pneumothoraxrate bei Punktionen des Oberlappens verglichen mit Punktionen des Unterlappens festgestellt werden. In der Kontrollgruppe konnte bei diesem Vergleich kein signifikanter Unterschied ermittelt werden.

In der Studie von Graffy et al. konnte ebenfalls kein Unterschied bei den Komplikationsraten in Bezug auf die Lokalisation beobachtet werden (Graffy et al., 2017).

Bei Punktionen von Läsionen des Unterlappens haben in dieser Studie statistisch signifikant weniger Patienten einen Pneumothorax entwickelt, wenn sie postinterventionell mit einem Blut-Patch behandelt wurden (7,33 % vs. 21,15%).

Patienten bei denen eine Läsion im Unterlappen punktiert werden soll haben ein erhöhtes Risiko für die Entstehung eines postinterventionellen Pneumothorax. Aus diesem Grund sollte bei diesen Patienten die Verwendung eines Blut-Patches erwogen werden, da in dieser Studie gezeigt werden konnte, dass es zu niedrigeren Komplikationsraten bei Behandlung mit Blut-Patch kommt.

Werden mehrere Proben entnommen, so kann es trotz Verwendung eines Coaxial-Nadelsystems notwendig sein, die Nadel neu zu platzieren und mitunter die Pleura ein weiteres Mal zu punktieren. Durch mehrmaliges Punktieren der Pleura erhöht sich laut Studien das Risiko einen Pneumothorax zu verursachen (Boskovic et al., 2014, Lal et al., 2012). Die Ergebnisse der Literatur konnte in dieser Studie allerdings nicht bestätigt werden. Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe kam es sogar zu mehr Komplikationen, wenn  $\leq 3$  Proben entnommen wurden im Vergleich zur Entnahme von  $\geq 4$  Proben. Innerhalb der Kontrollgruppe konnte in diesem Vergleich kein Unterschied festgestellt werden.

Allerdings konnte in der hier beschriebenen Studie gezeigt werden, dass es bei der Anzahl der Probeentnahmen eine signifikant geringere Pneumothoraxrate bei den Patienten gab, die mit einem Blut-Patch behandelt und bei denen mehr als drei Proben entnommen wurden verglichen mit der Kontrollgruppe.

In der hier beschriebenen Studie korreliert die Erfahrung der Radiologen mit der Pneumothoraxrate. Insgesamt trat bei 10,62 % der Patienten, die von dem Radiologen mit besonders hoher Expertise punktiert wurden, ein Pneumothorax auf. Bei den anderen sechs Radiologen war dies in insgesamt 24,07 % der Fall. Auch in anderen Studien, wie beispielsweise die von Yeow et al. wurde beschrieben, dass mehr Komplikationen bei weniger erfahrenen Punkteuren auftraten (Yeow et al., 2004).

Auf Grundlage der Publikation von Malone et al. im Jahre 2013 und der darin beschriebenen Reduktion der Komplikationsrate bei Verwendung eines Blut-Patches, wurden alle Patienten ab 06/2013, die von dem erfahrenen Radiologen punktiert wurden, mit einem Blut-Patch behandelt (Malone et al., 2013).

In dieser Studie konnte kein signifikanter Unterschied bei dem besonders erfahrenen Radiologen hinsichtlich der Komplikationsrate zwischen den beiden Patientengruppen festgestellt werden. In der Blut-Patch-Gruppe trat bei 10,73 % ein Pneumothorax auf, in der Kontrollgruppe entwickelten 10,47 % einen Pneumothorax.

Im Gegensatz dazu zeigt die Verwendung eines Blut-Patches bei den weniger Punktions-erfahrenen Radiologen einen Unterschied. 11,11 % der Patienten, die mit Blut-Patch behandelt wurden, entwickelten einen Pneumothorax vs. 24,84 % aus der Kontrollgruppe. Allerdings wurde das Blut-Patch bei den weniger erfahrenen Radiologen nur neunmal angewendet. Es ließ sich durch das retrospektive Studiendesign nicht mehr nachvollziehen, warum das Blut-Patch bei diesen Patienten angewandt wurde.

Zu erwähnen ist, dass die Anzahl der Patienten aus den beiden Gruppen unterschiedlich groß ist. 162 der Patienten wurden von den weniger erfahrenen Radiologen punktiert, wohingegen die überwiegende Mehrheit der Punktionen (706) von dem Radiologen mit besonders hoher Expertise durchgeführt wurde. Aufgrund der oben beschriebenen Ergebnisse sollte vor allem bei Punktionen, die von weniger erfahrenen Radiologen durchgeführt werden, die Behandlung mit einem Blut-Patch erwogen werden, um postinterventionelle Komplikationen zu reduzieren.

## **4.2 Verschiedene Patch-Formen**

Bereits 1974 beschrieben McCartney et al., dass bei Patienten, die nach einer CT-gesteuerten Punktion nachgeblutet haben, seltener ein Pneumothorax aufgetreten ist. Aufgrund ihrer Beobachtungen schlossen sie darauf, dass die Okklusion des Stichkanals einen Einfluss auf die Entstehung eines Pneumothorax haben könnte und verglichen die Verwendung eines Blut-Patches mit einem Gelfoam® (Gelantine-Schwamm) bei Hunden. Sie kamen zu dem Schluss, dass die Ergebnisse beider Gruppen vergleichbar sind, ein Blut-Patch jedoch einfacher zu handhaben ist und keine Entzündungsreaktionen in der Pleura auslöst (McCartney et al., 1974).

