

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf

Institut für Rechtsmedizin

Direktor: Prof. Dr. med. Klaus Püschel

Systematische Erfassung von frühpostmortalen Veränderungen an den Organen Lunge und Herz mittels Computertomographie

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.

vorgelegt von:

Wencke Cornelia Uhle
geboren in Rendsburg

Hamburg 2013

**Angenommen von der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am:**

27.06.2014

**Veröffentlicht mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg.**

Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende:

Prof. Dr. Klaus Püschel

Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in:

Prof. Dr. Ulrike Wedegärtner

~~Prüfungsausschuss, dritte/r Gutachter/in:~~

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Material und Methoden	9
2.1	Datenerhebung und untersuchte Todesfälle	9
2.1.1	Übersicht zu den Verstorbenen	14
2.2	Auswertung	16
2.2.1	Methodik zur Auswertung des Herzens	16
2.2.2	Methodik zur Auswertung der Lunge.....	20
2.3	Statistische Analyse	35
3	Ergebnisse	38
3.1	Temperaturentwicklung	38
3.2	Herz	41
3.2.1	Die Vorhöfe.....	41
3.2.2	Die Ventrikel	45
3.2.3	Das Herz gesamt.....	48
3.3	Die Lunge	51
3.3.1	Ösophagus und Trachea	51
3.3.2	Die Hauptbronchien.....	52
3.3.3	Das Bronchiogramm	53
3.3.4	Pleuraerguss quantitativ.....	55
3.3.5	Pleuraerguss qualitativ.....	57
3.3.6	Der ventrale Pleuraerguss.....	59
3.3.7	Parenchymzeichnung qualitativ	60
3.3.8	Parenchymtransparenz quantitativ	61
3.3.9	Zentrale Gefäßzeichnung.....	64
3.3.10	Periphere Gefäßzeichnung	65
3.3.11	Niveau- und Frontbildung qualitativ.....	66
3.3.12	Niveaumessung quantitativ	67
3.3.13	Segmenttransparenz qualitativ	68
3.3.14	Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts qualitativ.....	70
3.3.15	Thoraxhöhe.....	71
3.3.16	Korrelationen nach Pearson	73
4	Diskussion	77
4.1	Allgemeine Ergebnisse	77
4.1.1	Die Entwicklung der Temperatur.....	77

4.1.2	Die Entwicklung der Thoraxhöhe	77
4.1.3	Die Entwicklung des Pleuraergusses	77
4.1.4	Die Entwicklung der Herzvolumina	79
4.1.5	Die Entwicklung des Ösophagus und der Trachea	80
4.1.6	Die Entwicklung der Bronchien	80
4.1.7	Die Entwicklung der Gefäßzeichnung	82
4.1.8	Die Entwicklung der Parenchymzeichnung	83
4.1.9	Die Entwicklung der Parenchymtransparenz	83
4.1.10	Die Entwicklung der Segmenttransparenz	84
4.1.11	Die Entwicklung der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts	85
4.1.12	Die Entwicklung der Niveau- und Frontbildung	85
4.1.13	Besondere Befunde	86
4.2	Einflussvariablen für die Entwicklung	89
4.2.1	Einflussvariable BMI	89
4.2.2	Einflussvariable relatives Blutvolumen	90
4.2.3	Einflussvariable Temperatur	90
4.2.4	Einflussvariable Todesursache	91
4.3	Fazit	92
4.3.1	Schwierige Beurteilbarkeit	92
4.3.2	Kooperation und Standards	93
5	Zusammenfassung	94
6	Abkürzungsverzeichnis	97
7	Literaturverzeichnis	99
8	Abbildungsverzeichnis	102
9	Tabellenverzeichnis	105
10	Danksagung	107
11	Lebenslauf	109
12	Eidesstattliche Versicherung	110

*"Keines verbleibt in derselben Gestalt,
und Veränderung liebend schafft die Natur
stets neu aus anderen andere Formen,
und in der Weite der Welt geht nichts
- das glaubt mir - verloren;*

*Wechsel und Tausch ist nur in der Form.
Entstehen und Werden heißt nur
anders als sonst angefangen zu sein,
und Vergehen nicht mehr sein wie zuvor.*

*Sei hierhin jenes versetzt,
dieses vielleicht dorthin:
Im Ganzen ist alles beständig.
Unter dem selbigen Bild - so glaub' ich –
beharrt auf die Dauer nichts in der Welt."*

Ovid, "Metamorphosen",
Buch 15, Seite 252-258

1 Einleitung

In der Radiologie war es ein langer Weg von der ersten Anfertigung eines Röntgenbildes durch Wilhelm Conrad Röntgen, 1895, bis zur Entwicklung der Computertomographie durch G. N. Hounsfield, 1971 (Kauffmann et al. 2006), und ähnlich langsam scheinen sich die Innovationen der Radiologie auf die rechtsmedizinische Praxis auszuwirken. So wurde zwar schon vor Jahrzehnten der allgemeine Nutzen der Radiologie für die Rechtsmedizin bekannt und die zunehmende Bedeutung für den forensischen Alltag beschrieben (Ros et al. 1990, Brogdon 1998), doch bezogen sich diese Ausführungen mehr auf die klassische Röntgendiagnostik und weniger auf Neuerungen wie die Nutzung des CT oder MRT.

Wie in vielen Lehrbüchern beschrieben, findet im rechtsmedizinischen Alltag die Radiologie vor allem Anwendung, wenn es um die Bestimmung des Alters anhand von Zahnentwicklung oder Epiphysenfugenschluss geht, bei Schussverletzungen zur Detektion eines Projektils oder um allgemein Knochenbrüche darzustellen bzw. im speziellen bei Kindern und Säuglingen Knochenbrüche nicht zu übersehen (Dettmeyer & Verhoff 2011).

Schlägt man allerdings aktuelle Fachzeitschriften auf, wird es deutlich, dass im Laufe der letzten Jahre die neuere Bildgebung mittels Computertomographie und Magnetresonanztomographie als unterstützendes Element zur klassischen Autopsie in der Rechtsmedizin deutlich an Raum und Bedeutung gewonnen hat (Rutty et al. 2008). Zwar ist man weit entfernt davon zu behaupten, der Radiologe könnte den Rechtsmediziner in einer Autopsie ersetzen, jedoch reift durch mehr und mehr Studien der Gedanke, dass die klassische Autopsie durch die Bildgebung postmortem sinnvoll ergänzt werden kann (Donchin et al. 1994, Shiotani et al. 2004, Rutty et al. 2008). Radiologische Befunde postmortem wie z.B. ein Pneumothorax können das Herangehen eines Rechtsmediziners an eine Autopsie verändern und gleichzeitig die Diagnostik ergänzen. Darüberhinaus lassen sich mittels nicht-invasiver Bildgebung neue Erkenntnisse über die Veränderungen eines Leichnams postmortem über einen längeren Zeitraum gewinnen, die sich durch invasive Methoden nicht oder eben nur einmalig erheben lassen.

Den großen Fortschritt der letzten Jahre in der Anwendung der modernen Bildgebung in der Rechtsmedizin erarbeiteten vor allem Forschungsgruppen um Prof. Dr. Thali an der Universität Bern. Sie beschreiten durch das „Virtopsy“-Projekt neue Wege (Thali et al. 2007) und beschreiben den weltweiten Einsatz von Gasanalysen, Gefäßuntersuchungen oder Organ- und Oberflächenrekonstruktionen postmortem unter Zuhilfenahme von CT bzw. MRT (Oesterhelweg & Thali 2009), um den Nutzen dieser nicht-invasiven Technik für den Lebenden nun auch auf den Verstorbenen zu übertragen (Bisset et al. 2002, Rutty 2007, Bollinger et al. 2008).

Doch mit neuen Anwendungsgebieten stellen sich auch neue Fragen, so können die erhobenen Befunde bei Verstorbenen rein technisch genauso gewonnen werden wie bei Lebenden, doch können diese auch genauso interpretiert werden? Wie lassen sich z.B. durch spezielle Lagerungen Artefakte vermeiden? Welche Betrachtungs- bzw. Auswertungsmöglichkeiten der Bildgebung postmortem gibt es?

Wie sich ein Körper nach dem Tod morphologisch verändert, kann mittels Autopsie und rechtsmedizinischen Standards in begrenztem Maße festgestellt werden und ist in der Literatur seit Jahrhunderten festgehalten. Aber wie verändert sich ein Körper nach dem Tod in der modernen Bildgebung? Was zeigt sich über die Zeit postmortem in der Bildgebung, was vorher vielleicht noch nicht da war oder erst vorhanden und dann wieder verschwunden ist? Welche potentiellen Fehldeutungen gibt es aus Sicht der Erfahrungen der klinischen Radiologie aufgrund von postmortal entstehenden Phänomenen und wie groß sind die Streubreiten möglicher Veränderungen bzw. Artefakte?

Fragen nach Todesursachen oder Tathergang lassen sich in der Bildgebung oft erschließen, doch lässt sich z.B. anhand von Veränderungen des Leichnams in der Bildgebung auf die Liegezeit postmortem schließen und in wie weit sind bei bestimmten Feststellungen z.B. an Lunge und Herz Analogie-Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt zulässig?

Die vorliegende Arbeit stellt eine der noch sehr seltenen prospektiven Studien mit großem Studienkollektiv auf diesem Gebiet dar und versucht, sich einiger der aufkommenden Fragen in der Computertomographie postmortem anzunehmen.

Im Speziellen werden prospektiv beginnend frühpostmortal über einen Zeitraum von bis zu 96 Stunden nach dem Tod die Organe Lunge und Herz sowie angrenzende Strukturen wie Ösophagus und Trachea im CT postmortem anhand ihres radiologischen Erscheinungsbildes deskriptiv beurteilt und des Weiteren der Einfluss von äußeren Rahmenbedingungen sowie mit dem Leichnam verbundenen Eigenschaften wie Temperatur oder Body-Mass-Index verglichen.

Die verschiedenen radiologischen Befunde am Lebenden sind in der Literatur klar definiert (Bücheler et al. 1998). Doch wie verhält es sich radiologisch postmortem mit einem Organ wie der Lunge, welches nicht mehr ventiliert wird, oder mit einem Organ wie dem Herzen, welches kein Blut mehr durch das Gefäßsystem pumpt. Mit welchen Veränderungen muss man und mit welchen Veränderungen kann man rechnen bei Organen, bei denen schon beim Lebenden die Faktoren Gasgehalt (Lunge) und Flüssigkeitsgehalt im Hinblick auf ihre radiologische Darstellung eine große Rolle spielen.

Verschiebungen oder Neubildungen von Flüssigkeit oder Gas sind durch Einzelstudien bereits beschrieben worden (Egger et al. 2012) , doch welche Faktoren könnten Einfluss darauf haben?

2 Material und Methoden

Im Verlauf dieser Studie wurden 85 CT-Untersuchungsserien an Verstorbenen aus der Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg Eppendorf (UKE) in einem Zeitraum von etwa 6 Monaten gefertigt (Februar bis August 2011).

2.1 Datenerhebung und untersuchte Todesfälle

In der vorliegenden Studie wurden 85 Verstorbene im Alter von 16 bis 94 Jahren mittels Computertomographie untersucht, welche zum einen verstorbene Patienten aus dem UKE (v.a. der Intensivstation) sowie plötzliche in die Rechtsmedizin eingelieferte Todesfälle umfassten. Todesfälle, für welche die Rechtsmedizin im UKE zur Klärung der Todesart, nach gewaltsamem oder nichtnatürlichem, plötzlichem oder unerwartetem Tod einen zentralen Anlaufpunkt auch über die Grenzen Hamburgs hinaus darstellt.

Drei Fälle wurden im Nachhinein ausgeschlossen, da diese nur über einen Zeitraum von 12 Stunden postmortem gescannt werden konnten, was als ein zu kurzes Zeitintervall für die darauffolgende Auswertung definiert wurde.

Nach Einlieferung der Verstorbenen, deren genauer Sterbezeitpunkt dem Institut für Rechtsmedizin bekannt war, wurden diese in Gruppen eingeteilt; zum einen in die Gruppe „gekühlter“ Verstorbenen und zum anderen in die Gruppe „nicht gekühlter“ Verstorbenen.

Diese Gruppen unterschieden sich zum einen in der Lagerung, da die gekühlten Verstorbenen ab dem ersten CT-Scan nach Einlieferung einer dauerhaften Kühlung bei 4 Grad Celsius im Kühlfach des Instituts für Rechtsmedizin unterlagen, die nur durch die CT- Scans unterbrochen wurde; wohingegen die nicht gekühlten Verstorbenen ohne Kühlung dauerhaft bei einer gleichbleibenden Raumtemperatur von etwa 20-25 Grad Celsius im CT-Raum lagen.

Zum anderen unterschieden sich die Gruppen im Intervall der CT-Scans. Nach Festlegung der Gruppe wurden bei den Verstorbenen beider Gruppen nach einem Erstscan bei Einlieferung und einem zweiten Scan 6 Stunden nach dem Sterbezeitpunkt, weitere CT-Scans alle 6 Stunden gemacht bis zu einem Zeitraum nach 24 Stunden postmortem, an dem sich die Vorgehensweise hinsichtlich des zeitlichen Ablaufprotokolls änderte;

Verstorbene der „nicht gekühlten“ Gruppe wurden dann nur noch einmalig zum Zeitpunkt 36 Stunden postmortem gescannt, wohingegen Verstorbene der „gekühlten“ Gruppe einen CT-Scan wenn möglich zum Zeitpunkt 48 Stunden, 72 Stunden und 96 Stunden postmortem erhielten (vgl. Abbildung 1).

