

Aus der Universitätsklinik für Allgemeine, Viszeral- und
Transplantationschirurgie Tübingen

**Entwicklung und Evaluation eines ex-vivo-Trainingsmodells
zu Simulation und Training videoassistierter
thorakoskopischer Chirurgie**

**Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin**

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

**vorgelegt von
Domhan, Lorenz Erwin Cornelius
2022**

Dekan:	Professor Dr. B. Pichler
1. Berichterstatter:	Professor Dr. A. Kirschniak
2. Berichterstatter	Privatdozentin Dr. I.V. Gruber
Tag der Disputation:	17.05.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Videoassistierte thorakoskopische Chirurgie (VATS).....	1
1.1.1	Geschichte der VATS	1
1.1.2	Anwendungsgebiete der VATS.....	2
1.1.2.1	VATS in der Diagnostik:	2
1.1.2.2	VATS in der Therapie benigner Erkrankungen.....	2
1.1.2.3	VATS in der Therapie maligner Erkrankungen.....	3
1.1.3	Lungenresektionen mittels VATS.....	4
1.1.3.1	VATS-Pneumektomie.....	4
1.1.3.2	VATS-Manschettenresektion.....	4
1.1.3.3	VATS-Lobektomie	5
1.1.3.4	VATS-Segmentektomie.....	6
1.1.3.5	VATS-Wedgeresektion.....	6
1.1.4	Das Hilum als Landmarke bei anatomischen Lungenresektionen ..	7
1.1.5	Komplikationen bei VATS	7
1.2	Trainingskonzepte für VATS-Eingriffe	8
1.2.1	Übersicht	8
1.2.2	Körperspenden	8
1.2.3	Virtual-Reality gestützte Trainer.....	9
1.2.4	Synthetische Lungenmodelle.....	9
1.2.5	In-vivo-Schweinemodelle	10
1.2.6	Ex-vivo-Schweinemodelle.....	10
1.3	Anatomie der porcinen Lunge	11
1.3.1	Übersicht	11
1.3.2	Gemeinsamkeiten von humaner und porciner Lunge	11

1.3.3	Unterschiede von humaner und porciner Lunge	11
1.4	Wissenschaftliche Zielsetzung	13
2	Material und Methoden.....	15
2.1	Entwicklung und Bau eines VATS-Trainingsmodells.....	15
2.1.1	Entwicklungsprozess	15
2.1.2	Organmodell	16
2.1.3	Perfusionssimulation.....	17
2.1.3.1	Versuchsreihe 1	17
2.1.3.2	Versuchsreihe 2	17
2.1.3.3	Versuchsreihe 3	18
2.1.3.4	Versuchsreihe 4	18
2.1.4	Cavität des Thorax.....	18
2.1.5	Mediastinum	21
2.1.6	Diaphragma	22
2.1.7	Haut	22
2.2	Probandenstudie in Rahmen eines VATS-Kurses	23
2.2.1	Kursformat	23
2.2.2	Kursdaten	23
2.2.3	Vorstudie	24
2.2.4	Hauptstudie	25
3	Ergebnisse	27
3.1	Entwicklung und Bau eines VATS-Trainingsmodells.....	27
3.1.1	Organmodell	27
3.1.2	Perfusionssimulation.....	28
3.1.2.1	Ergebnis Versuchsreihe 1	28
3.1.2.1	Ergebnis Versuchsreihe 2	29

3.1.2.2	Ergebnis Versuchsreihe 3	29
3.1.2.3	Ergebnis Versuchsreihe 4	30
3.1.3	Cavität	32
3.1.4	Mediastinum	34
3.1.5	Zwerchfell	37
3.1.6	Haut	38
3.2	Probandenstudie in Rahmen eines VATS-Kurses	39
3.2.1	Vorstudie	39
3.2.2	Hauptstudie	40
3.2.2.1	Angaben der Teilnehmer zu ihrem Ausbildungsstand:	40
3.2.2.2	Erwartungen der Teilnehmer an den Kurs	42
3.2.2.3	Evaluation des ex-vivo-Schweinemodells	42
3.2.2.4	Evaluation der Perfusionssimulation	43
3.2.2.5	Evaluation zu Konstruktion und Aufbau des Trainers.....	45
3.2.2.6	Angaben der Teilnehmer zu den Erwartungen.....	48
3.2.2.7	Aussagen zu Verbesserungspotential des Trainingsmodells .	49
4	Diskussion.....	51
4.1	Ausgangspunkt	51
4.2	Beurteilung des Organmodells.....	51
4.3	Beurteilung der Perfusionssimulation.....	52
4.4	Cavität des Thorax, Mediastinum, Zwerchfell, Haut	53
4.5	Beurteilung der Probandenstudie.....	56
4.6	Einordnung des Trainingsmodelles in andere Trainingskonzepte	57
4.7	Ausblick.....	60
5	Zusammenfassung.....	64
6	Anhang.....	65

6.1	Ergänzungen zur porcinen Anatomie	65
6.1.1	Form und Aufbau	65
6.1.2	Bronchialsystem	65
6.1.3	Gefäße.....	67
6.2	Zwischenschritte bei der Entwicklung des Tüthor:	68
6.2.1	Cavität 1	68
6.2.1.1	Material und Methoden	68
6.2.1.2	Ergebnis.....	68
6.2.2	Cavität 2	70
6.2.2.1	Material und Methoden	70
6.2.2.2	Ergebnis.....	70
6.2.3	Mediastinum 1	72
6.2.3.1	Material und Methoden	72
6.2.3.2	Ergebnis.....	72
6.2.4	Zwerchfell 1	74
6.2.4.1	Material und Methoden	74
6.2.4.2	Ergebnis.....	74
6.2.5	Zwerchfell 2	75
6.2.5.1	Material und Methoden	75
6.2.5.2	Ergebnis.....	76
6.3	Ablauf der Perfusionssimulation für VATS-Kurse.....	76
6.4	Kursprogramm des VATS-Trainingskurses.....	77
6.5	Fragebogen der Hauptstudie	79
7	Abbildungsverzeichnis.....	85
8	Tabellenverzeichnis	86
9	Diagrammverzeichnis.....	86

10	Literaturverzeichnis.....	87
11	Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift	98
12	Publikation	99

1 Einleitung

1.1 Videoassistierte thorakoskopische Chirurgie (VATS)

1.1.1 Geschichte der VATS

Neben der Einführung von Asepsis und Anästhesie gilt die minimalinvasive Chirurgie (MIC) als einer der relevantesten Evolutionsschritte in der Chirurgie (1, 2). In der Thoraxchirurgie wird MIC als „Video-Assisted Thoracic (Thoracoscopic) Surgery“ (VATS) bezeichnet. Jedoch existiert keine allgemeingültige Definition für „VATS“ (3, 4). Viele, sich teilweise stark unterscheidende Eingriffe werden unter dem Schlagwort VATS durchgeführt (5, 6). In dieser Arbeit wird der Terminus VATS für Eingriffe mit folgender Technik angewendet:

- Visualisierung des intrathorakalen OP-Feldes mittels Kameraoptik
- Darstellung dieses Bildes auf Bildschirmen
- Zugang des Instrumentariums in den Thorax über eine oder mehrere kleine Inzisionen (7, 8)

Die ersten Schritte zur VATS begannen mit dem Stockholmer Chirurgen Jacobaeus (9). Dieser nutzte die damals weit verbreiteten „Cytoskope“, die Nitze 1879 entwickelte und die bereits eine distale Lichtquelle besaßen (10, 11), um Pleura- und Peritonealhöhle zu untersuchen (12). Mit diesen Cytoskopen konnte der Chirurg direkt in „die Körperhöhlungen“ blicken (10). 1910 veröffentlichte Jacobaeus seine Erfahrungen unter dem Titel: „Über die Möglichkeit, die Zystoskopie bei Untersuchung seröser Höhlungen anzuwenden“ (12). Hierbei beschrieb er die Exploration der Pleurahöhle. Das Einbringen des Cytoskops in die Peritonealhöhle bezeichnete er als „Laparoskopie“ (12). Dadurch gilt Jacobaeus neben Kelling, der bereits 1902 eine „Kölioskopie“ (Laparoskopie) an Hunden beschrieb (13), als einer der Pioniere der Endoskopie (9).

Breite Anwendung fand die neue Technik vor allem in der Diagnostik sowie der Behandlung von tuberkulosebedingten Adhäsionen der Pleura. (11, 14, 15).

Ein Grund für die schleppende Ausbreitung der thorakoskopischen Chirurgie war die mangels Kamertechnik fehlende Sicht für die assistierenden Ärzte (16). Erst die Weiterentwicklung der Videotechnik und deren Anwendung Anfang der 1980er Jahre änderte das (11). Hierdurch konnte der assistierende Chirurg über einen Bildschirm in den Operationssitus blicken und so dem Chirurgen adäquat

zuarbeiten (14). Spätestens nach der ersten laparoskopisch durchgeführten Appendektomie 1981 durch Semm (17) und Cholezystektomie 1985 durch Mühe (18) fand die neue Technik breite Anwendung in unterschiedlichen chirurgischen Disziplinen. Diese Entwicklung griff auch auf die Thoraxchirurgie über (14).

Mitte der 1990er Jahre führten McKenna (19) und Lewis (20) größere Serien von Lobektomien zur Behandlung von Non-Small Cell Lung Cancer (NSCLC) des Stadiums I mit der VATS-Technik durch. Die Einführung der endoskopischen Kameratechnik revolutionierte sowohl den Tätigkeitsbereich des Thoraxchirurgen als auch die Behandlung des Patienten (21).

Der minimalinvasive Ansatz der VATS hat mehrere grundsätzliche Vorzüge. Er führt zu geringerer Morbidität, geringerem Schmerzmittelbedarf, verkürzten Thoraxdrainagezeiten, geringerer Beeinträchtigung des Immunsystems, weniger ausgeprägten Entzündungsreaktionen, verkürzten Krankenhausaufenthalten und zu schnellerer Rehabilitation im Vergleich zu Techniken, bei denen ein Thorakotomie durchgeführt wird (21-27). Vielfach kann, bedingt durch diese Vorteile, Hochrisikopatienten eine chirurgische Therapie angeboten werden, die in der Vergangenheit inoperabel gewesen wären. (28, 29).

1.1.2 Anwendungsgebiete der VATS

1.1.2.1 VATS in der Diagnostik:

Heute werden VATS-Eingriffe bei unterschiedlichen Indikationen durchgeführt. Einen großen Stellenwert hat die VATS in der Diagnostik beispielsweise von Pleuraerkrankungen (insbesondere bei Pleuraerguss), interstitieller Lungenerkrankungen, Perikardpathologien wie Erguss, Perikarditis und Mediastinaltumor. Mittels VATS erfolgt die Biopsie pulmonaler Rundherde, das Staging von Bronchial- und Ösophaguskarzinomen (21) sowie die Exploration bei Thoraxtrauma (25).

1.1.2.2 VATS in der Therapie benigner Erkrankungen

Neben der Diagnostik findet VATS bei der Therapie verschiedener benigner Erkrankungen Anwendung. Hierunter fallen die Behandlung des Spontanpneumothorax (26) und des bullösen Emphysems (30), die Resektion

gutartiger pleuraler, pulmonaler und mediastinaler Tumoren (31), die Behandlung chronischer oder maligner Pleuraergüsse (32), die Anlage eines Perikardfensters bei Perikarderguss (33), die Sympathektomie bei Hyperhidrosis (34) sowie die unterstützende Chirurgie bei Tuberkulose (35)

1.1.2.3 VATS in der Therapie maligner Erkrankungen

Neben Diagnostik und Therapie von benignen Erkrankungen erfährt die VATS zunehmende Bedeutung bei der Therapie von malignen Erkrankungen (36-38). Neben der Therapie pulmonaler, insbesondere randständig gelegener Metastasen (39-41) nimmt VATS einen zentralen Platz in der Therapie des NSCLC ein.

So ist die VATS-Lobektomie heute in den Industrienationen der Standard für die Behandlung von NSCLC der Stadien I und II (42, 43).

Es konnte gezeigt werden, dass die VATS-Lobektomie im Vergleich zu einer nach Thorakotomie durchgeführten (offenen) Lobektomie eine geringere Komplikationsrate aufweist, die Krankenhausverweildauer verkürzt, den Blutverlust verringert sowie den Schmerzmittelbedarf reduziert (23, 44-46). Gleichzeitig ist das Langzeitoutcome der Patienten die mittels VATS lobektomiert wurden dem des offenen Ansatzes zumindest nicht unterlegen (47, 48). Andere Studien zeigen eine Überlegenheit in Bezug auf die Überlebenszeit (49). Nach anfänglichen Zweifeln an der Möglichkeit einer systematischen Lymphknotendissektion mittels VATS (50) wurde nachgewiesen, dass die Zahl der resezierten mediastinalen und pulmonalen Lymphknoten, als Maß für die onkologische Qualität und Radikalität der Operation, bei offenem und VATS-Ansatz gleich ist (51).

Neben der VATS-Lobektomie gewinnt die VATS-Segmentektomie zunehmend an Bedeutung in der Therapie maligner Erkrankungen, insbesondere von frühen Stadien (Ia) des NSCLC. Die Evidenz zum onkologischen Outcome ist aktuell jedoch unzureichend. Es liegen bisher zu wenige randomisierte prospektive Studien vor (52). In Bezug auf die Lokalrezidivrate (53, 54), die Anzahl der resezierten Lymphknoten als Maß für den onkologischen Wert der Resektion und die 5-Jahres-Überlebensrate (55, 56) ist die Datenlage inhomogen. Daher hat

sich die VATS-Segmentektomie trotz insgesamt zunehmender Relevanz bisher nicht flächendeckend als Standardtherapie bei frühen Stadien des NSCLC durchgesetzt (52, 57).

1.1.3 Lungenresektionen mittels VATS

Zumindest in experimentellen Studien wurde die Machbarkeit des minimalinvasiven VATS-Verfahrens für fast alle Resektionen von Lungengewebe auch bei malignen Erkrankungen gezeigt (14). Darunter fallen

- Pneumektomien,
 - Manschettenresektionen,
 - Lobektomien,
 - Segmentektomien,
 - Keilresektionen
- } Sublobäre Ebene

1.1.3.1 VATS-Pneumektomie

Von den genannten Eingriffen ist die Pneumektomie der radikalste Eingriff. Hierbei wird ein kompletter Lungenflügel, nach hilusnaher Durchtrennung der Pulmonalgefäße und des Hauptbronchus, entfernt (6). Die Pneumektomie wird vor allem bei höheren Tumorstadien angewendet (42).

1.1.3.2 VATS-Manschettenresektion

Zwischen Pneumektomie und Lobektomie lässt sich die Manschettenresektion ansiedeln. Diese findet Anwendung, wenn eine Pathologie im zentralen Bronchialsystem angesiedelt ist (6). Ziel der Operation ist es, den tumortragenden Bronchusanteil mit dem befallenen Lungenparenchym im Gesunden zu resizieren (58). Anschließend wird die Bronchuskontinuität durch End-zu-End-Anastomose des peripher verblieben Bronchusanteils mit dem zentralen Luftweg wiederhergestellt (5).

1.1.3.3 VATS-Lobektomie

Die mittels VATS durchgeführte Lobektomie gehört zu den häufigsten VATS-Eingriffen. Bereits zwischen 1996 und 2007 waren etwa 66% der in den USA durchgeführten Lungenresektionen VATS-Lobektomien (59).

Neben der Behandlung von NSCLC (s.o.) und der Therapie von pulmonalen Metastasen gehören auch benigne Erkrankungen zu den Indikationen (42, 43). Diese umfassen beispielsweise das bullöse Emphysem, Bronchiektasen oder auch die unterstützende Chirurgie bei Tuberkulose (6, 30, 35).

Der Eingriff wird meist unter Einlungenanästhesie in Seitenlage durchgeführt (21, 60). Es gibt aktuell keine Standardisierung der Zugangswege für VATS-Lobektomien (7). Abhängig von der Anatomie des Patienten und der persönlichen Expertise des Chirurgen werden bis zu vier Zugänge (3 Arbeitsportale und 1 Kameraportal) geschaffen (21, 61). Neben dem sogenannten uniportalen Zugang mit einem Port werden häufig vier Zugänge verwendet (14). Hier wird der 8. Intercostalraum in der medialen Axillarlinie als Ort für die Inzision für den Kameraport gewählt (44, 45, 60). Die Arbeitszugänge werden oft jeweils in der vorderen (3.-6. ICR) und hinteren (5.-7. ICR) Axillarlinie gesetzt. (7, 44, 62). Eine „Arbeitsinzision“ oder auch „Minithorakotomie“ mit 3-5 cm Länge wird häufig ventral der Kante des Latissimus dorsi im Bereich des 3. bis 4. ICR angelegt (6, 60). Über diese können Klammernahtgeräte eingeführt oder auch reseziertes Gewebe mittels Bergebeutel geborgen werden (45).

Nach Exploration der Pleurahöhle wird das Hilum freigelegt und die enthaltenen Strukturen werden dargestellt (60). Zunächst erfolgen eine Ligierung und Durchtrennung der entsprechende Lappenvene (7). Infolgedessen kann der arterielle Zufluss unterbunden und durchtrennt werden (63). Hierdurch soll bei onkologischer Indikation eine Tumorzellaussaat verhindert werden (64). Danach werden benachbarte Lungenlappen an ihrer dazwischenliegenden (interlobulären) Fissur getrennt. Meistens folgt das Durchtrennen des Lappenbronchus mittels Klammernahtgerät (62). Nach Bergung des resezierten Lappens findet bei onkologischer Indikation eine systematische Lymphadenektomie statt. Die Anzahl der resezierten Lymphknotenstationen ist

neben dem Erreichen einer R0-Resektion relevant für die Prognose des NSCLC (42, 65).

1.1.3.4 VATS-Segmentektomie

Neben der Therapie benigner Erkrankungen wie z.B. dem bullösen Emphysem wird die VATS-Segmentektomie vermehrt auch bei malignen Erkrankungen sowie frühen Stadien (Ia) des NSCLC durchgeführt (s.o.)

In Bezug auf Anästhesie, Patientenlagerung und Instrumentenwahl gleicht das operative Vorgehen der VATS-Segmentektomie dem der VATS-Lobektomie, wobei die Platzierung der Zugänge von der Lage des Segments abhängig gemacht wird (6). Die Präparation wird entweder am Hilum des Zielsegmentes oder bei Segmenten in den unteren Lappen von der interlobären Fissur ausgehend begonnen (54). Die zuführenden Gefäße in Form einer Segmentarterie als Ast der A. Pulmonalis und der Segmentvene müssen vor der Durchtrennung freigelegt und eindeutig zugeordnet werden (6, 66). Anschließend wird der Segmentbronchus durchtrennt (57). Dadurch wird das zu resezierende Segment atelektatisch und kann so von den umgebenden Segmenten unterschieden werden (67). Die Grenze zwischen atelektatischem zu resezierendem Segment und belüfteten Segmenten bildet die sogenannte Intersegmentalebene (67), welche die Präparationsebene definiert. Mittels Klammernahtgerät wird entlang dieser Ebene präpariert und etwaige Intersegmentalvenen werden durchtrennt. Das Segment kann anschließend mittels Bergebeutel entnommen werden. (5, 6, 53, 68)

1.1.3.5 VATS-Wedgeresektion

Ein weiterer Eingriff auf sublobärer Ebene ist die Keil- bzw. Wedge-Resektion. Hierbei werden, ungeachtet der anatomischen Grenzen, mittels Klammernahtgeräten Keile aus dem Lungenparenchym entfernt (6). Die Basis des Keils stellt in diesem Fall die viszerale Pleura dar. Die Spitze des Keils zeigt in Richtung Hilum (46). Anwendung findet die Wedgeresektion vor allem zur Biopsiegewinnung oder zur Resektion peripher gelegener benigner Raumforderungen. Zur Therapie maligner Erkrankungen spielt die

Wedgeresektion eine untergeordnete Rolle und wird nur bei speziellen Indikationen wie bei stark eingeschränkter Lungenfunktion angewandt (5, 6, 69).

1.1.4 Das Hilum als Landmarke bei anatomischen Lungenresektionen

Das Hilum dient bei allen Lungenresektionen als Landmarke und Orientierungspunkt. Häufig liegt das Hilum hierbei im Operationsfeld.

Der etwa auf Höhe des Thorakalwirbels 4 gelegene, durch eine Pleuraduplikatur begrenzte Übergang zwischen Mediastinum und Cavitas thoracis beinhaltet sowohl die Lungengefäße (A. pulmonalis und die V. pulmonalis), die luftleitenden Hauptbronchi, Lymphgefäße, Lymphknoten, Bronchialarterien und Venen sowie den Plexus Pulmonalis (70). Beidseits zieht der Nervus Vagus dorsal und der Nervus Phrenicus ventral an dem Lungenhilum vorbei (5). Komplikationen bei Präparation im Hilumbereich können lebensbedrohlich verlaufen (6).

1.1.5 Komplikationen bei VATS

Mittels VATS werden auch was ihre Invasivität betrifft stark unterschiedliche Eingriffe durchgeführt. Daher variieren auch die Art, Schwere und Häufigkeit der Komplikationen (71). Dennoch lassen sich bei vielen VATS Eingriffen auftretende Komplikationen gruppieren.

Zu den postoperativen Komplikationen gehören (59, 72, 73)

- prolongierte Luftleckagen,
- Infektionen wie Pneumonie,
- postoperative Schmerzen,
- Trokarmetastasen (0,26-0,5%) (74),
- Arrhythmien.

Intraoperativ besonders gefürchtet sind Verletzungen der Pulmonalarterien und deren Äste. Grundsätzlich treten Blutungskomplikationen in bis zu 4,7% aller VATS-Resektionen auf und sind daher relevant (75). Die Morbiditäts- und Mortalitätsraten sind insgesamt gering (59, 71). Die 30-Tage-Letalität von VATS-Lobektomien liegt bspw. bei 0–2,7 %, was der Mortalität von 2,5 % für offene Thorakotomien der Society of Thoracic Surgeons (STS-) Datenbank vergleichbar ist (59).

1.2 Trainingskonzepte für VATS-Eingriffe

1.2.1 Übersicht

Die Anforderungen an eine sichere Durchführung eines VATS Eingriffs ist sehr hoch. Der traditionelle Weg der Chirurgenausbildung findet im Operationssaal am Patienten (englisch „on-labor“) statt (76). Der unerfahrene Chirurg assistiert dem erfahrenen und verfestigt hierbei auch seine theoretischen Grundlagen. Mit der Zeit kann er immer größere Abschnitte einer Operation unter Anleitung übernehmen (77). Einerseits werden die theoretischen Grundlagen, wird „Thoraxchirurgisches Komplikationsmanagement [...] in Lehrbüchern kaum vermittelt“ (72). Andererseits sind die Lernkurven auch für Chirurgen, die mit offenen thoraxchirurgischen Eingriffen vertraut sind, langwierig (78-80). Hieraus leitet sich ein großer Bedarf an adäquaten Trainingsmöglichkeiten zur praktischen Aus- und Weiterbildung auch außerhalb des Operationssaals (englisch „off-labor“) ab, nicht zuletzt, weil chirurgisches Training die intraoperative Performance des Chirurgen verbessern kann (76, 81-83).

International sind verschiedene Trainingskonzepte in Verwendung.

Grundsätzlich lassen sich die gängigen Trainingsmodelle für VATS-Eingriffe in „wet-lab“ und „dry-lab“-Modelle gliedern. „Wet-lab“ arbeiten mit Tierpräparaten. Dazu gehören bspw. sowohl in-vivo- als auch ex-vivo-Schweinemodelle. „Dry-lab“-Trainingsmodelle verwenden bspw. Virtual Reality Rechnersimulationen oder aber synthetische Gewebe (77).

Allen gemein ist, dass sie nachweislich einem positiven Einfluss auf das Lernen haben (84, 85). Meist finden die entsprechenden Kurse aufgrund der Komplexität des zu trainierenden Inhalts unter tutorieller Anleitung statt (77).

1.2.2 Körperspenden

Die Verwendung von Körperspenden ist aufwendig und kostenintensiv und daher nicht weit verbreitet. Die anatomischen Begebenheiten entsprechen denen der realen OP-Situation. Teilweise können Pathologien vorliegen. Nachteile bestehen in der veränderten Gewebebeschaffenheit, der limitierten Verfügbarkeit und dem Mangel an Feedback in Form bspw. einer Blutungssimulation (86).

1.2.3 Virtual-Reality gestützte Trainer

Virtual Reality Trainer vermitteln den Probanden ein dreidimensionales virtuelles Bild des Operationssitus. Die Bewegungen eines Dummy-Instrumentariums werden elektronisch erfasst und rechnergestützt auf virtuelle Instrumente in einem 3D-Modell des Situs übertragen. Teils ist haptisches Feedback möglich (81, 87). Durch die Weiterentwicklung der Technik in den letzten Jahren können derartige Trainingsmodelle immer komplexere chirurgische Übungen bis hin zu Teilschritten von bspw. Lobektomien darstellen (84). Mögliche Vorteile dieser Technik liegen in der Flexibilität, da Chirurgen durch die oft interaktiv gestaltete Lernsoftware unabhängig von Tutorenbetreuung üben können. Außerdem lassen sich anatomische Normvarianten sowie relevante Pathologien und Komplikationen wie Blutung visuell simulieren (87). Zu den Nachteilen der Virtual-Reality-Technik als Trainingsmodell für VATS- Eingriffe gehören die bisher hohen Kosten, die noch begrenzte visuelle Auflösung von anatomischen Details, das begrenzte haptische Feedback sowie (häufig) die Limitierung auf Teilschritte der Eingriffe (77, 87).

1.2.4 Synthetische Lungenmodelle

Neben VR-Trainingsmodellen gehören auch synthetische Lungenmodelle zu der „dry-lab“ Gruppe. Hierbei werden bspw. synthetische Lungen aus einem Polyvinylalkohol-Hydrogel-Schaum oder Polyurethan in ein Brustkorbmodell, welches die Rippen darstellt, eingebracht (86, 88). Blut- und Lymphgefäße sowie Lymphknoten sind modellhaft dargestellt. Je nach verwendetem Material können die Probanden auch mit bipolaren Scheren präparieren (86).

Solche Lungenmodelle können die anatomischen Strukturen in Originalgröße darstellen, und das haptische Feedback bei der Parenchympräparation ähnelt dem des Menschen (86, 89). Anders als bei Tiermodellen ist hier die Hygiene kein mögliches Problem. Blutungen können meist nicht simuliert werden (86).

Die synthetischen Lungen sind nur einmal zu verwenden (86, 89).

1.2.5 In-vivo-Schweinemodelle

Weit verbreitet sind Trainingskurse, die lebende Hausschweine (meist zwischen 20 und 50 kg) als Modell nutzen. Hierbei werden die Schweine von Tiermedizinern während der chirurgischen Übungen anästhesiert und anschließend euthanasiert (90). Ein hoher infrastruktureller Aufwand ist hierbei vonnöten (91). Wie unter 1.4. beschrieben sind Anatomie und Physiologie der Schweine der des Menschen ähnlich. Blutungen treten physiologisch auf, die Haptik bei Präparation ist vergleichbar zu der der realen OP-Situation. Der Realitätsbezug ist hoch (86, 92). Die Geometrie des Schweinethorax (geringe laterale Ausdehnung, keilförmig zulaufend) schränkt die Bewegungsfreiheit anders ein, als dies beim Menschen der Fall ist (90). Neben den hohen Kosten und dem großen Aufwand der zur Durchführung eines Kurses mit lebenden Tieren betrieben werden muss, wirft die Euthanasierung ethische Fragen auf.

1.2.6 Ex-vivo-Schweinemodelle

Als Ex-vivo-Schweinemodelle bezeichnet man solche, die Organe und Organpakete für chirurgisches Training verwenden. Meist werden die Organe in eine modellhafte Darstellung der Körperhöhle gelegt (93). In diese kann der Proband über eine thorakoskopische Kamera blicken und die jeweilige chirurgische Übung durchführen. Zu dieser Gruppe zählen auch Trainingsmodelle, die eine Blutungssimulation mit unterschiedlichen Perfusaten (beispielsweise verdünntes Ketchup), teils mit Pulsation ermöglichen (93-95). Die Parenchymschaffenheit ist der des Menschen ähnlich und daher die Präparation mit dem gleichen Instrumentarium möglich (92). Auch Blutungen können eingeschränkt simuliert werden. Schweinelungen sind in vielen Ländern Schlachtabfall, hierdurch gibt es bei der Nutzung von ex-vivo-Schweinemodellen kaum ethische Bedenken (91). Darüber hinaus sind Schweinelungen weit verbreitet verfügbar, sodass ihre Beschaffung meist mit geringem (finanziellen) Aufwand verbunden ist (93, 96). Nachteile der Nutzung von ex-vivo-Schweinelungen sind die, durch meist stark vereinfachte modellhafte Darstellung der Cavitas thoracis, begrenzte anatomische Genauigkeit, die bedingt durch Thrombenbildung und Autolyseprozesse eingeschränkte Blutungssimulation,

hygienische Bedenken sowie die schlechte Lagerbarkeit der Schweineorgane (77, 93).

1.3 Anatomie der porcinen Lunge

1.3.1 Übersicht

Schweine werden in vielen Feldern der medizinischen Forschung wie Pharmakologie oder Transplantationsmedizin als Modell für den Menschen genutzt (91, 97). Dies liegt neben vergleichbarer Genetik und Pathophysiologie vor allem an der menschlichenähnlichen Anatomie (92, 98, 99). Schweineorgane insbesondere auch Schweinelungen werden vielfältig für chirurgisches Training verwendet (91, 96, 100). Ausführliche Darstellung siehe unter Kapitel 6.1.

1.3.2 Gemeinsamkeiten von humaner und porciner Lunge

Für die Durchführung von VATS-Eingriffen an Schweinelungen relevante anatomische Gemeinsamkeiten mit der menschlichen Anatomie sind:

- eine kräftige Lobulierung mit durch die Fissurae klar definierten Lungenlappen (92, 101).
- ein cartilaginöses Bronchialsystem mit etwa 23-27 Bronchialgenerationen mit zur Peripherie hin abnehmendem Durchmesser (92, 101).
- Gefäße mit ähnlichem Wandaufbau (92, 100, 101)
- Organgröße und Parenchymeigenschaften (91, 92, 100)

1.3.3 Unterschiede von humaner und porciner Lunge

Neben oben beschriebenen Eigenschaften der Schweinelungen, die eine für chirurgische Übungen ausreichende Ähnlichkeit mit der menschlichen Anatomie belegen, liegen relevante Unterschiede vor:

- Bedingt durch die Anatomie des eher keilförmigen Thorax des Schweines dehnen sich die Lungenflügel gegenüber der Humananatomie stärker in ventral-dorsaler Achse aus (100).
- Die rechte Lunge des Schweins unterteilt sich in 4 Lappen, den Lobus cranialis (oder trachealis), Lobus medialis, Lobus caudalis und Lobus accessorius (101). Siehe hierzu Abbildung

- Die procinen interlobulären Septen sind kräftiger ausgeprägt (92, 101).
- Das Bronchialsystem des Schweins ist cartilaginöser (92).
- In den Lobi craniales und medius folgen Arterien und Venen gemeinsam den Bronchien (bronchovaskulärer Versorgungstyp). Hierbei liegen die Arterien meist dorsolateral, die Venen eher medial bzw. ventral der Bronchien. In den Lobi caudales dagegen verlaufen nur die Arterien mit den Bronchien, die Venen liegen intersegmental (92, 100, 101).