Neben der Blut-Patch-Methode und dem Gelfoam® gibt es einige andere Möglichkeiten den Stichkanal nach der Punktion zu okkludieren. Verwendet werden außerdem beispielsweise Natriumchlorid/Kochsalz-Lösung (NaCl), Surgifoam® (Gelatine Puder), Fibrin-Kleber, Hydrogel-Plug (Billich et al., 2008, Li et al.,

2015, Baadh et al., 2016, Renier et al., 2020, Tran et al., 2014, Petsas et al., 1995, Grage et al., 2017, Zaetta et al., 2010).

Bei dem erwähnten Gelfoam® handelt es sich um ein Gelatine-Schwamm mit hämostatischen Eigenschaften, welcher in kleine Stücke zerschnitten und beispielsweise mit Kochsalzlösung zu einer Suspension vermischt wird, um diese dann über die Führungskanüle nach der Probeentnahme in den Stichkanal zu applizieren (Renier et al., 2020, Pfizer, 2012). In einer Studie konnten Tran et al. durch die Verwendung dieses Gelfoam®s die Rate von schweren Pneumothoraxen signifikant senken. Zudem brauchten weniger Patienten eine Thoraxdrainage (Tran et al., 2014). Renier et al. verzeichneten bei Verwendung des Gelfoam®s sowohl signifikant weniger Pneumothoraxraten als auch Thoraxdrainageraten. Außerdem beschrieben sie, dass die Anwendung des Gelfoam®s zu weniger schweren Pneumothoraxen führt (Renier et al., 2020).

Ähnlich zum Gelfoam® ist das Surgifoam®. Dabei handelt es sich um ein Gelatine-Puder, welches beispielsweise zusammen mit Kochsalzlösung zu einer Paste vermischt und über einen Applikator in den Stichkanal appliziert wird (Ethicon, 2019). Baadh et al. beschrieben in einer Studie eine signifikante Reduktion der Pneumothoraxrate (8,8 % vs. 21 %), eine verminderte Thoraxdrainagerate, eine signifikante Reduktion von größeren Blutungen (0 % vs. 4 %) und eine signifikante Reduktion der Kosten pro Patient bei Verwendung des Surgifoams® (Baadh et al., 2016).

Bei diesen beiden Formen der Okklusion ist jedoch zu beachten, dass es sich hierbei um körperfremde Materialien handelt, welche aus Schweinen gewonnen

werden und welche Allergien bis hin zur Anaphylaxie auslösen können. Eine Allergie gegen Schweine-Kollagen stellt somit eine Kontraindikation zur Verwendung dar (Ethicon, 2019, Pfizer, 2012). Außerdem besteht potentiell das Risiko, dass das eingebrachte Material in eine Lungenvene oder -arterie gelangt und eine Embolie auslöst. In den beschriebenen Studien wurde allerdings nicht von einem solchen Ereignis berichtet (Renier et al., 2020, Tran et al., 2014).

Auch der Hydrogel-Plug (BioSentry®) wird nach der Probeentnahmen durch die Coaxial-Führungskanüle über einen Adapter mit Kochsalzlösung befeuchtet und als fester Zylinder in den Punktionskanal eingebracht (AngioDynamics, 2018).

Bei Kontakt mit Flüssigkeit nimmt der Hydrogel-Plug diese Flüssigkeit auf und weitet sich aus (Ahrar et al., 2017). Ahrar et al. beschrieben eine signifikant geringere Pneumothorax- und Thoraxdrainagerate bei den Patienten, die mit einem Hydrogel-Plug behandelt wurden (Ahrar et al., 2017). Als statistisch signifikant reduziert anzusehen ist bei Zaetta et al. nur die Pneumothoraxrate bei Verwendung eines Hydrogel-Plugs. Außerdem wurden bei diesen Patienten weniger Thoraxdrainagen benötigt (Zaetta et al., 2010). Grage et al. beschrieben ebenfalls eine Reduktion der Pneumothoraxrate, eine signifikant verringerte Rate an Thoraxdrainagen und einen verkürzten Krankenhausaufenthalt bei Patienten, die mit einem Hydrogel-Plug behandelt wurden (Grage et al., 2017).

Gegenüber dem Blut-Patch zeigt der Hydrogel-Plug keine Überlegenheit in der Reduktion des Komplikationsrisikos (Maybody et al., 2019).

Im Vergleich dazu sind die Vorteile des Blut-Patches, dass es geringe Mehrkosten verursacht, man – anders als beim Hydrogel-Plug – nicht an eine Stärke der

Führungskanüle gebunden ist (der Hydrogel-Plug ist nur mit einer Führungskanüle von 17 G oder 19 G zu verwenden) und dass das Blut-Patch auch näher als 1 cm zur Pleura angewendet werden kann (Maybody et al., 2019, AngioDynamics, 2018).

Als weitere Methode, die Komplikationen nach einer perkutanen CT-gesteuerten Biopsie der Lunge zu reduzieren, kann der Stichkanal nach der Probeentnahme mit Kochsalzlösung ausgefüllt werden. Hierbei werden signifikant niedrigere Pneumothoraxraten beschrieben (Billich et al., 2008, Li et al., 2015). Beide Studien zeigen ebenfalls eine niedrigere Rate an Thoraxdrainagen, bei Patienten, die mit NaCl behandelt wurden, jedoch ist diese Reduktion nur bei Li et al. als statistisch signifikant zu bewerten (Billich et al., 2008, Li et al., 2015).