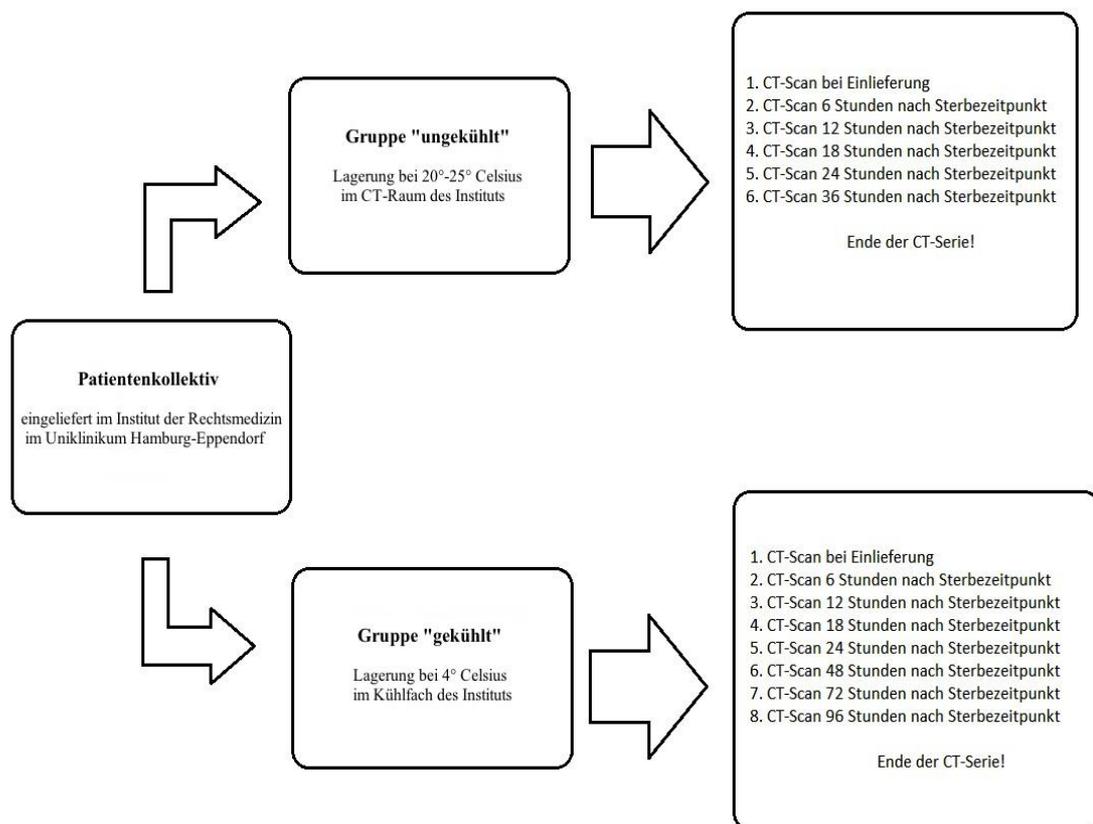


Abbildung 1: Einteilung der untersuchten Todesfälle

Einschlusskriterium dieser Studie war, die Liegezeit postmortem der Verstorbenen beider Gruppen bis zum ersten CT-Scan möglichst kurz zu halten (vgl. Abbildung 2), sodass gezielt diese Fälle rekrutiert wurden; im Mittelwert betrug die Liegezeit der Verstorbenen 3,6 Stunden bis zum ersten CT-Scan (Standardabweichung 1,3 Stunden),

hierbei betrug die minimale Liegezeit eine Stunde und die Maximale Liegezeit 7 Stunden.

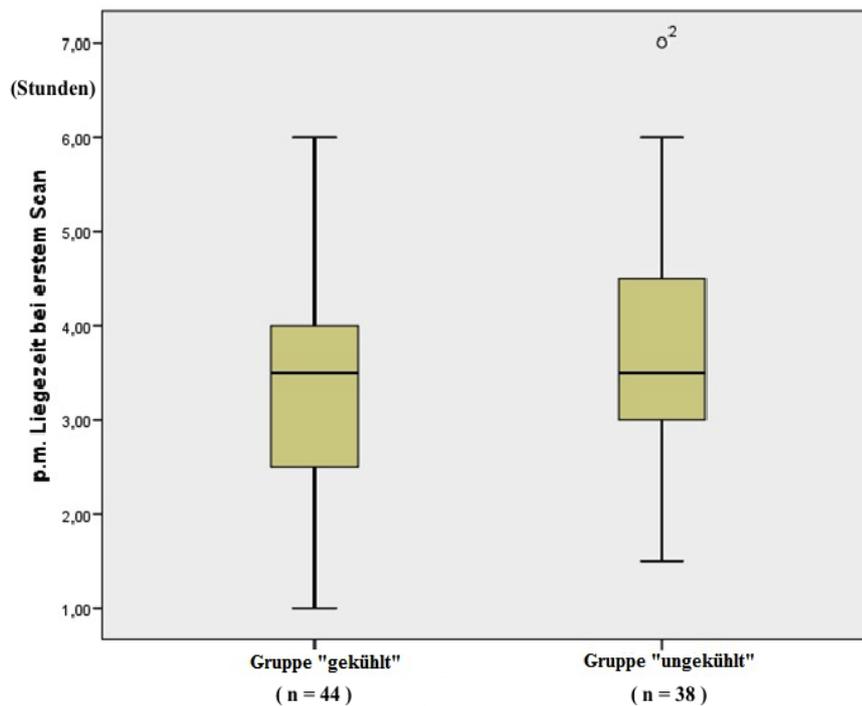


Abbildung 2: Liegezeit postmortem bei erstem Scan

Ausschlusskriterien der Studie umfassten infizierte Todesfälle (u.a. HIV, EHEC, Hepatitis), Eilsektionen sowie Polytraumata mit großen Blutverlusten nach außen.

Die Verstorbenen beider Gruppen wurden im Institut für Rechtsmedizin dauerhaft in Rückenlage auf stählernen, wannenartigen Rolltischen gelagert, nur von einem dünnen Textiltuch bedeckt. Gekühlte Verstorbene wurden zwischen den jeweiligen CT-Scans in einem Kühlfach des Instituts gelagert, wohingegen nicht gekühlte Verstorbene über die gesamte Zeit einer CT-Serie im CT-Raum verblieben. Beim notwendigen Umlagern vom Rolltisch auf den CT-Tisch wurde darauf geachtet, die Körperposition der Verstorbenen nicht zu verändern.

Die Scans wurden bei 80 Todesfällen durchgehend in Rückenlage mit den Füßen voran durchgeführt, wobei vor Aufnahme des Brust/Bauch-Scans die Arme der Verstorbenen über den Kopf bzw. vor Aufnahme des CCT die Arme seitlich zum Körper gelagert wurden, um Artefakte bei der Aufnahme zu vermeiden.

Bei 5 Todesfällen wurde ab dem Scanzeitpunkt 18 Stunden postmortem der verstorbene Körper einmalig gedreht und in Bauchlage ab da an gelagert und gescannt, ebenfalls mit jeweiligen Armumlagerungen zur Vermeidung von Artefakten. Diese ventralen Umlagerungen wurden speziell im Hinblick auf die Betrachtung der Flüssigkeitsverschiebungen postmortem vorgenommen, aus der statistischen Auswertung wurden diese 5 Todesfälle allerdings herausgenommen, aber als „Testfälle“ im Hinblick auf die Entwicklung eines Pleuraergusses deskriptiv betrachtet. Schlussendlich wurden somit 77 Todesfälle statistisch ausgewertet.

Gescannt wurde mit dem Zeilen-Multislice Computertomograph von Philips MX 8000 Quad 4 (vgl. Abbildung 3) mit folgenden CT-Protokollen: Zum einen ein Hirn-Scan vom Scheitel bis zum 7. HWK mit 1.3/0.6 mm (350 mAS), ein Übersichts-Scan vom Scheitel bis zum oberen Drittel des Femurs mit 3.2/1.6 mm (220-240mAS) sowie ein Thoraxscan mit den Begrenzungen oberhalb und unterhalb der Lungen mit 1.3/0.6 mm (330-350 mAS). Die Gesamtdauer des Scanvorgangs betrug in etwa 30 bis 45 Minuten.



Abbildung 3: Computertomograph Philips MX8000 Quad4

(28.10.2012 - www.ecologymedical.com/image/cache/MX8000%2016-120x120.jpg)

Einmalig wurden zu jedem Verstorbenen anfangs allgemeine Daten wie Alter, Größe, Gewicht, BMI, Ödemstatus, sowie Todesursache und Sterbezeit protokolliert (vgl. Abbildung 4 und Abbildung 5).

Zur Einschätzung des Blutvolumens wurde nach 12 Stunden postmortem einmalig die Leichenfleckenhöhe am Thorax im Verhältnis zur gesamten Thoraxhöhe gemessen, wobei hier nur auf das relative Blutvolumen im Körper eines Verstorbenen geschlossen werden konnte; „relativ“, da das Gefäßvolumen des Körpers in Beziehung zur Füllhöhe bei in abhängige Partien in Rückenlage abgesunkenem Blutspiegel gesetzt wurde. Dies stellt eine in der rechtsmedizinischen Praxis gängige Methode zur Einschätzung des Blutvolumens des Verstorbenen während der Leichenschau dar (vgl. Tabelle 4).

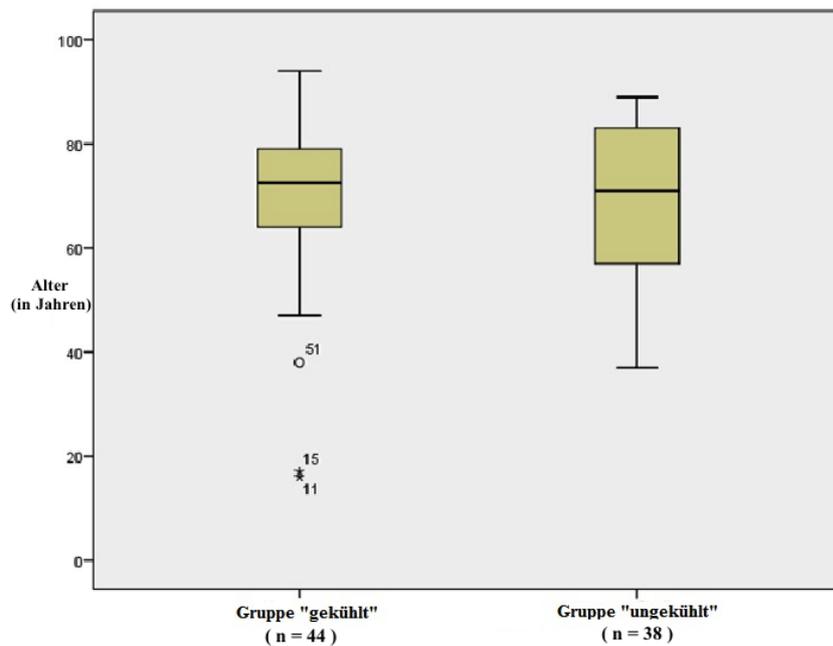


Abbildung 4: Alter der Verstorbenen

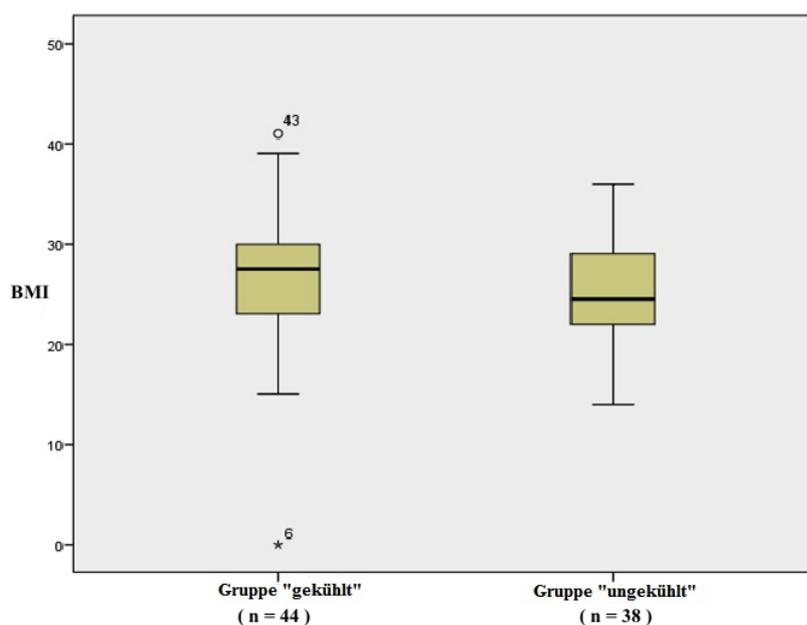


Abbildung 5: BMI der Verstorbenen

Des Weiteren wurde vor Beginn jedes Scans die Rektaltemperatur erfasst und im Verlauf auf Fäulniszeichen wie sogenannte Grünfäulnis geachtet, welche gegebenenfalls zum Abbruch geführt haben (vgl. Abbildung 6). Grünfäulnis bezeichnet das erste sichtbare Zeichen für beginnende Fäulnis, nämlich eine grünliche Verfärbung der Haut zumeist im Bereich des rechten Unterbauches (Madea 2003).