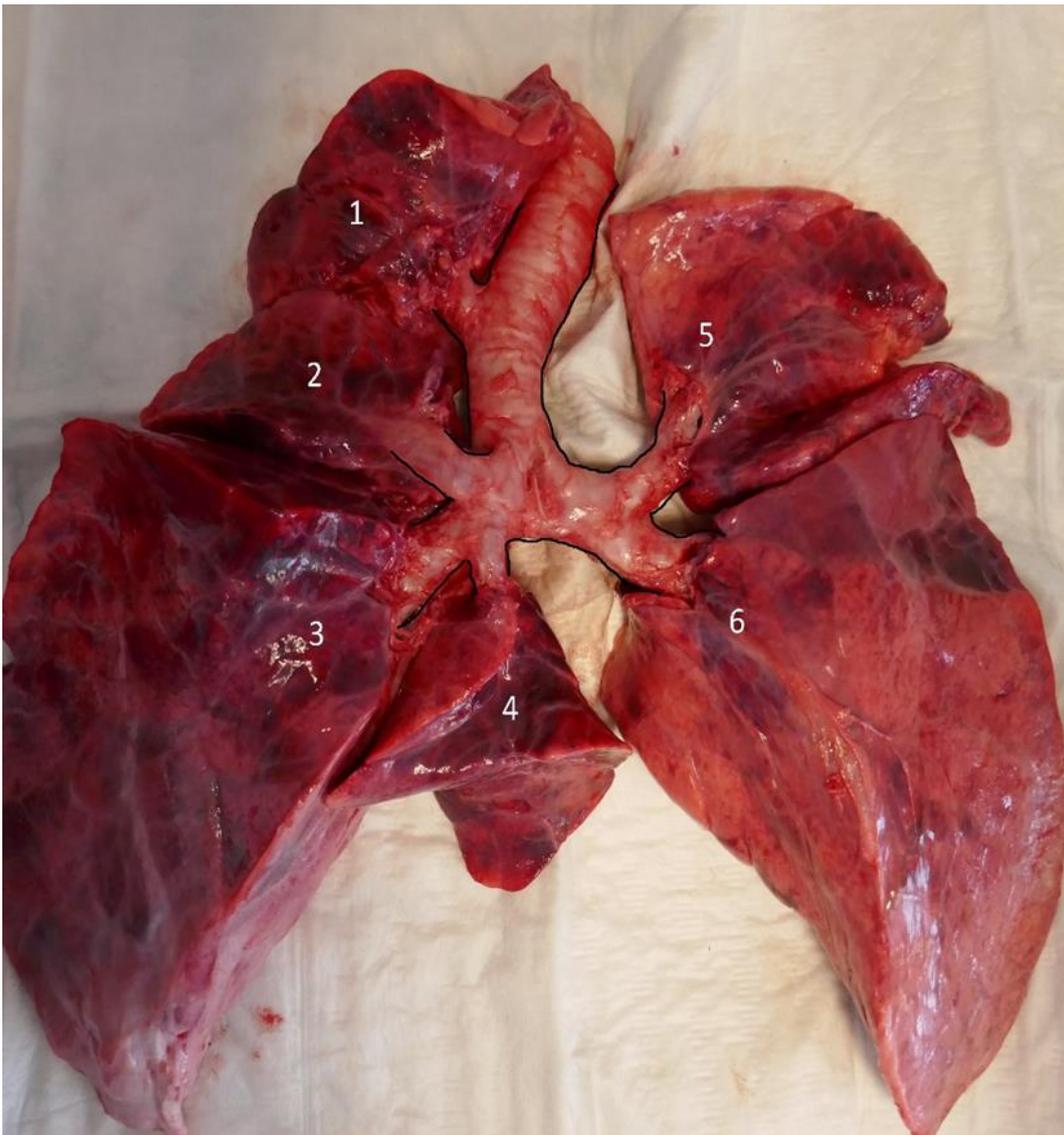


Abbildung 1: Lappengliederung der Schweinelunge, Sicht von ventral,
 1 = Lobus cranialis dextra, 2 = lobus medialis, 3 = lobus caudalis dextra,
 4 = lobus accessorius, 5 = lobus cranialis sinistra, 6 = lobus caudalis sinistra,
 eigenes Bildmaterial

1.4 Wissenschaftliche Zielsetzung

Die Thoraxchirurgie hat sich in den letzten 3 Jahrzehnten radikal gewandelt. Mit dem Aufkommen der VATS und deren Anwendung auch bei komplexeren onkologischen Indikationen änderte sich das Tätigkeitsfeld des Thoraxchirurgen nachhaltig (21). Fortschritte im Bereich der Video- und Medizintechnik, sowie der ständig wachsende Erfahrungsschatz, ermöglichen Eingriffe mit zunehmender Radikalität bei gleichzeitig geringerer Invasivität wie bspw. uniportale Lobektomien (14). Zunehmend komplexere Eingriffe sicher vorzunehmen erfordert ein hohes Maß an chirurgischer Erfahrung und manuellen Fähigkeiten (102). Die bislang existierenden Trainingskonzepte für VATS- Eingriffe setzen sich kaum durch, weil sie oft extrem aufwendig, wenig realistisch oder ethisch zweifelhaft (Tierversuche, potentielle Gefahr für den Patienten) sind. Es besteht ein dringender Bedarf an einem realistischen, flexiblen, kurstauglich optimierten „wet-lab“-Trainingsmodell für die verschiedenen bislang etablierten und zukünftigen VATS-Operationen. (77).

Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung (Kap. 2.1.) und Optimierung eines realitätsnahen, für verschiedene VATS-Operationen geeigneten, Ex-vivo-Modells für Tutor-geführte VATS-Kurse zum Training von Thoraxchirurgen sowie die Evaluation (Kapitel 2.2) seiner Praxistauglichkeit im Rahmen einer Probandenstudie.

Unter Kursbedingungen soll das zu entwickelnde Trainingsmodell folgende Anforderungen erfüllen:

- Training verschiedener VATS - Eingriffe
- Blutungskomplikationen erkennbar, behandelbar und überprüfbar
- modellhafte Darstellung der relevanten anatomischen Strukturen
- hohe Funktionssicherheit und Widerstandsfähigkeit
- hygienische Reinigbarkeit nach der Verwendung
- Schonung der tierexperimentellen Ressourcen
- Einsetzbarkeit im Rahmen eines Kurses mit vertretbarem Aufwand
- geringe Kosten für Entwicklung, Produktion und Kursbetrieb
- Zukunftsfähigkeit für neue thorakoskopische Prozeduren

Für die Umsetzung der Simulation einer Blutungskomplikation ergeben sich 4 zentrale Fragen:

- Wie müssen die Schweineorgane präpariert und kanüliert werden, um Perfusat in die herznahen arteriellen und venösen Pulmonalgefäße einbringen zu können?
- Wie kann der Perfusionsdruck erzeugt werden?
- Wie muss der Ablauf der Vorbereitungen unter Kursbedingungen sein, damit auch nach 24 Stunden Lagerung eine Perfusionssimulation durchgeführt werden kann?
- Welches Perfusat eignet sich?

Nach der Entwicklung des Modelles soll im Rahmen von Trainingskursen im chirurgischen Trainingszentrum Tübingen eine Evaluation durchgeführt werden. Das Kurssetting legt den Rahmen fest in dem das Trainingsmodell eingesetzt wird:

- Während eines Kurses müssen 5 Trainingsmodelle zeitgleich verwendet werden können.
- Die Trainingsmodelle müssen zumindest zeitweise unbeaufsichtigt anwendbar sein.
- Die Vorbereitungen müssen aus logistischen Gründen einen Tag vor dem Kurs durchgeführt werden können.
- Die Kurse finden in einfachen Büroräumen stattfinden können, das heißt die Verunreinigungen durch die Durchführung der Kurse sind zu minimieren.

2 Material und Methoden

2.1 Entwicklung und Bau eines VATS-Trainingsmodells

2.1.1 Entwicklungsprozess

Der Entwicklungsprozess des Tübinger-Thoraxtrainers umfasst folgende Phasen, die sich bis zum Endpunkt der Entwicklung bei jedem Bauteil mehrfach wiederholen können:

1. Die Zielsetzung basiert auf den unter 1.6. festgelegten Anforderungen.
2. Die Planungsphase umfasst Literaturrecherche, Expertenbefragungen und ggf. OP-Hospitationen.
3. In der Konzeptphase werden anhand der gesammelten Informationen Lösungsansätze zum Erreichen der Zielsetzung gesucht. Dies beinhaltet u.a. das probeweise Durchführen einzelner Teilschritte der folgenden Ausarbeitungsphase.
4. Die Ausarbeitungsphase umfasst die praktische handwerkliche, prozedurale und didaktische Umsetzung und Optimierung des erstellten Trainingskonzeptes.
5. In der Evaluationsphase werden im Rahmen der Erprobung im Kursbetrieb die Praxisergebnisse mit der Zielsetzung verglichen.

Sofern Ziele verfehlt werden, wiederholen sich Arbeitsschritte beginnend mit der Planungsphase.

Eine der zentralen Schwierigkeiten bei der Entwicklung des Trainingsmodells war der Umstand, dass Veränderungen und Verbesserungen an einem der Module Auswirkungen auf andere zuvor entwickelte Module hatten. Um diesen Prozess gemäß den formellen Anforderungen übersichtlich vorzustellen, muss dieser in eine lineare Form gebracht werden. Die Abbildung 2 stellt den Entwicklungsablauf in zeitlich linearer Abfolge schematisch dar. Im unter 2.1. dargestellten Hauptteil wird für bessere Übersicht und Lesbarkeit nur der jeweilige Endpunkt der Entwicklung des endgültigen Trainingsmodelles dargestellt.

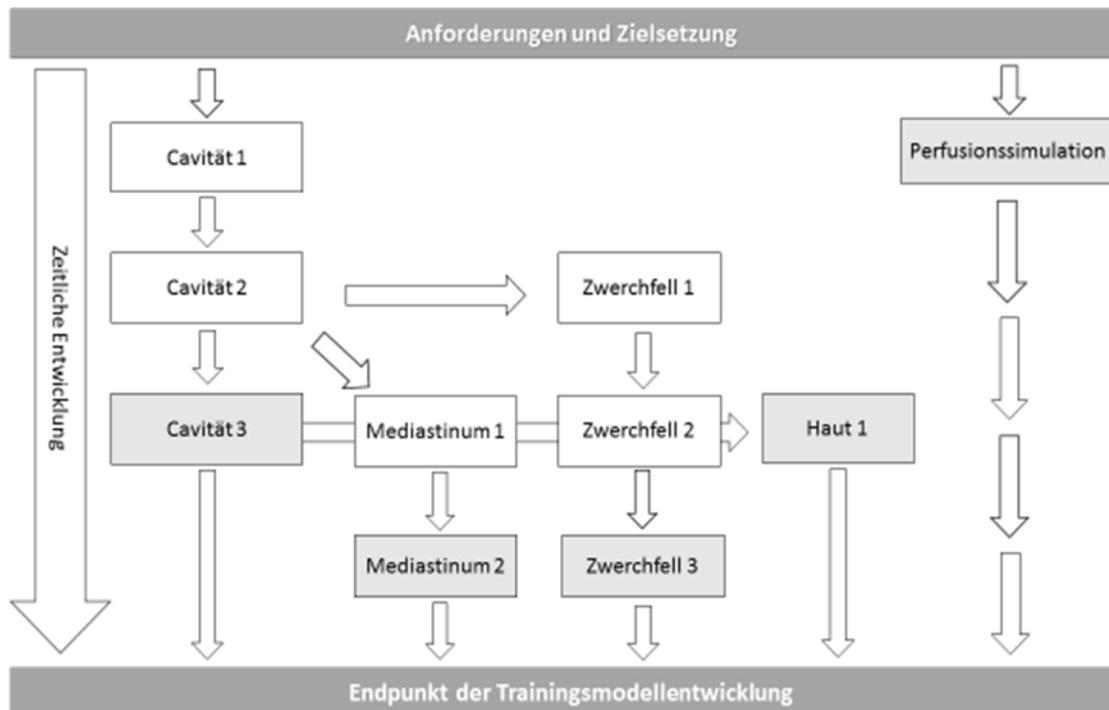


Abbildung 2: Schematische Darstellung der zeitlichen Entwicklung, grau hinterlegt die im Hauptteil dargestellten Endpunkte der Entwicklung, eigenes Bildmaterial

2.1.2 Organmodell

Als Organmodell wurden Herz-Lungen-Pakete des Hausschweins verwendet. Schweinelungen sind wie unter Abschnitt 1.4 beschrieben der menschlichen Anatomie sowohl in Größe, Struktur und Parenchymeigenschaften ausreichend ähnlich, um chirurgische Übungen daran durchzuführen (91, 93, 103). Die Organe wurden in einem regional erreichbaren Schlachthof akquiriert.

Das verwendete Organpaket umfasst die gesamten Thoraxorgane, Larynx und Zunge sowie Anteile des Zwerchfells. Die Organpakete wurden im Schlachthof auf Eis gelegt. Spätestens 40 Minuten hiernach begann die Präparation zur Verwendung im Trainingsmodell. Diese umfasste:

- Inspektion und Überprüfung auf Unversehrtheit von Herz und Gefäßen
- Abtrennen von Zungen- und Pharynxanteilen caudal des Larynx
- Abtrennen von verbliebenen Zwerchfellanteilen
- Entfernung von störenden Perikardanteilen
- Lösen von Pleuraverklebungen
- Entfernen von bindegewebigen Strukturen und Organanteilen des Thymus

2.1.3 Perfusionssimulation

2.1.3.1 Versuchsreihe 1

Ziel der ersten Versuche zur Blutungssimulation war es, eine Perfusat-Zirkulation im kleinen Kreislauf zu erreichen. Bereits im Schlachthof erfolgte die unter 2.1.2 beschriebene Organpräparation. Über die Vena cava superior wurde ein Schlauch mit 12mm Durchmesser in den rechten Ventrikel eingeführt und fixiert. Die Vena cava inferior wurde ligiert. Die nur bei Wiederkäuern und dem Schwein vorkommende Vena azygos sinistra, die Blut aus der ersten Lumbalvene zum rechten Vorhof führt, musste ebenfalls ligiert werden (101).

Ein weiterer Schlauch wurde über die eröffnete Aorta ascendens über die Aortenklappe hinweg in den linken Ventrikel vorgeschoben und fixiert. Über Schlauchkupplungen wurde der im rechten Ventrikel liegende Schlauch mit einem an einem Infusionsständer befestigten Perfusatresevoir verbunden. Als Perfusat wurde eine Kochsalz – Heparinlösung mit 10.000 I.E. Heparin pro Liter verwendet.

Nach dem Entlüften des Schlauchsystems wurde über den rechten Ventrikel der Truncus pulmonalis mit etwa 10mmHg angespült und der Perfusionsdruck für ca. 5 Minuten aufrechterhalten.

Die durchgespülten Organpakete wurden zum Transport vom Schlachthof zum Trainingszentrum sowie zur Lagerung auf Eis gelegt.

Nach maximal 40 Minuten sowie jeweils nach 24 Stunden und 48 Stunden wurde erneut der Truncus pulmonalis über den rechten Ventrikel mit ca. 10-15mmHg angespült. Die Inzisionen wurden in der Peripherie des Lungenparenchyms gesetzt.

2.1.3.2 Versuchsreihe 2

Ziel der zweiten Versuchsreihe zur Perfusionssimulation war, den logistischen Aufwand zur Perfusionssimulation zu reduzieren und damit für das Kurssetting kompatibel zu machen. Hierzu wurden die schlachtfrischen Organpakete im Schlachthof auf Eis gelegt und in das Trainingszentrum verbracht. Nach spätestens 50 Minuten begann die Präparation (siehe 2.1.2). Die Kanülierung sowie das Durchspülen mittels heparinierter Kochsalzlösung erfolgen analog

wie in 2.1.3. beschrieben. Unmittelbar nach dem Durchspülen, nach 24 Stunden sowie nach 48 Stunden, wurde beobachtet, ob Perfusat aus Inzisionen im Lungenparenchym bzw. aus dem linken Ventrikel austrat.

2.1.3.3 Versuchsreihe 3

Zuerst erfolgte die Durchtrennung der Chordae tendinae der Mitralklappe. Um sowohl im arteriellen als auch im venösen Schenkel eine Perfusion realisieren zu können, wurde das Organmodell wie unter 2.1.2. beschrieben präpariert und wie unter 2.1.3.2 dargestellt kanüliert. Sowohl der im rechten Ventrikel liegende als auch der im linken Ventrikel liegende Schlauch wurden mit Perfusat mit 10mmHg befüllt. Hilusnahe Lungenvenen wurden inzidiert. Nach 24 und 48 Stunden wurde der Versuch wiederholt.

2.1.3.4 Versuchsreihe 4

Ziel der vierten Versuchsreihe war ein Vergleich verschiedener Perfusate zur Durchführung der Blutungssimulation im Kurssetting. Hierzu wurden Herz-Lungen-Pakete wie unter 2.1.2. beschrieben vorbereitet und wie unter 2.1.3.1 beschrieben kanüliert. Drei verschiedene Perfusattypen wurden nun unmittelbar nach Präparation sowie nach 24 und 48 Stunden mit 10mmHg infundiert. Die zu vergleichenden Perfusate waren:

- mit blauer Lebensmittelfarbe (ca. 15ml pro Liter) eingefärbte heparinisierte Kochsalzlösung (10.000 i.E. pro Liter)
- schlachtfrisches heparinisiertes (15.000 i.E. pro Liter) Schweineblut
- farblose heparinisierte (10.000 i.E. pro Liter) Kochsalzlösung

2.1.4 Cavität des Thorax

Die in den Vorversuchen gewonnenen Erfahrungen (siehe unter 6.2) wurden in die Zielsetzung übernommen und in einem neu entworfenen Thoraxmodell umgesetzt. Dieses Thoraxmodell sollte:

- die menschliche Anatomie vor allem der relevanten knöchernen Thoraxstrukturen darstellen.

- genügend Volumen haben, um porcine Herz-Lungen-Pakete aufnehmen zu können.
- die Beweglichkeit des Instrumentariums begrenzen ohne starr zu sein.
- drehbar gelagert sein, um unterschiedliche thorakoskopische Eingriffe simulieren zu können.
- als Basis für weitere Module des Trainingsmodelles dienen.

Es erfolgte eine Trennung des Bauteils Cavität von dem Bauteil Mediastinum.

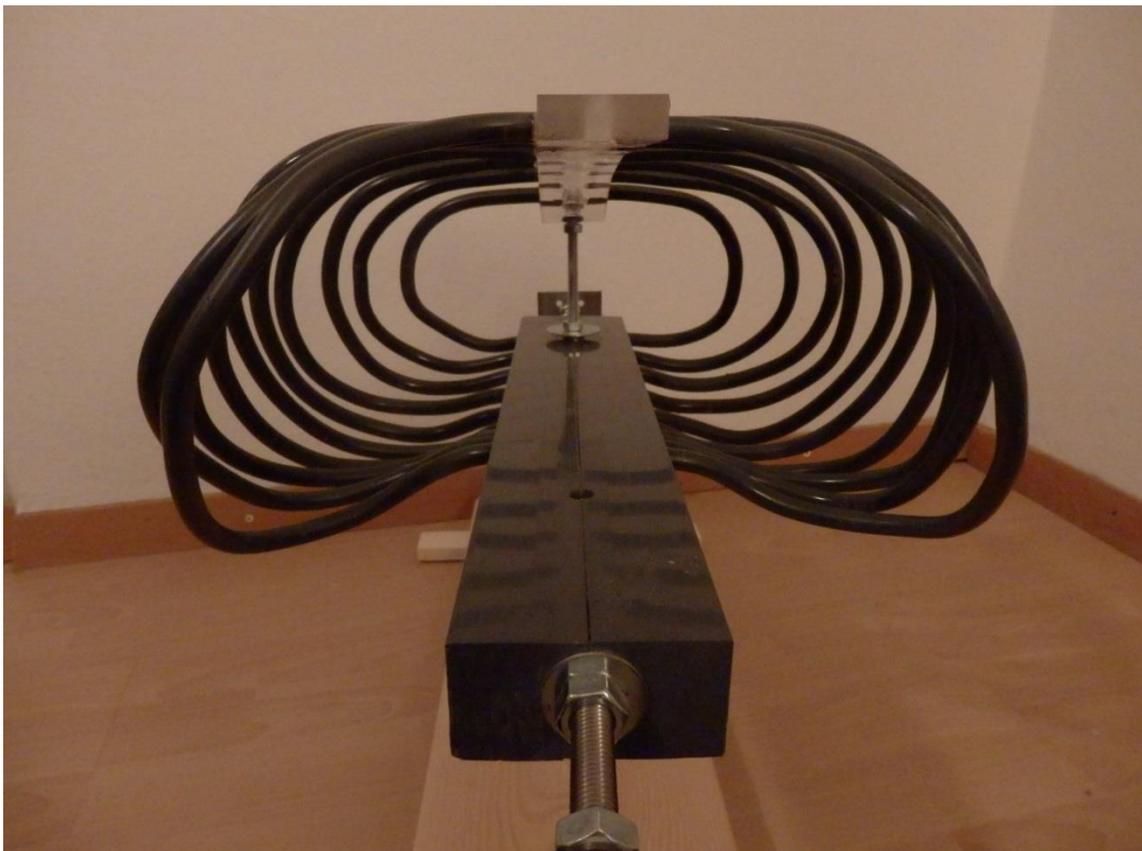


Abbildung 3: Blick von caudal in die Cavität, eigenes Bildmaterial; verwendet in „TuThor: an innovative new training model for video-assisted thoracic surgery“ (104)

Als Material für den Bau des Trainers wurde Polyvinylchlorid-hart (PVC-U) verwendet (104). PVC-U hat Eigenschaften wie einen günstigen Kaufpreis, breite Verfügbarkeit und gute Reinigbarkeit durch hohe chemische Beständigkeit (110). Der relevanteste Vorteil von PVC-U sind dessen thermoplastische Eigenschaften. Ein Thermoplast, ist ein Kunststoff der sich in einem bestimmten Temperaturbereich plastisch verformen lässt. Diese Verformbarkeit bleibt bei wiederholtem Erwärmen erhalten. Bei PVC-U hat eine

Glasübergangstemperatur, also die Temperatur ab der das Material gummiartig elastisch verformbar wird, bei $>79^{\circ}\text{C}$ (110). Die zur Verformung nötige Temperatur ist demnach verhältnismäßig gering und mit einfachen Mitteln kontrolliert erzeugbar. Daher lässt sich PVC-U gut mit herkömmlichen einfachen Werkzeugen und Maschinen bearbeiten.

Das neue Thoraxmodell wurde ausgehend von dem anatomischen Lungenmodell unter 2.1.2. vergrößert konstruiert. Als Wirbelsäule dient ein PVC-U-Stab mit den Maßen 80x40x400mm. In diesen Stab wurden pro Seite 10 Bohrungen mit 11mm Durchmesser gebohrt. Die Bohrungspositionen stellen modellhaft die Kyphose der Wirbelsäule dar. Auf die Darstellung der Costae fluctuantes wurde verzichtet. Das Sternum wurde aus einem PVC-U-Stab gefertigt, welcher ebenfalls auf jeder Seite 10 Bohrungen für die Rippen erhält. Dieser Stab wurde erhitzt, bis die thermoplastische Phase erreicht war, und dann an das Sternum des anatomischen Skeletts angepasst.

Die Rippen werden aus PVC-U-Rundstäben mit 10mm Durchmesser geformt. Dazu werden die Stäbe zunächst ebenfalls erhitzt. Anschließend wurden sie zunächst mittels mehrerer, dem anatomischen Skelettmodell angepasster, Schablonen in eine zweidimensionale Form gebracht. In einem zweiten Schritt wurden die Rippen erneut erwärmt, in Wirbelsäule und Sternumdarstellung gesteckt und in ihre endgültige dreidimensionale Form gebracht. Bedingt durch die Krafteinwirkungen auf den erwärmten Thermoplast variierte der Durchmesser der Rippenenden zwischen 9,8 und 10,5mm. Diese Varianz wurde für jede einzelne Rippe mittels Bandschleifer ausgeglichen. Nachdem alle 20 benötigten Rippen geformt waren, wurden diese mit einem PVC-U-geeigneten Klebstoff, der auf Vinylchlorid-Polymeren in gelöster Form basiert, (Handelsname Köratac HF 300), in die Darstellung der Wirbelsäule und des Sternums eingeklebt.

Das fertige Thoraxmodell wurde mittels zweier Edelstahlgewindestangen (Durchmesser M10), zweier Kreuzgriffe und zweier Winkel auf einer Siebdruckplatte drehbar befestigt.

2.1.5 Mediastinum

In der Kurssituation soll das Einbringen der porcinen Organpakete einfach und schnell erfolgen. Hierzu ist eine Darstellung des Mediastinums nötig, an der die Organpakete befestigt und anschließend in die Cavität des Thoraxmodells (siehe 3.1.3.) eingebracht werden können.

Die Zielsetzung bei der Entwicklung der Darstellung des Mediastinums umfasst dabei:

- eine sichere Fixierung der Organpakete, die auch eine Seitenlage ermöglicht,
- die modellhafte Darstellung der Anatomie,
- die Zugänglichkeit der Hilusstrukturen,
- die Möglichkeit, unterschiedlich große Herz-Lungen Pakete aufzunehmen.

Als Basis für das „Mediastinum 3“ wurde eine PVC-U-Platte mit den Maßen 80mm x 20mm x 400mm verwendet. In diese werden 2 PVC-U-Stäbe mit Durchmesser 10mm auf jeder Seite eingeklebt. Diese Stäbe bildeten den Rahmen, auf den eine schlauchförmige Vakuumierfolie aufgezogen werden kann. Im Bereich des Hilums wurden in die Basisplatte im Abstand von 20mm Bohrungen gebohrt und anschließend mittels Gewindeschneider M7-Gewinde geschnitten. Diese dienen der Aufnahme von Schrauben, um Aluvierkantröhrchen mit den Maßen 100mm x 10mm x 10 mm an der Mediastinalschublade zu befestigen. Auf diese Aluvierkantröhrchen wurden Magnetstreifen geklebt.

Um die Herz- Lungen Pakete einzubringen, wird eine schlauchförmige handelsübliche Vakuumierfolie von kaudal über die Stäbe gezogen. Diese Folie wird nun mittels Folienschweißzange in Form gebracht und fixiert.

Der Bereich des Hilums wird im Bereich des Hilus eingeschnitten. Das in Abbildung 2 gezeigte Herz-Lungen-Paket wird von caudal eingeschoben. Die Aluminiumrohre werden jeweils als craniale und caudale Begrenzung des Hilums in die PVC-U Basisplatte eingeschraubt. Zwischen den Schraubenköpfen werden Gummibänder eingespannt. Auf diesen Gummibändern kommt das Herz zu liegen. Die schlauchförmige Vakuumierfolie wird mit Stahlplättchen an den an den Aluvierkantrohren angebrachten Magneten fixiert.

Die so vorbereitete „Mediastinalschublade“ kann nun in das Thoraxmodell eingeschoben werden und mit einer Schraube daran fixiert.

2.1.6 Diaphragma

Das Zwerchfell bildet die kaudale Begrenzung der Cavitas pleuralis. Bei VATS-Lobektomien und -Segmentektomien liegt es meist nicht im für chirurgisches Training relevanten Operationsfeld (siehe auch 1.1). Eine präzise anatomische Darstellung war damit wünschenswert aber nicht notwendig, um oben genannte Eingriffe trainieren zu können.

Die Darstellung des Zwerchfells sollte:

- das Thoraxmodell nach kaudal abgrenzen.
- die Anatomie modellhaft darstellen.
- zu der Darstellung des Mediastinum (siehe 3.1.5) kompatibel sein.

Das „Zwerchfell 2“ wurde aus einer PVC-U-Platte mit 4mm Stärke gefertigt. Die Form wurde an die sagittale Öffnungsfläche des Thoraxmodelles angepasst. Mittels L-Winkel und Schraubverbindung lässt sich diese im 30° Winkel an der Darstellung des Mediastinum befestigen. Zur Aufnahme der PVC-U-Rundstäbe der Mediastinalschublade wurde das Diaphragma mit 4 Bohrungen versehen.

2.1.7 Haut

Die modellhafte Darstellung der Haut sollte der menschlichen Haut in Bezug auf Zugfestigkeit und Flexibilität ähnlich sein, den Einblick zu OP-Feld und Instrumentarium im Rahmen chirurgischer Übungen verhindern und austretendes Perfusat und Blut kontrolliert ableiten.

Zur Darstellung der Haut wurde eine EVA-P Bodenschutzmatte mit 3mm Materialstärke verwendet. Diese wurde an das Thoraxmodell mittels Inzisionen auf Schulter und Sternumhöhe angepasst. Mit Klammernähten erfolgte die Formgebung und Fixierung. Zur Verwendung wird diese Darstellung der Haut im Ganzen umgeklappt, so dass die Klammernähte dem Thoraxmodell zugewandt zu liegen kommen. Die dorsale Seite der Darstellung der Wirbelsäule des Thoraxmodells ist mit 3 Stehbolzen ausgestattet. An diesen wird die artifizielle Haut befestigt.

2.2 Probandenstudie in Rahmen eines VATS-Kurses

Daten und Ergebnisse dieses Kapitels wurden unter dem Titel „TuThor: an innovative new training model for video-assisted thoracic surgery“ publiziert, (Domhan, Wilhelm et. al 2020)(104).

2.2.1 Kursformat

Das Kursprogramm trägt den Titel: „VATS- Kurs – Anatomische Resektion an der Lunge; Hands-on am perfundierten Lungentrainer“. Der Kurs wurde eintägig durchgeführt. Die Teilnehmer wurden thoraxchirurgisch angeleitet durch ein Expertenteam (siehe Anhang unter 6.4). Das Kursprogramm umfasst die Vermittlung und das Training von Grundlagentechniken wie Kameraführung und Nahttechniken sowie die Durchführung von VATS-Lobektomien und VATS-Segmentektomien. Zentrale Inhalte sind hierbei die Präparation der hilusnahen Gefäße, Techniken zur Ligatur selbiger und die Simulation einer bei der Hiluspräparation aufgetretenen Blutung mit anschließender Blutungsstillung. Expertentechniken wie z.B. das Anbringen einer Bronchusnaht können ebenfalls trainiert werden. Alle Kursinhalte werden mittels des oben vorgestellten Trainingsmodells und den unter 2.1.3 beschriebenen perfundierten ex-vivo-Schweinelungenpräparaten vermittelt. Kameratürme und Instrumentarium von Karl Storz SE & Co. KG, Tuttlingen und Erbe Elektromedizin GmbH, Tübingen sowie Staplersysteme der Firma Firma Covidien Medtronic GmbH, Meerbusch kamen zum Einsatz.