Petsas et al. beschrieben in ihrer Studie, wie sich die Verwendung eines Fibrinklebers auf die Komplikationsraten bei einer Feinnadelpunktion der Lunge auswirkt. Dort verzeichneten sie eine signifikant geringere Pneumothoraxrate und eine reduzierte Thoraxdrainagerate. Wenn der Fibrinkleber allerdings in Lungengefäße gelangt, könnte es zur einer Embolisation kommen. Daher sollte er nicht in zentraleren Lungensegmenten angewendet werden. Zudem besteht die Gefahr einer Allergie oder Anaphylaxie bei einer Unverträglichkeit gegen Rinderproteine (Petsas et al., 1995).

Malone et al. beschrieben in ihrer Studie, dass bei Verwendung der verschiedenen Okklusionsmethoden (Kollagen-Schaum-Plug, Hydrogel-Plug (BioSentry®), Kochsalzlösung, Blut-Patch, Fibrinkleber) bei allen Patienten die Pneumothoraxrate signifikant gesenkt werden konnte. Außer bei Verwendung des Kollagen-

Schaum-Plugs konnte bei den anderen Okklusionsmethoden ebenfalls eine signifikant geringere Thoraxdrainagerate festgestellt werden (Malone et al., 2013). Leopardi et al. beschrieben ebenfalls, dass die eingesetzten Okklusionsmethoden (BioSentry®, autologes Blut, NaCl und weitere) einen positiven Effekt auf die Komplikationsraten haben und gleichzeitig nur geringe Nebenwirkungen hervorrufen (Leopardi and Patil, 2019).

### **4.3 Blut-Patch**

Bei Anwendung eines Blut-Patches wird dem Patienten Blut aus einer peripheren Vene entnommen und dieses nach der Punktion über die einliegende Führungskanüle in den Stichkanal appliziert. Die Blutentnahme erfolgt über einen peripheren Venenzugang, den jeder Patient vor der Punktion aus Sicherheitsgründen erhält. Es bedarf demnach keiner zusätzlichen Venenpunktion zur Blutentnahme.

Bei diesem Verfahren werden nur körpereigene Materialien verwendet, die im Körper verbleiben. Damit besteht praktisch kein Risiko für Allergien oder Anaphylaxie. Zudem ist dies eine Methode, die ubiquitär verfügbar ist und es keiner besonderen Materialien bedarf. Die für das Blut-Patch benötigten Materialien, wie zum Beispiel eine Spritze zur Applikation des Blutes, sollten in jedem Krankenhaus/ ambulanten Zentrum, die CT-gesteuerte Probeentnahmen aus der Lunge durchführen, verfügbar sein. Die zusätzliche Zeit, die für die Applikation des Blut-Patches benötigt wird, ist vernachlässigbar.

Bei keinem der in dieser Studie mit dem Blut-Patch behandelten Patienten kam es durch das Blut-Patch selbst zu einer dadurch bedingten oder ausgelösten Komplikation. Auch in anderen Studien konnte nachgewiesen werden, dass sich durch die Anwendung des Blut-Patches die Komplikationsraten verringern (Clayton et al., 2016, Lang et al., 2000, Malone et al., 2013, Maybody et al., 2019), wenn doch nicht alle, wie in 5.1 beschrieben, ein einheitlich signifikantes Ergebnis beschrieben.

Eine mögliche Erklärung für die Unterschiede innerhalb der Studien ist, dass es sich beim Blut-Patch um eine untersucherabhängige Methode handelt, die nicht vollständig vereinheitlicht durchgeführt werden kann. So kann beispielweise die Menge des applizierten Blutes variieren oder die Applikation des Blutes zentraler beziehungsweise peripherer erfolgen.

Die Blut-Patch-Methode wird von einigen Untersuchern teilweise erst angewandt, wenn es durch die Punktion schon zu einem Pneumothorax gekommen ist. Somit wird das Blut-Patch als therapeutische Maßnahme benutzt. So beschreiben Wagner et al., dass sich durch die Anwendung eines pleuralen Blut-Patches die Rate an Thoraxdrainagen zu reduzieren scheint. Diese Methode benötigt nur wenig zusätzliche Zeit und kann für den Patienten einen großen Vorteil bedeuten und Ressourcen schonen, wenn es zu weniger Thoraxdrainage-Anlagen und Hospitalisierung kommt (Wagner et al., 2011).

Es wird angenommen, dass das Blut-Patch aufgrund zwei verschiedener Wirkweisen einen positiven Effekt hat. Zum einem wird durch das Ausfüllen des Stichkanals mit Blut ein Verschluss der Pleurablätter erzielt, wodurch keine Luft

mehr in den Pleuraraum gelangen kann. Zusätzlich enthält das Blut Bestandteile und Mediatoren, die für die Blutgerinnung essentiell sind und welche ebenfalls das bei der Punktion iatrogen entstandene Loch in der Pleura und im Lungenparenchym verschließt (Malone et al., 2013).