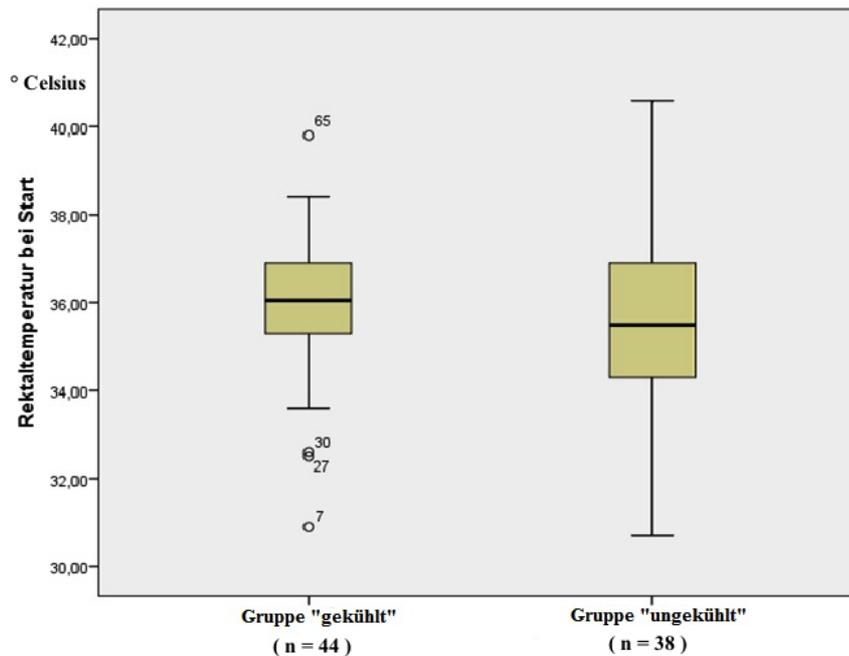


Abbildung 6: Rektaltemperatur bei CT-Serienstart

2.1.1 Übersicht zu den Verstorbenen

Wie bereits beschrieben, umfasste das Studienkollektiv zu Beginn 85 Todesfälle, von denen 3 Todesfälle im Nachhinein ausgeschlossen wurden. Von den verbliebenen 82 Todesfällen wurden wiederum 5 Todesfälle zur separaten deskriptiven Betrachtung aus der statistischen Analyse herausgenommen. Somit umfasste schlussendlich das Studienkollektiv 77 Todesfälle für die statistische Auswertung.

Da es sich aber bei 8 Fällen ergab, dass der erste CT-Scan nach Einlieferung aus zeitlichen Gründen gleichzeitig auch der CT-Scan 6 Stunden postmortem war, fehlte bei diesen Fällen der Wert zu Stunde 0. In diesen Fällen wurde der CT-Scan 6 Stunden postmortem als Erstscan betrachtet und ausgewertet (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Entwicklung der Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs über die Zeit allgemein

Studienkollektiv	N 6h pm	N 12h pm	N 18h pm	N 24h pm	N 36h pm	N 48h pm	N 72h pm	N 96h pm
Gruppe "gekühlt"	41	41	38	40		37	29	22
Gruppe "ungekühlt"	28	28	28	28	25			
gesamt	69	69	66	68	25	37	29	22

Tabelle 2: Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs in den diversen Untergruppen

Studienkollektiv	Summe n (% von n=82)	Gruppe „gekühlt“ (n=44)	Gruppe „ungekühlt“ (n=38)
Bauchlagenscan	5 (6,1%)	2	3
Standard-Rückenlagenscan	77 (93,9%)	42	35
Rechtsmedizinisch Verstorbene	52 (63,4%)	29	23
Universitätsklinik Verstorbene	30 (36,6%)	15	15
Z. n. Reanimation	46 (56,1%)	27	19
Z. n. plötzlichem Todeseintritt	43 (52,4%)	26	17
Z. n. protrahiertem Tod	39 (47,6%)	18	21

Tabelle 3: Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs in Untergruppen der Ödemeinteilung

Studienkollektiv Ödemstatus	Summe n (% von n=82)	Gruppe „gekühlt“ (n=44)	Gruppe „ungekühlt“ (n=38)
Kein/geringes Ödem	30 (36,6%)	19	11
Mäßiges Ödem	26 (31,7%)	19	7
Starkes Ödem	16 (19,5%)	3	13

Der Ödemstatus wurde erst ab dem 11. Todesfall erhoben.

Tabelle 4: Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs in Untergruppen der Blutvolumeneinteilung

Studienkollektiv Relatives Blutvolumen	Summe n (% von n=82)	Gruppe „gekühlt“ (n=44)	Gruppe „ungekühlt“ (n=38)
Sehr geringes Blutvolumen	20 (24,4%)	10	10
Geringes Blutvolumen	21 (25,6%)	16	5
Mäßiges Blutvolumen	20 (24,4%)	12	8
Hohes Blutvolumen	20 (24,4%)	6	14

2.2 Auswertung

Die postmortem CT Bilder wurden mittels der im Internet frei erhältlichen Software OsiRix 3.9.1 (32bit Version) auf einem Mac OS X 10.6.6 untersucht und auf festgelegte Parameter hin ausgewertet. Innerhalb der Software OsiRix 3.9.1 wurde für die Auswertung der Lungen die Einstellung des „Lungenfensters“ mit den Abmessungen für die Länge „WL = -500“ und für die Breite „WW = 1400“ gewählt und für die Auswertung des Herzens die Einstellung des „Abdomenfensters“ mit den Abmessungen für die Länge „WL = 40“ und für die Breite „WW = 350“.

Die Untersuchung an bestimmten Markerregionen erfolgte nach festgelegtem Standard; hierbei wurde am Herzen das Gesamtvolumen, das Volumen der Vorhöfe und das der Ventrikel gemessen. Bei der Lunge wurde speziell auf die Entwicklung der Bronchien und angrenzender Strukturen wie Ösophagus oder Trachea geachtet, sowie auf die Entwicklung des Lungenparenchyms, der Gefäße und etwaiger Ergussbildungen.

2.2.1 Methodik zur Auswertung des Herzens

Die Auswertung des Herzens umfasste die Volumetrie der Vorhöfe und der Ventrikel sowie die Volumetrie der Gesamtgröße des Herzens. Innerhalb der Software OsiRix 3.9.1 (32bit Version) eröffneten sich zwei Optionen der volumetrischen Messung. Zum einen bot sich die Einstellung des 2-/4-Kammerblicks, welche es ermöglichte, das Herz innerhalb der Software so darzustellen, dass man alle 4 Herzhöhlen gleichzeitig betrachten und vermessen konnte; hierbei nutzt man die 3D-MPR-Einstellung, d.h. die dreidimensionale Multi-Planar Reconstruction. Aufgenommene Schnittbilder des Herzens in Transversalebene werden durch die MPR-Funktion in schräge Schnittbilder umgerechnet und dargestellt.

Als zweite Messmethode bot sich die Einstellung der klassischen Volumetrie in der 2D/3D Transversalebene an; hierbei wurden zunächst auf den Schnittbildern (Transversalebene) des Herzens in zweidimensionaler Ansicht (2D) „regions of interest“ (ROI) markiert, welche anschließend dreidimensional (3D) per Software generiert wurden (vgl. Abbildung 7).

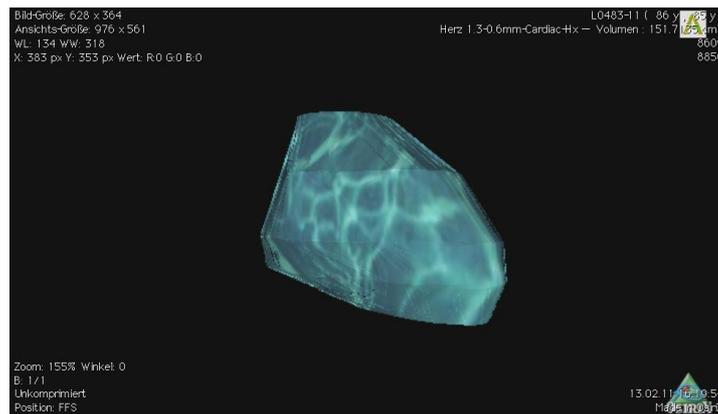


Abbildung 7: Volumetrie in 2D/3D Transversalebene

Zur genaueren Eingrenzung des Messgebietes und Orientierung wurden anatomische Messfixpunkte für die jeweiligen „regions of interest“ (ROIs) festgelegt.

2.2.1.1 Die klassische Volumetrie der Vorhöfe in 2D/3D Transversalebene

Für die Messung des rechten Vorhofs wurde mittels Polygon-Funktion die erste “region of interest” (ROI) an der Stelle gemessen, an der die Vena cava superior in den rechten Vorhof übergeht, gefolgt von sich alle 2 Schichten wiederholenden ROIs bis zum Konturübergang in die Vena cava inferior.

Die Volumetrie des linken Vorhofs war nicht leicht an anatomischen Messfixpunkten festzumachen, weshalb für die ROI-Erhebung die Herzkontur zur Orientierung diente. Sobald der linke Vorhof zum ersten Mal optisch abzugrenzen war bis hin zur Ebene, in der die Struktur nicht mehr ausdifferenziert werden konnte, wurden etwa 5-6 in regelmäßigen Abständen erhobene ROIs gesetzt.

2.2.1.2 Die klassische Volumetrie der Ventrikel in 2D/3D Transversalebene

Für die Volumetrie des rechten Ventrikels wurde die erste ROI in der Ebene gesetzt, in der die Arteria pulmonalis nicht mehr zur Gänze auszumachen war, gefolgt von 5 weiteren ROIs bis zum letzten kleinen Strukturpunkt des rechten Ventrikels.

Die erste ROI zur Volumetrie des linken Ventrikels wurde kurz vor Aortaabgang gesetzt, gefolgt von 5 weiteren ROIs bis zum Strukturende.

Sowohl beim linken als auch beim rechten Ventrikel wurden das Septum, das Endokard sowie die Außengrenzen mitgemessen und Perikard sowie Fettgewebe ausgeschlossen.

Mit der Volumetrie der Gesamtgröße des Herzens wurde mit der ersten ROI an der Herzspitze begonnen, sobald schon als kleinster Punkt ersichtlich, und in regelmäßigen Abständen auch hier weitere ROIs gesetzt (2. ROI Ventrikel, kurz bevor die Vorhöfe ersichtlich sind; 3. ROI Ebene maximaler Darstellung des Sinus venosus, wobei der Sinus venosus nicht in die ROI miteinbezogen wurde; 4. bis 6. ROI alle 2-3 Schichten maximale Herzkontur umfassend), bis zur letzten ROI in der Klappenebene auf Höhe des Abgangs der rechten ventralen Coronararterie aus der Aorta, wobei hier der Sinus venosus und der eigentliche Abgang der Coronararterie aus der Herzkontur ausgeschlossen wurden.

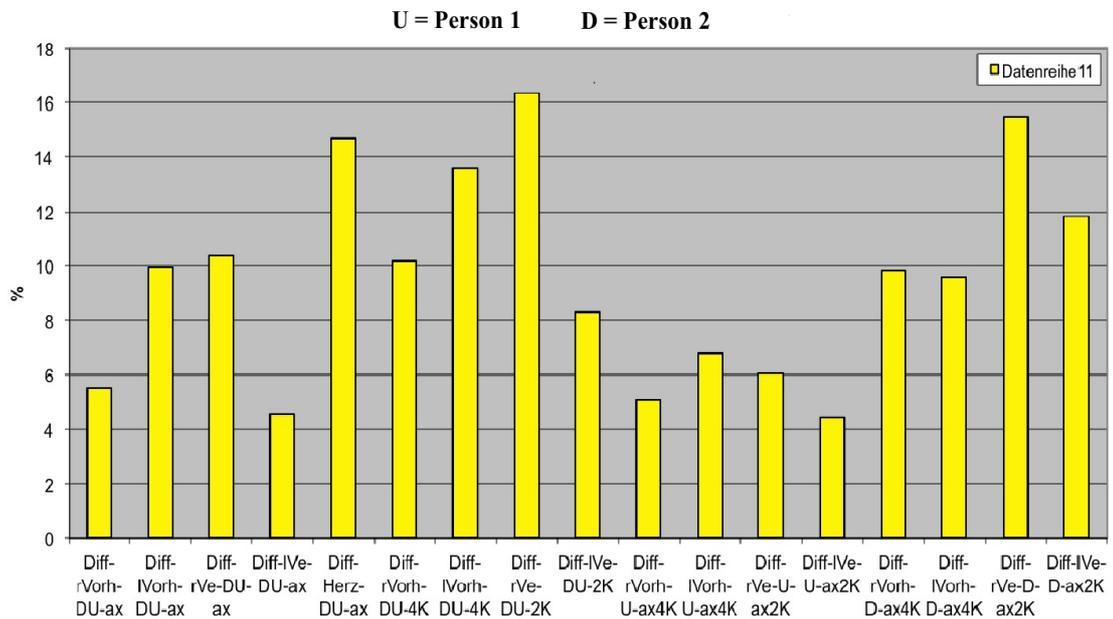
2.2.1.3 Der 2-/4-Kammerblick

Beim 2-/4-Kammerblick wurde zunächst die 3D-MPR-Einstellung (Multi-Planar Reconstruction) gewählt, in der man die Fadenkreuze der 3 verschiedenen Blickebenen so positionierte, dass man sowohl Atrien als auch Ventrikel deutlich machte.

Anschließend wurde die Datei als Dicom-Datei exportiert, in aktueller Qualität im 8-bit-RGB-Bildschirmfoto-Format, mit einem herzumfassenden Stapelverarbeitungsbereich und einer Schichtdicke von 5,77 mm, welche danach dann wie bereits oben im Rahmen beschriebener Messfixpunkte volumetriert werden konnte.