2.2.2 Kursdaten

Zielgruppe des VATS-Kurses sind Thoraxchirurgen. Die Anmeldung erfolgt über einen online verfügbaren Anmeldebogen. Die Kursteilnehmer rekrutieren sich aus unterschiedlichen (internationalen) Kliniken und weisen einen unterschiedlichen Ausbildungsstand auf. Dies hat zur Folge, dass Ärzte in Weiterbildung, Fachärzte, Oberärzte und auch Chefarzte vertreten sind. Eine Kursgebühr von 495€ wird erhoben. Der Kurs findet an einem Tag ganztägig von 8.00 bis 17.00 Uhr statt. Fünf Arbeitsplätze, die jeweils mit einem wie oben beschriebenen Trainingsmodell ausgestattet sind, stehen für bis zu 10

Kursteilnehmer zu Verfügung. Die Teilnehmer arbeiten in Zweiertteams zusammen. Die Datenerhebung in Form des Evaluierungsbogens erfolgte anonymisiert.

2.2.3 Vorstudie

Der erste Kurs, der mit den beschriebenen Trainingsmodellen arbeitete, fand am 16. November 2016 in den Crona-Kliniken in Tübingen in den Räumlichkeiten der Arbeitsgruppe „Chirurgische Technologie und Training“ statt. Das in 2.2.1 beschriebene Kursformat wurde angewandt. Der Fokus dieses Vorkurses lag auf der Erkennung von Fehler im Kurssetting, Schwierigkeiten und Verbesserungsmöglichkeiten bei der Organisation und der Logistik. Daher war eine dezidierte Evaluation des Trainingsmodelles mittels eines komplexen Fragebogens nicht Priorität.

Schwächen in der Organisation und dem Kurssetting sind mögliche Störgrößen und könnten die subjektiven Bewertung des Trainingsmodelles durch die Kursteilnehmer verfälschen. Der für diesen Vorkurs entworfene Fragebogen für für Fortbildungscredits für die Deutsche Gesellschaft der Thoraxchirurgen enthielt daher hauptsächlich Fragen bezüglich Organisation und Kurssetting. Zwei weitere Fragen bezogen sich direkt auf den Trainer:

- „Das Modell ist ein speziell für einen VATS-Kurs entwickeltes Modell zur Erlangung von Fertigkeiten und Erfahrungen in der video-assistierten Chirurgie am Thorax bzw. der Lunge. Halten Sie dieses Modell für geeignet und realistisch genug, um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchführen zu können?“
- „Konnten Sie die Komplikation einer Gefäßverletzung während des Kurses simulieren?“

Die Fragebögen wurden von den 10 beteiligten Probanden sowie von den Tutoren des Kurses anonymisiert ausgefüllt, die ebenfalls zum ersten Mal mit dem Trainer gearbeitet hatten.

2.2.4 Hauptstudie

Der Ablauf und die Organisation des ersten Kurses hatten sich bewährt. Die folgenden Kurse sollten daher nach gleichem Muster und mit den gleichen Dozenten ablaufen. Die 3 Kurse der Hauptstudie fanden am 16.11.2017, am 13.12.2018 und am 11.04.2019 statt. Der Veranstaltungsort änderte sich. Die Kurse fanden in den neuen Räumen des Chirurgischen Trainingszentrums der Arbeitsgruppe im Zentrum für Medizinische Forschung, 72072 Tübingen, Waldhörnlestraße 22.

An insgesamt 3 Kursen nahmen 25 Probanden teil. Die Teilnehmer rekrutierten sich aus unterschiedlichen nationalen und internationalen Kliniken und wiesen verschiedene Ausbildungsstände vom Arzt in Weiterbildung bis hin zum Chefarzt auf. Für eine detaillierte Evaluation des Trainingsmodells wurde ein neuer, ausführlicherer Fragebogen entworfen. Dieser besteht aus insgesamt 45 Fragen in 7 Untergruppen (siehe auch Anhang unter 6.3).

In der ersten Untergruppe wurde die berufliche Erfahrung der Teilnehmer erfragt: Ausbildungsstand, Anzahl der bereits durchgeführten VATS-Eingriffe in den Kategorien 0-10, 11-50 und >50, Anzahl der bereits durchgeführten VATS-Lobektomien und Segmentektomien in den Kategorien 0-10, 11-50 und >50 sowie die Teilnahme an vergleichbaren Kursen in den Kategorien Ja und Nein. Alle folgenden Fragen waren jeweils auf einer Skala von 1 (trifft voll und ganz zu) bis 5 (trifft überhaupt nicht zu) zu bewerten.

In der zweiten Untergruppe ging es in 10 Fragen um die Erwartungen der Teilnehmer an den Trainingskurs. Die erfragten Erwartungen bezogen sich unter anderem auf das „Erproben neuer OP - Techniken unter kontrollierten Bedingungen ohne Gefährdung eines Patienten“, den „Vergleich der eigenen mit anderen OP-Techniken“, die „Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Blutung“, sowie den „Kollegialen Erfahrungsaustausch“. In der dritten Untergruppe wurden acht Fragen zum allgemeinen Qualität des Trainingsmodells gestellt. Diese umfassten unter anderem Fragen zur allgemeinen Eignung des Trainingsmodells um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchzuführen, sowie zu der Ähnlichkeit des Trainers im Verhältnis zum menschlichen Thorax bezüglich Materialien und Abmessungen.

Die drei Fragen der vierten Untergruppe beziehen sich auf die Qualität der simulierten Durchblutung. Abgefragt wurde unter anderem der Realitätsgrad der Perfusion (Füllung, Druck) der hilusnahen Gefäße und ob die Darstellung der Blutungskomplikation das Komplikationsmanagement des Probanden verbessern konnte.

Die fünfte Untergruppe bezieht sich in 6 Fragen auf das ex-vivo-Schweinemodell. Unter anderem wurde abgefragt ob das verwendete ex-vivo-Schweinemodell die Anatomie und Dimensionen ausreichend wiedergibt, um daran thorakoskopische Eingriffe zu üben. Eine weitere Frage bezieht sich auf die Parenchymsbeschaffenheit.

In der sechsten Untergruppe wird abgefragt ob die vor dem Kurs formulierten Erwartungen erfüllt werden konnten.

Bei der siebten Untergruppe gab es zu jeder der 3 Fragen ein zusätzliches Textfeld für formlose Anmerkungen

Den Kursteilnehmern wurde dieser Fragebogen zu Beginn des Kurses ausgehändigt, die Fragen der Untergruppen 1 und 2 wurden vor Beginn des Kurses beantwortet, die restlichen Fragen nach dem Ende des praktischen Kursteils.

3 Ergebnisse

3.1 **Entwicklung und Bau eines VATS-Trainingsmodells**

Daten und Ergebnisse dieses Kapitels wurden unter dem Titel „TuThor: an innovative new training model for video-assisted thoracic surgery“ publiziert, (Domhan, Wilhelm et. al 2020)(104).

3.1.1 Organmodell

Das zur weiteren Verwendung präparierte Organmodell ist in Abbildung 4 dargestellt.

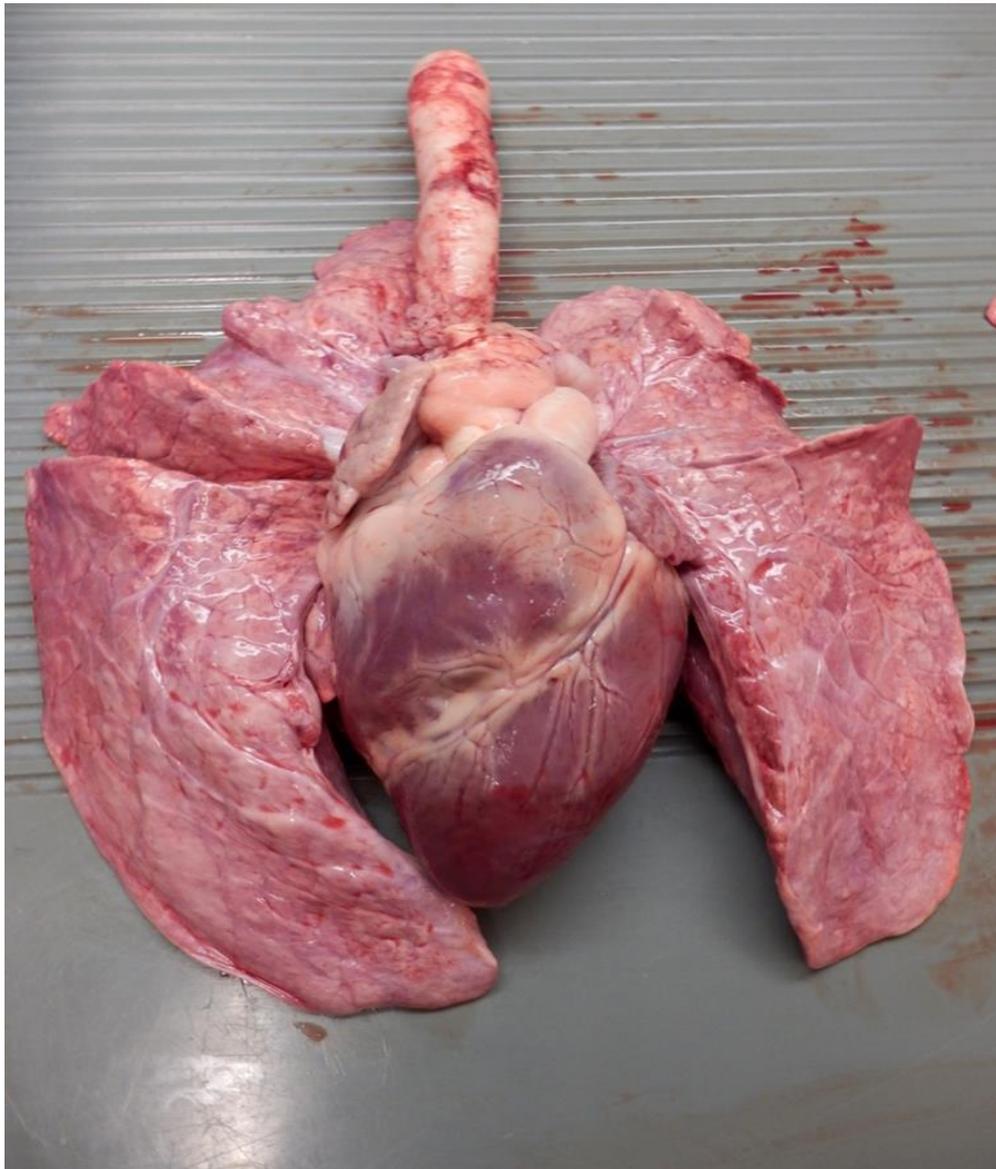


Abbildung 4: Herz-Lungen-Paket nach der Präparation, eigenes Bildmaterial

3.1.2 Perfusionssimulation

3.1.2.1 Ergebnis Versuchsreihe 1

Nach Präparation und Durchspülen der Schweineorgane konnte auch nach 24 Stunden Lagerung einerseits ein Austritt von Perfusat, aus Arteriolen des Lungenparenchyms, aus der Peripherie und aus dem linken Ventrikel nachgewiesen werden.

Hiermit wurde gezeigt, dass Perfusat das Kapillarbett der Lunge durchfließen kann und daraus eine Zirkulation resultiert, die der physiologischen nahekommt. Nach 48 Stunden Lagerung konnte nur bei 8 von 12 Schweineorganen eine Perfusatzirkulation nachgewiesen werden.

Die unter 2.1.3. formulierten vier zentralen Fragen zur Perfusionssimulation beantworteten sich wie folgt:

- Die Form der Kanülierung über die Vena cava superior und Aorta ascendens war mithilfe eines großlumigen Schlauches zuverlässig realisierbar. Größere Mengen Perfusat konnten eingebracht und kontrolliert abgeleitet werden. Die Ausnutzung der „physiologischen“ Zugänge zu den Ventrikeln über Vena cava superior und Aorta ascendens scheint eine geeignete Form der Kanülierung darzustellen.
- Ausreichender Perfusionsdruck konnte hydrostatisch erzeugt werden. Das Perfusionsmodul mit Perfusateservoir und Schläuchen war kostengünstig, hygienisch reinigbar und der Druck einstellbar. Eine Simulation der Pulsation des Herzens war so nicht umsetzbar.
- Die Konzentration von 10000 I.E Heparin pro Liter der verwendeten heparinisierte Kochsalz-Heparinlösung), welche leicht mit blauer Lebensmittelfarbe angefärbt war, verhinderte die Thrombosierung des in den Lungengefäßen verbliebenen Blutes suffizient.
- Die praktische Umsetzung dieser Simulationsmethode war mit großem logistischen Aufwand verbunden. Alle verwendeten Materialien wie Perfusionsreservoir, Schlauchsysteme, Perfusat und Präparationsbesteck waren in den Schlachthof verbracht worden. Kleinstmengen an Schweineorganen sind mit vertretbarem zeitlichen und personellen Aufwand zu präparieren. Größere Mengen an Schweineorganen die

beispielsweise unter Kursbedingungen mit bis zu 5 parallel verwendeten Trainingsmodellen benötigt werden, können mit den vorhandenen personellen Ressourcen nicht vorbereitet werden. Die Zielsetzung, die eine möglichst physiologische Blutungssimulation unter Kursbedingungen fordert, ist daher nicht erfüllt. Eine Anpassung des Präparationsprozesses zur Perfusionssimulation muss erfolgen.

3.1.2.1 Ergebnis Versuchsreihe 2

Es konnte auch nach einer Lagerzeit von 48 Stunden der Austritt von Perfusat aus arteriellen hilusnahen Gefäßen nachgewiesen werden. Eine Perfusatzirkulation, die durch austretendes Perfusat aus dem linkem Ventrikel oder herznahen Lungenvenen nachgewiesen werden könnte, ist nicht zuverlässig realisierbar. Mutmaßlich ist dies bedingt durch eine Thrombosierung der Kapillaren, die aus der Verzögerung zwischen Schlachtung und Durchspülen der Organe resultiert (siehe hierzu 2.1.3.2.)

Im Abgleich mit der unter 2.1.3. beschriebenen Zielsetzung ergab sich, dass

- die Perfusionsmethode mit zeitlich versetzter Durchspülung der Schweineorgane nach Transport in das Trainingszentrum keine sichere Blutungssimulation des venösen Schenkels ermöglichte. Dieser Teil der Zielsetzung war nicht erfüllt.

die zur Perfusionssimulation nötige Logistik durch das Durchspülen der - Herz-Lungenpakete erst nach Transport auch unter Kursbedingungen umsetzbar ist.

3.1.2.2 Ergebnis Versuchsreihe 3

Mit der unter 2.1.3.3 beschriebenen Methode der retrograden Perfusion wird eine Füllung der hilusnahen venösen Gefäße nach bis zu 48 Stunden Lagerung zuverlässig erreicht. Eine Blutungssimulation des arteriellen und des venösen Schenkels ist realisierbar (vergleiche Abbildung 4). Die Zielsetzung ist damit erfüllt.



Abbildung 5: Blick auf Lungenhilum bei Simulation einer arteriellen Blutung (*), eigenes Bildmaterial, publiziert in (104)

3.1.2.3 Ergebnis Versuchsreihe 4

Mit den verwendeten Perfusaten ließ sich eine Blutungssimulation erreichen, wie der Perfusataustritt nach Inzision im venösen und arteriellen Schenkel zeigte.

Die Durchführung des Versuchs mit heparinisiertem Schweineblut war schwierig. Es bildete sich ein großer Thrombus, mutmaßlich bedingt durch ungenügende Durchmischung oder Transporterschütterungen (siehe Abbildung 5). Nach Abschöpfen des Thrombus gelang mit dem verbliebenen heparinisiertem Schweineblut die Blutungssimulation.

Es wurde in Bezug auf Organhaltbarkeit im Sinne von Verzögerung von Apoptosevorgängen oder Ödembildung kein Unterschied zwischen Schweineblut und den isotonischen Infusionsflüssigkeiten als Perfusat beobachtet. Die Verwendung von Schweineblut erschien unter hygienischen Gesichtspunkten problematisch. Das mit Blut benetzte Perfusatreervoir und die Schläuche waren schwer zu reinigen. Mögliche Leckagen des Perfusatreervoirs wären im

Kursbetrieb nicht tragbar. Da Schweineblut nur (tief)gekühlt lagerfähig ist, wäre die Beschaffung größerer Mengen ist logistisch schwer umsetzbar



Abbildung 6: Thrombus in heparinisiertem Schweineblut, eigenes Bildmaterial

Die Verwendung einer eingefärbten heparinisierten Kochsalzlösung zur Blutungssimulation erschwert analog zu einer realen Blutung im OP-Setting die Lokalisierung der Gefäßverletzung. Es zeigt sich, dass das eingefärbte Perfusat auch das gesamte Lungenparenchym einfärbt. Hierdurch wurde die Präparation erschwert und der Realitätsbezug reduziert. Die Entfernung der Farbrückstände aus Perfusatreservoir und Perfusatschläuchen ist nur eingeschränkt möglich. Tabelle 1 fasst die oben beschriebenen Ergebnisse der Versuchsreihe vergleichend zusammen.

	Gefärbte heparinisierte Kochsalzlösung	Heparinisierte Kochsalzlösung	Heparinisiertes Schweineblut
Perfusionssimulation	+	+	+
Physiologie	-	-	+
Hygiene	+	+	-
Logistik	-	+	-
Kosten	+	+	-
Lagerfähigkeit	+	+	-
Reinigung	-	+	-

Tabelle 1: Zusammenfassung der Eigenschaften der getesteten Perfusate, plus entspricht besser; minus entspricht schlechter

3.1.3 Cavität

Dieses Kapitel beschränkt sich auf die letzte Entwicklungsstufe der Cavität. Die im Rahmen des Entwicklungsprozesses entstandenen zwei Vorstufen sind dem Anhang (6.2.1 und 6.2.2) zu entnehmen. Das aus Polyvinylchlorid-hart (kurz PVC-U) gefertigte Thoraxmodell ist in seiner modellhaft vereinfachten Form und seinen Proportionen der Anatomie des Menschen nahe. Gleichzeitig ist das Thoraxvolumen groß genug, um auch große Schweinelungen aufnehmen zu können. Die Rippen sind robust und stabil verklebt, gleichzeitig bieten sie jedoch einen gewissen Bewegungsspielraum bedingt durch die Materialeigenschaften des verwendeten PVC-U (vergleiche 2.1.4.). Das Modell ist leicht in Rücken-, Seiten- und Bauchlage zu bringen. Die Reinigung ist durch die verwendeten Materialien auch mit heißem Wasser und Spülmittel problemlos möglich. Die im Modell das Mediastinum begrenzende Wirbelsäule ist so bemessen, dass

Vorrichtungen zur Befestigung und die Schläuche zur Perfusionssimulation darin Platz finden. Die Vorgaben der Zielsetzung sind erfüllt.

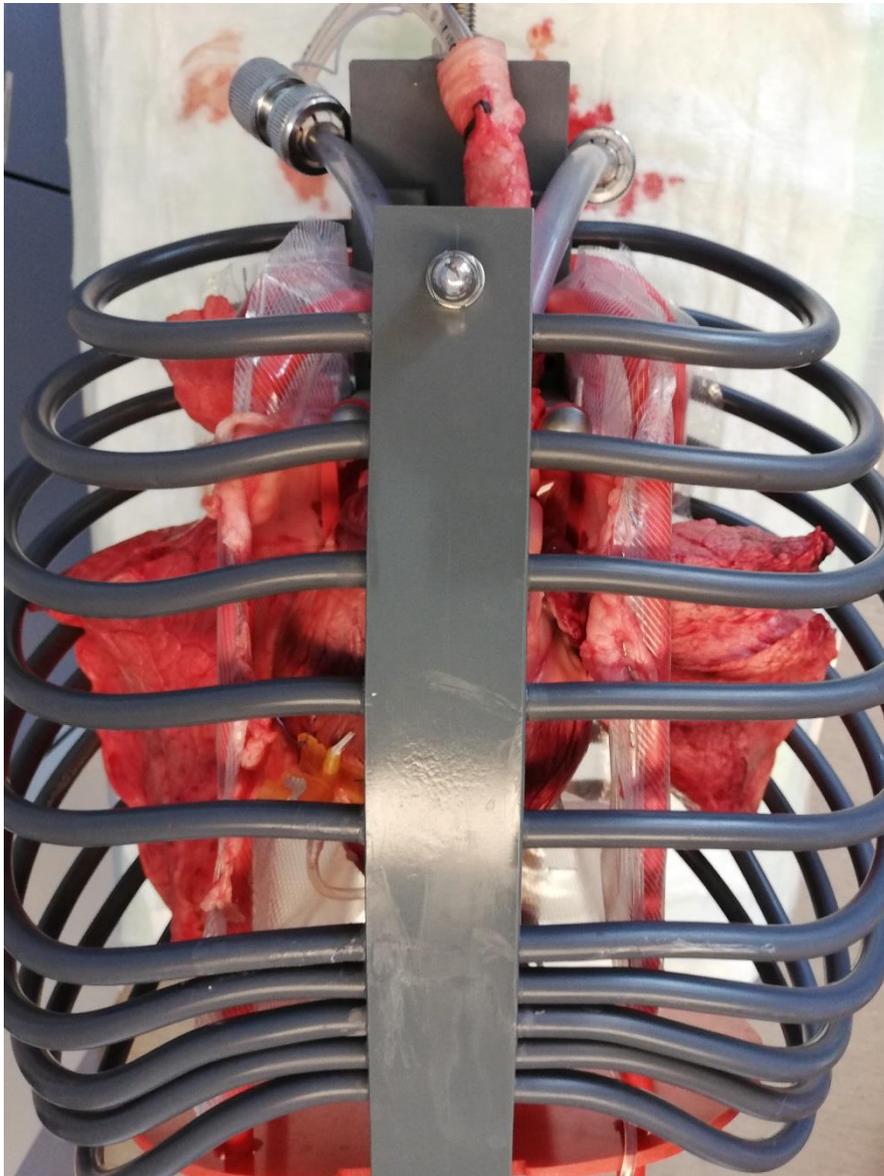


Abbildung 7: Blick von ventral auf die Cavität bei einliegendem Organmodell, eigenes Bildmaterial

3.1.4 Mediastinum

Die erste Entwicklungsstufe des Mediastitums ist dem Anhang (6.2.3) zu entnehmen. Die letzte Entwicklungsstufe der Darstellung des Mediastinums bietet gute Stabilität bei gleichzeitiger Flexibilität. Verschieden große Schweineorgane können sicher fixiert werden, eine Seitenlagerung der Cavität ist daher möglich.



Abbildung 8: Blick von ventral auf die Darstellung des Mediastinum mit Zwerchfelldarstellung am unteren Bildrand, eigenes Bildmaterial

Dank des Schubladenprinzips, kann das Befestigen der Herz-Lungen-Pakete an der Darstellung des Mediastinums bequem außerhalb des Thoraxmodells erfolgen und dann in die Darstellung der Cavität des Thorax hineingeschoben werden. Der Zugang zu hilumnahen Strukturen ist gut möglich. Das Herz liegt auf den zwischen den Aluvierkantrohren aufgespannten Gummibändern, hierdurch kommt Zug auf die herznahen Gefäße insbesondere die Arteriae Pulmonales – sodass die Perfusionssimulation auch innerhalb der Cavität (siehe 3.1.3) möglich wird (Abbildung 8).

Durch die verwendeten Materialien ist die Mediastinaldarstellung leicht hygienisch zu reinigen. Die menschliche Anatomie findet modellhaft ihre Darstellung. Insgesamt ist die Zielsetzung damit erfüllt.

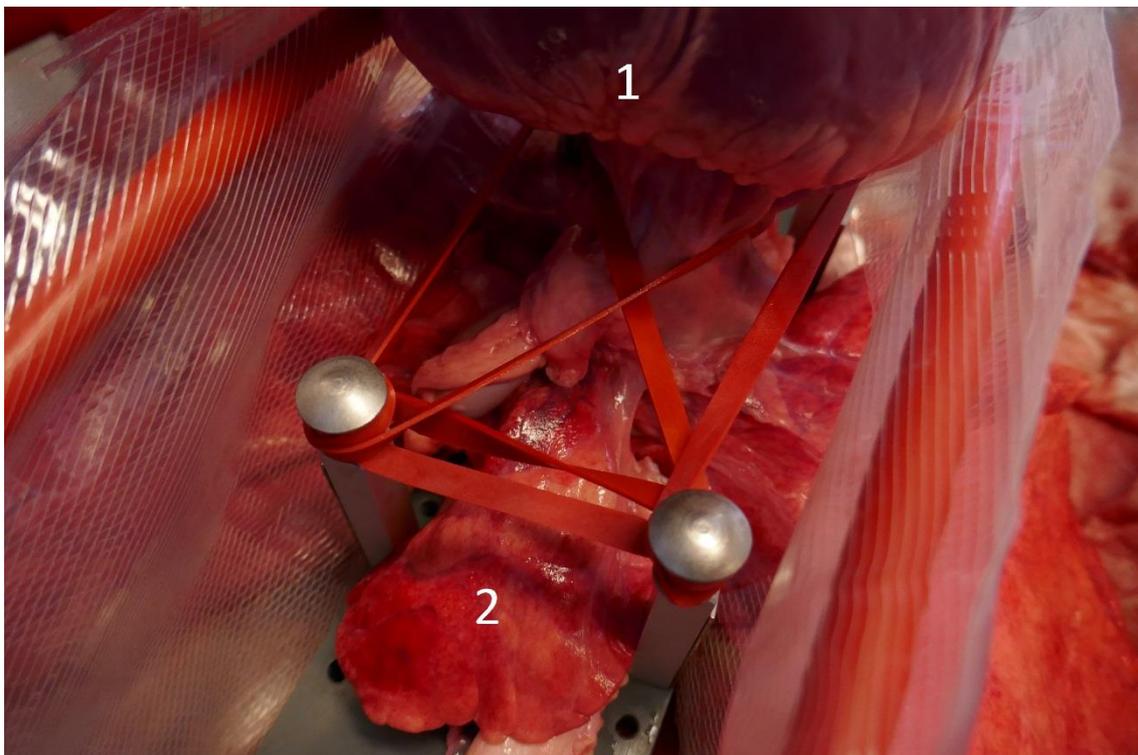


Abbildung 9: Blick von caudal bei nach ventral angehobenem Herzen (1), zwischen den Aluvierkantrohren spannen sich Gummibänder, auf denen das Herz zu liegen kommt. Dorsal der Gummibänder ist der accessorische porcine Lungenlappen sichtbar (2), eigenes Bildmaterial

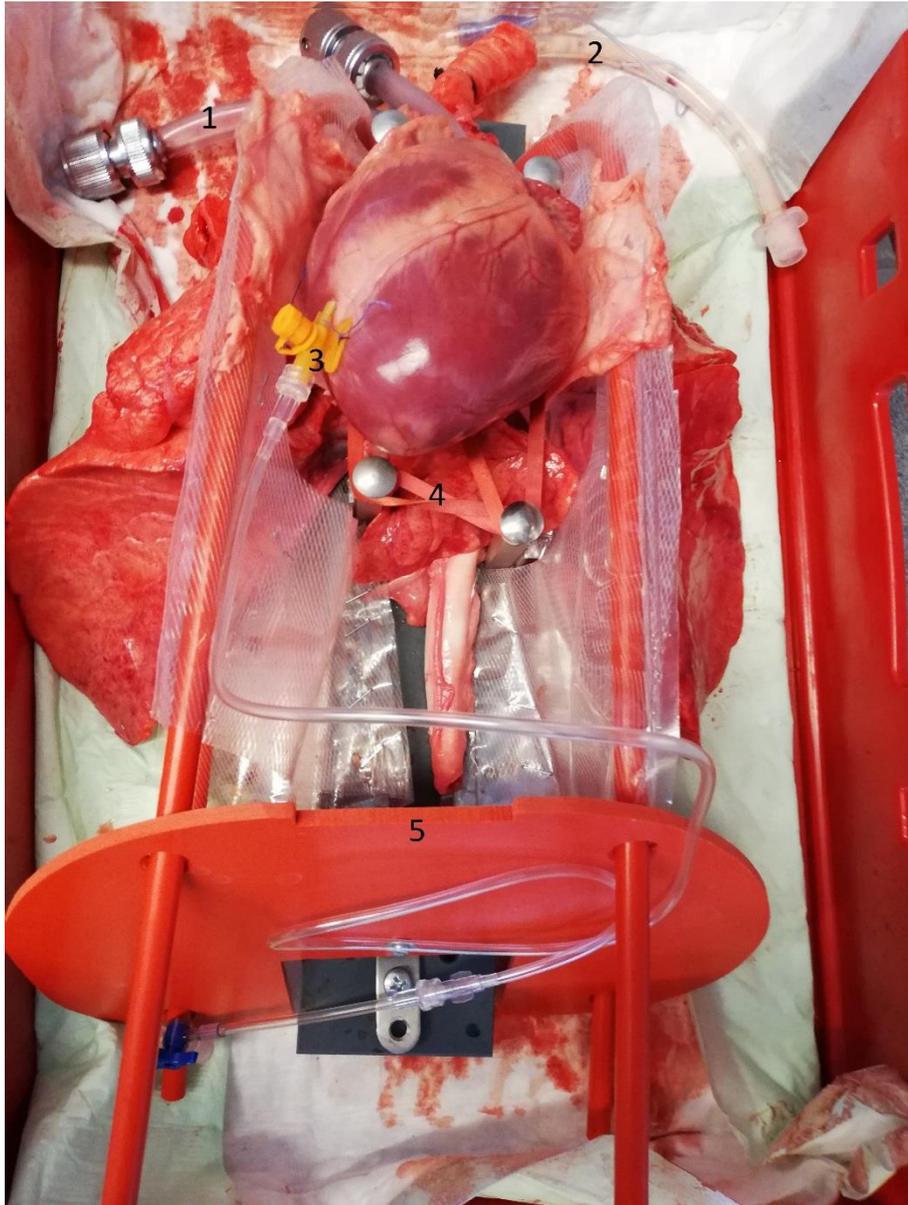


Abbildung 10: Blick von ventral, Darstellung Mediastinum mit eingebrachtem Herz-Lungen-Paket, 1 = Perfusionsschläuche, 2 = Tubus, 3 = Kanülierung rechter Vorhof (vgl. 4.7.), 4 = Aufhängung Herz, 5= Zwerchfelldarstellung, eigenes Bildmaterial

3.1.5 Zwerchfell

Die zwei Vorstufen des Zwerchfells sind im Anhang unter 6.2.4. sowie 6.2.5 dargestellt. Die im Tutor verwendete Darstellung des Zwerchfells ist eine modellhaft vereinfachte Darstellung der Anatomie. Durch die Materialwahl (PVC-U) ist es widerstandsfähig und gut zu reinigen. Es kann leicht an der Mediastinaldarstellung fixiert werden und stabilisiert die Rundstäbe, an denen die das Mediastinum begrenzende Folie befestigt ist. Insgesamt erfüllt das Zwerchfell die in der Zielsetzung formulierten Anforderungen.