#### **4.4 Stärken und Limitationen der Studie**

Zu den Stärken der hier beschriebenen Studie zählen, dass alle ausgewerteten Untersuchungen an der Uniklinik Tübingen stattfanden und es sich demnach um eine Single-Center-Studie mit gleichen Abläufen und Geräten handelt. Außerdem wurde im Gegensatz zu vergleichbaren Studien insgesamt eine große Anzahl an Patienten (868) untersucht und deren Daten ausgewertet. Der größte Anteil der Punktionen (706) wurde zudem von einem Untersucher durchgeführt. Nichtsdestotrotz hat die in dieser Dissertationsschrift beschriebene Studie einige Limitationen. Nur vergleichbar wenige Punktionen wurden von weniger erfahrenen Radiologen durchgeführt. Von diesen wurde nur in 6 % der Fälle ein Blut-Patch angewendet, wohingegen der besonders erfahrene Radiologe in 58 % der Punktionen ein Blut-Patch verwendet hat.

Durch das retrospektive Studiendesign waren nicht alle Daten zugänglich. Beispielsweise konnte nicht ausgewertet werden, aus welchen Gründen die jeweilige Nadelstärke ausgewählt wurde oder aus welchen Gründen die weniger erfahrenen Radiologen sich entschieden haben ein Blut-Patch anzuwenden.

Des Weiteren wurde verschiedene individuelle Risikofaktoren nicht detektiert, die möglicherweise einen Einfluss auf die Entstehung von Komplikationen haben (z.B. das Vorliegen eines Lungenemphysems oder Raucheranamnese des Patienten).

Zudem wurden keine postinterventionellen Nachblutungen erfasst. Eine solche Nachblutung kann einen ähnlichen Effekt wie ein Blut-Patch haben, sodass die Unterschiede zwischen der Blut-Patch- und der Kontrollgruppe noch größer ausfallen könnten.

#### **4.5 Fazit**

Ob nach einer CT-gesteuerten transthorakalen Biopsie der Lunge Komplikationen auftreten, hängt, wie beschrieben, von vielen Faktoren ab. Als Risikofaktoren stellten sich Läsionen heraus, die einen größeren Abstand zur Pleura und damit einen längeren Punktionsweg durch die Lunge haben, da hierbei das Risiko erhöht ist, Atemwege zu verletzen, sodass ein Pneumothorax entstehen kann.

Kleine Läsionen sind technisch anspruchsvoller zu punktieren und die Punktionsnadel muss häufiger neu positioniert werden. Daraus resultiert ein höheres Komplikationsrisiko.

Bei der natürlichen Atmung ist die Atemexkursion im Lungenunterlappen am größten. Läsionen, die sich im Lungenunterlappen befinden, bewegen sich demnach mehr mit als Läsionen in anderen Lungenabschnitten. Dadurch ist eine Läsion im Unterlappen potenziell schwieriger zu punktieren als in anderen

Abschnitten der Lunge, wodurch potenziell wiederum das Risiko für Komplikationen steigt. Auch wenn dies in der beschriebenen Studie nicht belegt werden konnte.

Wenn die Pleura mehrmals durchstochen werden muss, zum Beispiel, wenn Läsionen an mehreren Stellen punktiert werden, oder mehrere Proben entnommen werden müssen, besteht laut Studien eine erhöhte Gefahr, dass Luft zwischen die Pleurablätter gelangt und ein Pneumothorax entstehen kann.

Ein weiterer wichtiger zu beachtender Risikofaktor ist die Erfahrung des Untersuchers: je erfahrener der interventionelle Radiologe, desto seltener treten Komplikationen auf.

Wie gezeigt werden konnte, lässt sich die Komplikationsrate durch die Verwendung einer Blut-Patches verringern. Bei Verwendung eines Blut-Patches kam es zu keinen Nebenwirkungen, sodass die Methode als sicher angesehen werden kann. Somit sollte, besonders beim Zusammenkommen mehrerer Risikofaktoren, die Behandlung mit einem Blut-Patch erwogen werden, um die Komplikationsraten bei CT-gesteuerten Lungenbiopsien zu reduzieren.

In nachfolgenden Studien sollten Patienten untersucht werden, bei denen mehrere der beschriebenen Risikofaktoren vorliegen und validiert werden, dass es durch die postinterventionelle Anwendung eines Blut-Patches zu geringeren Komplikationsraten innerhalb einer bestimmten Risikokonstellation (z.B. Läsionen mit  $> 5$  cm Abstand zur Pleura + Größe der Läsion  $\geq 3$  cm + Verwendung

eines 17 G-Nadelsystems + Lokalisation der Läsion im Unterlappen + Entnahme von  $\geq 4$  Proben + erfahrener Radiologe) kommt. Außerdem sollte ausgewertet werden, welche zusätzlichen Patienten bezogenen Risikofaktoren vorhanden sind (z.B. Raucheranamnese, Vorhandensein von Lungenemphysem oder anderen Lungenerkrankungen) und welchen Einfluss die Verwendung des Blut-Patches hier auf die Entstehung von Komplikationen hat.

## 5 Zusammenfassung

Die hier beschriebene Studie sollte zeigen, ob die Verwendung eines Blut-Patches im Anschluss an eine CT-gesteuerte Lungenbiopsie das postinterventionelle Auftreten von Pneumothoraxen reduziert. Außerdem sollten Risikofaktoren eruiert werden, die das Auftreten postinterventioneller Komplikationen begünstigen.

In dieser Studie wurden insgesamt 868 CT-gesteuerte Lungenbiopsien ausgewertet, die im Zeitraum von 01/2003 bis 06/2018 am Universitätsklinikum Tübingen durchgeführt wurden.