Um für die 82 CT-Untersuchungsserien eines der Verfahren auszuwählen, wurden zunächst auf die ersten zehn Fälle beide Verfahren als Interratervariabilität jeweils von der Autorin und von einer zweiten Auswertungskraft im Rahmen eines parallelen Dissertationsprojektes unabhängig voneinander angewandt und anschließend die Ergebnisse miteinander verglichen (vgl. Abbildung 8).

**Reliabilität Interrater- sowie Methodenvergleich bei Volumetrie Herzkammern/Herz gesamt:
Dargestellt ist die Differenz zwischen 2 Vergleichsmessungen, jeweils prozentual auf den Mittelwert
der jeweiligen Messung von Person 1 bzw. von Person 2 bezogen.**



Legende:

y-Achse: Prozentuale Differenz zwischen den erhobenen Ergebnissen von Person 1 und 2

x-Achse: Diff = Differenz

r/l Ve = rechter/linker Ventrikel

r/l Voh = rechter/linker Vorhof

2K = 2-Kammerblick

4K = 4-Kammerblick

DU = Person 1 und 2

ax = klassische Volumetrie-/Axialsicht

Abbildung 8: Interratervariabilität der ersten zehn CT-Untersuchungen Herz

Nach Vergleichen konnte festgestellt werden, dass die Volumetrie sowohl im etwas aufwändigeren 2-/4-Kammerblick als auch in der klassischen Volumetrie in 2D/3D Transversalebene keine wesentlichen Unterschiede oder genaueren Messwerte erbrachte, weshalb als endgültiges Volumetrieverfahren des Herzens hier die "klassische" Volumetrie in Transversalebene festgelegt und auf alle erhobenen CT-Untersuchungsserien im Weiteren angewandt wurde.

2.2.2 Methodik zur Auswertung der Lunge

2.2.2.1 Der Pleuraerguss

Beim Pleuraerguss erfolgte sowohl eine quantitative Messung mittels Volumetrie über 10 ROIs, welche beim Höchststand/größten Ergussdurchmesser festgelegt wurden, als auch eine qualitative Einteilung des Ergusses in „gering“ (wenn der Erguss im Verhältnis zum Thoraxraum bis zu 1/4 des Thoraxraumes ausgefüllt hat – vgl. Abbildung 9), „deutlich“ (wenn der Erguss 1/4 bis 1/2 des Thoraxraumes ausgefüllt hat – vgl. Abbildung 10) und „ausgeprägt“ (wenn der Erguss über 1/2 des Thoraxraumes ausgefüllt hat – vgl. Abbildung 11).

Der Pleuraerguss wurde bei Patienten, die nach 18 Stunden postmortem aus Rückenlage in Bauchlage gedreht wurden, dann jeweils auch ventral erhoben und beurteilt (vgl. Abbildung 64).



Abbildung 9: rechter Pleuraerguss „gering“



Abbildung 10: linker Pleuraerguss „deutlich“



Abbildung 11: linker Pleuraerguss „ausgeprägt“

2.2.2.2 Ösophagus und Trachea

Die Flüssigkeitsfüllungen des Ösophagus und der Trachea wurden ähnlich zur Herzdarstellung in 2.2.1 in der MPR-Einstellung erhoben, wobei in diesem Fall zuvor transversale Schnittbilder in frontale Schnittbilder umgerechnet und dargestellt wurden. Die Flüssigkeitsspiegel wurden jeweils als im „unteren/mittleren/oberen Drittel des Organs“ bzw. bei der Trachea zudem noch als „auf Höhe der Carina“ liegend erfasst (vgl. Abbildung 12).



Abbildung 12: Ösophagus „unteres Drittel“

2.2.2.3 Die Bronchien

Bei den Hauptbronchien wurde der „teilweise“ bzw. „vollständige“ Füllungsstatus ähnlich zur Darstellung des Ösophagus und der Trachea in 2.2.2.2 im frontalen Schnittbild in MPR erfasst und der Verlauf der bronchialen Aufzweigungen im Bronchiogramm verfolgt. Die kontrastierte Darstellung der Bronchien im Speziellen wurde mittels der minip-Einstellung, Minimum Intensity Projection, innerhalb der Software generiert. Diese Einstellung ermöglicht es, definierte Bereiche wie Organstrukturen hervorzuheben und einen optimalen Kontrast zwischen dem Organ und umliegenden Geweben darzustellen (Prokop & Galanski 2003).

Das Bronchiogramm wurde in MPR minip 125 betrachtet und jeweils nach Lappen ausdifferenziert in „nicht vorhanden“ (vgl. Abbildung 13), „vereinzelt“ (heißt: Bronchiolen gering einzeln verfolgbar – vgl. Abbildung 14), „verzweigt“ (heißt: genauere Aufzweigung des Bronchialbaums erkennbar – vgl. Abbildung 15) oder „ausgeprägt“ (heißt: deutliche und mehrere Aufzweigungen des Bronchialbaums erkennbar – vgl. Abbildung 16) eingeteilt.



Abbildung 13: Bronchiogramm „nicht vorhanden“

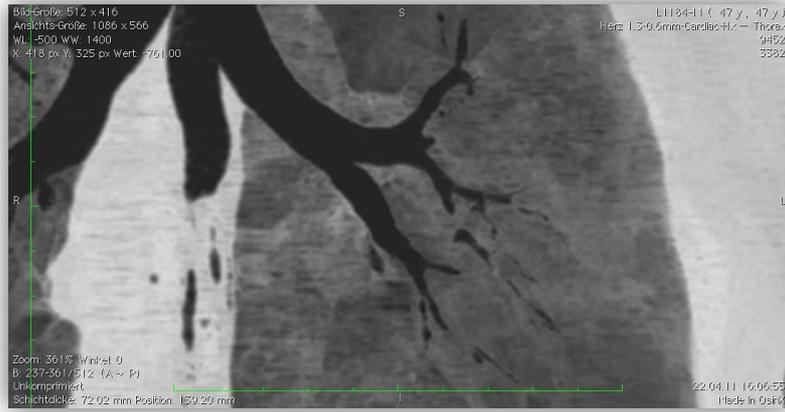


Abbildung 14: Bronchiogramm „vereinzelt“



Abbildung 15: Bronchiogramm „verzweigt“



Abbildung 16: Bronchiogramm „ausgeprägt“

2.2.2.4 Die Parenchymzeichnung

Die Parenchymzeichnung der Lungen wurde qualitativ nach eigens festgelegten Parametern transversal beurteilt, welche sich u.a. anhand der im Verlauf der Auswertung gewonnenen Beispielbilder orientierten (Parameter: transparent, Milchglas, wabenartig, tupferartig, wolkgig, netzartig, teilverschattet, intransparent, zerfressen – vgl. Abbildung 17 bis Abbildung 24).



Abbildung 17: Parenchym „transparent“



Abbildung 18: Parenchym „Milchglas“

Das „zerfressene“ Parenchym wurde durch emphysemartig zerrissene Areale mit hoher Transparenz charakterisiert (vgl. Abbildung 19).



Abbildung 19: Parenchym „zerfressen“

Beim „wabenartigen“ Parenchym zeigten sich intransparente Areale mit transparentem Zentrum, welche sich zu kleinen Waben ähnlich einem Bienenstock im Lungenparenchym formierten. Im Vergleich zur „netzartigen“ Parenchymzeichnung waren hier die intransparenten Bereiche stärker ausgeprägt und die Formenbildung der Wabe kontinuierlich (vgl. Abbildung 20).

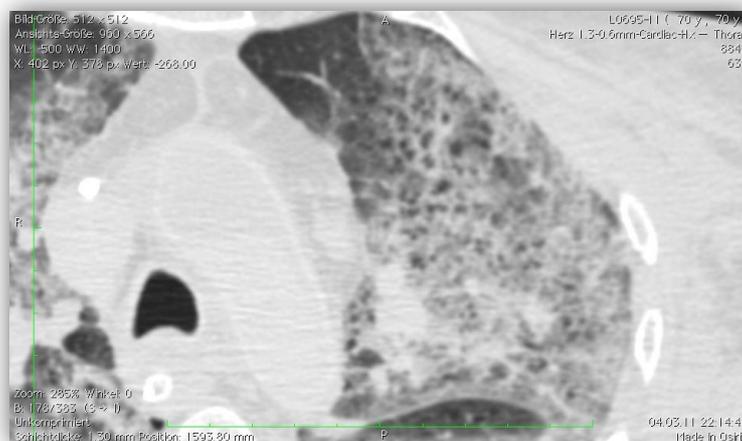


Abbildung 20: Parenchym „wabenartig“

Die „tupferartige“ Parenchymzeichnung zeigte kleine, gut abgrenzbare intransparente Areale, welche im Zentrum stärker intransparent waren und die Intransparenz zum Rand des Areals hin mehr und mehr verblasste – ähnlich einem weißen Pinsel, mit welchem man kleine Tupfer auf schwarzen Grund setzt (vgl. Abbildung 21).



Abbildung 21: Parenchym „tupferartig“

Das „teilverschattete“ Parenchym wurde durch größere konfluierende, intransparente Areale charakterisiert, ohne dass das Parenchym vollständig verschattet war (vgl. Abbildung 22).

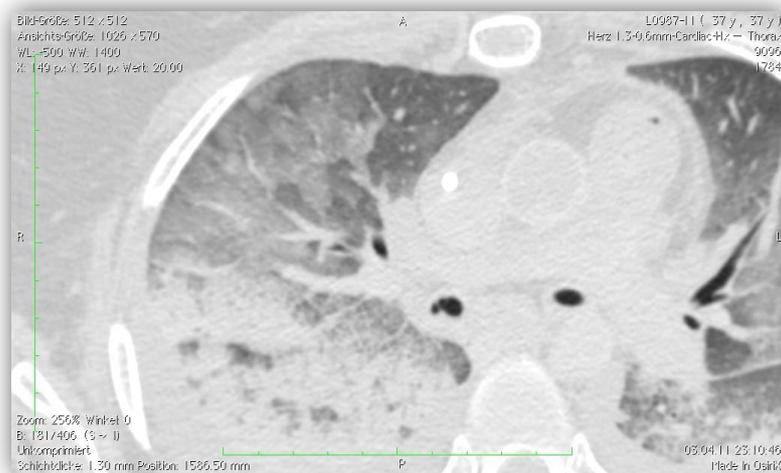


Abbildung 22: Parenchym „teilverschattet“

Beim „netzartigen“ Parenchym zeigte sich eine feine intransparente Netzzeichnung, welche sich unterschiedlich intensiv über das gesamte Lungenparenchym erstreckte (vgl. Abbildung 23).

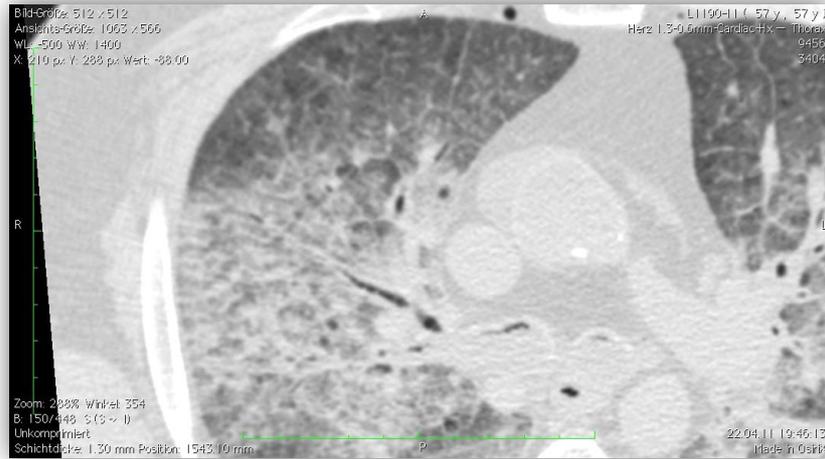


Abbildung 23: Parenchym „netzartig“

Das „wolkige“ Parenchym wurde durch kleine, intransparente Areale charakterisiert, welche im Gegensatz zum „tupferartigen“ Parenchym nicht gut voneinander abzugrenzen waren. Diese Areale wirkten wie konfluierende „Tupfer“ im Parenchym (vgl. Abbildung 24).



Abbildung 24: Parenchym „wolkig“

Für eine bessere Auswertbarkeit wurden die Parenchymzeichnungen gruppiert bzw. zusammengefasst (vgl. Tabelle 5).

Tabelle 5: Weitere Gruppierung der Parenchymzeichnungen

Neue Gruppierung	bestehend aus:
Gruppe „transparent“	Parenchym „transparent“
Gruppe „Milchglas“	Parenchym „Milchglas“
Gruppe „strukturiert“	Parenchym „netzartig“
	Parenchym „zerfressen“
	Parenchym „wabenartig“
Gruppe „wolkgig und tupferartig“	Parenchym „wolkgig“
	Parenchym „tupferartig“
Gruppe „intransparent“	Parenchym „teilverschattet“
	Parenchym „intransparent“

2.2.2.5 Die Parenchymtransparenz

Zum einen erfolgte eine quantitative Messung der Parenchymtransparenz im Oberlappen transversal mittels einer kreisrunden ROI mit der Feldgröße 4,0 cm² in minip 5, peripher ventral vor sternalem Ansatz der 3. Rippe, bei welcher der Mittelwert (M) und die Standardabweichung (Sd) beidseits ermittelt wurden.