Abbildung 11: Blick von links lateral, Zwerchfelldarstellung verbunden mit der Mediastinaldarstellung, eigenes Bildmaterial

3.1.6 Haut

Die verwendete 3mm dicke EVA-P Matte ermöglicht eine dem Thoraxmodell enganliegende blickdichte Darstellung der Haut. Das Material ist reißfest, sodass im Rahmen chirurgischer Übungen Inzisionen gemacht werden können, um anschließend das Instrumentarium in die Cavität einzubringen. Austretende Flüssigkeiten werden durch das wasserabweisende Material aufgefangen und können kontrolliert abgeleitet werden. Die Herstellung ist kostengünstig und mit einfachen Mitteln realisierbar. Die in der Zielsetzung formulierten Anforderungen sind erfüllt.



Abbildung 12: Blick von Caudal auf die Darstellung der Haut welche die Cavität des Thorax umgibt, eigenes Bildmaterial

3.2 Probandenstudie in Rahmen eines VATS-Kurses

Daten und Ergebnisse dieses Kapitels wurden unter dem Titel „TuThor: an innovative new training model for video-assisted thoracic surgery“ publiziert, (Domhan, Wilhelm et. al 2020)(104).

3.2.1 Vorstudie

An jedem Arbeitsplatz konnten chirurgische Übungen nach Kursvorgaben durchgeführt werden. Die Rückmeldungen zu Kurs und Trainingsmodell waren positiv. Zwölf Probanden (80 %; n=15) schätzen das Trainingsmodell als sehr gut und drei Teilnehmer (20 %) als gut geeignet und realistisch genug, um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchzuführen (Diagramm 1).

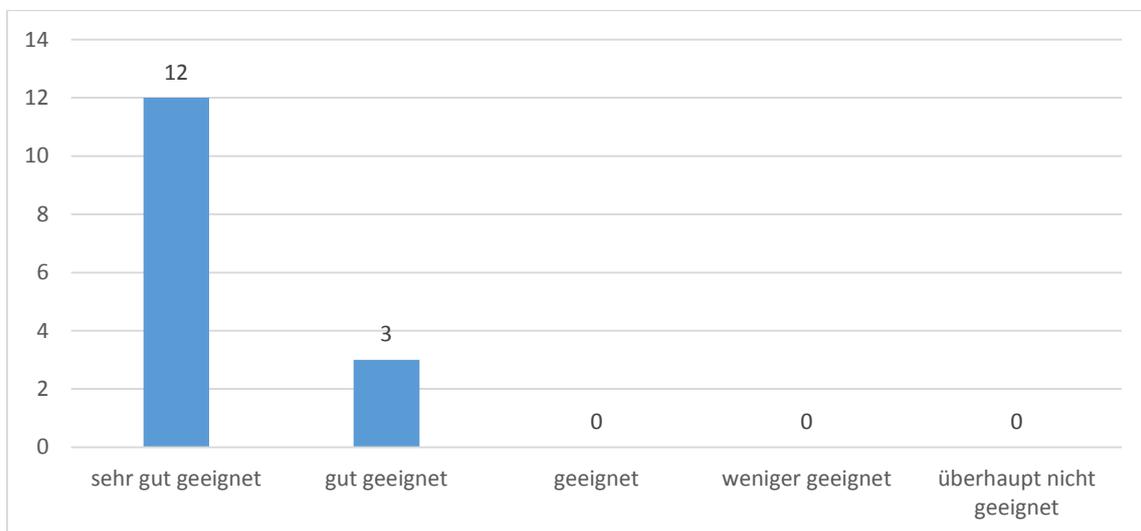


Diagramm 1: Auswertung zu „Halten Sie dieses Modell für geeignet und realistisch genug, um damit chirurgische Übungen durchzuführen?“ (n = 15)

An jedem Arbeitsplatz konnten die Probanden eine Blutungssimulation sehen und das Komplikationsmanagement trainieren (siehe Diagramm 2). Ein Teilnehmer gab an, keine Blutungssimulation durchgeführt zu haben.

Eine grundsätzliche Änderung des Kursformats und der Abläufe musste daher nicht vorgenommen werden.

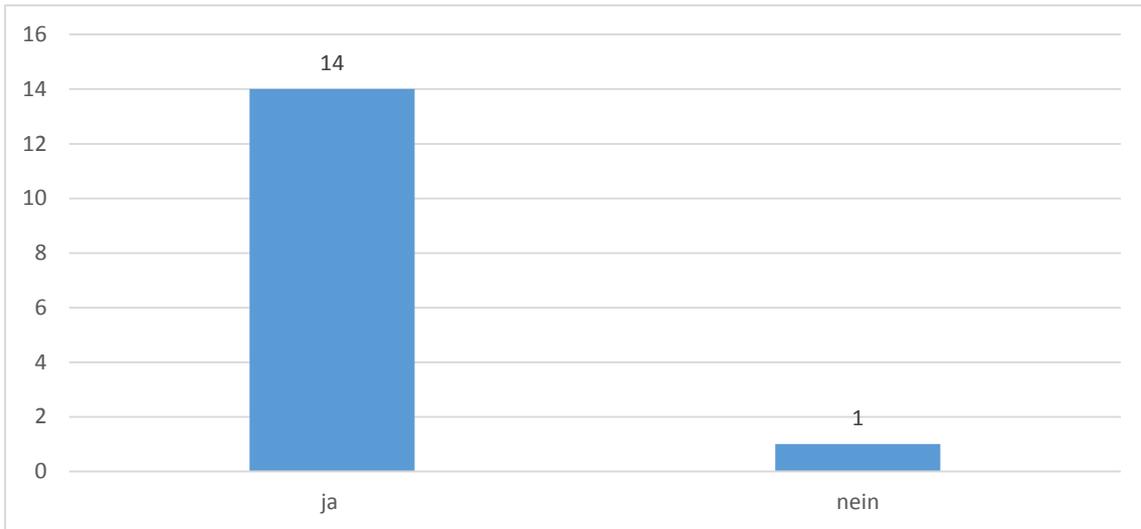


Diagramm 2: Auswertung zu „Konnten Sie die Komplikation einer Gefäßverletzung während des Kurses simulieren?“ (n=15)

3.2.2 Hauptstudie

An der Hauptstudie im Rahmen von 3 Kursen nahmen insgesamt 25 Probanden teil. 22 von ihnen gaben ausgefüllte Fragebögen ab. Die abgegebenen Fragebögen waren teils nicht komplett ausgefüllt. Die Auswertung jeder Frage Items umfasst nur die Fragebögen der Probanden, die die jeweilige Frage beantwortet haben.

Im Folgenden sollen exemplarisch die relevantesten Fragen ausgewertet werden.

3.2.2.1 Angaben der Teilnehmer zu ihrem Ausbildungsstand:

Von 25 Teilnehmern gaben 22 ihren Fragebogen ab. Die Probanden teilen sich auf in 9 Ärzte in Weiterbildung, 5 Fachärzte, 5 Oberärzte und 2 Chefärzte (siehe Diagramm 3).

Die Anzahl der von den Probanden durchgeführten VATS-Eingriffe, die neben Resektionen auch diagnostische Thorakoskopien, Biopsien, ausführliche

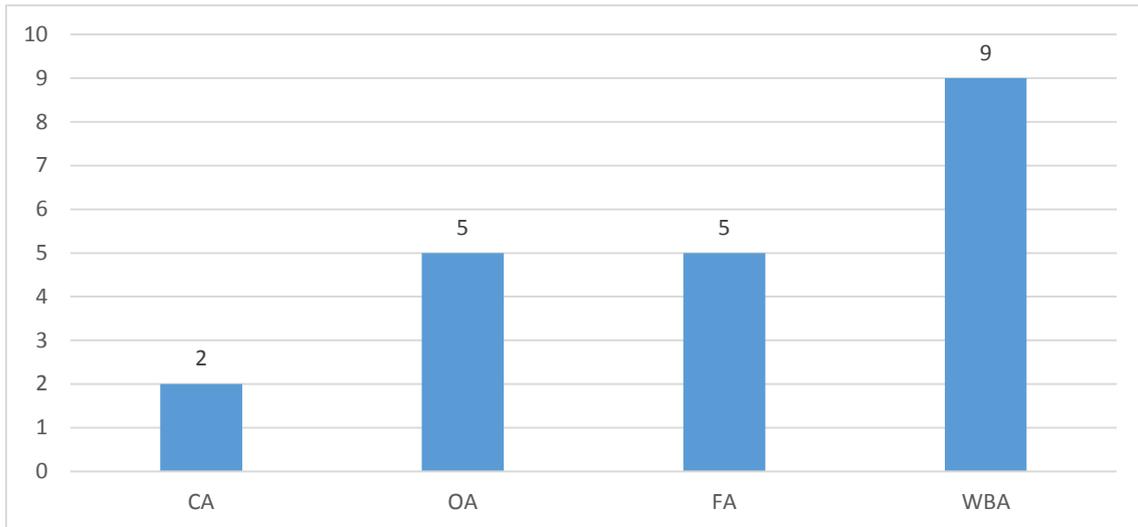


Diagramm 3: Auswertung zum Ausbildungsstand der Teilnehmer; n = 21(25), Daten veröffentlicht in und entnommen aus (104)

Darstellung umfasst (siehe 1.1.2), variierte deutlich. 11 von 21 Probanden, die hierzu eine Auskunft erteilt haben, geben an mehr als 50 VATS-Eingriffe durchgeführt zu haben und können als erfahren gelten. Vier der Teilnehmer gaben an, maximal 10 VATS-Eingriffen durchgeführt zu haben und hatten wohl wenig Erfahrung. Die restlichen 6 Teilnehmer mit 11-50 VATS-Eingriffen bewegten sich im Mittelfeld (siehe Diagramm 4).

Mit der Durchführung komplexer mittels VATS durchgeführter Resektionen (Lobektomien und Segmentektomien) hatten nur wenige Teilnehmer große Erfahrung mit mehr als 50 durchgeführten Eingriffen. 4 Teilnehmer haben mehr als 50 Lobektomien und nur ein Teilnehmer mehr als 50 Segmentektomien mittels VATS durchgeführt. Die restlichen Zahlen können Diagramm 4 entnommen werden.

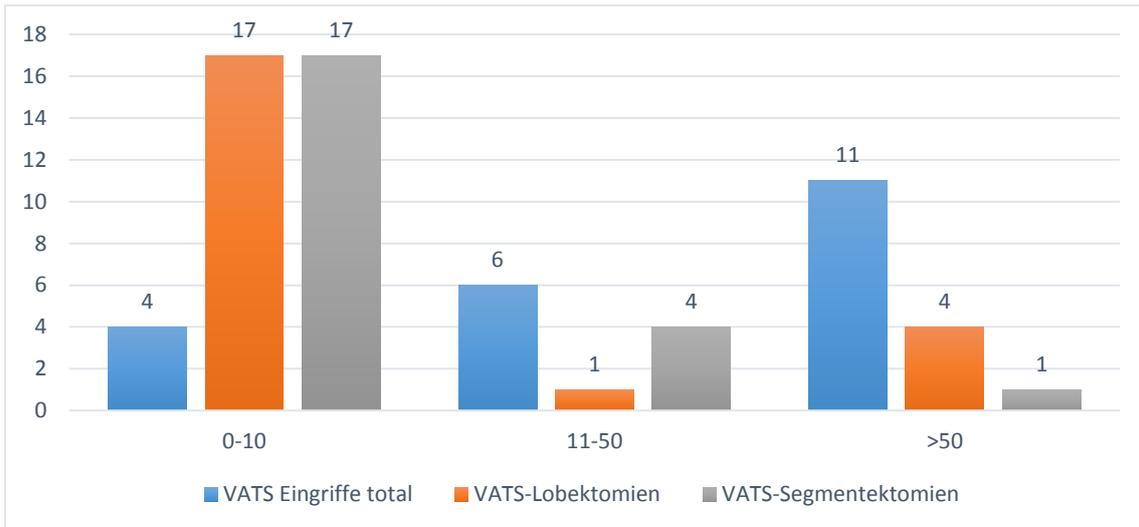


Diagramm 4: Auswertung zur Anzahl der durch Probanden durchgeführten VATS-Eingriffe; n = 21(25) bzw. n = 22(25), Daten veröffentlicht in und entnommen aus (104)

3.2.2.2 Erwartungen der Teilnehmer an den Kurs

Zusammenfassend erwarteten die Kursteilnehmer von dem VATS-Kurs vor allem das Erproben neuer Operationstechniken unter kontrollierten Bedingungen ohne Gefährdung eines Patienten, einen kollegialen Erfahrungsaustausch, die Erweiterung von theoretischen Grundlagen sowie die Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Blutungen.

3.2.2.3 Evaluation des ex-vivo-Schweinmodells

Die Aussage „Das verwendete ex-vivo-Schweinmodell gibt die Anatomie und Dimensionen ausreichend wieder, um daran thorakoskopische Eingriffe am Menschen zu üben.“ traf für 10 Probanden voll und ganz (50%), für 9 Probanden (45%) eher zu. Ein Proband (5%) stand dieser Aussage neutral gegenüber.

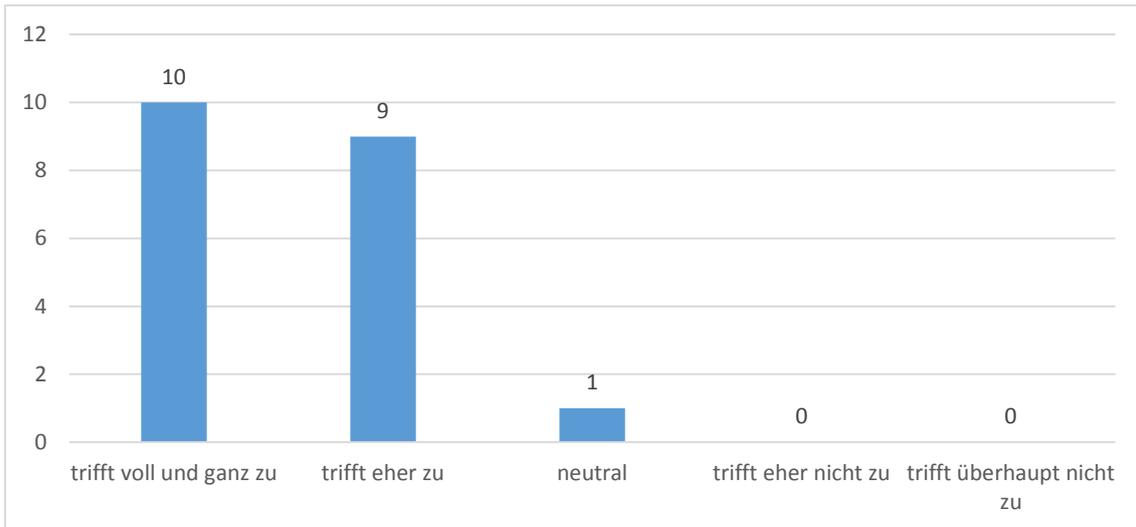


Diagramm 5: Auswertung zur Eignung des ex-vivo-Schweinemodelles zur Durchführung von thorakoskopischem Training; n = 20(25)

Die Aussage „Das verwendete Ex-Vivo-Schweinemodell ist bezüglich seiner physiologischen Eigenschaften (Elastizität, Atelektase) realistisch genug um daran chirurgische Übungen durchzuführen.“ traf für 8 Probanden voll und ganz (40%), für 12 Probanden (60%) eher zu.

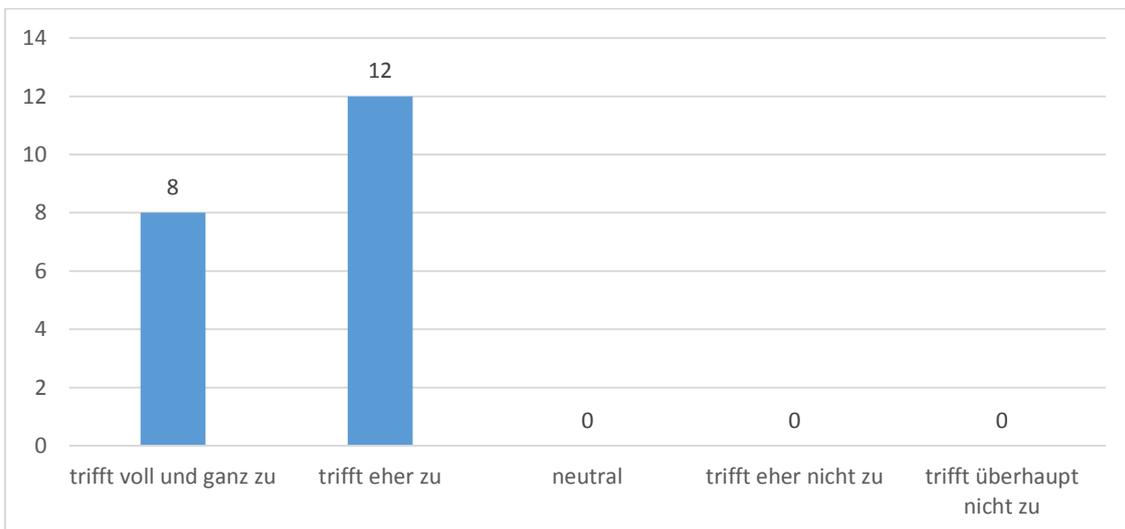


Diagramm 6: Auswertung zu den Eigenschaften des Schweinemodelles; n = 20(25)

3.2.2.4 Evaluation der Perfusionssimulation

Die Bewertung der Probanden zeigt inwieweit die mit einfachen Mitteln umgesetzte Blutungssimulation realistisch und unter Kursbedingungen

realisierbar war. Die Aussage „Die Perfusion (Füllung, Druck) der hilusnahen Gefäße ist realistisch.“ traf für 4 Probanden voll und ganz (20%), für 11 Probanden (55%) eher zu. Fünf Probanden (25%) standen dieser Aussage neutral gegenüber.

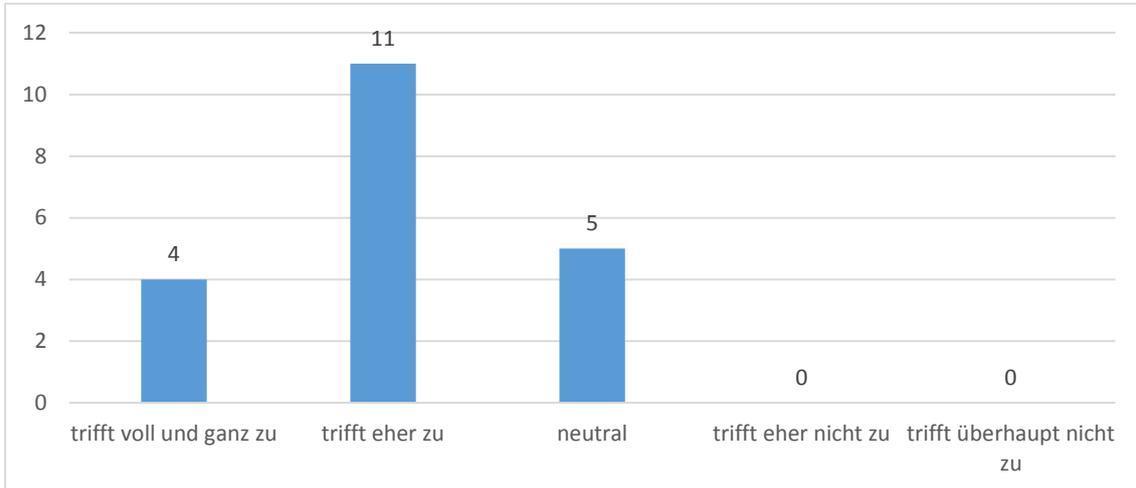


Diagramm 7: Auswertung zur Aussage: „Die Perfusion (Füllung, Druck) der hilusnahen Gefäße ist realistisch.“; n = 20(25)

Die Aussage „Die Darstellung der Blutungskomplikation half mir, mein Komplikationsmanagement zu verbessern.“ traf für 6 Probanden voll und ganz (30%), für 11 Probanden (55%) eher zu. Vier Probanden (20%) standen dieser Aussage neutral gegenüber. Ein Proband (5%) beurteilte die Aussage als eher nicht-zutreffend.

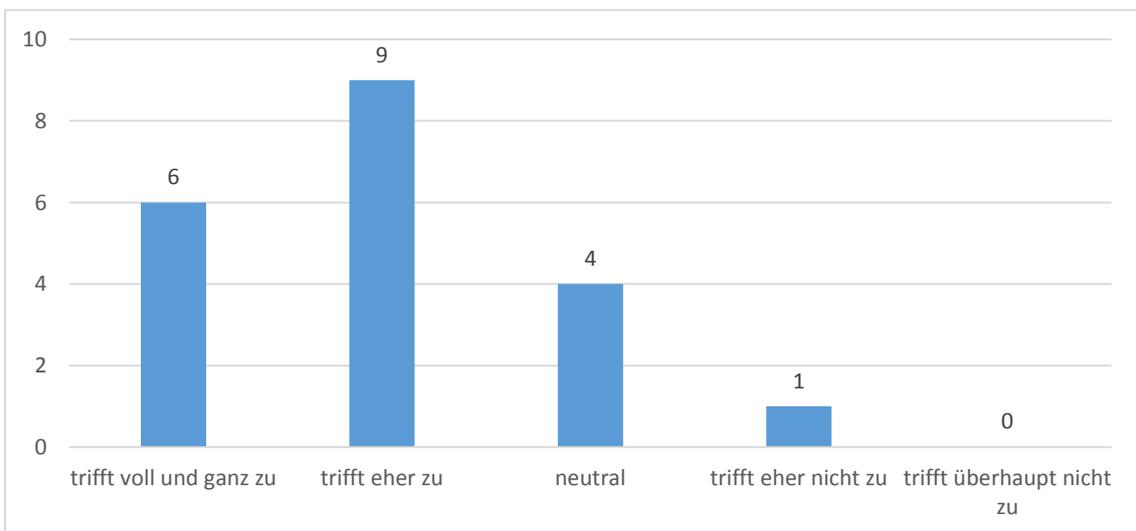


Diagramm 8: Auswertung zur Aussage: „Die Darstellung der Blutungskomplikation half mir, mein Komplikationsmanagement zu verbessern.“; n = 20(25)

Die Aussage „Die Darstellung des Blutes mit wasserklarer Perfusionsflüssigkeit schränkt den Realitätsbezug nicht wesentlich ein.“ traf für 4 Probanden voll und ganz (20%), für 11 Probanden (55%) eher zu. Vier Probanden (20%) standen dieser Aussage neutral gegenüber. Ein Proband (5%) beurteilte die Aussage als eher nicht zutreffend.

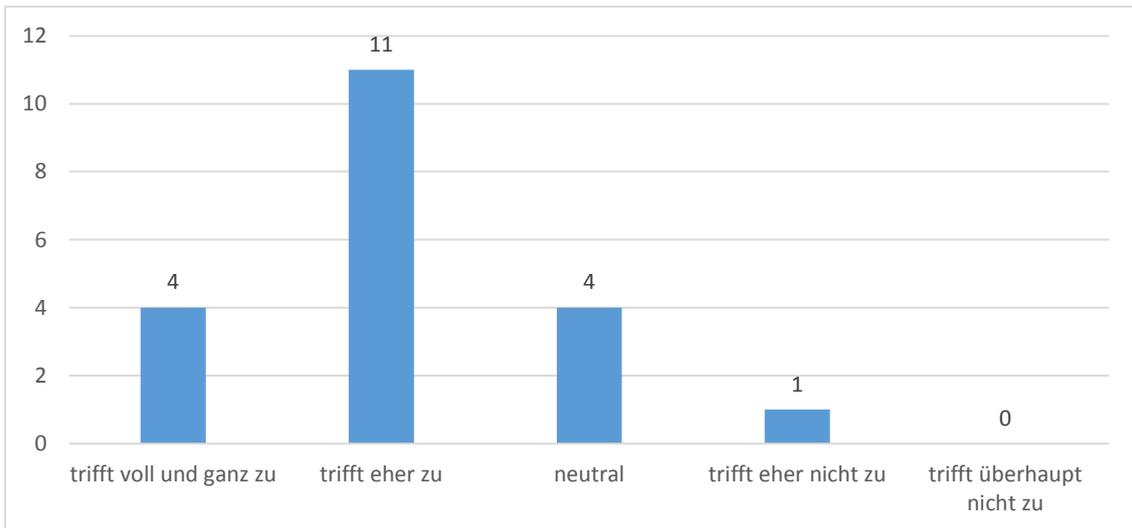


Diagramm 9: Auswertung zur Aussage: „Die Darstellung des Blutes mit wasserklarer Perfusionsflüssigkeit schränkt den Realitätsbezug nicht wesentlich ein.“; n = 20(25)

Insgesamt war die Bewertung der Blutungssimulation positiv, es zeigte sich jedoch, dass insbesondere die Darstellung des Blutes mit wasserklarer Flüssigkeit teils kritisch gesehen wurde.

3.2.2.5 Evaluation zu Konstruktion und Aufbau des Trainers

Bis auf eine Ausnahme wurde das Trainingsmodell mit seinen Modulen positiv bewertet. Eine Bewertung des Trainingsmodells in seiner Gesamtheit und in seiner Eignung für chirurgische Übungen erfolgte durch die Probanden insbesondere über die auch schon in der Vorstudie (siehe 3.2.1) in abgewandelter Form verwendete Aussage „Der im Kurs verwendete Trainer ist geeignet, um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchzuführen“ (siehe Diagramm 5). 16 Probanden gaben an, dass diese Aussage voll und ganz (76%), 4 Probanden (19%) dass sie eher zuträfe. Ein Proband (5%) ordnete

sich in dieser Kategorie als „neutral“ ein.

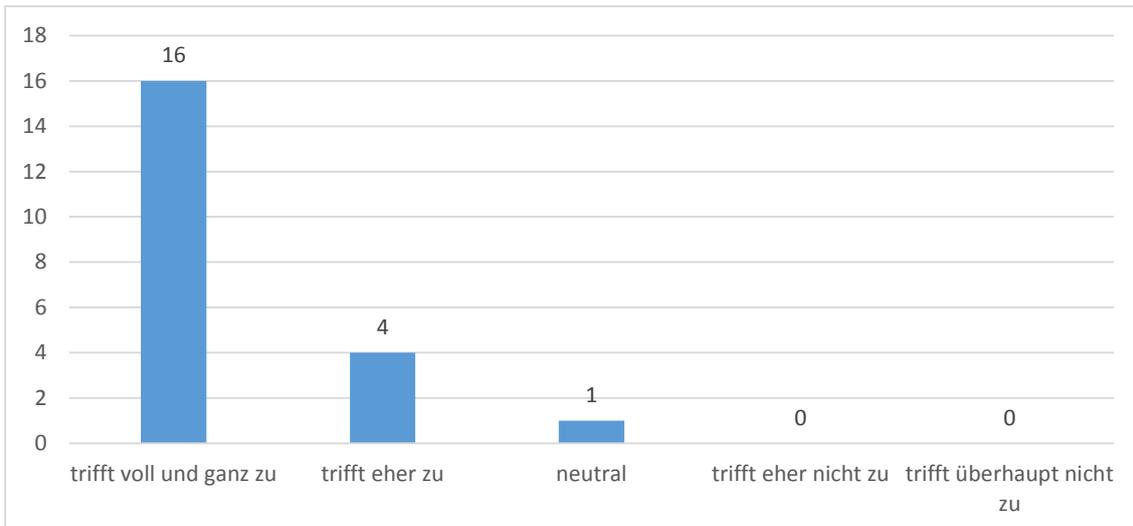


Diagramm 10: Auswertung zur Aussage: „Der im Kurs verwendete Trainer ist geeignet um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchzuführen“; n = 21(25)

Die Aussage „Der im Kurs verwendete Trainer entspricht bezüglich seiner Abmessungen und Materialien den Verhältnissen des menschlichen Thorax.“ traf für 9 Probanden voll und ganz (43%), für 9 Probanden (43%) eher zu. Drei Probanden (14%) standen dieser Aussage neutral gegenüber.

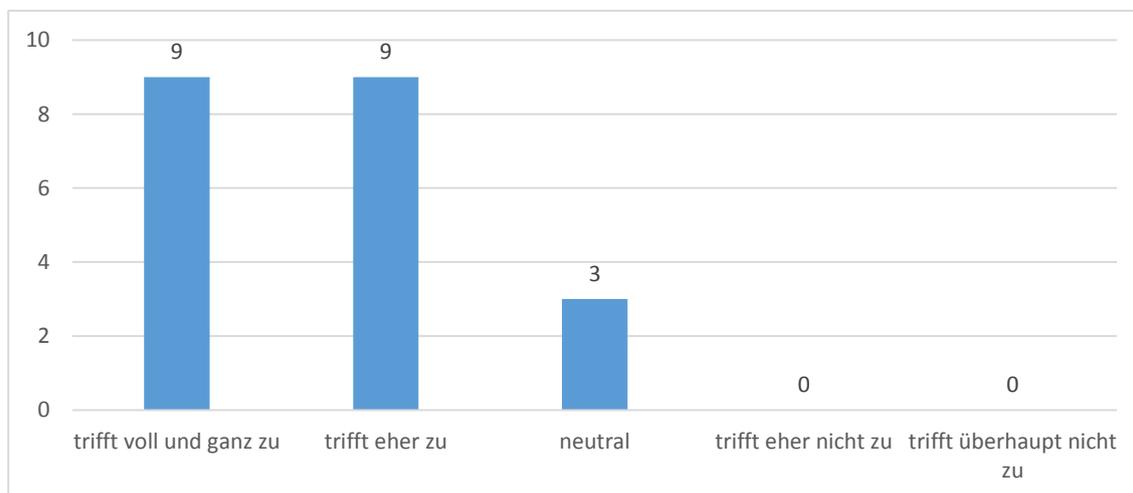


Diagramm 11: Auswertung zur Aussage: „Der im Kurs verwendete Trainer entspricht bezüglich seiner Abmessungen und Materialien den Verhältnissen des menschlichen Thorax“; n = 21(25)

Die Aussage „Die Bewegungsfreiheit der Instrumente entsprach der des menschlichen Thorax.“ traf für 10 Probanden voll und ganz (53%), für 6

Probanden (32%) eher zu. 2 Probanden (10%) standen dieser Aussage neutral gegenüber. Für einen Probanden traf die Aussage eher nicht zu (5%).