Die Auswertung der Patientendaten erfolgte retrospektiv. Es wurden verschiedene Kriterien und Parameter untersucht: Abstand der Läsion zur Pleura/ Tiefe der Läsion, Größe der Läsion, verwendete Nadelstärke, Lokalisation der Läsion, Anzahl der entnommenen Proben und Erfahrungheit der Radiologen, die die Probenentnahme durchführten. Außerdem wurde erfasst, ob im Anschluss an die Intervention Komplikationen in Form eines Pneumothoraxes auftraten. Wenn es zu einem Pneumothorax kam, wurde ausgewertet, ob die Patienten mit einer Thoraxdrainage versorgt werden mussten.

Insgesamt wurden bei der Gruppe, die postinterventionell mit einem Blut-Patch behandelt wurden, statistisch signifikant weniger Pneumothoraxe festgestellt, als bei den Patienten der Kontrollgruppe (10,74 % vs. 15,37 %). Im Folgenden werden die weiteren Ergebnisse beschrieben, bei denen ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Bei beiden Patientengruppen

kam es bei tiefer gelegenen Läsionen bzw. Läsionen mit einem größeren Abstand zur Pleura häufiger zu einem Pneumothorax. Innerhalb der Blut-Patch-Gruppe konnte ein Unterschied zwischen Läsionen, die  $\leq 2$  cm und  $> 2-4$  cm bzw.  $\leq 2$  cm und  $> 5$  cm Abstand zur Pleura hatten festgestellt werden. In der Kontrollgruppe gab es bei Läsionen  $\leq 2$  cm und  $> 4-5$  cm bzw.  $\leq 2$  cm und  $> 5$  cm signifikante Unterschiede.

Außerdem zeigte sich in beiden Gruppen weniger Pneumothoraxe bei Läsionen mit einem Durchmesser  $\geq 3$  cm verglichen mit Läsionen, die  $< 3$  cm waren. Bei Betrachtung der Nadelstärke kam es bei Verwendung eines 17 G Coaxial-Nadelsystems zu weniger Pneumothoraxen in der Blut-Patch-Gruppe. Wenn der Unterlappen punktiert wurde, traten bei den Patienten, die mit einem Blut-Patch behandelt wurden, weniger Pneumothoraxe auf als bei der Kontrollgruppe.

Wenn  $\geq 4$  Proben entnommen wurden traten in der Blut-Patch-Gruppe weniger Pneumothoraxe auf.

Insgesamt zeigten sich weniger Pneumothoraxe bei Punktionen, die durch einen Radiologen mit besonders großer Erfahrung durchgeführt wurden. Bei den weniger erfahrenen Radiologen kam es zu weniger Pneumothoraxen, wenn ein Blut-Patch angewandt wurde.

Auch andere Studien beschreiben individuelle Risikofaktoren, bei denen es häufiger zur Entstehung von Komplikationen kommt. Hierzu gehören: größerer Abstand zur Pleura/ tiefer und subpleural gelegene Läsionen, kleine Läsionen, größere Anzahl an entnommenen Proben, sowie weniger Erfahrung hinsichtlich CT-gesteuerten transpulmonaler Biopsien.

Des Weiteren beschäftigen sich viele Studien mit verschiedenen Methoden den

Stichkanal nach der Punktion mit verschiedenen Materialien (z.B. Kochsalz oder Gelatine) zu okkludieren, um die Komplikationsrate zu senken.

Sowohl in bereits durchgeführten Studien, wie auch in der in dieser Dissertationsschrift beschriebenen Studie, konnte gezeigt werden, dass die Behandlung mit einem Blut-Patch nach einer CT-gesteuerten transpulmonalen Biopsie die Komplikationsrate signifikant senken kann. Aus diesem Grund sollte vor allem bei Vorliegen der oben beschriebenen Risikofaktoren, die Verwendung eines Blut-Patches erwogen werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- AHRAR, J. U., GUPTA, S., ENSOR, J. E., MAHVASH, A., SABIR, S. H., STEELE, J. R., MCRAE, S. E., AVRITSCHER, R., HUANG, S. Y., ODISIO, B. C., MURTHY, R., AHRAR, K., WALLACE, M. J. & TAM, A. L. 2017. Efficacy of a Self-expanding Tract Sealant Device in the Reduction of Pneumothorax and Chest Tube Placement Rates After Percutaneous Lung Biopsy: A Matched Controlled Study Using Propensity Score Analysis. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 40, 270-276.
- ALLEN, M. S., DESCHAMPS, C., JONES, D. M., TRASTEK, V. F. & PAIROLERO, P. C. 1996. Video-assisted thoracic surgical procedures: the Mayo experience. *Mayo Clin Proc*, 71, 351-9.
- ANGIODYNAMICS. 2018. *BioSentry: Tract Sealant System* [Online]. Available: [https://www.angiodynamics.com/img/resources/ANGM\\_884\\_GL\\_Rev\\_01\\_BioSentry\\_Step-by-Step\\_Poster-942575.pdf](https://www.angiodynamics.com/img/resources/ANGM_884_GL_Rev_01_BioSentry_Step-by-Step_Poster-942575.pdf) (Zugriff am 2020/06/04) [Accessed].
- BAADH, A. S., HOFFMANN, J. C., FADL, A., DANDA, D., BHAT, V. R., GEORGIU, N. & HON, M. 2016. Utilization of the track embolization technique to improve the safety of percutaneous lung biopsy and/or fiducial marker placement. *Clin Imaging*, 40, 1023-8.
- BILLICH, C., MUCHE, R., BRENNER, G., SCHMIDT, S. A., KRUGER, S., BRAMBS, H. J. & PAULS, S. 2008. CT-guided lung biopsy: incidence of pneumothorax after instillation of NaCl into the biopsy track. *Eur Radiol*, 18, 1146-52.