Zum anderen erfolgte eine qualitative Messung der Parenchymtransparenz im apikalen und dorsalen Ober- und Unterlappen rechts und links transversal auf Höhe 1./2. Rippe sternumansatznah, auf Höhe 4. Rippe oberhalb des Interlobärspalts und auf Höhe 8./9. Rippe dorsal, jeweils eingeteilt in „eher transparent“, „mäßig/stärker intransparent“ oder „intransparent“ (vgl. Abbildung 25 bis Abbildung 28).



Abbildung 25: Parenchym „eher transparent“, apikales Oberlappensegment rechts/links

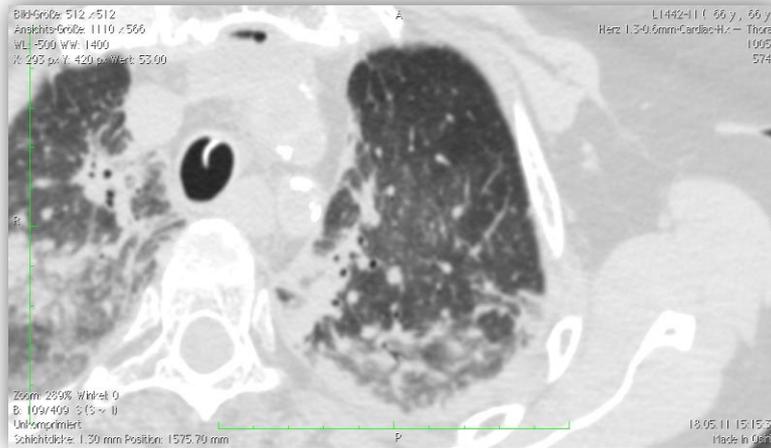


Abbildung 26: Parenchym “mäßig intransparent”, Oberlappensegment dorsal links

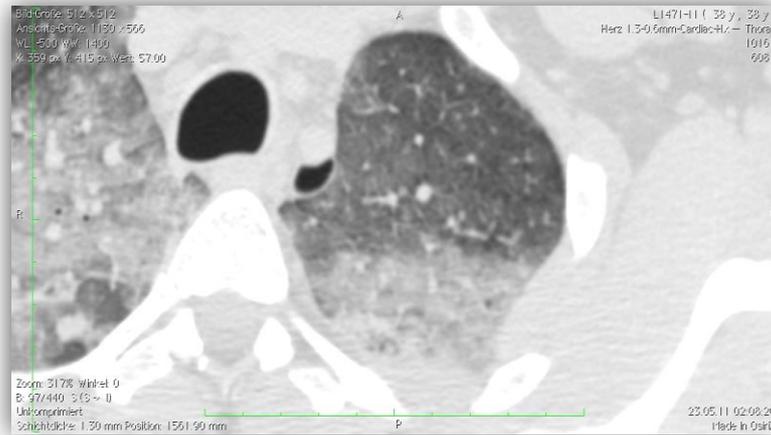


Abbildung 27: Parenchym “stärker intransparent”, Oberlappensegment dorsal links

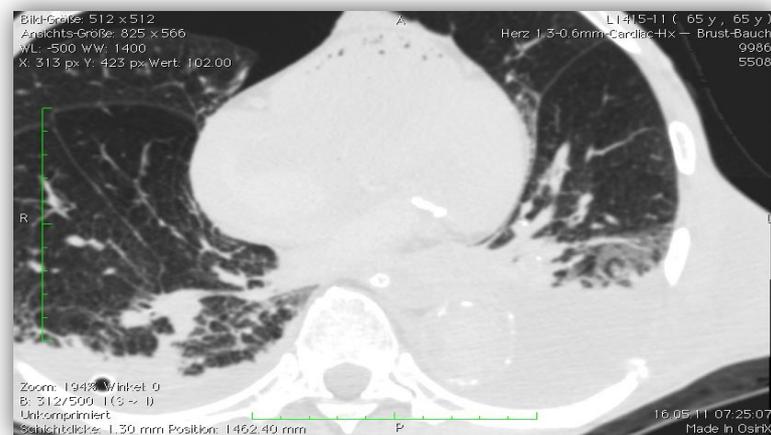


Abbildung 28: Parenchym “intransparent”, Unterlappensegment dorsal links

2.2.2.6 Die Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts

Des Weiteren wurde noch eine detaillierte qualitative Messung der Transparenzminderung jeweils ventral vom Interlobärspalt (ILSpalt) des rechten Oberlappens, linken Oberlappens und rechten Mittellappens ähnlich zur Herzdarstellung in 2.2.1 in der MPR-Einstellung erhoben, wobei in diesem Fall zuvor transversale Schnittbilder in sagittale Schnittbilder umgerechnet und dargestellt wurden. Die Transparenzminderungen wurden in die Kategorien „nicht vorhanden“, „angedeutet/mäßig vorhanden“ und „deutlich vorhanden“ eingeteilt (vgl. Abbildung 29 bis Abbildung 31).

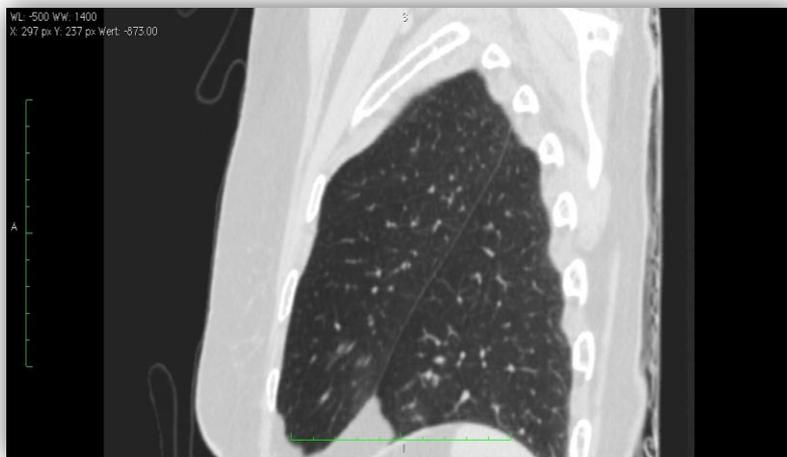


Abbildung 29: Transparenzminderung „nicht vorhanden“, ventral vom ILSpalt Oberlappen links

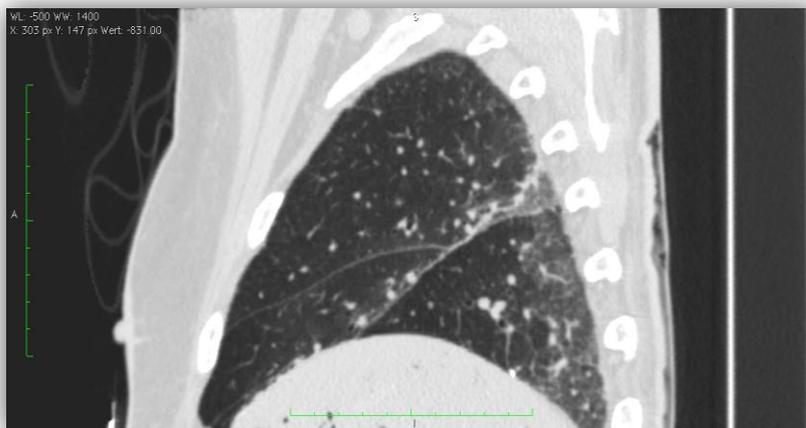


Abbildung 30: Transparenzminderung „angedeutet/mäßig vorhanden“, ventral vom ILSpalt Oberlappen/Mittellappen rechts



Abbildung 31: Transparenzminderung „deutlich vorhanden“, ventral vom ILSpalt Oberlappen links

2.2.2.7 Die Gefäßzeichnung zentral und peripher

Die Gefäßzeichnung wurde zum einen peripher im rechten und linken Oberlappen in transversal erfasst und je nach Gefäßausprägung bzw. -intensität in die Kategorien „Sternenhimmel“ (vgl. Abbildung 32), „netzförmig“ (vgl. Abbildung 33), „gefäßbetont“ (vgl. Abbildung 34) sowie „gefäßbetont mit Wandunschärfe“ (vgl. Abbildung 35) eingeteilt.



Abbildung 32: Gefäßzeichnung „Sternenhimmel“

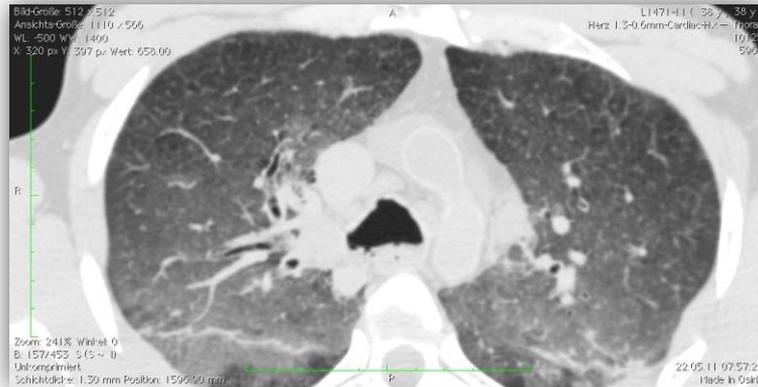


Abbildung 33: Gefäßzeichnung „netzförmig“

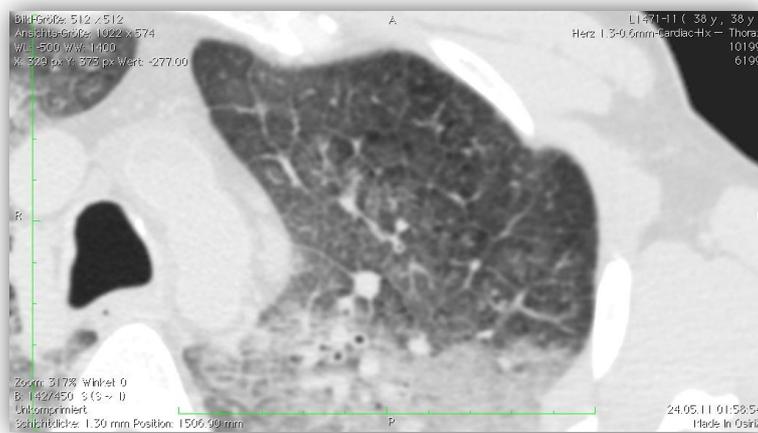


Abbildung 34: Gefäßzeichnung „gefäßbetont“

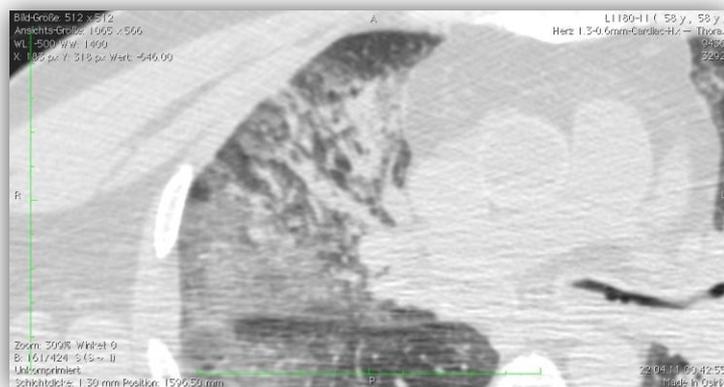


Abbildung 35: Gefäßzeichnung „gefäßbetont mit Wandunschärfe“

Zum anderen wurde die Gefäßzeichnung transversal rechts und links zentral als „gering/mäßig/deutlich gestaut“ eingeteilt, je nach zentraler Stauung und somit optischer Verfolgbarkeit der A. pulmonalis (vgl. Abbildung 36 und Abbildung 37 - generell wurde die A. pulmonalis im Bildfluss beurteilt - die Abbildung 36 und Abbildung 37 dienen als Aufnahmen in Beispielbildebene).



Abbildung 36: Gefäßzeichnung zentral “mäßig gestaut“



Abbildung 37: Gefäßzeichnung zentral “deutlich gestaut” (in dieser Bildebene anhand A. pulmonalis dextra gut sichtbar)

2.2.2.8 Die Niveau- und Frontausbildung

Mit den Begriffen „Niveau“ bzw. „Front“ wurde im Rahmen dieser Studie versucht, Phänomene der Grenzzonenbildung innerhalb der Lungen auf Basis von Flüssigkeitswanderung zu charakterisieren. Diese „Zonen“ bzw. „Schichten“ zeichneten sich mal mehr und mal weniger deutlich gegen das Lungenparenchym ab und konnten sowohl qualitativ in ihrer Deutlichkeit der Ausprägung als auch quantitativ anhand ihrer Schichtenhöhe beurteilt werden (vgl. Abbildung 38 und Abbildung 39).