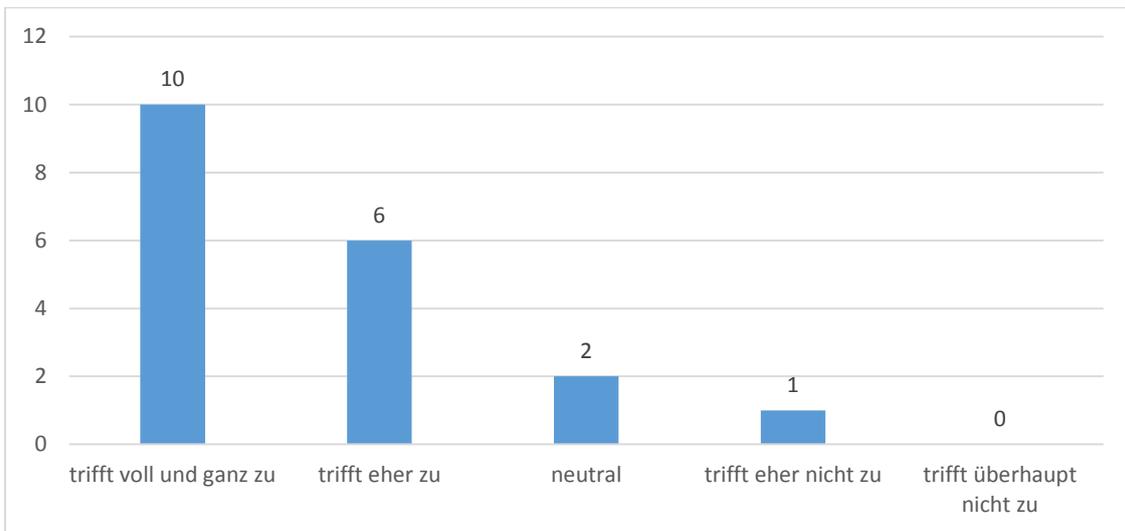


Diagramm 12: Auswertung zur Aussage: „Die Bewegungsfreiheit der Instrumente entsprach der des menschlichen Thorax.“; n = 19(25)

Die Aussage „Die Darstellung der mediastinalen Pleura ist realistisch.“ siehe Diagramm 8) traf für 5 Probanden voll und ganz (25%), für 9 Probanden (45%) eher zu. Sechs Probanden (30%) standen dieser Aussage neutral gegenüber. Für einen Probanden traf die Aussage eher nicht zu (5%)

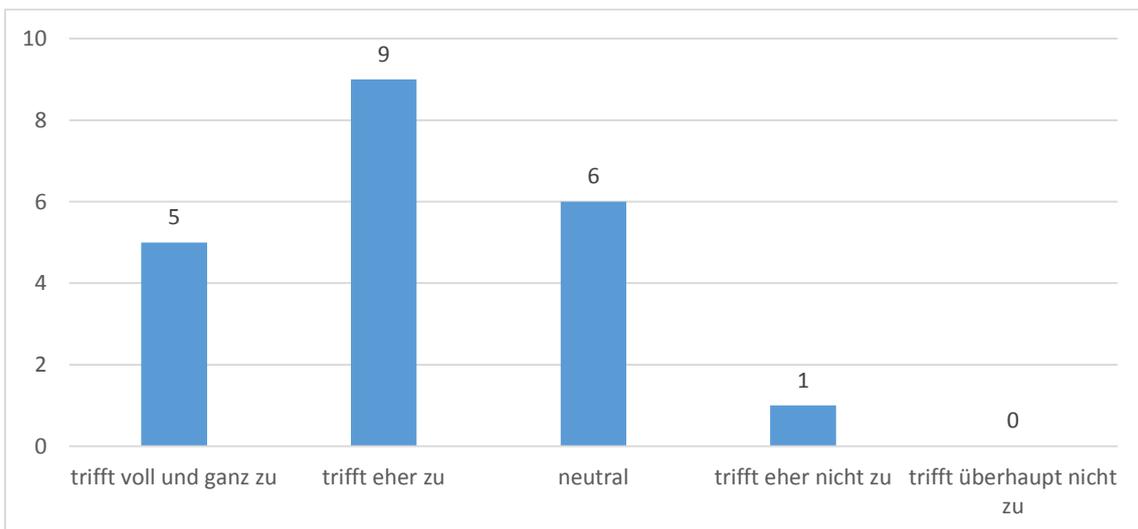


Diagramm 13: Auswertung zur Aussage: „Die Darstellung der mediastinalen Pleura ist realistisch“; n = 21(25)

Insgesamt fiel die Bewertung des Thoraxmodells und dessen angegliederten Modulen positiv aus. Kritisch wurde der Realitätsgrad der Darstellung der

mediastinalen Pleura mit Vakuumierfolie sowie der Bewegungsspielraum der Instrumente in dem Thoraxmodell im Vergleich zu dem menschlichen Thorax bewertet.

3.2.2.6 Angaben der Teilnehmer zu den Erwartungen

Die Erwartungen der Teilnehmer an den Kurs und den Trainer konnten insgesamt erfüllt werden. Von besonderer Relevanz waren die mögliche Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Blutung, die Trainierbarkeit der gelehrt Inhalte am Trainer sowie das Kurssetting, in dem ohne Risiko für den Patienten und Zeitdruck trainiert werden kann.

Die Aussage „Ich konnte die gelehrt Inhalte am Trainingsmodell anwenden und üben.“ trifft für 11 Probanden voll und ganz (55%), für 9 Probanden (45%) eher zu (siehe Diagramm 14).

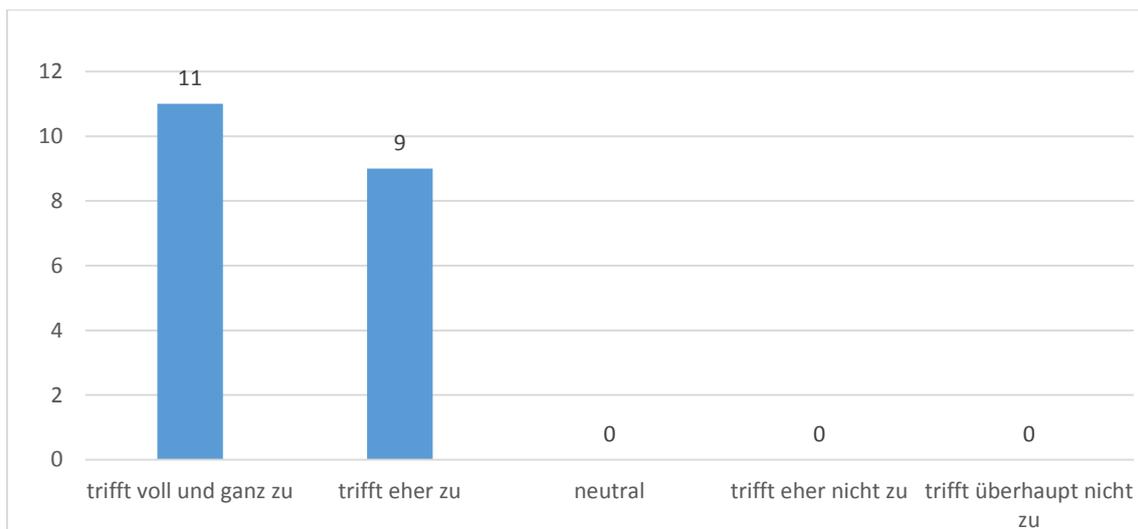


Diagramm 14: Auswertung zur Aussage: „Ich konnte die gelehrt Inhalte am Trainingsmodell anwenden und üben“; n = 20(25)

Weitere zehn Einzelaspekte wurden unter folgender Überschrift abgefragt:
„Meine Erwartungen konnten erfüllt werden in Bezug auf:“

Die Aussage „Erproben/ Ausprobieren neuer OP- Techniken unter kontrollierten Bedingungen (kein Zeitdruck, kein Risiko für den Patienten).“ traf für 14 Probanden voll und ganz (70%), für 5 Probanden (25%) eher zu. Ein Proband (5%) stand dieser Aussage neutral gegenüber.

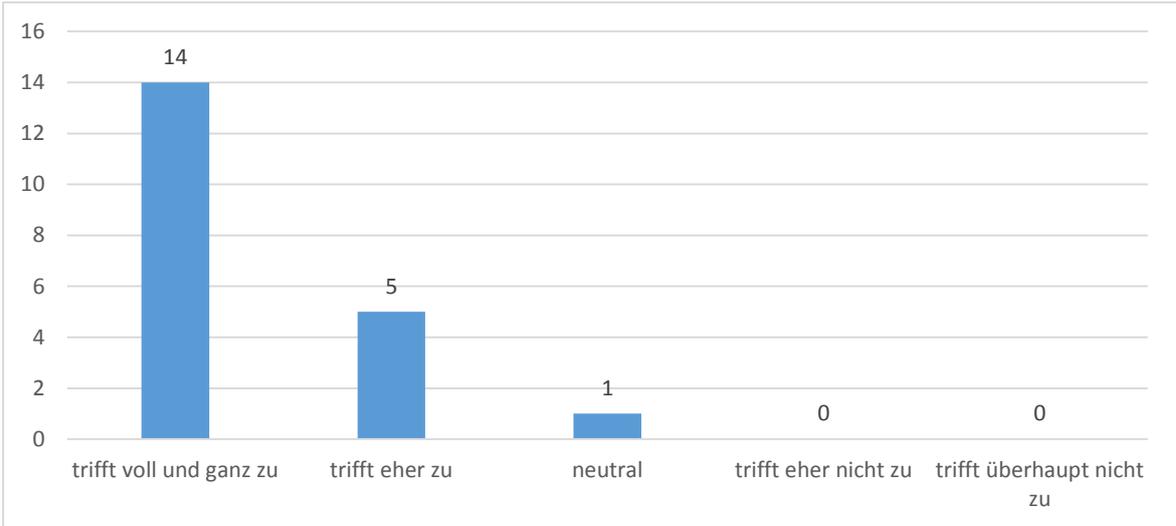


Diagramm 15: Auswertung zur Aussage: „Erproben/ Ausprobieren neuer OP-Techniken unter kontrollierten Bedingungen (kein Zeitdruck, kein Risiko für den Patienten)“; n = 20(25)

3.2.2.7 Aussagen zu Verbesserungspotential des Trainingsmodells

Die Aussage „Ich sehe keinen Verbesserungsbedarf bei dem Trainer“ traf für 13 Probanden voll und ganz (72%), für 5 Probanden (38%) eher zu.

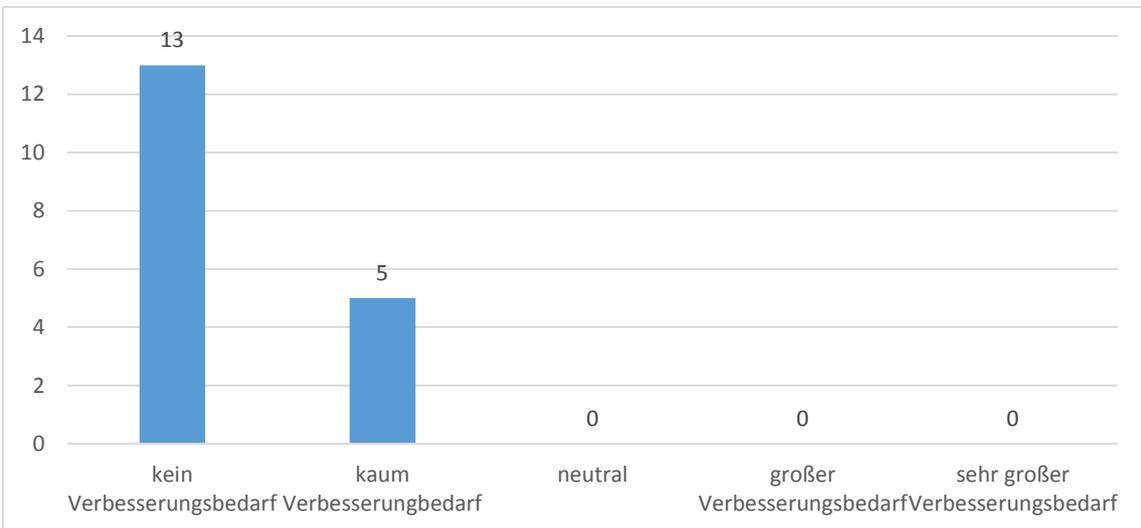


Diagramm 16: Auswertung zum Verbesserungsbedarf des Trainingsmodelles; n = 18(25)

Die Aussage „Ich sehe keinen Verbesserungsbedarf bei dem ex-vivo-Organ-Modell“ traf für 11 Probanden voll und ganz (61%), für 6 Probanden (33%) eher zu. Ein Proband (6%) stand der Aussage neutral gegenüber.

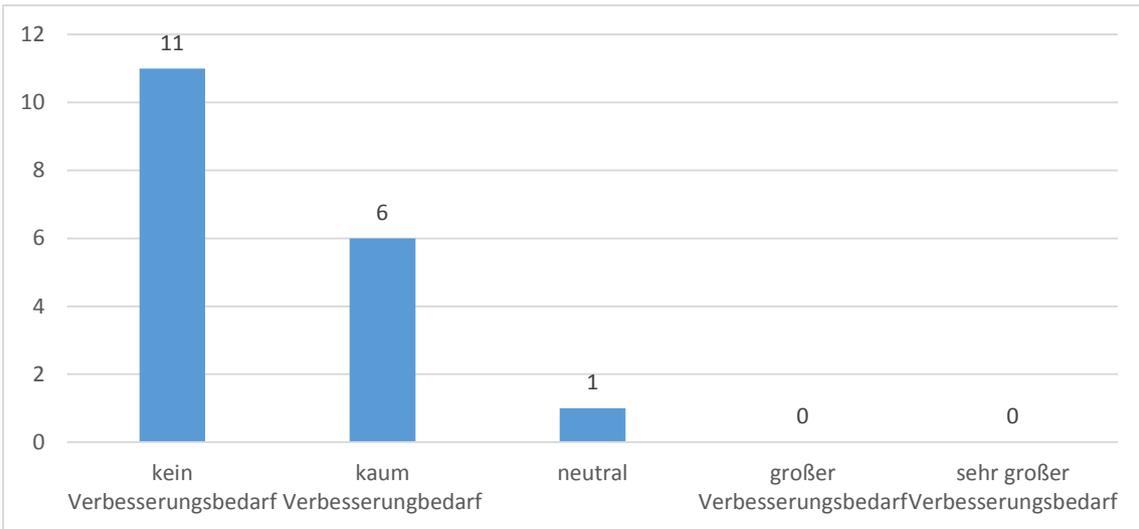


Diagramm 17: Auswertung zum Verbesserungsbedarf des ex-vivo-Modelles; n = 18(25)

Die Aussage „Ich sehe keinen Verbesserungsbedarf bei der Darstellung der Perfusion“ trifft für 8 Probanden voll und ganz (44%), für 6 Probanden (33%) eher zu. Drei Probanden (17%) standen der Aussage neutral gegenüber. Ein Proband (6%) gab an, dass die Aussage eher nicht zutrifft.

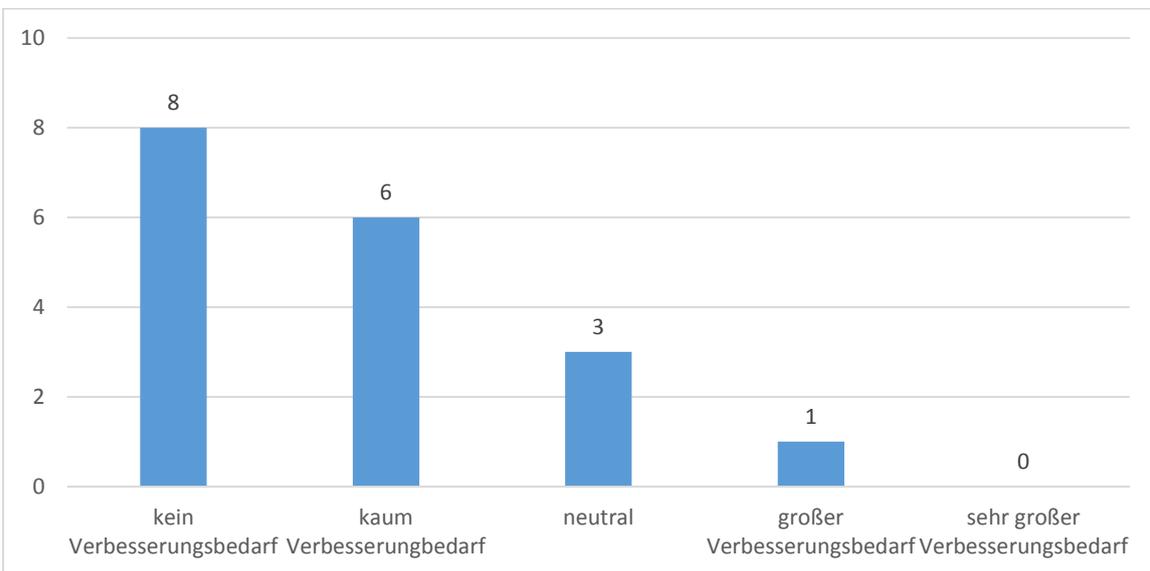


Diagramm 18: Auswertung zum Verbesserungsbedarf bei der Perfusionssimulation; n = 18(25)

4 Diskussion

4.1 Ausgangspunkt

Mittels Video-assistierter Thorakoskopie durchgeführte chirurgische Eingriffe sind technisch schwierig und die Lernkurve ist lang (85). Dennoch nehmen VATS-Eingriffe eine immer größere Rolle auch bei onkologischen Indikationen ein (105). In spezialisierten Zentren wird heute die Mehrzahl der onkologischen Lobektomien mittels VATS durchgeführt. Chirurgisches Training für diese komplexen Eingriffe beschränkt sich meist auf die Durchführung von Teilschritten im Operationssaal unter Anleitung eines erfahreneren Kollegen. Es fehlt an einfachen, kostengünstigen, realistischen und verfügbaren „Off-Labor“ Trainingsmöglichkeiten (106).

Ziel dieser Dissertation war es, ein geeignetes VATS-Trainingsmodell zu entwickeln und im Rahmen einer Probandenstudie zu evaluieren.

Im Folgenden wird die Eignung des Tüthor als VATS-Trainingsmodell anhand der Ergebnisse der Probandenstudie und aus Sicht des Entwicklers diskutiert. Anschließend erfolgt ein Vergleich mit und die Einordnung in international bereits verwendete VATS-Trainingskonzepte.

4.2 Beurteilung des Organmodells

Schweine werden in vielen Feldern der medizinischen Forschung wie z.B. Pharmakologie oder Transplantationsmedizin als Modell für den Menschen genutzt (91, 97). Neben der Genetik und Pathophysiologie ist auch die porcine Anatomie ähnlich der menschlichen (92, 98, 99). Daher werden Schweineorgane als Modell für chirurgisches Training vielfältig genutzt (91, 96, 100). Insbesondere auch die Schweinelungen sind in Größe, Struktur und Parenchymeigenschaften der menschlichen vergleichbar. (91, 92, 100).

Die Bewertungen der im Kurs verwendeten Schweineorgane durch Thoraxchirurgen bestätigte dies. Die gute Bewertung kann darauf zurückgeführt werden, dass es maximal 24 Stunden nach der Schlachtung verwendet wurde, sowie auf das hieraus resultierende realistische haptische Feedback bei chirurgischer Präparation. Die Eignung der Schweineorgane als chirurgisches Übungsmaterial wurde, trotz von der menschlichen Anatomie abweichender

Topographie und unterschiedlichen Aufbau (vergleiche 1.3.), als hoch eingeschätzt (siehe Diagramm 5 unter 3.2.2.3).

Weil Schweineorgane gut regional verfügbar sind, können sie schlachtfrisch in insgesamt hoher Qualität eingesetzt werden – im Gegensatz zu anderen Trainingskonzepten, welche mit tiefgefrorenen Organen arbeiten. Des Weiteren sind die Kosten pro Organmodell mit etwa 5-10 € niedrig. Die Verwendung von Schlachtabfällen von Tieren, die für den Verzehr geschlachtet wurden, hat zur Folge, dass ethische Problemstellungen kaum eine Rolle spielen, insbesondere im Vergleich zu in-vivo-Schweinemodellen.

4.3 Beurteilung der Perfusionssimulation

Klinisch treten Blutungskomplikationen in bis zu 4,7% aller VATS-Resektionen auf und sind potentiell lebensbedrohlich (75). Bereits die passagere Kontrolle der Blutung kann eine große Herausforderung darstellen (75, 107). Der Bewegungsspielraum des Instrumentariums ist durch die Anatomie des Thorax und den minimalinvasiven Zugang begrenzt. Zusätzlich geht bei einer höhergradigen Blutung die meist nur zweidimensionale Sicht auf das geschädigte Gefäß durch Blut auf der Kameraoptik verloren (107). Bedingt durch den VATS-immanenten Verlust der direkten Palpation und der dadurch eingeschränkten Haptik besteht das Risiko, das Ausmaß der Gefäßverletzung noch zu vergrößern, bevor minimalinvasiv oder über eine Notfallthorakotomie eine definitive Versorgung des Gefäßdefektes möglich ist (108).

Für das Training der Stillung intraoperativer Blutungen ist ein Trainingsmodell zu Lungenteilresektionen mit Blutungssimulation wertvoll. Hierfür ist eine künstliche Perfusion in der Weise anzulegen, dass eine Gefäßverletzung eine der OP-Realität ähnliche Blutung nach sich zieht (77). Solch eine Blutungssimulation macht Fehler bei der Durchführung von OP-Schritten sichtbar und ermöglicht es somit, Blutungskomplikationen beherrschen zu lernen.

Der Modus der Blutungssimulation bei dem Tüthor ist unter 3.1.3.4 dargestellt. Mittels einfacher Hydrostatik konnte eine Perfusion realisiert werden, die über 4 Kurse hinweg zuverlässig bei der Eröffnung eines herznahen kaliberstarken Gefäßes zur Blutung führte. Für 75% der Teilnehmer hat dies subjektiv ihr

Komplikationsmanagement verbessert. Die Perfusatzfüllung der herznahen Gefäße mittels „stehender“ Perfusion wird überwiegend als realistisch bewertet (vgl. 3.2.2.4).

Schwächen der Perfusionssimulation liegen vor allem in den „Kursbedingungen“ begründet. Wie unter 3.1.3 dargestellt kann mit entsprechenden Vorbereitungen unter optimalen Bedingungen (geringe Präparatzahl, Durchführung des Durchspülens bereits im Schlachthof sowie zeitnahe Verwendung) eine Perfusatzirkulation und damit eine Blutungssimulation auch der herzfernen kaliberschwachen Gefäße erreicht werden. Im Rahmen des bisherigen Kursformates, bei dem bis zu 15 Lungen vorbereitet werden, ist dies logistisch nicht umsetzbar. Perfusate aus der Transfusionsmedizin (wie bspw. CUSTODIOL®), beugen Vorgängen wie Sauerstoff- und Substratmangelbedingter Zelltod, interstitielles und intrazelluläres Ödem sowie intrazelluläre Azidose vor. Durch ihren Einsatz könnte die Blutungssimulation noch verbessert werden, aber sie sind teuer.

Im Rahmen dieser Dissertation ermöglichte der hydrostatische Druck eines Vorratsgefäßes mit farbloser Kochsalzheparinlösung eine funktionssichere Blutungssimulation der herznahen Gefäße unter Kursbedingungen.

4.4 Cavität des Thorax, Mediastinum, Zwerchfell, Haut

Bei klinischen VATS- Eingriffen limitiert der knöcherne Thorax den Bewegungsspielraum der Instrumente und der Kameraoptik (78). Hierdurch sind Sichtfeld und Perspektive eingeschränkt. Um VATS- Eingriffe in Gänze zu trainieren und das Trainierte auf die reale OP Situation zu übertragen, sollte ein Trainingsmodell vergleichbare Eigenschaften aufweisen (95). Eine modellhafte Darstellung des knöchernen Thorax und damit eine Anlehnung an die anatomische Realität erscheint sinnvoll.

Die unter 3.1.4 beschriebene Cavität ist eine solche modellhafte Darstellung der menschlichen Anatomie. Im Rahmen der Probandenstudie wurden sowohl Material und Abmessungen der Cavität in Relation zu den Schweineorganen als auch der hieraus resultierende Bewegungsspielraum der Instrumente als realistisch bewertet (vergleiche 3.2.2). Die Rippen schränken wie in der realen

OP-Situation die Beweglichkeit ein ohne unnatürlich starr zu sein. Der Realitätsbezug der Cavität ermöglichte es den Teilnehmern sich schnell am abstrahierten Modell zurechtzufinden. Dies sollte die Übertragung des Gelernten auf die reale OP-Situation vereinfachen.

Gleichzeitig ist die anatomische Genauigkeit durch die Verwendung von PVC-U-Rundstäben nur modellhaft gegeben. In Kombination mit der Darstellung des Mediastinums sowie den Schweineorganen ergeben sich hieraus bspw. von der realen OP Situation abweichende Zugangswege zur Durchführung einer VATS-Lobektomie.

Damit auch Seitenlage simuliert werden kann, müssen die porcinen Organpakete an der Cavität befestigt werden. Gleichzeitig bedarf es für die Perfusionssimulation einer Abtrennung der notwendigen Perfusionsschläuche von den Pleurahöhlen. Andererseits muss das Hilum der Schweineorgane als „Landmarke“ und Operationsfeld bspw. bei Lobektomien möglichst frei zugänglich bleiben (66). Die Darstellung des Mediastinums stellt daher einen Kompromiss zwischen technischer Notwendigkeit und dem Erhalt der Physiologie der Schweineorgane dar. Die Erfahrungen aus insgesamt vier Kursen sowie die Bewertungen der Probanden waren positiv. Die Organe waren ausreichend befestigt, um auch die Seitenlage simulieren zu können. Durch Fixierung des Herzens dorsal des Sternum spannten sich die herznahen Gefäße analog zu den realen Gegebenheiten leicht auf. Blutungen konnten so simuliert werden und trotzdem blieb das Hilum zugänglich. Insbesondere bei erhaltenem Perikard konnte eine gute Verbindung zwischen Physiologie und künstlicher Mediastinaldarstellung erreicht werden (vgl. Abbildung 13 auf Seite 55). Eine Verbesserung des Realitätsbezuges könnte durch Materialien erreicht werden, welche der menschlichen Anatomie näherkommen als die verwendete Folie.

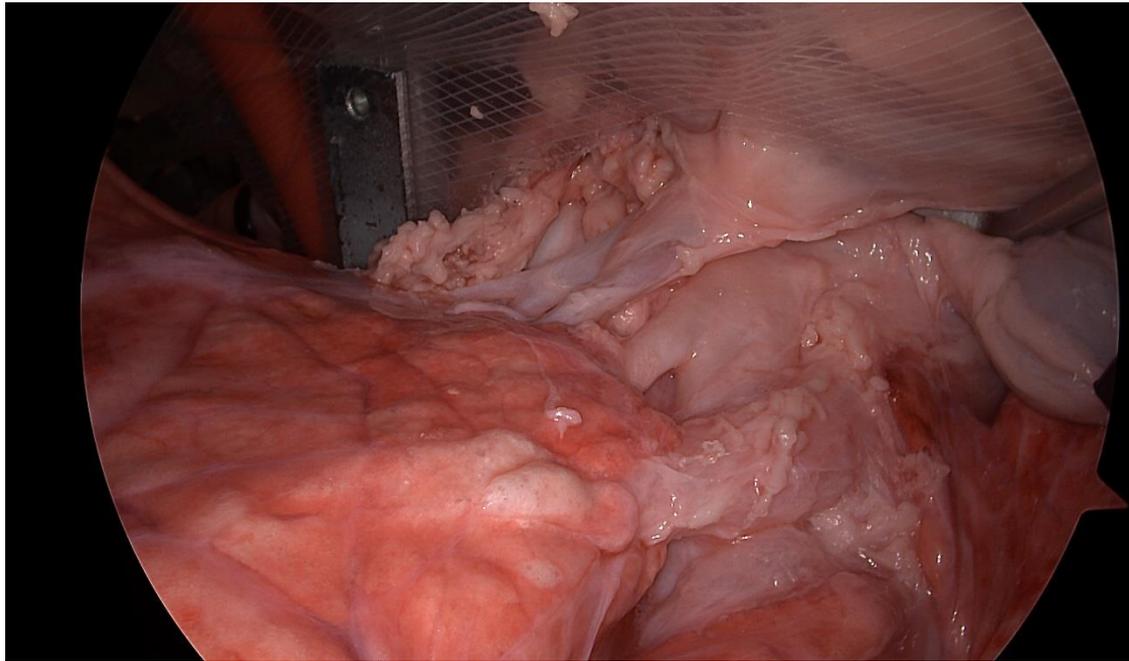


Abbildung 13: Blick auf rechten Hilus des Tüthor, eigenes Bildmaterial

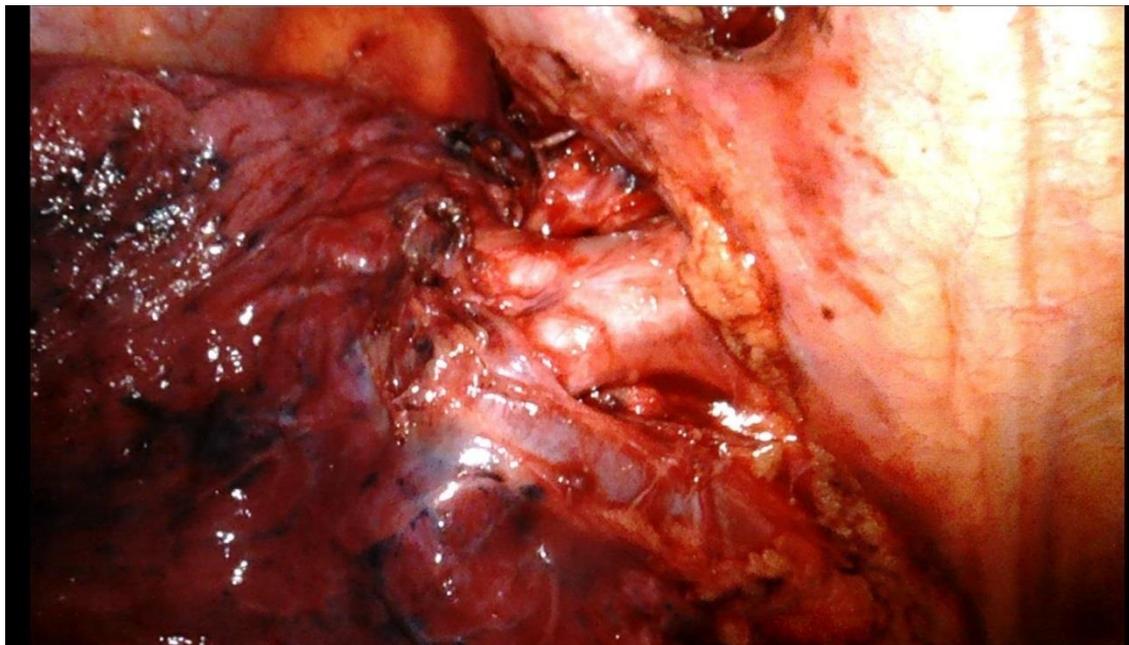


Abbildung 14: intraoperativer Blick auf rechtes menschliches Hilum, Bildmaterial zur Verwendung überlassen durch Prof. Dr. A. Linder

Die Darstellung des Zwerchfells (vergleiche 3.1.6) sah weniger realistisch aus erfüllte aber ihren Zweck. Der reduzierte Realitätsgrad erschien tolerabel weil das Zwerchfell bei den im Rahmen des Kurses durchgeführten chirurgischen

Übungen nicht im direkten OP-Feld lag. Ähnlich ist die Darstellung der Haut zu bewerten. Die Materialbeschaffenheit des verwendeten EVA-P ermöglicht die Anwendung des üblichen thoraxchirurgischen Instrumentariums. EVA-P reißt nicht ein und ist damit der menschlichen Haut hier ausreichend ähnlich. Durch Verwendung eines in Aussehen und Haptik der menschlichen Haut noch ähnlicheren Materials könnte der Realitätsgrad weiter gesteigert werden.