- BLANK, W., MATHIS, G. & OSTERWALDER, J. 2014. *Kursbuch Notfallsonografie: Nach dem Curriculum Notfallsonografie, empfohlen von DGUM, ÖGUM und SGUM*, Thieme.
- BODNER, J., AMMANN, K., GADENSTÄTTER, M. & SCHMID, T. 2000. Die Bedeutung der videoassistierten Thorakoskopie (VATS) für die Diagnostik und Therapie des solitären pulmonalen Rundherdes. *Acta Chirurgica Austriaca*, 32, 225-227.
- BOSKOVIC, T., STANIC, J., PENA-KARAN, S., ZAROGOULIDIS, P., DREVELEGAS, K., KATSIKOIANNIS, N., MACHAIRIOTIS, N., MPAKAS, A., TSAKIRIDIS, K., KESISIS, G., TSIODA, T., KOUGIOUMTZI, I., ARIKAS, S. & ZAROGOULIDIS, K. 2014. Pneumothorax after transthoracic needle biopsy of lung lesions under CT guidance. *J Thorac Dis*, 6 Suppl 1, S99-s107.
- BOURGOUIN, P. M., SHEPARD, J. A., MCLOUD, T. C., SPIZARNY, D. L. & DEDRICK, C. G. 1988. Transthoracic needle aspiration biopsy: evaluation of the blood patch technique. *Radiology*, 166, 93-5.
- CLAYTON, J. D., ELICKER, B. M., ORDOVAS, K. G., KOHI, M. P., NGUYEN, J. & NAEGER, D. M. 2016. Nonclotted Blood Patch Technique Reduces Pneumothorax and Chest Tube Placement Rates After Percutaneous Lung Biopsies. *J Thorac Imaging*, 31, 243-6.
- COLLINS, C. D., LOPEZ, A., MATHIE, A., WOOD, V., JACKSON, J. E. & RODDIE, M. E. 1995. Quantification of pneumothorax size on chest radiographs using interpleural distances: regression analysis based on

volume measurements from helical CT. *American Journal of Roentgenology*, 165, 1127-1130.

DRUMM, O., JOYCE, E. A., DE BLACAM, C., GLEESON, T., KAVANAGH, J., MCCARTHY, E., MCDERMOTT, R. & BEDDY, P. 2019. CT-guided Lung Biopsy: Effect of Biopsy-side Down Position on Pneumothorax and Chest Tube Placement. *Radiology*, 292, 190-196.

ETHICON. 2019. *SURGIFOAM® Absorbable Gelatin Powder* [Online].

Available:

[https://www.jnjmedicaldevices.com/sites/default/files/user\\_uploaded\\_assets/pdf\\_assets/2020-03/110658-190329%20Surgifoam%201%20pager%20v7\\_FINAL.pdf](https://www.jnjmedicaldevices.com/sites/default/files/user_uploaded_assets/pdf_assets/2020-03/110658-190329%20Surgifoam%201%20pager%20v7_FINAL.pdf) (Zugriff am 2020/06/04) [Accessed].

EWIG, S., HÖFFKEN, G., W.V. KERN W.V., ROHDE G., FLICK H., KRAUSE R., OTT S., & BAUER T., D. K., GATERMANN S., KOLDITZ M., KRÜGER S., LORENZ J., PLETZ M., DE ROUX A., SCHAAF B., SCHABERG T., SCHÜTTE H., WELTE T. 2016. S3-Leitlinie: Behandlung von erwachsenen Patienten mit ambulant erworbener Pneumonie und Prävention – Update 2016. Available: [https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/020-0201\\_S3\\_ambulant\\_erworbene\\_Pneumonie\\_Behandlung\\_Praevention\\_2016-02-2.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/020-0201_S3_ambulant_erworbene_Pneumonie_Behandlung_Praevention_2016-02-2.pdf) (Zugriff am 2020/06/03).

FERLAY, J., COLOMBET, M., SOERJOMATARAM, I., DYBA, T., RANDI, G., BETTIO, M., GAVIN, A., VISSER, O. & BRAY, F. 2018. Cancer

- incidence and mortality patterns in Europe: Estimates for 40 countries and 25 major cancers in 2018. *Eur J Cancer*, 103, 356-387.
- GRAFFY, P., LOOMIS, S. B., PICKHARDT, P. J., LUBNER, M. G., KITCHIN, D. R., LEE, F. T., JR. & HINSHAW, J. L. 2017. Pulmonary Intraparenchymal Blood Patching Decreases the Rate of Pneumothorax-Related Complications following Percutaneous CT-Guided Needle Biopsy. *J Vasc Interv Radiol*, 28, 608-613.e1.
- GRAGE, R. A., NAVEED, M. A., KEOGH, S. & WANG, D. 2017. Efficacy of a Dehydrated Hydrogel Plug to Reduce Complications Associated With Computed Tomography-guided Percutaneous Transthoracic Needle Biopsy. *J Thorac Imaging*, 32, 57-62.
- HEERINK, W. J., DE BOCK, G. H., DE JONGE, G. J., GROEN, H. J., Vliegenthart, R. & Oudkerk, M. 2017. Complication rates of CT-guided transthoracic lung biopsy: meta-analysis. *Eur Radiol*, 27, 138-148.
- HERMAN, S. J. & WEISBROD, G. L. 1990. Usefulness of the blood patch technique after transthoracic needle aspiration biopsy. *Radiology*, 176, 395-7.
- HEROLD, G. 2021. Innere Medizin 2022. *Innere Medizin 2022*. De Gruyter.
- HERTH, F. J. F. 2008. Pneumothorax. *Der Pneumologe*, 5, 239.
- INDERBITZI, R. G. & GRILLET, M. P. 1996. Risk and hazards of video-thoracoscopic surgery: a collective review. *Eur J Cardiothorac Surg*, 10, 483-9.