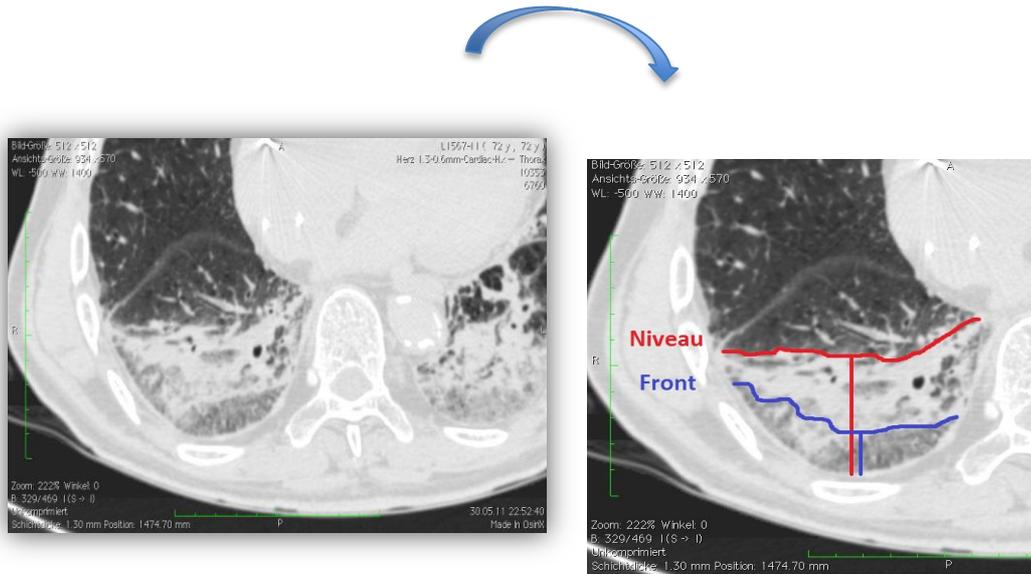


Abbildung 38a+b: Front- und Niveaubildung „deutlich vorhanden“, Unterlappen rechts, Ausschnittvergrößerung

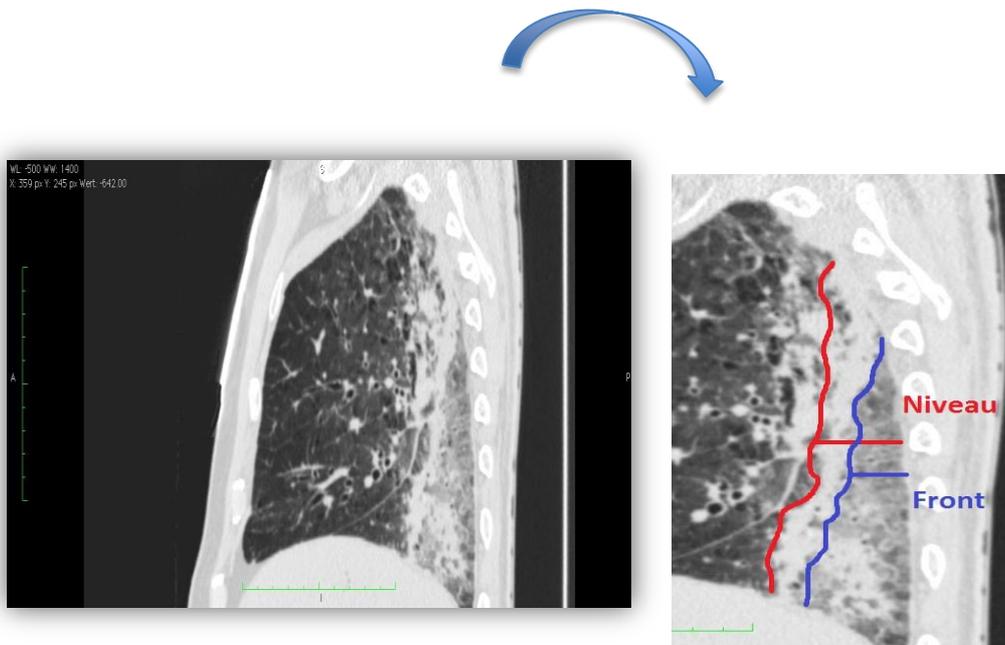


Abbildung 39a+b: Front- und Niveaubildung MPR „deutlich vorhanden“, Unterlappen rechts, Ausschnittvergrößerung

Qualitativ wurde die beschriebene Niveau-/Frontausbildung ähnlich zur Messung der Transparenzminderung in 2.2.2.6 in der sagittalen MPR-Einstellung erhoben. Die Niveau-/Frontausbildung wurde im freien Lappen (nicht über Interlobärspalt) mindestens einseitig vorkommend als „nicht vorhanden“, „angedeutet“ oder „deutlich vorhanden“ (vgl. Abbildung 38 und Abbildung 39) beurteilt.

Quantitativ wurde die Niveauhöhe jeweils für Ober-/Mittel- und Unterlappen getrennt transversal gemessen.

Beim Oberlappen erfolgte beidseits die Messung, sobald der rechte Interlobärspace (zwischen Oberlappen und Unterlappen) im Rahmen der Schichtdurchläufe in die dorsale Thoraxwand überging. Beim Mittellappen erfolgte die Messung, sobald der Interlobärspace (zwischen Mittellappen und Unterlappen) in die ventrale Thoraxwand überging und beim Unterlappen erfolgte beidseits die Messung, sobald das Zwerchfell bzw. rechts der Leberbeginn erschien.

2.2.2.9 Thoraxhöhe und besondere Befunde

Die Höhe des Thoraxraums sagittal sowohl auf der rechten als auch auf der linken Lungenseite wurde in transversal quantitativ in cm von der inneren Oberfläche der 4. Rippe sternumansatznah bis Pleurarückwand/Rippenbeginn gemessen.

Falls Herdbefunde oder weitere gesonderte Befunde während der Auswertung auftraten, wurden diese separat erfasst, genauer beschrieben und sofern möglich vermessen (vgl. 4.1.13).

2.3 Statistische Analyse

Die deskriptive Auswertung der Messparameter erfolgte mittels Korrelation zwischen quantifizierbaren bzw. qualitativ bewerteten morphologischen Veränderungen einerseits und möglichen Einfluss- / Umgebungsfaktoren andererseits (vgl. Tabelle 6). Es wurde das Statistikprogramm SPSS (Version 20) genutzt.

Quantitative Messdaten wie z.B. Volumenwerte und mittlere Transparenzen wurden mittels deskriptiver Statistikmodule ausgewertet. Nach Test auf Normalverteilung wurden die quantitativen Messdaten mittels Student's t- Test für unabhängige Stichproben auf signifikante Unterschiede getestet. Dabei wurden zu bestimmten Messzeitpunkten nach Einflussvariablen kategorisierte Gruppen zu jeweils gleichen Zeitpunkten verglichen.

Im Längsschnittprofil wurden sequentiell die Mittelwerte gleicher Gruppen zu Folgezeitpunkten mittels t- Test für abhängige Stichproben sowie univariater Varianzanalyse mit Messwiederholung (GLM- Prozedur) getestet.

Kategorial organisierte, qualitative Daten wurden mittels Kreuzkorrelation zwischen erhobenen „Auswertungsvariablen“ einerseits und potentiellen „Einflussvariablen“ andererseits erhoben und miteinander korreliert. Zur Signifikanztestung auf Verteilungsdifferenzen bei kategorialen Messdaten wurde je nach Geeignetheit Fisher’s Exact Test bzw. Chi-Square Test und für die Untersuchung der Korrelation der Test nach Pearson angewandt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde für alle Testverfahren mit $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Tabelle 6: Auswertungs- und Einflussvariablen

<i>Auswertungsvariablen Herz</i>	<i>Auswertungsvariablen Lunge</i>	<i>Einflussvariablen</i>
Gesamtvolumen Herz	Pleuraerguss rechts/links qualitativ	BMI
Volumen rechter Vorhof	Pleuraerguss rechts/links quantitativ	Relatives Blutvolumen
Volumen linker Vorhof	Thoraxhöhe quantitativ	Temperatur
Volumen rechter Ventrikel	Hauptbronchienfüllung mit Flüssigkeit	Todesursachen (vgl. Tabelle 7)
Volumen linker Ventrikel	Tracheafüllung mit Flüssigkeit	Ödemstatus
	Ösophagusfüllung mit Flüssigkeit	Protrahierter Tod
	Bronchiogramm rechts/links	Reanimation
	Gefäßzeichnung Oberlappen peripher	Plötzlicher Todeseintritt
	Gefäßzeichnung zentral	
	Parenchymzeichnung qualitativ	
	Parenchymtransparenz quantitativ	
	Niveau- und Frontbildung qualitativ	
	Niveauebene quantitativ	
	Segmenttransparenz qualitativ	
	Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts	
	Besonderes (Infiltrate, Bullae, etc.)	

Im Rahmen dieser Studie wurden nach den CT-Serien in allen Fällen Sektionen angestrebt, jedoch konnten nur in 20 Fällen Obduktionen im Anschluss an eine CT-Serie durchgeführt werden. In den übrigen Fällen war aus diversen Gründen, u.a. da keine Einwilligung über den CT-Scan hinaus zur Obduktion erteilt wurde, eine Obduktion nicht möglich.

Neben den 20 erhobenen Sektionsberichten dienten vor allem klinische Dokumentationen und Notarztberichte als Basis für die folgende Einteilung in Todesursachen, welche mit den erhobenen Variablen korreliert wurden (vgl. Tabelle 7 und Abbildung 40).

Tabelle 7: Einteilung der Todesursachen

<i>Untergruppen Todesursachen</i>
Infektiöse Komplikation
Tumortoxischer Tod
Herzversagen
Zentraler Tod
Hämorrhagisch bedingter Tod
Unfalltod

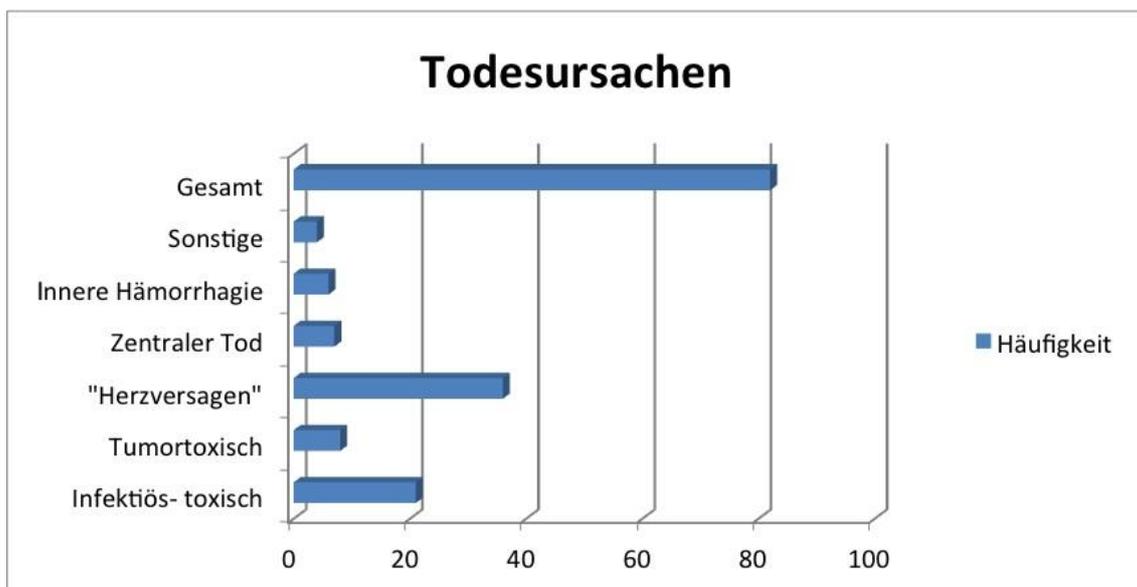


Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung der Todesursachen

Für die Korrelationen mit Todesursachen wurde die Stichprobe verkleinert und nur die zahlenmäßig besser besetzten Todesursachen-Kategorien „tumortoxisch“, „infektiös-toxisch“ („infektiöse Komplikationen“) und „Herzversagen“ herangezogen unter Vernachlässigung der sehr viel kleineren anderen Gruppen der Todesursachen (vgl. Abbildung 40), um eine bessere Aussagekraft der Korrelationen zu erhalten.

3 Ergebnisse

Da in dieser Studie vor allem die Veränderung über ein Zeitintervall betrachtet wurde, wurde, um sich nicht auf reine Absolutwerte zu beziehen, zu jedem Scanzeitpunkt eine Differenz mit dem erhobenen Messwert aus dem Erstsキャン gebildet und somit im Nachhinein jeder Wert des Erstscreens (sogenannter „Scan h_0 “) aus allen Messwerten zu jedem auf den Erstsキャン folgenden Scanzeitpunkt herausgerechnet, um die Entwicklung über die Zeit darzustellen.

In den folgenden Tabellen und Abbildungen werden die Scans einer CT-Serie zu den jeweiligen Zeitpunkten mittels „h“ (für „hour“ = Stunde) und dem jeweiligen Scanzeitpunkt (z.B. „6“ für den CT-Scan 6 Stunden postmortem) abgekürzt und das Herausrechnen des Scans zu Stunde 0 wird als „ h_0 -hx“ dargestellt, wobei „x“ den jeweiligen Scanzeitpunkt umfasst. Des Weiteren wurden die Differenzen so erhoben, dass negative Werte hierbei eine wirkliche Abnahme bzw. positive Werte eine wirkliche Zunahme der Messungen darstellen.

3.1 Temperaturentwicklung

In der folgenden Abbildung wird der Temperaturverlauf über 96 Stunden jeweils für die Gruppe „ungekühlt“ bzw. die Gruppe „gekühlt“ dargestellt. Wie erwartet, erkennt man in der „gekühlten“ Gruppe im Vergleich zur „nicht gekühlten“ Gruppe eine stärkere Temperaturabnahme über die Zeit (vgl. Abbildung 41, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle).