4.5 Beurteilung der Probandenstudie

Es existieren keine validierten Fragebögen für die Evaluation eines VATS-Trainingsmodells.

Von 25 Probanden in der Hauptstudie gab es einen Rücklauf von 22 Fragebögen. 18 Fragebögen wurden in toto ausgefüllt. Dies schränkt die Aussagekraft der Probandenstudie ein.

Positiv zu bewerten ist die Durchmischung der Probanden in Bezug auf Klinikherkunft sowie den Ausbildungsstand. Die positiven Bewertungen von unerfahrenen aber teils auch sehr erfahrenen Thoraxchirurgen (Ober- und Chefärzte) zeigten die Eignung des Trainingsmodells für verschiedene Zielgruppen. Jeder Ausbildungsstand schien von der Benutzung des Trainingsmodells im Rahmen des VATS-Kurses von möglicherweise unterschiedlichen Aspekten profitieren zu können. Eine differenzierte Bewertung nach Ausbildungsstand war wegen den hierfür noch zu geringen Probandenzahlen nicht sinnvoll.

Durch weitere Kurse und die Erhöhung der Probandenzahlen könnten mögliche Unterschiede in der Bewertung zwischen den verschiedenen Ausbildungsständen aufgezeigt werden. Gegebenenfalls könnten Rückschlüsse darauf gezogen werden, welcher Ausbildungsstand insgesamt am meisten profitiert bzw. welche Aspekte des Trainings am Trainingsmodell welchem Ausbildungsstand den größten Nutzen bringen.

Die positiven Bewertungen sprechen für eine gute Verzahnung von theoretischen Inhalten und deren praktischer Anwendung am Trainingsmodell, eine subjektive Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Blutung sowie ein

Kurssetting, in dem das Erlernen von neuen Techniken ohne Risiko für den Patienten bleibt.

4.6 Einordnung des Trainingsmodelles in andere Trainingskonzepte

Die Anforderungen an den Operateur, VATS sicher durchzuführen sind sehr hoch. Für die Beherrschung schwerwiegender Komplikationen ist eine adäquate Ausbildung des Chirurgen von großer Bedeutung (109). Häufig findet jedoch die Ausbildung der Chirurgen wie unter 1.2. bereits beschrieben am Patienten statt („on-labor“). In Bezug auf chirurgische Eingriffe wird die Situation teils lapidar mit „see one, try one, teach one“ zusammengefasst (110). Dies stellt – insbesondere unter Berücksichtigung der potentiell lebensbedrohlichen Komplikationen – ein Problem insbesondere für die Patientensicherheit dar. Verschiedene Trainingskonzepte existieren um thoraxchirurgische Ausbildung auch außerhalb des Operationssaals (englisch „off-labor“) zu ermöglichen und damit dieses Problem zu adressieren.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte und in einer Probandenstudie evaluierte Trainingsmodell bietet eine solche Möglichkeit zum „off-Labor“ Training. Der Tüthor in seiner Gesamtheit kombiniert eine modellhafte Darstellung der menschlichen Anatomie des Thorax mit perfundierten ex-vivo-Schweineorganen. Im Rahmen von bis dato 4 VATS-Kursen wurden komplexe Eingriffe wie VATS-Lobektomien und VATS-Segmentektomien in Gänze inklusive Lymphknotenresektion als chirurgisches Training an jeweils 4-5 Trainingsmodellen durchgeführt. Schweinelungen die maximal 24 Stunden nach Schlachtung verwendet wurden, wiesen neben vergleichbarer Anatomie und Topographie auch eine der menschlichen ähnlichen Haptik auf (vergleiche 4.2). Blutungen der herznahen kaliberstarken Gefäße gehören zu den relevantesten Komplikationen bei Lungenteilresektionen. Im Rahmen der chirurgischen Präparation am Tüthor können solche Blutungen als real erlebbare Komplikation auftreten bzw. gezielt simuliert werden. Auch Expertentechniken wie eine Bronchusnaht können im Kurssetting ohne Gefährdung eines Patienten realitätsnah trainiert werden. Dieser hohe Realitätsgrad kann mit vertretbarem

finanziellen und logistischen Aufwand durch die Verwendung von Schlachtabfällen mit geringer ethischer Problematik erreicht werden.

International verfügbare Trainingskonzepte für VATS-Eingriffe sind unter 1.2. vorgestellt. Ein Vergleich mit einzelnen Trainingsmodellen ist nicht möglich ohne Kenntnis des entsprechenden Kursformates. Eine Einordnung des Tüthor in die unterschiedlichen Trainingskonzepte mit Vorzügen und Nachteilen ist jedoch möglich. Tabelle 2 (s.u.) zeigt eine vereinfachte Übersicht der Eigenschaften der verschiedenen Trainingskonzepte.

- Trainingskonzepte mit Körperspendern bieten den höchsten Realitätsgrad in Bezug auf die Anatomie. Komplette VATS-Lungenteilresektionen inklusive Resektion der Lymphknotenstationen wie sie bei onkologischer Indikation durchgeführt werden sind möglich. Das Gelernte kann hierdurch direkt auf die reale OP-Situation übertragen werden. Schwächen im Vergleich zu dem Tüthor sind das Fehlen einer Perfusionssimulation, eine durch die Präparation veränderte Haptik des Parenchyms, die immensen Kosten, die ethische Problematik und die geringe Verfügbarkeit (111, 112)
- Virtual-Reality-Modelle sind im Gegensatz zum Tüthor nach Anschaffung jederzeit verfügbar und ohne Tutor verwendbar. Die visuelle Darstellung der Anatomie kann der des Tüthor – je nach Ausstattung – im Vergleich überlegen sein. Die Verwendung von VR-Modellen ist ethisch unbedenklich. Schwächen sind das meist komplett fehlende haptische Feedback, die Beschränkung auf Teileingriffe, die teils sehr hohen Anschaffungskosten und der geringe Realitätsgrad einer Blutungssimulation (84, 85, 113, 114).
- Synthetische Lungenmodelle können ohne ethische Bedenken verwendet werden, die Anatomie des Thorax sowie der Lungen in Bezug auf Topographie liegt sehr nahe an der Realität im Vergleich zum Tüthor. Schwächen der synthetischen Organmodelle gegenüber Tüthor sind die reduzierte Haptik durch die Verwendung artifizierter Materialien, weshalb bspw. Electrocauter nur eingeschränkt verwendet werden können, der Mangel einer Perfusionssimulation sowie die Kosten für die Anschaffung

eines Lungenmodelles (hier mit 80\$ angegeben) welche meist Einmalartikel sind (77, 86).

- In-Vivo-Schweinemodelle weisen im Vergleich zum Tüthor reale Blutungen auf. Die Parenchymqualität ist der des Tüthor überlegen. Nachteile sind neben den ethischen Bedenken und den hohen Kosten für die Vorhaltung von OP-ähnlichen Räumen, veterinärmedizinische Durchführung der Narkose und der damit eingeschränkten Verfügbarkeit, die von der menschlichen abweichenden Anatomie der Schweinethoraces. Diese sind deutlich keilförmiger als die des Menschen (vergleiche 1.3. bzw. 6.1) was die Beweglichkeit des Instrumentariums deutlich einschränkt. Dies erschwert den Einstieg für unerfahrene Thoraxchirurgen. Blutungen treten real auf und führen oftmals zum Tode des Tieres (115). Hierdurch kann eine Blutungssimulation nicht – wie beim Tüthor – kontrolliert und mehrfach durchgeführt werden (77, 92).
- Ex-vivo-Schweinemodelle werden teils mit angefärbten Perfusaten bzw. Pulsation verwendet. Die Blutungssimulation ist in diesem Fall optisch näher an der Realität als die Blutungssimulation der Tüthor. Vielfach werden die Ex-vivo-Organen ohne Darstellung von Mediastinum oder Rippen in einer Box verwendet. Oft sind die Herzen nicht fixiert, wodurch der zum realitätsnahen Training von VATS-Teilresektionen notwendige Zugang zum Hilum erschwert ist. Teils werden tiefgekühlte Präparate verwendet, was die Parenchymqualität reduziert. Die menschliche Anatomie wird im Vergleich zum Tüthor meist nur sehr oberflächlich dargestellt (77, 116, 117).

	Körpersp ende	Virtual- reality	In-vivo	Tütor	Ex-vivo
Logistik	-	+	-	0	0
Kosten	-	-	-	+	+
Anatomie	+	+	0	0	-

Verfügbarkeit	-	0	-	0	0
Ethik	0	+	-	+	0
Training kompletter Eingriffe	+	-	+	+	-
Blutung	-	-	+	+	+
Haptik	0	-	+	+	0

Tabelle 2: Übersicht über Trainingskonzepte und deren Eigenschaften, minus zeigt eine negative Eigenschaft, plus zeigt eine positive Eigenschaft, null zeigt eine neutrale Eigenschaft

4.7 Ausblick

Ziel bei der Entwicklung von Tuthor war es, nicht nur VATS-Lobektomien und Segmentektomien nach dem heutigen „Stand der Technik“ zu trainieren, was in der Zusammenschau der Ergebnisse der Probandenstudie (sehr) gut gelungen ist, sondern auch zukünftige Trends in das chirurgische Training mit dem Tuthor integrieren zu können. Zu diesen heute noch „exotischen“ Zugangswegen gehört bspw. die sogenannte „Subxyphoidale-VATS“. Hierbei wird eine etwa 4 cm lange Incision unterhalb des Xyphoids gesetzt. Nun wird der M. rectus abdominis gespalten. Das Xyphoid wird entfernt, ventral des Diaphragmas wird stumpf in die rechte oder linke Pleurahöhle präpariert. Über diesen Zugang werden nun Kameraoptik und Instrumente eingeführt deren Bewegungsspielraum im Gegensatz zu den Zugangswegen intercostal nicht durch Rippen beeinträchtigt wird (89). Die Vorteile dieses uniportalen „SVATS“ liegen für den Patienten in der Schonung der intercostalen Nerven und einem hierdurch verringerten postoperativen und langfristigen Schmerzlevel (89) sowie in einer insgesamt reduzierten Morbidität und Mortalität (58, 118, 119). Durch die modellhafte Darstellung des Thorax sowie der Haut könnte dieser Eingriff ebenfalls in die Inhalte der Tübinger VATS-Kurse aufgenommen werden.

Eine weitere Technik, die aktuell insbesondere im asiatischen Raum an Relevanz gewinnt, ist die Verwendung von Indocyaningrün, um Segment- und Lobusgrenzen sicherer erkennbar zu machen. Hierbei wird nach Darstellen und Ausklemmen der Arterie des zu resizierenden Segmentes bzw. Lobus Indocyaningrün intravenös injiziert. Nach Anfluten im arteriellen Lungenkreislauf können mittels einer speziellen fluorescence-imaging Kameraoptik die Segment- und Lobusgrenzen des zu resizierenden Anteils (nicht leuchtend) von den nicht zu resizierenden Lungenanteilen (je nach Kameraeinstellung grünlich oder bläulich leuchtend) unterschieden werden. Mittels Electrocauter können nun die Grenzen markiert werden, an denen resiziert wird. Ziel ist es, einerseits die onkologische Sicherheit von Segmentektomien und Lobektomien zu erhöhen und andererseits schonend ein möglichst kleines Lungenvolumen zu resizieren.

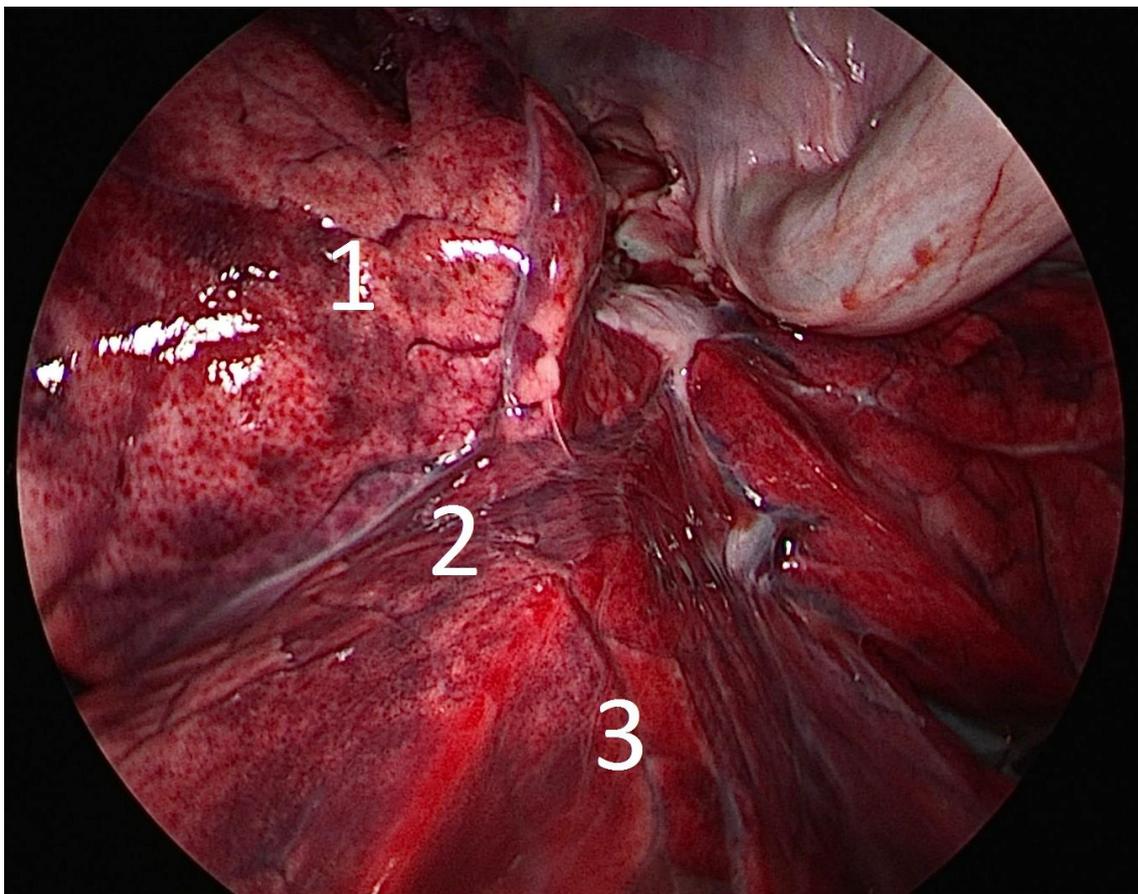


Abbildung 15: Blick auf Lappengrenze (2) zwischen Lobus trachealis (1) und Lobus medialis mit Indocyaningrün infundiert (3), normale thorakoskopische RGB-Kameradarstellung (daher keine Blau- bzw. Grünfärbung sichtbar) eigenes Bildmaterial

Im Rahmen von ersten Versuchen konnte bereits gezeigt werden, dass die Verwendung von Indocyaningrün bei schlachtfrischen Herz-Lungen-Paketen bei hier noch erhaltener Perfusatzirkulation zur Darstellung der Segment- und Lobusgrenzen möglich ist (vergleiche Abbildung 13 und 14). Eine Adaption auf das Kurssetting gehört zu den Aufgaben der Zukunft.

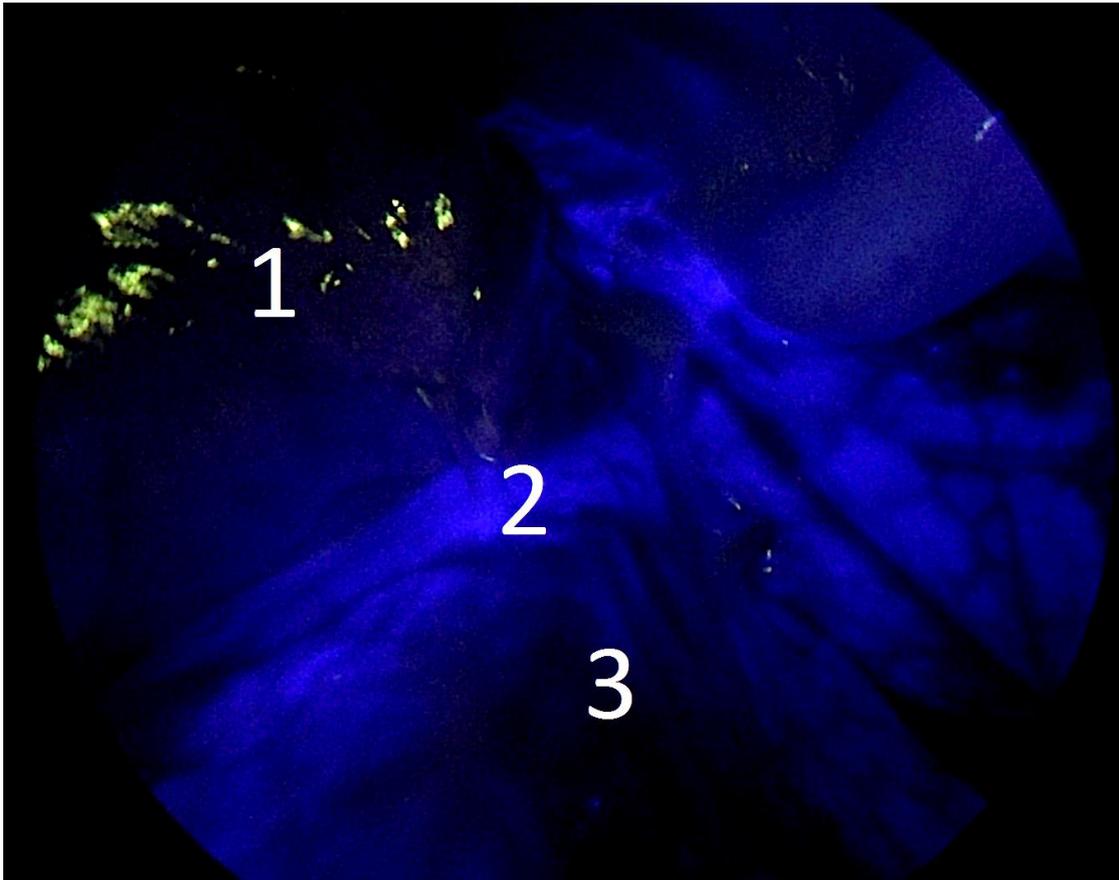


Abbildung 16: Blick auf Lappengrenze (2) zwischen Lobus trachealis (1) und Lobus medialis mit infundiertem Indocyaningrün (3), Kameramodus mit Nahinfrarot/Indocyaningrün-Fluoreszenzbildgebung , eigenes Bildmaterial

Zu den neuen Hoffnungsträgern diesbezüglich gehört außerdem die sogenannte Robotics-VATS (41, 61).

Hierbei werden die oben beschriebenen Eingriffe mittels eines roboterassistierten Chirurgesystems durchgeführt. Dieses setzt sich zusammen aus einer Konsole, an welcher der Operateur sitzt und dem Operationsroboter mit 4 Armen. Der Operationssitus wird dem Operateur vergrößert dreidimensional angezeigt. Mit seinen Händen kann er die Roboterarme - das Instrumentarium -

in dem Thorax des Patienten nach dem „Master-Slave-Prinzip“ fernbedient steuern (120). Die großen Vorteile der Robotics-Technologie liegen in der dreidimensionalen vergrößerten Sicht, der großen Bewegungsfreiheit mit bis zu 7 Freiheitsgraden im beengten Thorax und der intuitiven Steuerung (22). Hieraus könnte bspw. eine gründlichere Resektion der Lymphknotenstationen als Maß für die onkologische Qualität bei NSCLC resultieren, wodurch die Langzeitüberlebensrate verbessert werden könnte (121).

Auch eine Verbesserung des 5- Jahres Überlebens bzw. der Morbidität bei NSCLC im Vergleich zur konventionellen VATS könnte hieraus resultieren (94). Zukünftig könnte auch die Robotics-VATS mit ihrer dreidimensionalen Thoraxdarstellung im Tüthor-Modell trainiert werden.

Insgesamt ist im Rahmen der kontinuierlichen technischen Weiterentwicklung mit weiteren weitreichenden Veränderungen sowohl für Patienten als auch die Thoraxchirurgen zu rechnen (33, 39, 91). Eine Weiterentwicklung der vorhandenen VATS - Trainingskonzepte wird jedoch ebenfalls nötig sein, denn „Weiterhin darf niemals vergessen werden, dass die Vermeidung von Komplikationen nicht erst am Operationstisch, sondern bereits bei der Ausbildung des Chirurgen beginnt“ (109).

Zusammenfassend ist der Tüthor dank der beschriebenen Eigenschaften nicht nur für zeitgemäßes thoraxchirurgisches Training heute sehr gut geeignet, sondern könnte auch in Zukunft als Basis für weiterführende Trainingskonzepte dienen.

5 Zusammenfassung

Chirurgische Eingriffe, die mittels videoassistierter thorakoskopischer Chirurgie (VATS) durchgeführt werden, sind technisch anspruchsvoll und die Lernkurve ist lang. Es gibt einen dringenden Bedarf an geeigneten „off-labor“-Trainingskonzepten. Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung und Evaluation eines Modells für realitätsnahes thoraxchirurgisches Training insbesondere der VATS-Lungenteilresektionen mit Blutungssimulation. Die systematische Entwicklung des „Tübinger-Thoraxtrainer“, kurz Tüthor war ein aufwändiger Prozess mit etlichen Zwischenstufen. Das Endergebnis besteht aus einer für die Lagerung drehbaren Cavität des Thorax, einem für die Organbestückung als Schublade gestalteten Mediastinum, Haut und Zwerchfell. Als optisch und haptisch hochwertiges Organmodell mit menschenähnlicher Anatomie und Parenchymeigenschaften dienen schlachtfrische ex-vivo-Herz-Lungenpakete vom Hausschwein. Eine realitätsnahe Blutungssimulation der herznahen kaliberstarken Gefäße wurde hydrostatisch realisiert. Die Erprobung und die Evaluation des Tüthor erfolgten im Rahmen von 4 VATS-Kursen mit insgesamt 40 Thoraxchirurgen vom Anfänger bis zum Chefarzt. Während der Kurse wurden komplette VATS-Lungenteilresektionen (Lobektomien und Segmentektomien) sowie eine dezidierte Simulation einer Blutungskomplikation durch die Teilnehmer durchgeführt. Selbst Expertentechniken wie die Bronchusnaht konnten durch die Teilnehmer trainiert werden. Eine subjektive Befragung der Teilnehmer per Fragebogen ergab durchweg Zustimmung. Unter anderem gaben 87,5% der Teilnehmer an, dass Tüthor geeignet für das thoraxchirurgische Training sei. Das Ex-vivo-Schweinmodell wurde in allen Aspekten u.a. den physiologischen Eigenschaften (Elastizität, Atelektase) als hinreichend realistisch für chirurgisches Training eingestuft. 75% der Befragten gaben an, dass auch die Perfusion (Füllung, Druck) der hilusnahen Gefäße realistisch sei. Tüthor hat durch seine umfassende Anatomie und flexible Bestückbarkeit Zukunftspotential. So kann er auch dem Training neuer Verfahren wie der uniportalen subxyphoidalen-VATS oder der Robotics-VATS dienen. Auch die Machbarkeit einer Fluoreszenz-Darstellung mit Indocyaningrün zur Darstellung der Lobusgrenzen konnte in Tüthor gezeigt werden.

6 Anhang

6.1 Ergänzungen zur porcinen Anatomie

6.1.1 Form und Aufbau

Grundsätzlich setzt sich die Schweinelunge aus einer linken und rechten Lunge zusammen. Analog zum Menschen liegen diese in der Cavitas thoracis. Bedingt durch die Anatomie des eher keilförmigen knöchernen Thorax dehnen sich die Flügel gegenüber der Humananatomie stärker in ventral-dorsaler Achse aus (100). Die Schweinelunge zeigt ebenfalls eine kräftige Lobulierung mit durch die Fissurae klar definierten Lungenlappen. Die interlobulären Septen sind jedoch kräftiger ausgeprägt als die des Menschen (92, 101).

6.1.2 Bronchialsystem

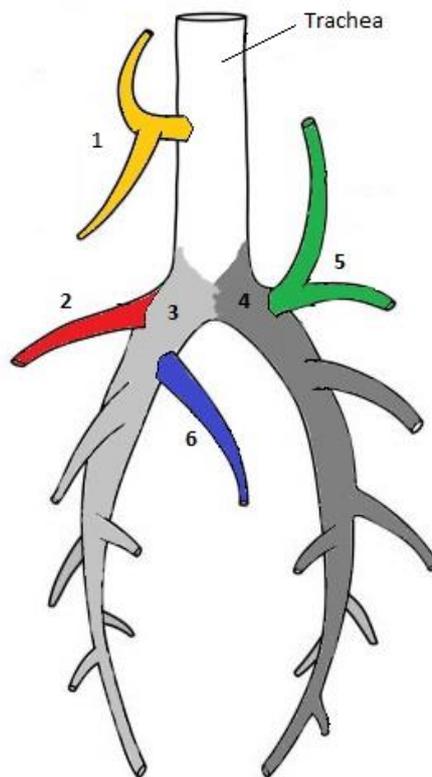


Abbildung 17: Schematische Darstellung des porcinen Bronchialbaumes, 1 = Bronchus trachealis, 2 = Bronchus lobaris medialis, 3 = Bronchus lobaris caudalis; 4 = Bronchus lobus accessorius; 5 = Bronchus lobus cranialis; 6 = Bronchus lobaris caudalis; modifiziert nach (122)

Das Bronchialsystem des Schweins ist ähnlich dem des Menschen aufgebaut. Ausgehend von der Trachea, die etwas länger und cartilaginöser als die menschliche ist, zweigen die beiden Bronchi principales ab (92). Der linke Hauptbronchus gibt den Bronchus lobaris cranialis ab. Dieser ventilert mit einem kranialen und einem kaudalen Segmentbronchus die beiden Teile des linken Vorderlappens. Als Weiterführung des Hauptbronchus folgt der Bronchus lobaris caudalis, der je 4 ventrale und 4 dorsale Segmentäste abgibt und den Lobus caudalis versorgt. Die linke porcine Lunge gliedert sich also in einen Lobus cranialis mit den Partes cranialis und caudalis sowie den Lobus caudalis und damit analog zur Anatomie des Menschen in 2 Lappen (92, 96).

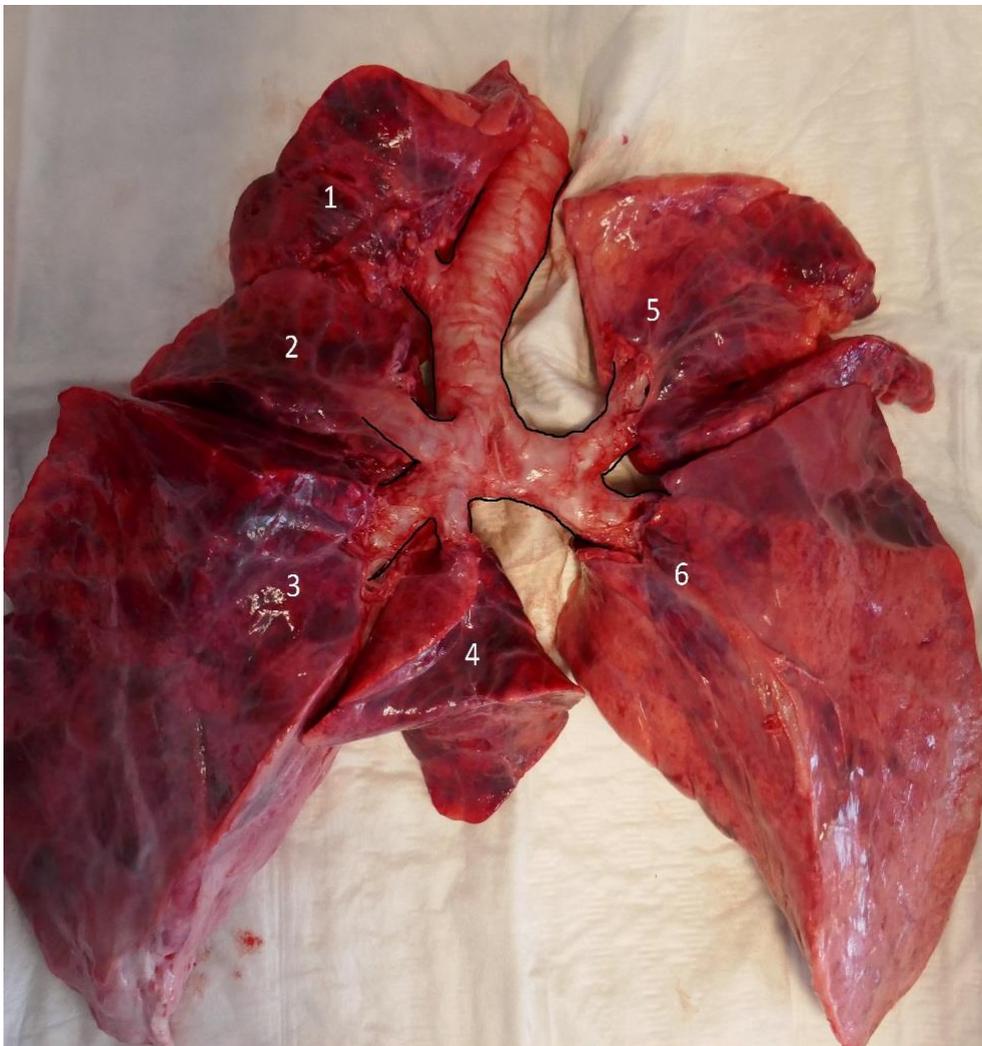


Abbildung 18: Lappengliederung der Schweinelunge, Sicht von ventral, 1 = Lobus cranialis dextra, 2 = lobus medialis, 3 = lobus caudalis dextra, 4 = lobus accessorius, 5 = lobus cranialis sinistra, 6 = lobus caudalis sinistra, eigenes Bildmaterial

Die rechte porcine Lunge unterteilt sich, anders als in der humanen Anatomie, nicht in 3, sondern in 4 Lappen, den Lobus cranialis, Lobus medialis, Lobus caudalis und Lobus accessorius (101). Eine weitere Besonderheit ist der Bronchus trachealis. Dieser zweigt, noch proximal der Bifurkation, direkt aus der rechten Trachealwand ab und versorgt den Lobus cranialis. Anschließend untergliedert er sich weiter in craniale und caudale Segmentbronchi (123). Auch beim Menschen kann dieser tracheale Bronchus als Variante vorliegen (124, 125). Der Mittellappenbronchus zweigt etwas caudal der Bifurkation auf der ventrolateralen Seite ab. Medial des Bronchus lobaris medius entspringt der Bronchus lobaris accessorius und zieht nach ventromedial zum Lobus accessorius (Abbildung 15). Der Lobus accessorius befindet sich etwa auf Höhe der Herzbasis und umgibt einen Teil des letzten intrathorakalen Stücks der Vena cava inferior (100). Der rechte Bronchus lobaris caudalis verhält sich in seiner Aufteilung analog zur linken Seite. Er gibt je 4 dorsale und ventrale Segmentbronchien ab (92, 101, 126). Der weitere Verlauf des Bronchialbaumes ist ebenfalls ähnlich dem des Menschen. So liegt die Anzahl der Bronchialgenerationen bei $n=23-27$, wobei der Durchmesser der Bronchi zur Peripherie hin abnimmt. Insgesamt ist das Bronchialsystem des Schweins bis in die Peripherie deutlich cartilaginöser als das des Menschen (92, 101).