- KUBAN, J. D., TAM, A. L., HUANG, S. Y., ENSOR, J. E., PHILIP, A. S., CHEN, G. J., AHRAR, J., MURTHY, R., AVRITSCHER, R., MADOFF, D. C., MAHVASH, A., AHRAR, K., WALLACE, M. J., NACHIAPPAN, A. C. & GUPTA, S. 2015. The Effect of Needle Gauge on the Risk of Pneumothorax and Chest Tube Placement After Percutaneous Computed Tomographic (CT)-Guided Lung Biopsy. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 38, 1595-602.
- LAL, H., NEYAZ, Z., NATH, A. & BORAH, S. 2012. CT-guided percutaneous biopsy of intrathoracic lesions. *Korean J Radiol*, 13, 210-26.
- LANG, E. K., GHAVAMI, R., SCHREINER, V. C., ARCHIBALD, S. & RAMIREZ, J. 2000. Autologous blood clot seal to prevent pneumothorax at CT-guided lung biopsy. *Radiology*, 216, 93-6.
- LEOPARDI, C. F. & PATIL, V. V. 2019. Gelatinous foam needle tract embolization during CT guided percutaneous transthoracic lung biopsy: A practical and cost effective approach in the community hospital setting. *Radiol Case Rep*, 14, 656-659.
- LI, Y., DU, Y., LUO, T. Y., YANG, H. F., YU, J. H., XU, X. X., ZHENG, H. J. & LI, B. 2015. Usefulness of normal saline for sealing the needle track after CT-guided lung biopsy. *Clin Radiol*, 70, 1192-7.
- LOISELLE, A., PARISH, J. M., WILKENS, J. A. & JAROSZEWSKI, D. E. 2013. Managing iatrogenic pneumothorax and chest tubes. *J Hosp Med*, 8, 402-8.
- LOKHANDWALA, T., BITTONI, M. A., DANN, R. A., D'SOUZA, A. O., JOHNSON, M., NAGY, R. J., LANMAN, R. B., MERRITT, R. E. &

- CARBONE, D. P. 2017. Costs of Diagnostic Assessment for Lung Cancer: A Medicare Claims Analysis. *Clin Lung Cancer*, 18, e27-e34.
- MAHNKEN, A. H. 2014. Invasive Verfahren zur Abklärung pulmonaler Rundherde. *Der Radiologe*, 54, 478-484.
- MALONE, L. J., STANFILL, R. M., WANG, H., FAHEY, K. M. & BERTINO, R. E. 2013. Effect of intraparenchymal blood patch on rates of pneumothorax and pneumothorax requiring chest tube placement after percutaneous lung biopsy. *AJR Am J Roentgenol*, 200, 1238-43.
- MAYBODY, M., MUALLEM, N., BROWN, K. T., MOSKOWITZ, C. S., HSU, M., ZENOBI, C. L., JIHAD, M., GETRAJDMAN, G. I., SOFOCLEOUS, C. T., ERINJERI, J. P., COVEY, A. M., BRODY, L. A., YARMOHAMMADI, H., DEIPOLYI, A. R., BRYCE, Y., ALAGO, W., SIEGELBAUM, R. H., DURACK, J. C., GONZALEZ-AGUIRRE, A. J., ZIV, E., BOAS, F. E. & SOLOMON, S. B. 2019. Autologous Blood Patch Injection versus Hydrogel Plug in CT-guided Lung Biopsy: A Prospective Randomized Trial. *Radiology*, 290, 547-554.
- MCCARTNEY, R., TAIT, D., STILSON, M. & SEIDEL, G. F. 1974. A technique for the prevention of pneumothorax in pulmonary aspiration biopsy. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med*, 120, 872-5.
- MORELAND, A., NOVOGRODSKY, E., BRODY, L., DURACK, J., ERINJERI, J., GETRAJDMAN, G., SOLOMON, S., YARMOHAMMADI, H. & MAYBODY, M. 2016. Pneumothorax with prolonged chest tube requirement after CT-guided percutaneous lung biopsy: incidence and risk factors. *Eur Radiol*, 26, 3483-91.