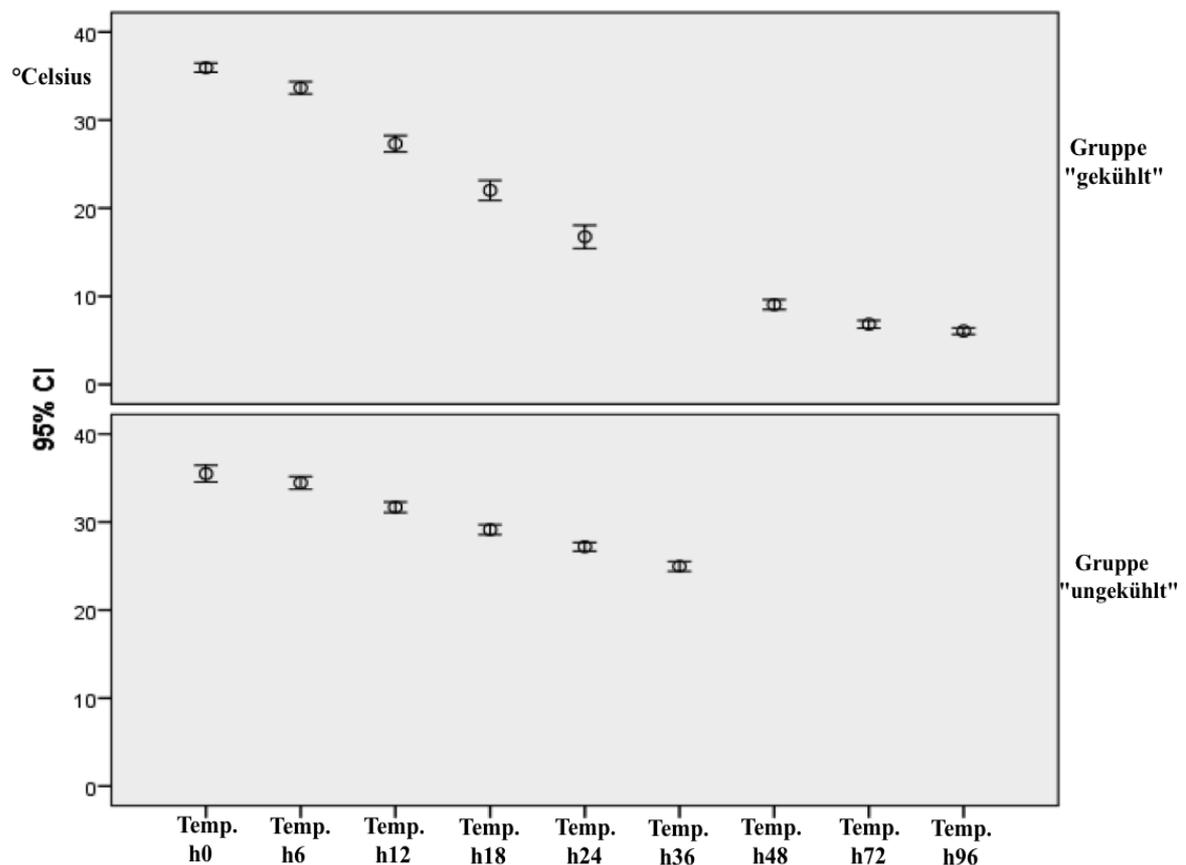


Abbildung 41: Temperaturverlauf über die Zeit

Die Temperaturentwicklung wurde für beide Gruppen „gekühlt und ungekühlt“ jeweils nur mit der Einflussvariable BMI korreliert und ergab folgende Signifikanzen (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 9).

Tabelle 8: Temperaturverlauf (°Celsius) der Gruppe "gekühlt" korreliert mit BMI

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h6	Standardabweichung	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standardabweichung	p-Wert
BMI bis 22	31,67	1,936	<0,01	12,89	2,522	<0,001
BMI > 22 bis 26	33,22	2,386		14,78	3,563	
BMI >26 bis 30	34,43	2,102		18,54	3,152	
BMI > 30	34,80	1,751		19,40	4,300	
insgesamt	33,67	2,313		16,68	4,239	

Tabelle 9: Temperaturverlauf (°Celsius) der Gruppe "ungekühlt" korreliert mit BMI

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h18	Standardabweichung	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standardabweichung	p-Wert
BMI bis 22	27,80	1,095	<0,05	26,20	1,095	<0,05
BMI > 22 bis 26	29,11	1,269		26,89	1,054	
BMI >26 bis 30	29,15	1,573		27,31	1,377	
BMI > 30	30,75	0,957		28,75	0,957	
insgesamt	29,13	1,522		27,19	1,352	

3.2 Herz

3.2.1 Die Vorhöfe

In den folgenden Abbildungen sind die Volumenentwicklungen über 96 Stunden postmortem des rechten und linken Vorhofs einmal gesamt und einmal unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“ dargestellt (vgl. Abbildung 42 bis Abbildung 45, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle). Vor allem der rechte Vorhof zeigt eine deutliche Volumenabnahme über die Zeit (vgl. Abbildung 42 und Abbildung 43).

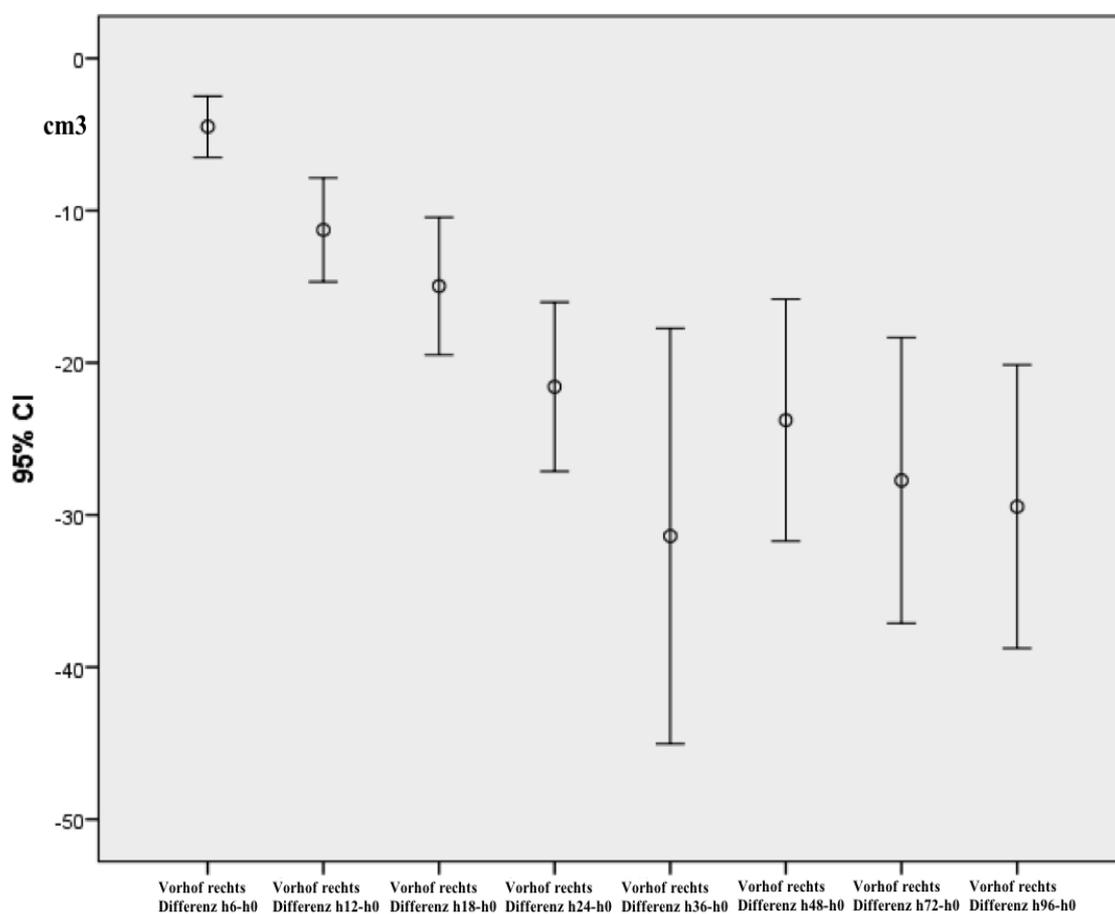


Abbildung 42: Volumenentwicklung rechter Vorhof allgemein

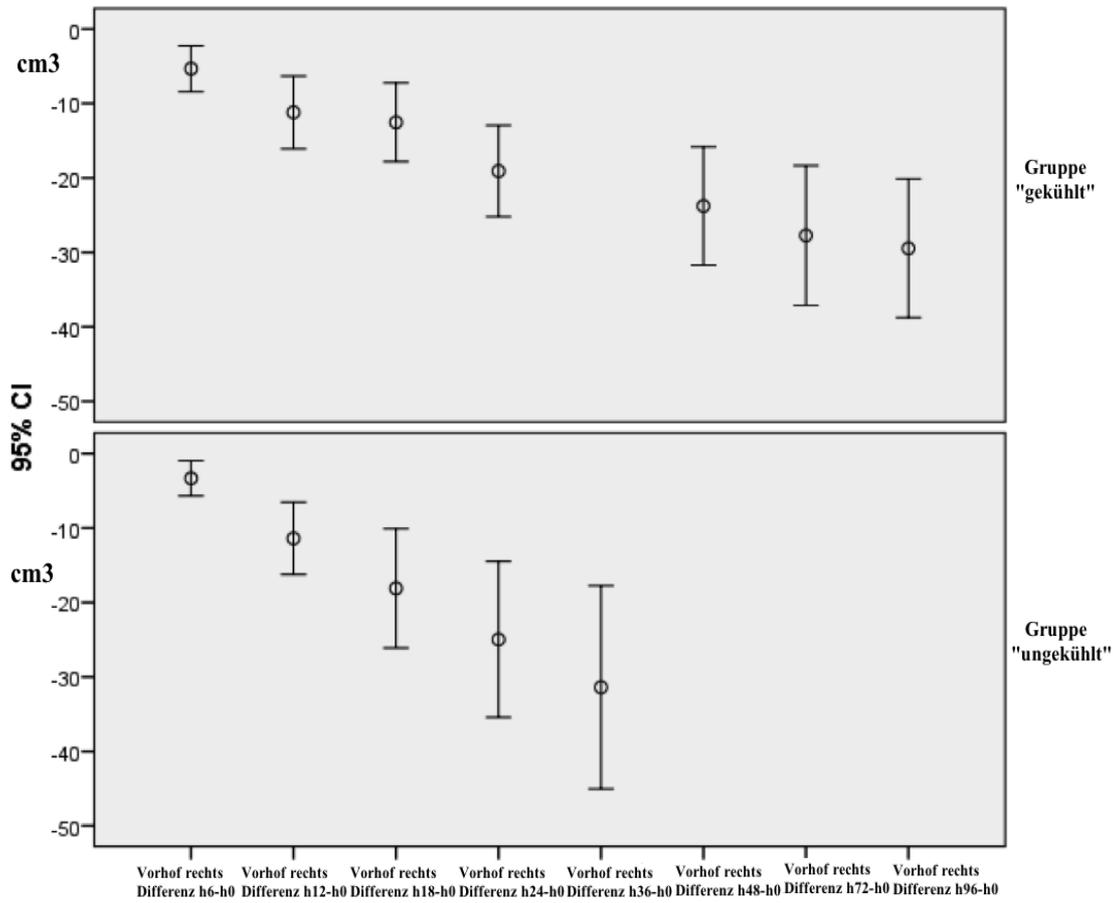


Abbildung 43: Volumenentwicklung rechter Vorhof unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt"