6.1.3 Gefäße

Vom Truncus Pulmonalis ausgehend zieht die A. pulmonalis sinistra, kaudolateral gerichtet, auf das Hilus pulmonis sinister zu und überkreuzt dorsal die Vv. Pulmonales sinistrae. Sie teilt sich nun in einen R. lobi cranialis und caudalis.

Die A. pulmonalis dextra zieht kaudal vom Arcus aortae ventral der Trachea zum Hilus pulmonis dexter. Sie entlässt vor dem Eintritt in die Lunge den R. lobi cranialis. Die verbliebene rechte Pulmonalarterie teilt sich weiter in den R. lobi medii und den R. lobi caudalis. Der R. lobi caudalis entlässt den Ast für den Lobus accessorius der rechten Lunge. Eine Besonderheit des weiteren Verlaufs liegt in den Aufzweigungen der Pulmonalgefäße: In den Lobi craniales und medius folgen Arterien und Venen gemeinsam den Bronchien (Bronchovaskulärer Versorgungstyp). Hierbei liegen die Arterien meist dorsolateral, die Venen eher

medial bzw. ventral der Bronchien. In den Lobi caudales dagegen verlaufen nur die Arterien mit den Bronchien, die Venen liegen intersegmental.(92, 100, 101)

6.2 Zwischenschritte bei der Entwicklung des Tuthor:

6.2.1 Cavität 1

6.2.1.1 Material und Methoden

In einen Holzrahmen wurde eine einfache modellhafte Darstellung des Thorax und Zwerchfells bestehend aus einem Drahtgeflecht eingebracht. Die Maße und Abmessungen basierten auf einem kommerziell erworbenen anatomischen Modell eines 180 Zentimeter großen Mannes. Das Drahtgeflecht stellte stark vereinfacht die Kontur des Thorax mit Wirbelsäule und der dorsalen Anteile der Rippen dar. Das Zwerchfell wurde ebenfalls dreidimensional dargestellt. Die ventralen Rippenanteile sind als „Deckel“ abnehmbar. Bei abgenommenem Deckel kann ein porcines Herz-Lungen Paket eingelegt werden.

Der das Drahtgeflecht aufspannende Holzrahmen wird von Filzmatten umschlossen.

6.2.1.2 Ergebnis

Das mit minimalen Materialkosten angefertigte erste Modell erfüllte viele Unterpunkte der Zielsetzung nicht.

Die anatomische Darstellung ist zu stark vereinfacht. Die Abmessungen sind zu knapp für die teilweise ausladenden Herz-Lungen-Pakete. Durch die Verwendung von Filzmatten ist die Hygiene nicht akzeptabel, Flüssigkeiten treten nach unten aus. Es zeigte sich auch, dass eine Fixierung der Herz-Lungen Pakete an dem Thoraxmodell notwendig ist um Seitenlage zur realistischen Durchführung einer VATS-Lobektomie zu ermöglichen.



Abbildung 19: Blick von ventral auf das einfache Thoraxdrahtmodell, eigenes Bildmaterial

6.2.2 Cavität 2

6.2.2.1 Material und Methoden

Ein Thorax eines lebensgroßen anatomischen kommerziell erwerbbares Skelettes (TecTake® Anatomie Skelett lebensgroß 181cm) wurde als Basis verwendet. Kopf und Extremitäten wurden entfernt. Eine Gewindestange wurde als „doppelte“ Wirbelsäule angebracht (siehe Abbildung unten). An dieser Gewindestange können Bauteile wie das Zwerchfell befestigt werden. Das Zwerchfell wurde durch ein dreidimensional geformtes und mit PE-Folie bezogenes Drahtgeflecht dargestellt (siehe 6.4.1). Mittels der PE-Folie wurde die pleura parietalis und die mediastinale Pleura dargestellt.

Im Bereich des Hilums weist die Folie eine Aussparung auf. Diese wird begrenzt durch einen Rahmen aus an der Gewindestange befestigten Stahlplättchen welcher das Hilum begrenzt.

Die porcinen Herz Lungen Pakete, die wie unter 2.1.2. präpariert und wie unter 2.1.3.3. zur Perfusionssimulation vorbereitet wurden, werden hier von kaudal eingeschoben. Die Strukturen des porcinen Hilums werden zwischen die Stahlplättchen eingebracht und mittels Kabelbinder befestigt. Die Folie der mediastinalen Pleura wird über das Hilum geklappt und mittels Klettverschluss befestigt.

6.2.2.2 Ergebnis

Das modifizierte anatomische Skelett bietet einen guten Realitätsbezug besonders in Bezug auf die knöchernen Strukturen des Thorax. Die Rippen sind widerstandsfähig und begrenzen dadurch die Handhabung des Instrumentariums ohne unnatürlich starr zu sein. Die Drehbarkeit des Modells ermöglicht es, VATS-Eingriffe auch in Seitenlage durchzuführen. Das Modell und seine Bauteile lässt sich gut reinigen. Durch die Verwendung einfacher Bauteile neben dem käuflich erworbenen anatomischen Lehrmodell sind die Kosten gering. Die nötigen Modifikationen sind nicht sehr umfangreich und daher mit überschaubarem zeitlichen Aufwand realisierbar. Diese Vorgaben der Zielsetzung sind daher teils gut erfüllt. Die porcinen Organpakete variieren in ihrer Größe. Dadurch bietet der Brustkorb des Thoraxmodelles, dem ein durchschnittlich großer Mann zu Grunde

gelegt ist, für die großen porcinen Herz-Lungen – Pakete zu wenig Volumen. Die Präparation innerhalb des eher nach lateral ausladenden menschlichen Thorax wird hier durch die eher keilartige Form der porcinen Lungen fast unmöglich. Es zeigt sich weiterhin, dass die anatomische Genauigkeit der Wirbelsäule in Bezug auf Krümmung und detaillierte Wirbelkörper bei dem Einbringen und Befestigen der Herz-Lungen-Pakete eher hinderlich ist. Das Mediastinum ist zu schmal für die großen Schweineherzen. Die in der PE-Folie vorgesehene Aussparung in der mediastinalen Pleura war zu klein, insbesondere für die Aufnahme des rechten Hilum der porcinen Lunge, weil dieses, wie unter 1.3.2 beschrieben, durch den trachealen Bronchus breit ausfällt. Auch nach Vergrößerung der Aussparung für das Hilum bleibt die Handhabung und das Einbringen der Organe sehr schwierig, zeitaufwändig und unflexibel.



Abbildung 20: Blick von ventral auf die Cavität, eigenes Bildmaterial

6.2.3 Mediastinum 1

6.2.3.1 Material und Methoden

Im ersten Entwicklungsschritt wurde ein Acrylglas U-Profil mit den Maßen 600 x 80 x 40 mm als Basis verwendet. An diesen wurden PVC-U Stäbe angeklebt. Die cranial und caudal gelegenen Stabpaare dienen dazu, die mittels Folie dargestellte mediastinale Pleura aufzuspannen. Das rote PVC-U Stabpaar dient zur Begrenzung des Hilums. Zur Vorbereitung wurde das Herz-Lungen-Paket von oben in die Darstellung des Mediastinums eingebracht. Das Herz kommt auf dem Acrylglasstab zu liegen, das Hilum wird umfasst von den roten Stäben. Nun wird Folie von oben über den cranialen und caudalen sowie über die das Hilum begrenzenden Stäbe gezogen. Die Folie wird im Bereich des Hilums eingeschnitten, so dass ein Zugang zu den herznahen Gefäßen geschaffen ist. Die so vorbereitete Mediastinaldarstellung kann nun mit dem fixierten Herz-Lungen-Paket ähnlich einer Schublade in das Thoraxmodell eingebracht werden.

6.2.3.2 Ergebnis

Mit diesem ersten Versuch einer „Mediastinalschublade“ ist eine stabile Fixierung der Herz Lungen Pakete schon außerhalb des Thoraxmodelles möglich. Die



Abbildung 21: Blick von ventral auf die „Mediastinalschublade“, eigenes Bildmaterial

Lungen kommen in Seitenlage auf der Folie zu liegen und die Präparation im Hilumbereich ist möglich. Die Anatomie ist hier sehr eingeschränkt modellhaft erkennbar. Die Vorbereitung ist aufwändig. Es ist schwierig, die Folie passgenau an die starren Stäbe, die das Hilum begrenzen, und die Folie anzupassen und aufzuziehen. Die U-förmige Form der Basisplatte und das Eigengewicht des Herzens führen dazu, dass die Lungengefäße abgeknickt und komprimiert werden und damit sowohl eine Perfusion als auch eine Präparation erschwert sind. Die Begrenzung des Hilum ist starr. Besonders große Lungen mit großem Hilus werden komprimiert während besonders kleine Lungen mit schmalem



Abbildung 22: Blick von links lateral auf Darstellung der mediastinalen Pleura, eigenes Bildmaterial

Hilum nicht gut fixiert werden können. Die Reinigung ist problemlos möglich. Die Zielsetzung ist insgesamt nicht erfüllt. Die Verwendung unterschiedlich großer Organe wie sie zwangsläufig in einer Kurssituation notwendig ist, ist nur eingeschränkt möglich. Durch die Form der Basisplatte ist die Perfusionssimulation erschwert.

6.2.4 Zwerchfell 1

6.2.4.1 Material und Methoden

Als Basis für das im ersten Entwicklungsschritt gefertigten Zwerchfell wurden Stahlrundstäbe mit einem Durchmesser von 2mm verwendet. Diese wurden an die sagittale Öffnungsfläche der unter 6.2.2 beschriebenen auf einem anatomischen Lehrmodell basierende Thoraxdarstellung angepasst. Im nächsten Schritt wurde Drahtgeflecht derart auf dem Stahlrundstab moduliert, dass die resultierende dreidimensionale Form der menschlichen Zwerchfellanatomie ähnelt. Eine kräftige Polyethylenfolie wurde dieser Kontur angepasst und mittels Kabelbindern fixiert. Das so gefertigte Zwerchfellmodell wurde mittels einer Schraubverbindung an dem „zweiten Rückgrat“ des unter 6.2.2 beschriebenen Thoraxmodells befestigt.

6.2.4.2 Ergebnis

Das erste Modell ist eine modellhaft vereinfachte Darstellung der Anatomie. Es schließt das unter 6.2.2 beschriebene Thoraxmodell nach kaudal ab. Der finanzielle und zeitliche Aufwand zur Herstellung ist gering. Eine gute



Abbildung 23: einfaches Zwerchfellmodell, Blick von ventral, eigenes Bildmaterial

Reinigbarkeit der Komponenten ist nicht gegeben. Die Zielsetzung ist damit nicht erfüllt.

6.2.5 Zwerchfell 2

6.2.5.1 Material und Methoden

Die Verwendung des unter 6.2.2 beschriebenen Thoraxmodelles sowie die Verwendung der unter 6.3.1 beschriebenen Mediastinalschublade machte die Entwicklung eines neuen Konzeptes für die Darstellung des Zwerchfells notwendig. Als Material wurde Glasfaser-verstärkter Kunststoff verwendet. Dieses Modell basierte auf den Maßen der sagittalen Öffnungsfläche des anatomischen Thoraxmodelles (siehe 6.2.2). Die Drahtbasis wurde mit einer Folie umgeben und fungiert als Trennschicht. Mittels Glasfaser-verstärktem Kunststoff wurde nun das Zwerchfell in mehreren Schichten modelliert.

Nach dem Aushärten wurde überschüssiges GFK entfernt. Um die Oberfläche des GFK zu schützen wurde eine PE-Matte an das GFK-Zwerchfell angepasst und aufgeklebt.

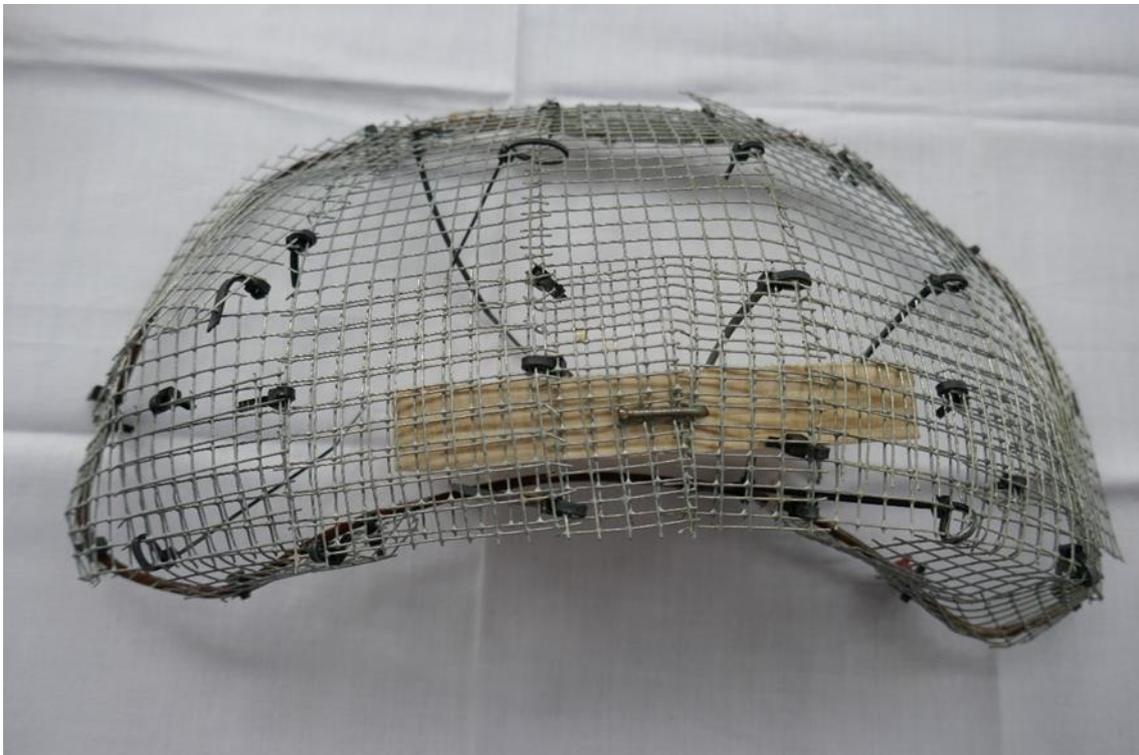


Abbildung 24: Drahtbasis für das GFK Zwerchfell, eigenes Bildmaterial

6.2.5.2 Ergebnis

Das zweite Modell erfüllt die Zielsetzung, den Thorax nach kaudal zu begrenzen, sowie im Vergleich zu dem unter 6.4.1 dargestellten Zwerchfell eine verbesserte modellhafte Darstellung der Anatomie zu bieten. Die Reinigbarkeit des GFK-Zwerchfelles ist ebenfalls verbessert. Die Herstellung des GFK-Zwerchfells ist zeitintensiv und die Materialkosten hoch. Die Materialbeschaffenheit ist spröde, die Stabilität des Modells ist eingeschränkt. Die Zielsetzung ist daher nicht in Gänze erfüllt.



Abbildung 25: GFK-Zwerchfell von ventral, eigenes Bildmaterial

6.3 Ablauf der Perfusionssimulation für VATS-Kurse

Die Herz-Lungen-Pakete werden schlachtfresh im Schlachthof auf Eis gelegt und so in das Trainingszentrum transportiert. Innerhalb von 50 Minuten werden die Organe wie unter 2.1.3.2 beschrieben präpariert und zur Durchspülung vorbereitet. Das Durchspülen wird nun mit geringem hydrostatischen Druck von 5-10 mmHg durchgeführt um Gefäßeinrisse und damit einen Übertritt von Perfusat in das luftleitende System zu vermeiden. Als Perfusat wird eine heparinisierte farblose Kochsalzlösung verwendet. Das so vorbereitete

Organpaket kann nun in die unter 2.1.5 beschriebene Darstellung des Mediastinums eingebracht werden. Eine Blutungskomplikation der herznahen kaliberstarken Gefäße kann so sicher simuliert werden.

6.4 Kursprogramm des VATS-Trainingskurses

Verbindliche Anmeldung

Ich möchte am VATS-Kurs in Tübingen am 19.03.2020 verbindlich teilnehmen. Die Berücksichtigung der Anmeldung erfolgt bei begrenzter Kapazität in der Reihenfolge der Anmeldung.

Kurskosten: € 495.—
 CME-Punkte sind beantragt

Name

Vorname

Adresse

Klinik

E-Mail-Adresse

wichtig für Bestätigung und Korrespondenz!

Unterschrift

Teilnahme am Come together 18.03.2020
 Ja Nein

Bitte faxen an 07071 29-25169 oder

Per Email an
 volker.steger@med.uni-tuebingen.de

Veranstaltungsort und Treffpunkt

Zentrum für Medizinische Forschung
 AG Chirurgische Technologie und Training
 Chirurgisches Trainingszentrum
 Waldhörlestr. 22
 72072 Tübingen

Mittwoch, 18.03.2020

🕒 19.00 – 21.00 Uhr

Donnerstag, 19.03.2020

🕒 08.45 – 17.00 Uhr

Mit freundlicher Unterstützung durch:

Medtronic
 Further Together
 5.000€ und Sachleistungen

STORZ
 KARL STORZ – ENDOSKOPE
 Sachleistungen

© 2019 Universitätsklinikum Tübingen

www.mic.uni-tuebingen.de


 Universitätsklinikum
 Tübingen

Abbildung 26: Flyer VATS-Kurs Vorderseite

Grußwort

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

Video-assistierte anatomische Resektionen haben sich für bestimmte Stadien in der Behandlung des Bronchialkarzinoms etabliert.

Die sich weiterentwickelnden Möglichkeiten erfordern den regelmäßigen Austausch und das Kennenlernen der aktuellen technischen Grenzen und Möglichkeiten.

Zusammen mit der AG Chirurgische Technologie und Training des Universitätsklinikums Tübingen haben wir einen neuen Trainer für minimalinvasive Techniken an der Lunge entwickelt und möchten Ihnen Gelegenheit geben, diese Grenzen und Möglichkeiten bei anatomischen Resektionen selbst zu erlernen bzw. Ihr Spektrum auf diesem Gebiet zu erweitern.

Prof. Dr. Albert Linder
Thoraxchirurgie Zentralschweiz
Klinik St. Anna
Luzern

PD Dr. Volker Steger
Sektion Thoraxchirurgie
Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
Universitätsklinikum Tübingen

Univ.-Prof. Dr. Andreas Kirschniak, MBA
Leiter AG Chirurgische Technologie & Training
Klinik für Allgemeine, Viszeral- und Transplantationschirurgie
Universitätsklinikum Tübingen

Programm

Mittwoch, 18.03.2020

🕒 ab 19.00 Uhr

Get together and welcome

🕒 20.00 Uhr – 21.00 Uhr

Aktuelle Aspekte in der Thoraxchirurgie (V. Steger)

Donnerstag, 19.03.2020

🕒 08.45 – 09.00 Uhr

Registrierung

🕒 09.00 – 09.15 Uhr

Vorstellung (Linder, Steger, Kirschniak)

🕒 09.15 – 10.00 Uhr

Warm-Up, Kameraführung, Naht- und Koordinationsübungen

🕒 10.15 – 11.00 Uhr

Lungenperfuisionsmodell, anatomische Resektion

🕒 11.15 – 12.00 Uhr

Praktische Übung I

Darstellung Hilusgefäße, Bronchien, Lymphadenektomie

🕒 12.15 – 13.00 Uhr

Praktische Übung II

Gefäß, Ligatur, Durchstich, Clip, Stapling

🕒 12.45 – 13.45 Uhr

Mittagspause

🕒 13.45 – 15.45 Uhr

Praktische Übung III

Lobektomie

🕒 15.45 – 16.30 Uhr

Praktische Übung IV

Bronchusnaht, weitere Übungen am Modell

🕒 16.30 – 17.00 Uhr

Abschlussbesprechung, Evaluation und Verabschiedung

Organisation

Prof. Dr. A. Linder
Thoraxchirurgie Zentralschweiz
Klinik St. Anna
6006 Luzern, Schweiz

PD Dr. Steger
Sektion Thoraxchirurgie
Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
Universitätsklinikum Tübingen
72076 Tübingen

Univ.-Prof. Dr. A. Kirschniak
Klinik für Allgemeine, Viszeral- und
Transplantationschirurgie
Universitätsklinikum Tübingen
72072 Tübingen

Tutoren/Referenten

Prof Dr. G. Friedel
Sektion Thoraxchirurgie
Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
Universitätsklinikum Tübingen

Dr. Thomas Kyriss
Klinikverbund Südwest
Krankenhaus Böblingen

Dr. Herbert Wallimann
Thoraxchirurgie Zentralschweiz
Klinik St. Anna
Luzern

Gasttutor

Dr. Katrin Welcker
Klinik Maria Hilf GmbH
Mönchengladbach

Abbildung 27: Flyer VATS-Kurs Rückseite

6.5 Fragebogen der Hauptstudie

Chirurgisches Trainingszentrum Tübingen



Fragebogen zum Tübinger Thorax- Trainer

Punkte 1 und 2 bitte VOR dem Kurs ausfüllen

1. Teilnehmer

1.1	Ihr Ausbildungsstand	CA	OA	FA	WBA
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
1.2	Wie viele VATS-Eingriffe haben Sie schon durchgeführt?	0-10	11-50	>50	
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
1.3	Wie viele VATS-Lobektomien haben Sie bereits durchgeführt?	0-10	11-50	>50	
		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
1.4	Wie viele VATS-Segmentresektionen haben Sie bereits durchgeführt?	0-10	11-50	>50	
		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	
1.5	Haben sie an anderen thorakoskopischen Kursen mit ähnlichem Inhalt teilgenommen?	ja		nein	
		<input type="radio"/>		<input type="radio"/>	

Chirurgisches Trainingszentrum Tübingen



Fragebogen zum Tübinger Thorax- Trainer

2. Erwartungen an den Kurs:

1= trifft voll und ganz zu 5= trifft überhaupt nicht zu		1	2	3	4	5
2.1	Was sind ihre Erwartungen an den VATS Kurs?					
	→ Erproben neuer OP- Techniken unter kontrollierten Bedingungen ohne Gefährdung eines Patienten	<input type="radio"/>				
	→ Vergleich der eigenen mit anderen OP-Techniken	<input type="radio"/>				
	→ Verbesserung des Instrumentenhandlings	<input type="radio"/>				
	→ Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Blutung	<input type="radio"/>				
	→ Thorakoskopische Nahttechnik am Parenchym	<input type="radio"/>				
	→ Thorakoskopische Nahttechnik am Gefäß	<input type="radio"/>				
	→ Thorakoskopische Nahttechnik am Bronchus	<input type="radio"/>				
	→ Verbesserung der Anatomiekenntnisse	<input type="radio"/>				
	→ Kollegialer Erfahrungsaustausch	<input type="radio"/>				
	→ Erweiterung theoretischer Grundlagen	<input type="radio"/>				



Fragebogen zum Tübinger Thorax- Trainer

3. Konstruktion und Aufbau des Trainers

1= trifft voll und ganz zu 5= trifft überhaupt nicht zu		1	2	3	4	5
3.1	Der im Kurs verwendete Trainer ist geeignet um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchzuführen.	<input type="radio"/>				
3.2	Der im Kurs verwendete Trainer entspricht bezüglich seiner Abmessungen und Materialien den Verhältnissen des menschlichen Thorax.	<input type="radio"/>				
3.3	Die Darstellung der mediastinalen Pleura ist realistisch.	<input type="radio"/>				
3.4	Ich konnte Seiten- und Rückenlage variieren.	<input type="radio"/>				
3.5	Ich konnte verschiedene Throkarpositionierungen variieren.	<input type="radio"/>				
3.6	Die Organe waren ausreichend fest im Trainer fixiert	<input type="radio"/>				
3.7	Die Lunge war ausreichend kollabiert, sodass genügend Arbeitsraum für die Übungen vorhanden war.	<input type="radio"/>				
3.8	Die Bewegungsfreiheit der Instrumente entsprach der des menschlichen Thorax.	<input type="radio"/>				

4. Perfusionssimulation

1= trifft voll und ganz zu 5= trifft überhaupt nicht zu		1	2	3	4	5
4.1	Die Perfusion (Füllung, Druck) der hilusnahen Gefäße ist realistisch	<input type="radio"/>				
4.2	Die Darstellung der Blutungskomplikation half mir, mein Komplikationsmanagement zu verbessern.	<input type="radio"/>				
4.3	Die Darstellung des Blutes mit wasserklarer Perfusionsflüssigkeit schränkt den Realitätsbezug nicht wesentlich ein.	<input type="radio"/>				



Fragebogen zum Tübinger Thorax- Trainer

5. Ex-vivo-Schweinemodell

	1= trifft voll und ganz zu 5= trifft überhaupt nicht zu	1	2	3	4	5
5.1	Das verwendete ex-vivo-Schweinemodell gibt die Anatomie und Dimensionen ausreichend wider, um daran thorakoskopische Eingriffe am Menschen zu üben.	<input type="radio"/>				
5.2	Das verwendete Ex-Vivo-Schweinemodell ist bezüglich seiner physiologischen Eigenschaften (Elastizität, Atelektase) realistisch genug um daran chirurgische Übungen durchzuführen.	<input type="radio"/>				
5.3	Wie beurteilen Sie die folgende Aussagen in Bezug auf das ex-vivo-Schweinemodell?					
	➔ Die Parenchymqualität- und Beschaffenheit ist gut	<input type="radio"/>				
	➔ Die Topographie ist vergleichbar zu der des menschlichen Mediastinums/ Lunge.	<input type="radio"/>				
	➔ Das Parenchym ist vergleichbar zu menschlichem Gewebe.	<input type="radio"/>				
	➔ Die Haptik des Gewebes bei Präparation mit Instrumenten ist vergleichbar zu der des Menschen.	<input type="radio"/>				



Fragebogen zum Tübinger Thorax- Trainer

6. Erwartungen

1= trifft voll und ganz zu 5= trifft überhaupt nicht zu		1	2	3	4	5
6.1	Ich konnte die gelehrt Inhalte am Trainingsmodell anwenden und üben	<input type="radio"/>				
6.2	Meine Erwartungen konnten erfüllt werden in Bezug auf:					
	→ Verbesserung des Instrumentenhandlings	<input type="radio"/>				
	→ Umgang mit den unterschiedlichen Gewebeeigenschaften (Gefäße, Parenchym, Bronchus)	<input type="radio"/>				
	→ Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Blutung	<input type="radio"/>				
	→ Verbesserung des Komplikationsmanagements bei Verletzung des Bronchus	<input type="radio"/>				
	→ Erproben/ Ausprobieren neuer OP- Techniken unter kontrollierten Bedingungen (kein Zeitdruck, kein Risiko für den Patienten).	<input type="radio"/>				
	→ Die Übungszeit für das praktische Training war ausreichend.	<input type="radio"/>				
	→ Die kollegiale Kooperation (Assistenz) entsprach meinen Erwartungen.	<input type="radio"/>				
	→ Ich hatte genügend Unterstützung durch die Tutoren	<input type="radio"/>				
	→ Ich hatte genügend Unterstützung durch die Repräsentanten der beteiligten Firmen.	<input type="radio"/>				
	→ Die technische Ausstattung (Video-Einheit, Instrumentarium, Nahtmaterial, Klammernahtgerät, Absaugung) war gut.	<input type="radio"/>				



Fragebogen zum Tübinger Thorax- Trainer

7. Verbesserungen

1= kein Verbesserungsbedarf 5 = sehr großer Verbesserungsbedarf		1	2	3	4	5
7.1	Ich sehe Verbesserungsbedarf bei					
	→ Dem Trainer	<input type="radio"/>				
Anmerkung:						
	→ Dem ex-vivo-Organ-Modell	<input type="radio"/>				
Anmerkung:						
	→ Darstellung der Perfusion	<input type="radio"/>				
Anmerkung:						

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lappengliederung der Schweinelunge	12
Abbildung 2: Schematische Darstellung der zeitlichen Entwicklung	16
Abbildung 3: Blick von caudal in die Cavität	19
Abbildung 4: Herz-Lungen-Paket nach der Präparation	27
Abbildung 5: Lungenhilum bei Simulation einer arteriellen Blutung	30
Abbildung 6: Thrombus in heparinisiertem Schweineblut	31
Abbildung 7: Cavität von ventral bei einliegendem Organmodell	33
Abbildung 8: Darstellung des Mediastinums mit Zwerchfelldarstellung	34
Abbildung 9: Blick von caudal bei nach ventral angehobenem Herzen	35
Abbildung 10: Mediastinum mit eingebrachtem Herz-Lungen-Paket	36
Abbildung 11: Zwerchfelldarstellung mit der Mediastinaldarstellung	37
Abbildung 12: Blick von Caudal auf die Darstellung der Haut	38
Abbildung 13: Blick auf rechten Hilus des Tüthor	55
Abbildung 14: Intraoperativer Blick auf rechtes menschliches Hilum	55
Abbildung 15: Lappengrenze Lobus trachealis und medialis	61
Abbildung 16: Lappengrenze Lobus trachealis und medialis ICG-Modus	62
Abbildung 17: Schematische Darstellung des porcinen Bronchialbaumes	66
Abbildung 18: Lappengliederung der Schweinelunge	67
Abbildung 19: Blick von ventral auf das einfache Thoraxdrahtmodell	70
Abbildung 20: Blick von ventral auf die Cavität	72
Abbildung 21: Blick von ventral auf die „Mediastinalschublade“	73
Abbildung 22: Darstellung der mediastinalen Pleura von links lateral	74
Abbildung 23: Einfaches Zwerchfellmodell	75
Abbildung 24: Drahtbasis für das GFK Zwerchfell	76
Abbildung 25: GFK-Zwerchfell von ventral	77
Abbildung 26: Flyer VATS-Kurs Vorderseite	78
Abbildung 27: Flyer VATS-Kurs Rückseite	79

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Eigenschaften der getesteten Perfusate	32
Tabelle 2: Übersicht über Trainingskonzepte und deren Eigenschaften	59

9 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1:	Auswertung zu „Halten Sie dieses Modell für geeignet und realistisch genug, um damit chirurgische Übungen durchzuführen?“	39
Diagramm 2:	Auswertung zu „Konnten Sie die Komplikation einer Gefäßverletzung während des Kurses simulieren?“	40
Diagramm 3:	Auswertung zum Ausbildungsstand der Teilnehmer	41
Diagramm 4:	Auswertung zur Anzahl der durch Probanden durchgeführten VATS-Eingriffe	42
Diagramm 5:	Auswertung zur Eignung des ex-vivo-Schweinemodelles zur Durchführung von thorakoskopischem Training	43
Diagramm 6:	Auswertung zu den Eigenschaften des Schweinemodelles	43
Diagramm 7:	Auswertung zur Aussage: „Die Perfusion (Füllung, Druck) der hilusnahen Gefäße ist realistisch.“	44
Diagramm 8:	Auswertung zur Aussage: „Die Darstellung der Blutungskomplikation half mir, mein Komplikationsmanagement zu verbessern.“	44
Diagramm 9:	Auswertung zur Aussage: „Die Darstellung des Blutes mit wasserklarer Perfusionsflüssigkeit schränkt den Realitätsbezug nicht wesentlich ein.“;	45
Diagramm 10:	Auswertung zur Aussage: „Der im Kurs verwendete Trainer ist geeignet um damit chirurgische Übungen an der Lunge durchzuführen“	46

Diagramm 11:	Auswertung zur Aussage: „Der im Kurs verwendete Trainer entspricht bezüglich seiner Abmessungen und Materialien den Verhältnissen des menschlichen Thorax“	46
Diagramm 12:	Auswertung zur Aussage: „Die Bewegungsfreiheit der Instrumente entsprach der des menschlichen Thorax.“;	47
Diagramm 13:	Auswertung zur Aussage: „Die Darstellung der mediastinalen Pleura ist realistisch“	47
Diagramm 14	Auswertung zur Aussage: „Ich konnte die gelehrtten Inhalte am Trainingsmodell anwenden und üben“	48
Diagramm 15	Auswertung zur Aussage: „Erproben/ Ausprobieren neuer OP- Techniken unter kontrollierten Bedingungen (kein Zeitdruck, kein Risiko für den Patienten)“;	49
Diagramm 16:	Auswertung zum Verbesserungsbedarf des Trainingsmodelles	49
Diagramm 17:	Auswertung zum Verbesserungsbedarf des ex-vivo-Modelles	50
Diagramm 18:	Auswertung zum Verbesserungsbedarf bei der Perfusionssimulation	50

10 Literaturverzeichnis

1. Roviario G, Varoli F, Vergani C, Maciocco M. Video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) major pulmonary resections: the Italian experience. *Seminars in thoracic and cardiovascular surgery*. 1998;10(4):313-20.
2. Baste JM, Orsini B, Rinieri P, Melki J, Peillon C. [Pulmonary resection using video-assisted thoracoscopic surgery--20 years experience]. *Revue des maladies respiratoires*. 2014;31(4):323-35.
3. Dziedzic D, Orłowski T. The Role of VATS in Lung Cancer Surgery: Current Status and Prospects for Development. *Minimally Invasive Surgery*. 2015;2015.
4. Migliore M, Deodato G. Thoracoscopic surgery, video-thoracoscopic surgery, or VATS: a confusion in definition. *The Annals of thoracic surgery*.69(6):1990-1.