- PARK, J. S., KIM, H. K., CHOI, Y. S., KIM, J., SHIM, Y. M. & KIM, K. 2011. Unplanned conversion to thoracotomy during video-assisted thoracic surgery lobectomy does not compromise the surgical outcome. *World J Surg*, 35, 590-5.
- PERL, R. M., RISSE, E., HETZEL, J., BOSMULLER, H., KLOTH, C., FRITZ, J. & HORGER, M. 2019. The effect of intraparenchymal blood patching on the rate of pneumothorax in patients undergoing percutaneous CT-guided core biopsy of the lung. *Eur J Radiol*, 116, 14-20.
- PETSAS, T., SIAMBLIS, D., GIANNAKENAS, C., TEPETES, K., DOUGENIS, D., SPIROPOULOS, K., FEZOULIS, I. & DIMOPOULOS, I. 1995. Fibrin glue for sealing the needle track in fine-needle percutaneous lung biopsy using a coaxial system: Part II--Clinical study. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 18, 378-82.
- PFIZER. 2012. *Gelfoam®: absorbable gelatin compressed sponge, USP* [Online]. Available: [https://www.pfizer.com/files/products/uspi\\_gelfoam\\_plus.pdf](https://www.pfizer.com/files/products/uspi_gelfoam_plus.pdf) (Zugriff am 2020/06/04) [Accessed].
- RENIER, H., GERARD, L., LAMBORELLE, P. & COUSIN, F. 2020. Efficacy of the tract embolization technique with gelatin sponge slurry to reduce pneumothorax and chest tube placement after percutaneous CT-guided lung biopsy. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 43, 597-603.
- SAWADA, S., KOMORI, E. & YAMASHITA, M. 2009. Evaluation of video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy requiring emergency conversion to thoracotomy. *Eur J Cardiothorac Surg*, 36, 487-90.

- STEINFORT, D. P., LIEW, D. & IRVING, L. B. 2013. Radial probe EBUS versus CT-guided needle biopsy for evaluation of peripheral pulmonary lesions: an economic analysis. *Eur Respir J*, 41, 539-47.
- TOMIYAMA, N., YASUHARA, Y., NAKAJIMA, Y., ADACHI, S., ARAI, Y., KUSUMOTO, M., EGUCHI, K., KURIYAMA, K., SAKAI, F., NOGUCHI, M., MURATA, K., MURAYAMA, S., MOCHIZUKI, T., MORI, K. & YAMADA, K. 2006. CT-guided needle biopsy of lung lesions: a survey of severe complication based on 9783 biopsies in Japan. *Eur J Radiol*, 59, 60-4.
- TRAN, A. A., BROWN, S. B., ROSENBERG, J. & HOVSEPIAN, D. M. 2014. Tract embolization with gelatin sponge slurry for prevention of pneumothorax after percutaneous computed tomography-guided lung biopsy. *Cardiovasc Intervent Radiol*, 37, 1546-53.
- WAGNER, J. M., HINSHAW, J. L., LUBNER, M. G., ROBBINS, J. B., KIM, D. H., PICKHARDT, P. J. & LEE, F. T., JR. 2011. CT-guided lung biopsies: pleural blood patching reduces the rate of chest tube placement for postbiopsy pneumothorax. *AJR Am J Roentgenol*, 197, 783-8.
- WU, C. C., MAHER, M. M. & SHEPARD, J. A. 2011. Complications of CT-guided percutaneous needle biopsy of the chest: prevention and management. *AJR Am J Roentgenol*, 196, W678-82.
- YEOW, K. M., SU, I. H., PAN, K. T., TSAY, P. K., LUI, K. W., CHEUNG, Y. C. & CHOU, A. S. 2004. Risk factors of pneumothorax and bleeding: multivariate analysis of 660 CT-guided coaxial cutting needle lung biopsies. *Chest*, 126, 748-54.

- ZAETTA, J. M., LICHT, M. O., FISHER, J. S., AVELAR, R. L. & BIO-SEAL STUDY, G. 2010. A lung biopsy tract plug for reduction of postbiopsy pneumothorax and other complications: results of a prospective, multicenter, randomized, controlled clinical study. *J Vasc Interv Radiol*, 21, 1235-43 e1-3.
- ZHANG, L., SHI, L., XIAO, Z., QIU, H., PENG, P. & ZHANG, M. 2018. Coaxial technique-promoted diagnostic accuracy of CT-guided percutaneous cutting needle biopsy for small and deep lung lesions. *PLoS One*, 13, e0192920.

## **7 Erklärung zum Eigenanteil**

Die Arbeit wurde in der Universitätsklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie unter Betreuung von Prof. Dr. med. M. Horger durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. M. Horger und Dr. med. R. Perl.

Die Auswertung wurde (nach Einarbeitung durch Dr. med. R. Perl) von mir eigenständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. med. R. Perl.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 11.04.2023

Elena Risse

## 8 Veröffentlichungen

Teile der hier vorliegenden Dissertationsschrift wurden im Rahmen des nachfolgend aufgeführten Kongresses vorgestellt, sowie in der aufgeführten Zeitschrift veröffentlicht:

- Retrospective analysis of the role of intraparenchymal blood patching and the rate of pneumothorax after percutaneous CT-guided core lung biopsy  
R.M. Perl<sup>1</sup>, J. Hetzel<sup>1</sup>, H. Bösmüller<sup>1</sup>, C. Kloth<sup>2</sup>, M. Horger<sup>1</sup>; 1Tübingen/DE, 2Ulm/DE; European Congress on Radiology, Wien, Austria (27.02. – 03.03.2019)
- The effect of intraparenchymal blood patching on the rate of pneumothorax in patients undergoing percutaneous CT-guided core biopsy of the lung.  
Perl, R. M., Risse, E., Hetzel, J., Bosmuller, H., Kloth, C., Fritz, J. & Horger, M. 2019. *Eur J Radiol*, 116, 14-20.