5. Heberer G, Schildberg FW, Sunder-Plassmann L, Vogt-Moykopf I. Lunge und Mediastinum: Anatomie Diagnostik Indikationen Technik Ergebnisse: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
6. Shields TW, LoCicero J, Reed CE, Feins RH. General Thoracic Surgery: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2009.
7. Flores RM. Video-assisted thoracic surgery (VATS) lobectomy: focus on technique. World journal of surgery. 2010;34(4):616-20.
8. Tsakiridis K, Zarogoulidis P. An interview between a pulmonologist and a thoracic surgeon-Pleuroscopy: the reappearance of an old definition. Journal of thoracic disease. 2013;5 Suppl 4:S449-51.
9. Loddenkemper R. Zur Geschichte und Zukunft der Thorakoskopie. Pneumologie. 2004;58(01):42-9.
10. Nitze M. Eine neue Beleuchtungs- und Untersuchungsmethode für Harnröhre, Harnblase und Rektum. Wien med Wschr. 1879;29:713-6.
11. Lee P, Mathur PN, Colt HG. Advances in thoracoscopy: 100 years since Jacobaeus. Respiration; international review of thoracic diseases. 2010;79(3):177-86.
12. Jacobaeus HC. Über die Möglichkeit, die Zystoskopie bei Untersuchung seröser Höhlungen anzuwenden. Münch med Wschr. 1910;57:2090-2.
13. Kelling G. Über Oesophagoskopie, Gastroskopie und Kōlioskopie. Münch med Wschr. 1902;1:21-4.
14. Mineo TC, Ambrogi V. A glance at the history of uniportal video-assisted thoracic surgery. Journal of visualized surgery. 2017;3:157.
15. Hatzinger M, Kwon ST, Langbein S, Kamp S, Hacker A, Alken P. Hans Christian Jacobaeus: Inventor of human laparoscopy and thoracoscopy. Journal of endourology. 2006;20(11):848-50.
16. Kiyokazu Nakajima Md P, W. Milsom Md J, Böhm Md B. History of Laparoscopic Surgery 2006. 1-9 p.
17. Semm K. Endoscopic appendectomy. Endoscopy. 1983;15(2):59-64.
18. Mühe E. 296. Die erste Cholecystektomie durch das Laparoskop. Langenbecks Archiv für Chirurgie. 1986;369(1):804-.
19. McKenna RJ, Jr. Lobectomy by video-assisted thoracic surgery with mediastinal node sampling for lung cancer. The Journal of thoracic and cardiovascular surgery. 1994;107(3):879-81; discussion 81-2.
20. Lewis RJ, Caccavale RJ, Sisler GE, Mackenzie JW. One hundred consecutive patients undergoing video-assisted thoracic operations. The Annals of thoracic surgery. 1992;54(3):421-6.
21. Hofmann H-S. VATS – Technik und Indikation. Der Chirurg. 2015;86(7):711-21.
22. Iwata H. Minimally invasive pulmonary surgery for lung cancer, up to date. General thoracic and cardiovascular surgery. 2013;61(8):449-54.

23. Desai H, Natt B, Kim S, Bime C. Decreased In-Hospital Mortality after Lobectomy Using Video-assisted Thoracoscopic Surgery Compared with Open Thoracotomy. *Annals of the American Thoracic Society*. 2017;14(2):262-6.
24. Odaka M, Tsukamoto Y, Shibasaki T, Katou D, Mori S, Asano H, et al. Thoracoscopic thymectomy is a feasible and less invasive alternative for the surgical treatment of large thymomas. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2017;25(1):103-8.
25. Oosthuizen GV, Clarke DL, Laing GL, Bruce J, Kong VY, Van Staden N, et al. Introducing video-assisted thoracoscopy for trauma into a South African township hospital. *World journal of surgery*. 2013;37(7):1652-5.
26. Goto T, Kadota Y, Mori T, Yamashita S, Horio H, Nagayasu T, et al. Video-assisted thoracic surgery for pneumothorax: republication of a systematic review and a proposal by the guideline committee of the Japanese association for chest surgery 2014. *General thoracic and cardiovascular surgery*. 2015;63(1):8-13.
27. Tan JT, Zhong JH, Yang Y, Mao NQ, Liu DS, Huang DM, et al. Comparison of postoperative immune function in patients with thoracic esophageal cancer after video-assisted thoracoscopic surgery or conventional open esophagectomy. *International journal of surgery (London, England)*. 2016;30:155-60.
28. Xue Y, Wang YY, Zhang K, Cong W, He B, Zeng FC. A Study of Complete Video-Assisted Thoracoscopic Surgery Lobectomy in Treatment of Elderly Patients with Non-Small Cell Lung Cancer: Curative Effect and Impact on Clinical Prognosis. *Cell biochemistry and biophysics*. 2015;73(2):399-404.
29. Bertani A, Ferrari PA, De Monte L, Russo E, Di Paola G. Video-assisted thoracic surgery lobectomy in patients with reduced pulmonary function: a single-center series. *Future oncology (London, England)*. 2016;12(23s):39-45.
30. Van Bael K, La Meir M, Vanoverbeke H. Video-assisted Thoracoscopic Resection of a Giant Bulla in Vanishing Lung Syndrome: case report and a short literature review. *Journal of cardiothoracic surgery*. 2014;9:4.
31. Alar T, Ozcelik C. Single-incision thoracoscopic surgery of pleural effusions for diagnosis and treatment. *Surgical endoscopy*. 2013;27(11):4333-6.
32. Yoon DW, Cho JH, Choi YS, Kim J, Kim HK, Zo JI, et al. Predictors of survival in patients who underwent video-assisted thoracic surgery talc pleurodesis for malignant pleural effusion. *Thoracic Cancer*. 2016;7(4):393-8.
33. Jeon HW, Cho DG, Park JK, Hyun KY, Choi SY, Suh JH, et al. Prognostic factors affecting survival of patients with cancer-related pericardial effusion managed by surgery. *World journal of surgical oncology*. 2014;12:249.

34. Vannucci F, Araújo JA. Thoracic sympathectomy for hyperhidrosis: from surgical indications to clinical results. *Journal of thoracic disease*. 2017;9(Suppl 3):S178-92.
35. Han Y, Zhen D, Liu Z, Xu S, Liu S, Qin M, et al. Surgical treatment for pulmonary tuberculosis: is video-assisted thoracic surgery “better” than thoracotomy? *Journal of thoracic disease*. 2015;7(8):1452-8.
36. Paul S, Altorki NK, Sheng S, Lee PC, Harpole DH, Onaitis MW, et al. Thoracoscopic lobectomy is associated with lower morbidity than open lobectomy: a propensity-matched analysis from the STS database. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2010;139(2):366-78.
37. Begum S, Hansen HJ, Papagiannopoulos K. VATS anatomic lung resections-the European experience. *Journal of thoracic disease*. 2014;6 Suppl 2:S203-10.
38. Hansen HJ, Petersen RH. Video-assisted thoracoscopic lobectomy using a standardized three-port anterior approach - The Copenhagen experience. *Annals of Cardiothoracic Surgery*. 2012;1(1):70-6.
39. Perentes JY, Krueger T, Lovis A, Ris HB, Gonzalez M. Thoracoscopic resection of pulmonary metastasis: current practice and results. *Critical reviews in oncology/hematology*. 2015;95(1):105-13.
40. Dudek W, Schreiner W, Stapel P, Vassos N, Grutzmann R, Sirbu H. [Surgery of colorectal lung metastases : Results of a survey in Germany]. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizen*. 2017;88(6):512-7.
41. Murakawa T, Sato H, Okumura S, Nakajima J, Horio H, Ozeki Y, et al. Thoracoscopic surgery versus open surgery for lung metastases of colorectal cancer: a multi-institutional retrospective analysis using propensity score adjustmentdagger. *European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. 2017;51(6):1157-63.
42. Ettinger DS, Akerley W, Bepler G, Blum MG, Chang A, Cheney RT, et al. Non-small cell lung cancer. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network : JNCCN*. 2010;8(7):740-801.
43. Zurek W. VATS lobectomy – new era in surgical treatment of NSCLC. memo - *Magazine of European Medical Oncology*. 2011;4(1):10-5.
44. Congregado M, Merchan RJ, Gallardo G, Ayarra J, Loscertales J. Video-assisted thoracic surgery (VATS) lobectomy: 13 years' experience. *Surgical endoscopy*. 2008;22(8):1852-7.
45. McKenna RJ, Jr., Houck W, Fuller CB. Video-assisted thoracic surgery lobectomy: experience with 1,100 cases. *The Annals of thoracic surgery*. 2006;81(2):421-5; discussion 5-6.
46. Carballo M, Maish MS, Jaroszewski DE, Holmes CE. Video-assisted thoracic surgery (VATS) as a safe alternative for the resection of pulmonary

metastases: a retrospective cohort study. *Journal of cardiothoracic surgery*. 2009;4:13.

47. Paul S, Isaacs AJ, Treasure T, Altorki NK, Sedrakyan A. Long term survival with thoracoscopic versus open lobectomy: propensity matched comparative analysis using SEER-Medicare database. *BMJ (Clinical research ed)*. 2014;349:g5575.
48. Yang HX, Woo KM, Sima CS, Bains MS, Adusumilli PS, Huang J, et al. Long-term Survival Based on the Surgical Approach to Lobectomy For Clinical Stage I Nonsmall Cell Lung Cancer: Comparison of Robotic, Video-assisted Thoracic Surgery, and Thoracotomy Lobectomy. *Annals of surgery*. 2017;265(2):431-7.
49. Yan TD, Black D, Bannon PG, McCaughan BC. Systematic review and meta-analysis of randomized and nonrandomized trials on safety and efficacy of video-assisted thoracic surgery lobectomy for early-stage non-small-cell lung cancer. *Journal of clinical oncology : official journal of the American Society of Clinical Oncology*. 2009;27(15):2553-62.
50. Yim AP, Lee TW, Izzat MB, Wan S. Place of video-thoracoscopy in thoracic surgical practice. *World journal of surgery*. 2001;25(2):157-61.
51. Watanabe A, Koyanagi T, Ohsawa H, Mawatari T, Nakashima S, Takahashi N, et al. Systematic node dissection by VATS is not inferior to that through an open thoracotomy: a comparative clinicopathologic retrospective study. *Surgery*. 2005;138(3):510-7.
52. Mendogni P, Tosi D, Rosso L, Palleschi A, Cattaneo M, Mazzucco A, et al. VATS segmentectomy: an underused option? *Journal of visualized surgery*. 2017;3:136.
53. Zhao X, Qian L, Luo Q, Huang J. Segmentectomy as a safe and equally effective surgical option under complete video-assisted thoracic surgery for patients of stage I non-small cell lung cancer. *Journal of cardiothoracic surgery*. 2013;8:116.
54. Shiraishi T, Shirakusa T, Iwasaki A, Hiratsuka M, Yamamoto S, Kawahara K. Video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) segmentectomy for small peripheral lung cancer tumors: intermediate results. *Surgical endoscopy*. 2004;18(11):1657-62.
55. Okumura M, Goto M, Ideguchi K, Tamura M, Sasaki H, Tanaka H, et al. Factors associated with outcome of segmentectomy for non-small cell lung cancer: long-term follow-up study at a single institution in Japan. *Lung cancer (Amsterdam, Netherlands)*. 2007;58(2):231-7.
56. Whitson BA, Groth SS, Andrade RS, Maddaus MA, Habermann EB, D'Cunha J. Survival after lobectomy versus segmentectomy for stage I non-small cell lung cancer: a population-based analysis. *The Annals of thoracic surgery*. 2011;92(6):1943-50.

57. Yang CJ, Fitch ZW, Balderson SS, Deng JZ, D'Amico TA. Anatomic thoracoscopic segmentectomy for early-stage lung cancer. *Journal of visualized surgery*. 2017;3:123.
58. Sekhniaidze D, Agasiev M, Obuhova T. Uniportal sleeve lobectomy for lung cancer. *Journal of visualized surgery*. 2017;3.
59. Boffa DJ, Allen MS, Grab JD, Gaissert HA, Harpole DH, Wright CD. Data from The Society of Thoracic Surgeons General Thoracic Surgery database: the surgical management of primary lung tumors. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2008;135(2):247-54.
60. Frank C. Detterbeck TK. *Video - assisted Thoracoscopic Lobectomy*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2014.
61. Augustin F, Schmid T, Lucciarini P, Bieck S, Bodner J. Minimally invasive lung lobectomy: indication, patient selection, surgical technique and outcome. *European Surgery*. 2010;42(5):204-8.
62. Zardo P, Weidener C, Fischer S. Expertentechniken in der Thoraxchirurgie. *Zeitschrift für Herz-,Thorax- und Gefäßchirurgie*. 2011;25(2):73.
63. Kamiyoshihara M, Nagashima T, Ibe T, Takeyoshi I. A tip for controlling the main pulmonary artery during video-assisted thoracic major pulmonary resection: the outside-field vascular clamping technique. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2010;11(5):693-5.
64. Hashimoto M, Tanaka F, Yoneda K, Takuwa T, Matsumoto S, Okumura Y, et al. Significant increase in circulating tumour cells in pulmonary venous blood during surgical manipulation in patients with primary lung cancer. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2014;18(6):775-83.
65. Hansen HJ, Petersen RH, Christensen M. Video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) lobectomy using a standardized anterior approach. *Surgical endoscopy*. 2011;25(4):1263-9.
66. Yan TD. *Surgical atlas of thoracoscopic lobectomy and segmentectomy*. *Annals of Cardiothoracic Surgery*. 2014;3(2):183-91.
67. Iwata H, Shirahashi K, Mizuno Y, Matsui M, Takemura H. Surgical technique of lung segmental resection with two intersegmental planes. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2013;16(4):423-5.
68. Witte B, Wolf M, Hillebrand H, Huertgen M. Complete video-assisted thoracoscopic surgery anatomic segmentectomy for clinical stage I lung carcinoma - technique and feasibility. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2011;13(2):148-52.
69. Lin L, Hu D, Zhong C, Zhao H. Safety and efficacy of thoracoscopic wedge resection for elderly high-risk patients with stage I peripheral non-small-cell lung cancer. *Journal of cardiothoracic surgery*. 2013;8:231.
70. von Hayek H. *Die menschliche Lunge*: Springer Berlin Heidelberg; 2013.
71. Łochowski MP, Kozak J. Video-assisted thoracic surgery complications. *Videosurgery and other Miniinvasive Techniques*. 2014;9(4):495-500.

72. Hofmann HS. [Complications in thoracic surgery : reports from experienced thoracic surgeons]. *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin*. 2015;86(5):409.
73. Agostini P, Lugg ST, Adams K, Vartsaba N, Kalkat MS, Rajesh PB, et al. Postoperative pulmonary complications and rehabilitation requirements following lobectomy: a propensity score matched study of patients undergoing video-assisted thoracoscopic surgery versus thoracotomy. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2017;24(6):931-7.
74. Parekh K, Rusch V, Bains M, Downey R, Ginsberg R. VATS port site recurrence: a technique dependent problem. *Annals of surgical oncology*. 2001;8(2):175-8.
75. Yamashita S, Tokuishi K, Moroga T, Abe S, Yamamoto K, Miyahara S, et al. Totally thoracoscopic surgery and troubleshooting for bleeding in non-small cell lung cancer. *The Annals of thoracic surgery*. 2013;95(3):994-9.
76. Stelzer MK, Abdel MP, Sloan MP, Gould JC. Dry lab practice leads to improved laparoscopic performance in the operating room. *The Journal of surgical research*. 2009;154(1):163-6.
77. Bedetti B, Schnorr P, Schmidt J, Scarci M. The role of wet lab in thoracic surgery. *Journal of visualized surgery*. 2017;3:61.
78. Li X, Wang J, Ferguson MK. Competence versus mastery: the time course for developing proficiency in video-assisted thoracoscopic lobectomy. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2014;147(4):1150-4.
79. Okyere S, Attia R, Toufektzian L, Routledge T. Is the learning curve for video-assisted thoracoscopic lobectomy affected by prior experience in open lobectomy? *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2015;21(1):108-12.
80. Mazzella A, Olland A, Falcoz PE, Renaud S, Santelmo N, Massard G. Video-assisted thoracoscopic lobectomy: which is the learning curve of an experienced consultant? *Journal of thoracic disease*. 2016;8(9):2444-53.
81. Nagendran M, Gurusamy KS, Aggarwal R, Loizidou M, Davidson BR. Virtual reality training for surgical trainees in laparoscopic surgery. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2013(8):Cd006575.
82. Gurusamy KS, Nagendran M, Toon CD, Davidson BR. Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with limited prior laparoscopic experience. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2014(3):Cd010478.
83. Nagendran M, Toon CD, Davidson BR, Gurusamy KS. Laparoscopic surgical box model training for surgical trainees with no prior laparoscopic experience. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2014(1):Cd010479.
84. Jensen K, Ringsted C, Hansen HJ, Petersen RH, Konge L. Simulation-based training for thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled trial:

virtual-reality versus black-box simulation. *Surgical endoscopy*. 2014;28(6):1821-9.

85. Divisi D, Barone M, Zaccagna G, De Palma A, Gabriele F, Crisci R. Video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy learning curve: what program should be offered in a residency course? *Journal of visualized surgery*. 2017;3:143.
86. Sato T, Morikawa T. Video-assisted thoracoscopic surgery training with a polyvinyl-alcohol hydrogel model mimicking real tissue. *Journal of visualized surgery*. 2017;3:65.
87. Solomon B, Bizekis C, Dellis SL, Donington JS, Oliker A, Balsam LB, et al. Simulating video-assisted thoracoscopic lobectomy: a virtual reality cognitive task simulation. *The Journal of thoracic and cardiovascular surgery*. 2011;141(1):249-55.
88. Iwasaki A, Moriyama S, Shirakusa T. New trainer for video-assisted thoracic surgery lobectomy. *The Thoracic and cardiovascular surgeon*. 2008;56(1):32-6.
89. Obuchi T, Imakiire T, Miyahara S, Nakashima H, Hamanaka W, Yanagisawa J, et al. Off-the-job training for VATS employing anatomically correct lung models. *Surgery today*. 2012;42(3):303-5.
90. Tedde ML, Brito Filho F, Belmonte Ede A, Pinto Filho DR, Pereira ST, Okumura EM, et al. Video-assisted thoracoscopic surgery in swine: an animal model for thoracoscopic lobectomy training. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2015;21(2):224-30.
91. Kobayashi E, Hishikawa S, Teratani T, Lefor AT. The pig as a model for translational research: overview of porcine animal models at Jichi Medical University. *Transplantation research*. 2012;1(1):8.
92. Judge EP, Hughes JM, Egan JJ, Maguire M, Molloy EL, O'Dea S. Anatomy and bronchoscopy of the porcine lung. A model for translational respiratory medicine. *American journal of respiratory cell and molecular biology*. 2014;51(3):334-43.
93. Meyerson SL, LoCascio F, Balderson SS, D'Amico TA. An inexpensive, reproducible tissue simulator for teaching thoracoscopic lobectomy. *The Annals of thoracic surgery*. 2010;89(2):594-7.
94. Tong BC, Gustafson MR, Balderson SS, D'Amico TA, Meyerson SL. Validation of a thoracoscopic lobectomy simulator. *European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. 2012;42(2):364-9; discussion 9.
95. Szinicz G, Beller S, Bodner W, Zerz A, Glaser K. Simulated operations by pulsatile organ-perfusion in minimally invasive surgery. *Surgical laparoscopy & endoscopy*. 1993;3(4):315-7.
96. Oizumi H, Kato H, Endoh M, Suzuki J, Watarai H, Hamada A, et al. Swine model for training surgeons in minimally invasive anatomic lung segmentectomy. *Journal of visualized surgery*. 2017;3:72.

97. Denner J. Xenotransplantation - A special case of One Health. *One health* (Amsterdam, Netherlands). 2017;3:17-22.
98. Fan B, Gorbach DM, Rothschild MF. The pig genome project has plenty to squeal about. *Cytogenetic and genome research*. 2011;134(1):9-18.
99. Ballard ST, Evans JW, Drag HS, Schuler M. Pathophysiologic evaluation of the transgenic CFTR "gut-corrected" porcine model of cystic fibrosis. *American journal of physiology Lung cellular and molecular physiology*. 2016:ajplung.00242.2016.
100. Dondelinger RF, Ghysels MP, Brisbois D, Donkers E, Snaps FR, Saunders J, et al. Relevant radiological anatomy of the pig as a training model in interventional radiology. *European radiology*. 1998;8(7):1254-73.
101. Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Frewein J. *Eingeweide. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere 2: Parey*; 2004.
102. Amore D, Curcio C. Steps in the development of a VATS lobectomy program. *Journal of visualized surgery*. 2017;3:104.
103. Vilaca J, Pinto JP, Fernandes S, Costa P, Pinto JC, Leao P. Comparative Study of 2D and 3D Optical Imaging Systems: Laparoendoscopic Single-Site Surgery in an Ex Vivo Model. *Surgical innovation*. 2017;24(6):598-604.
104. Domhan L, Johannink J, Miller J, Steger V, Linder A, Kirschniak A, et al. TuThor: an innovative new training model for video-assisted thoracic surgery. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2020;30(3):477-82.
105. Abbas AE. Surgical Management of Lung Cancer: History, Evolution, and Modern Advances. *Current oncology reports*. 2018;20(12):98.
106. Nashaat A, Sidhu HS, Yatham S, Al-Azzawi M, Preece R. Simulation training for lobectomy: a review of current literature and future directions. *European journal of cardio-thoracic surgery : official journal of the European Association for Cardio-thoracic Surgery*. 2019;55(3):386-94.
107. Mei J, Pu Q, Liao H, Ma L, Zhu Y, Liu L. A novel method for troubleshooting vascular injury during anatomic thoracoscopic pulmonary resection without conversion to thoracotomy. *Surgical endoscopy*. 2013;27(2):530-7.
108. Kim RH, Takabe K, Lockhart CG. A hybrid technique: video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) pulmonary resections for community-based surgeons. *Surgical endoscopy*. 2010;24(3):700-4.
109. Lampl L. Vorbeugung und Behandlung intraoperativer Komplikationen bei thoraxchirurgischen Eingriffen. *Der Chirurg*. 2015;86(5):423-31.
110. Sachs TE, Pawlik TM. See one, do one, and teach none: resident experience as a teaching assistant. *The Journal of surgical research*. 2015;195(1):44-51.
111. James H. Use of cadavers to train surgeons: what are the ethical issues? *Journal of medical ethics*. 2019.

112. Saw A. A New Approach to Body Donation for Medical Education: The Silent Mentor Programme. *Malaysian orthopaedic journal*. 2018;12(2):68-72.
113. Jensen K, Bjerrum F, Hansen HJ, Petersen RH, Pedersen JH, Konge L. A new possibility in thoracoscopic virtual reality simulation training: development and testing of a novel virtual reality simulator for video-assisted thoracoscopic surgery lobectomy. *Interactive cardiovascular and thoracic surgery*. 2015;21(4):420-6.
114. Jensen K, Bjerrum F, Hansen HJ, Petersen RH, Pedersen JH, Konge L. Using virtual reality simulation to assess competence in video-assisted thoracoscopic surgery (VATS) lobectomy. *Surgical endoscopy*. 2017;31(6):2520-8.
115. Nickel F, Bintintan VV, Gehrig T, Kenngott HG, Fischer L, Gutt CN, et al. Virtual reality does not meet expectations in a pilot study on multimodal laparoscopic surgery training. *World journal of surgery*. 2013;37(5):965-73.
116. Jimenez M, Gomez-Hernandez MT. Teaching video-assisted thoracic surgery lobectomy—using an ex vivo simulation model. *Journal of visualized surgery*. 2017;3.
117. Avila R, Achurra P, Tejos R, Varas J, Solovera M, Salas P. Uniportal video-assisted thoracic surgery lobectomy using a novel perfused ex vivo simulation model. *Journal of visualized surgery*. 2016;2:155.
118. Gonzalez-Rivas D. VATS lobectomy: surgical evolution from conventional VATS to uniportal approach. *TheScientificWorldJournal*. 2012;2012:780842.
119. Reinersman JM, Passera E, Rocco G. Overview of uniportal video-assisted thoracic surgery (VATS): past and present. *Annals of Cardiothoracic Surgery*. 2016;5(2):112-7.
120. Ismail M, Swierzy M, Ulrich M, Ruckert JC. [Application of the da Vinci robotic system in thoracic surgery]. *Der Chirurg; Zeitschrift fur alle Gebiete der operativen Medizen*. 2013;84(8):643-50.
121. Li C, Hu Y, Huang J, Li J, Jiang L, Lin H, et al. Comparison of robotic-assisted lobectomy with video-assisted thoracic surgery for stage IIB-III A non-small cell lung cancer. *Translational lung cancer research*. 2019;8(6):820-8.
122. Bauer C, Adam R, Stoltz DA, Beichel RR. Computer-aided analysis of airway trees in micro-CT scans of ex vivo porcine lung tissue. *Computerized medical imaging and graphics : the official journal of the Computerized Medical Imaging Society*. 2012;36(8):601-9.
123. Nakakuki S. Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *The Journal of veterinary medical science*. 1994;56(4):685-9.
124. Doolittle AM, Mair EA. Tracheal bronchus: classification, endoscopic analysis, and airway management. *Otolaryngology--head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery*. 2002;126(3):240-3.

125. Wooten C, Patel S, Cassidy L, Watanabe K, Matusz P, Tubbs RS, et al. Variations of the tracheobronchial tree: anatomical and clinical significance. *Clinical anatomy (New York, NY)*. 2014;27(8):1223-33.
126. Nickel R, Schummer A, Habermehl KH, Seiferle E, Vollmerhaus B, Wilkens H, et al. *Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane*: Parey; 2005.

11 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Konzeption der Studie erfolgte durch Prof Dr. Andreas Kirschniak, Leiter der Arbeitsgruppe Chirurgische Technologie und Training und Chefarzt, in Zusammenarbeit mit mir, Lorenz Domhan, ehemals ungeprüfte wissenschaftliche Hilfskraft, heute Doktorand und ärztlicher Kollege.

Die Versuche an den Schlachtorganen wurden von mir durchgeführt. Die Planung und Vorbereitung der einzelnen Versuche geschah durch mich in Absprache mit Prof. Dr. Andreas Kirschniak. Die Präparation der Organe geschah nach dem Eigenstudium arbeitsgruppeneigener Vorarbeiten durch mich. Die thoraxchirurgische Manipulation erfolgte durch Prof. Dr. Andreas Kirschniak sowie Prof. Dr. Albert Linder mit Assistenz durch mich. Die Aufzeichnung und Auswertung erfolgten durch mich. Die Publikation erfolgte durch Professor Dr. Andreas Kirschniak, Dr. Peter Wilhelm, Facharzt, und mich. Die Daten beruhen auf der von mir durchgeführten Dokumentation und Auswertung. Die Autorenschaft des Textes liegt bei mir.

Ich versichere das Manuskript selbständig unter Betreuung durch Prof. Dr. Andreas Kirschniak und Facharzt Dr. Peter Wilhelm verfasst und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen den

Lorenz Domhan

12 Publikation

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in den folgenden Publikationen veröffentlicht und in der vorliegenden Dissertation entsprechend gekennzeichnet:

Domhan L, Johannink J, Miller J, Steger V, Linder A, Kirschniak A, Wilhelm P. TuThor: an innovative new training model for video-assisted thoracic surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2020 Mar 1;30(3):477-482. doi: 10.1093/icvts/ivz270. PMID: 31778173.