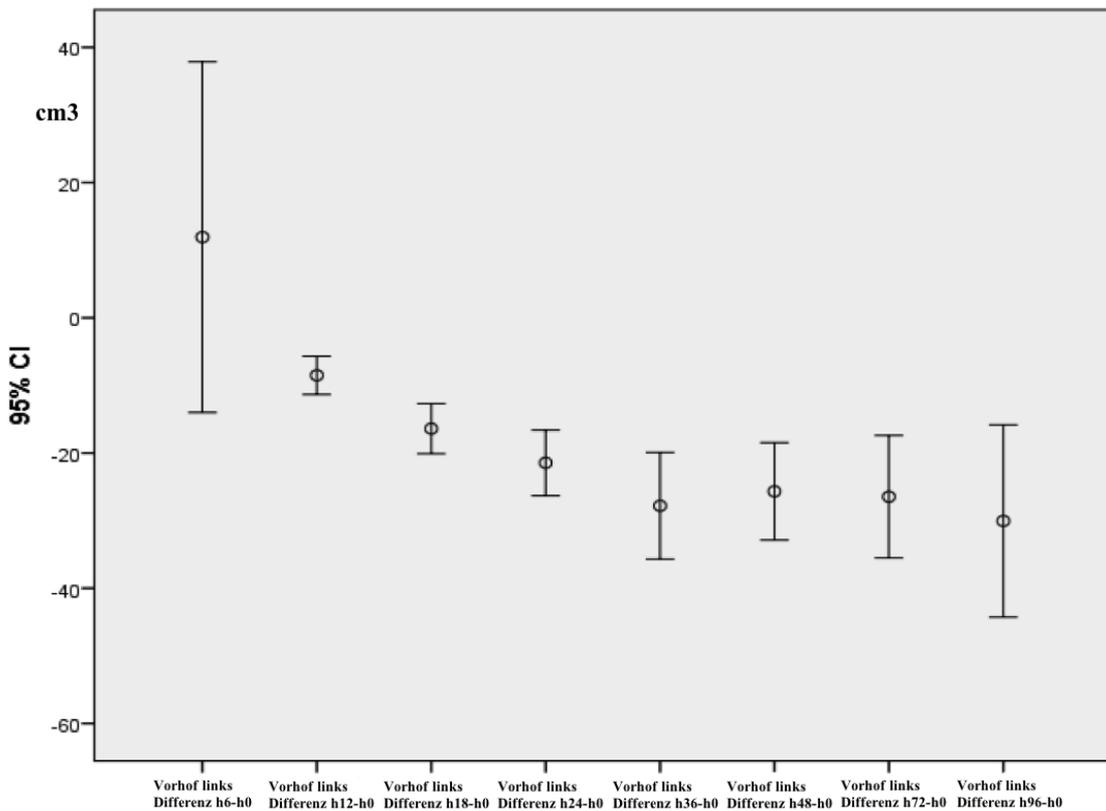


Abbildung 44: Volumenentwicklung linker Vorhof allgemein

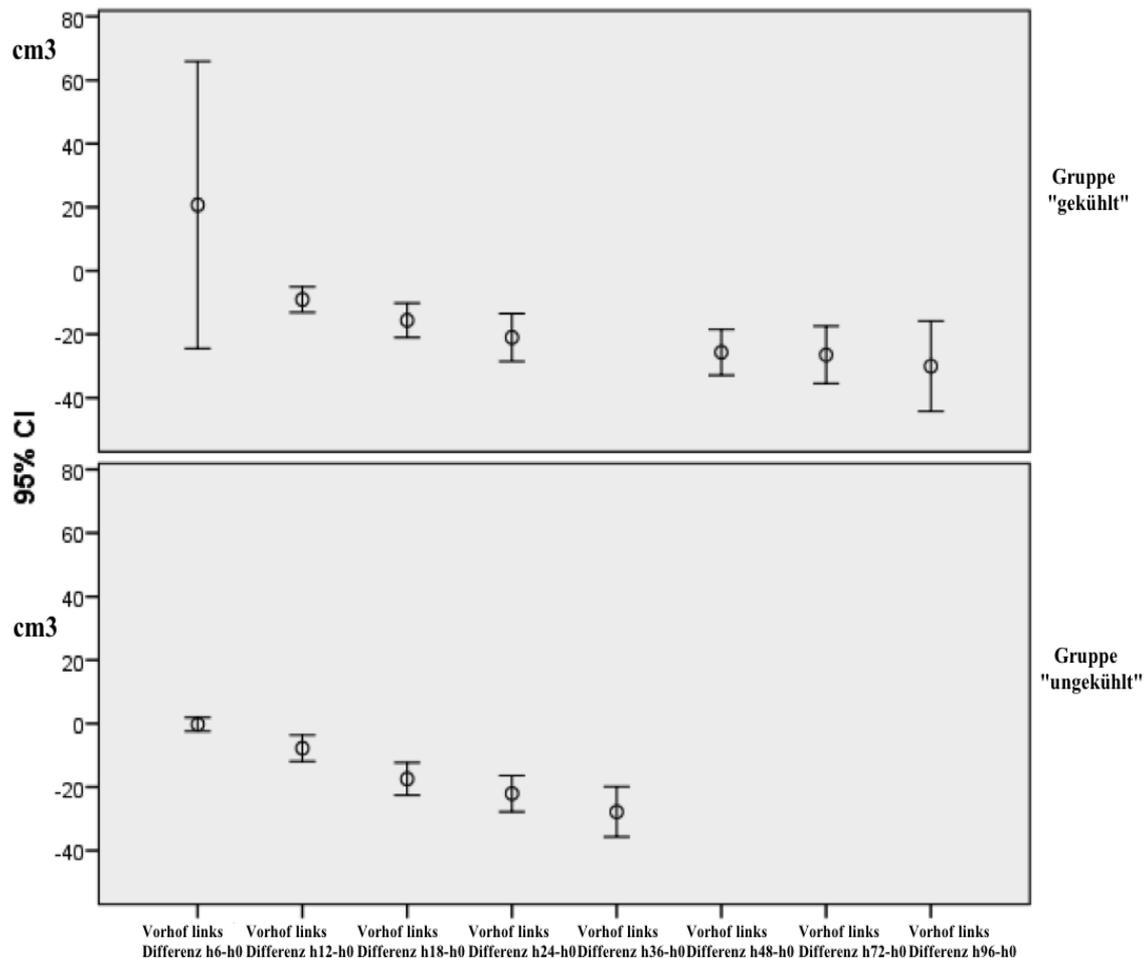


Abbildung 45: Volumenentwicklung linker Vorhof unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt"

Die Korrelation der Vorhofvolumina mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelationen statistische Signifikanzen (vgl. Tabelle 10 bis Tabelle 13).

Tabelle 10: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Vorhof und BMI

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h72	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h96	Standard-abw.	p-Wert
BMI bis 22	-16,1429	13,59447	<0,01	-20,2500	13,86542	<0,05
BMI > 22 bis 26	-11,8571	19,70980		-12,0000	17,08801	
BMI >26 bis 30	-43,7143	16,61038		-46,1667	16,48535	
BMI > 30	-28,4286	17,98941		-36,3333	18,75811	
insgesamt	-25,0357	20,48393		-29,4545	21,02318	

Tabelle 11: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Vorhof und relativem Blutvolumen

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h6	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h12	Standard-abw.	p-Wert
sehr geringes Blutvol	-8,9333	9,56531	<0,05	-20,2667	20,51295	<0,05
geringes Blutvol	-6,9412	8,73549		-14,7647	10,55657	
mäßiges Blutvol	-2,7222	7,11093		-8,6667	12,70016	
hohes Blutvol	-0,7368	8,72953		-5,0526	12,34897	
insgesamt	-4,5652	8,95656		-11,6957	15,06194	

Tabelle 12: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Vorhof und pl./pr. Tod

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h48	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h72	Standard-abw.	p-Wert
plötzlicher Tod	-14,4091	18,84437	<0,01	-20,0000	18,44925	<0,05
protrahierter Tod	-37,1333	27,45091		-39,2500	30,52011	
insgesamt	-23,6216	25,06253		-27,9655	25,56432	

Tabelle 13: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) linker Vorhof und Reanimation

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h48	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h96	Standard-abw.	p-Wert
Reanimation ja	-20,4583	16,66806	<0,05	-20,8000	19,09824	<0,05
Reanimation nein	-37,8889	30,62044		-57,0000	58,92934	
insgesamt	-25,2121	22,27633		-28,4211	33,05100	

Die Korrelation der Vorhofvolumina mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen Temperatur, Todesursachen und Ödemstatus keine statistischen Signifikanzen.

3.2.2 Die Ventrikel

Die Messungen der Ventrikelvolumina gestalteten sich aufgrund der geringen Volumina zum Teil schwierig, doch zeigte sich in der Interratervariabilität/Reliabilität (vgl. Abbildung 8) eine ausreichende Zuverlässigkeit der Messungen, weshalb die erhobenen Werte trotz schwieriger Messungen verwendet wurden.

In den folgenden Abbildungen sind die Volumenentwicklungen über 96 Stunden postmortem des rechten und linken Ventrikels einmal gesamt und einmal unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“ dargestellt. Beide Ventrikel zeigen leichte Schwankungen in den Messwerten; generell lässt sich aber eine Tendenz der Volumenabnahme erkennen (vgl. Abbildung 46 bis Abbildung 49, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle).

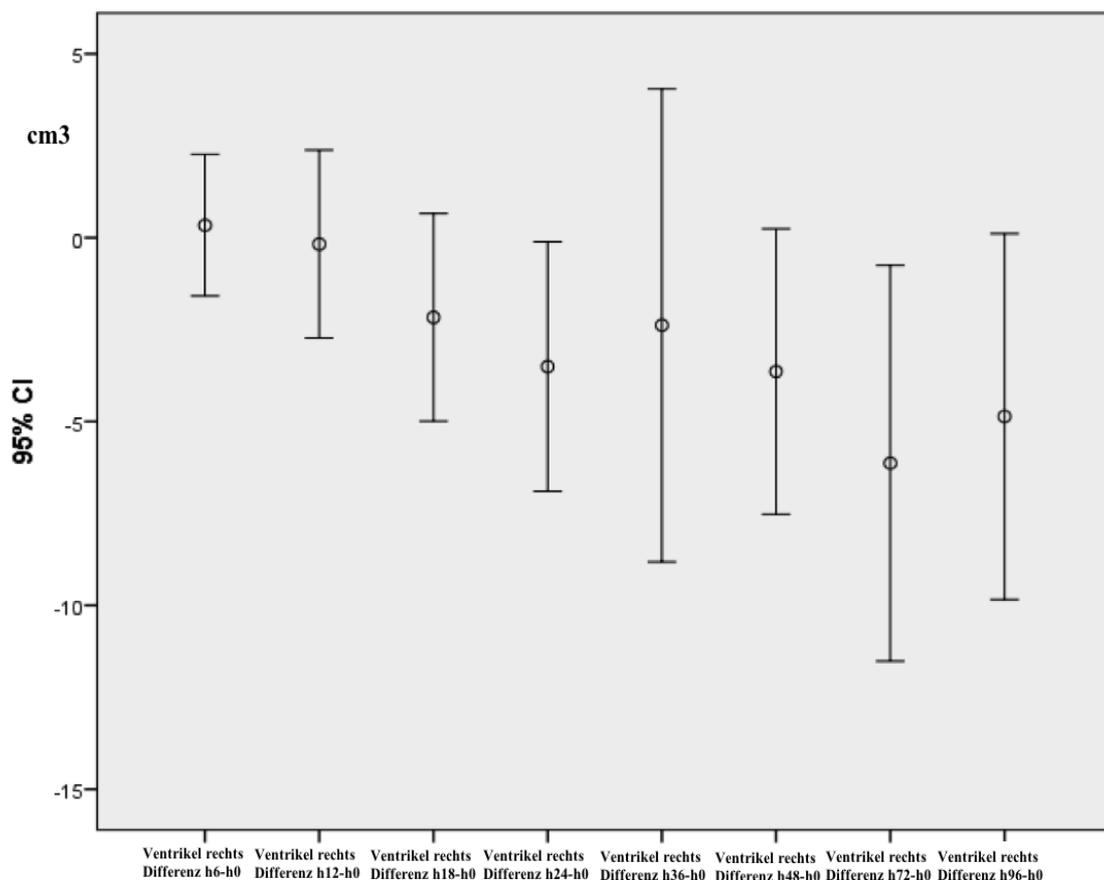


Abbildung 46: Volumenentwicklung rechter Ventrikel allgemein

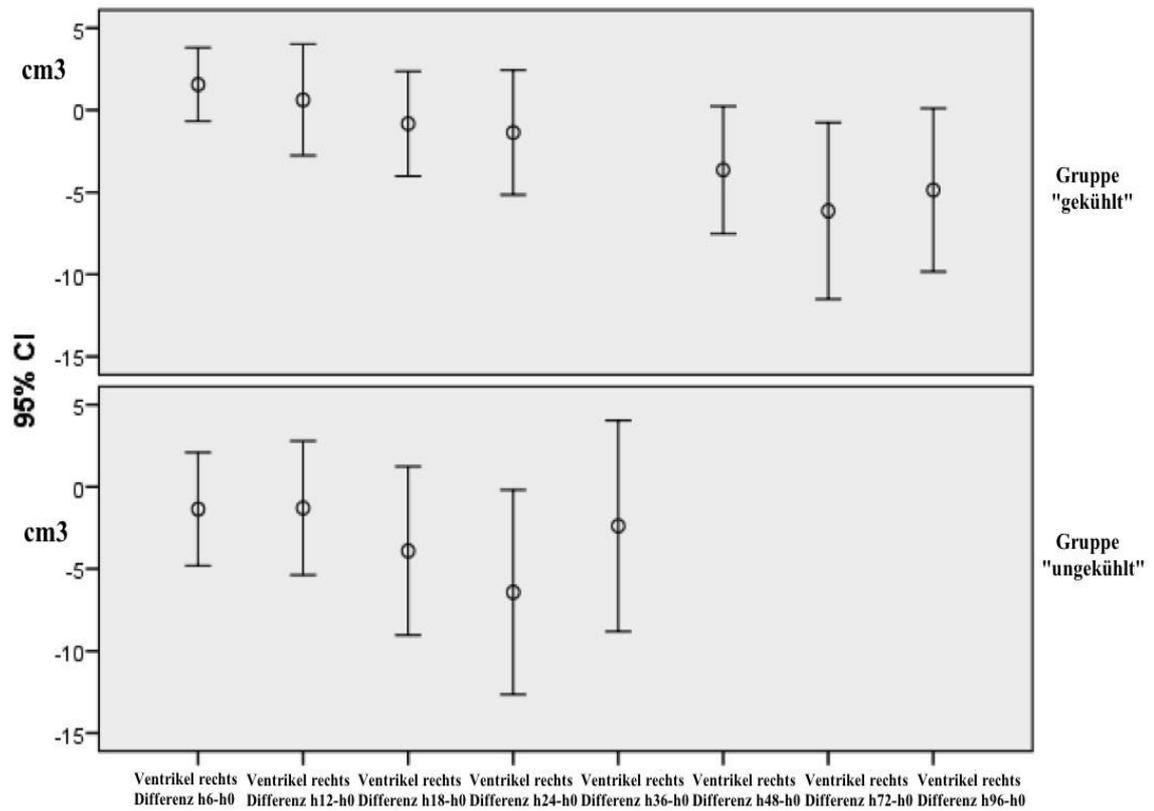


Abbildung 47: Volumenentwicklung rechter Ventrikel unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt"

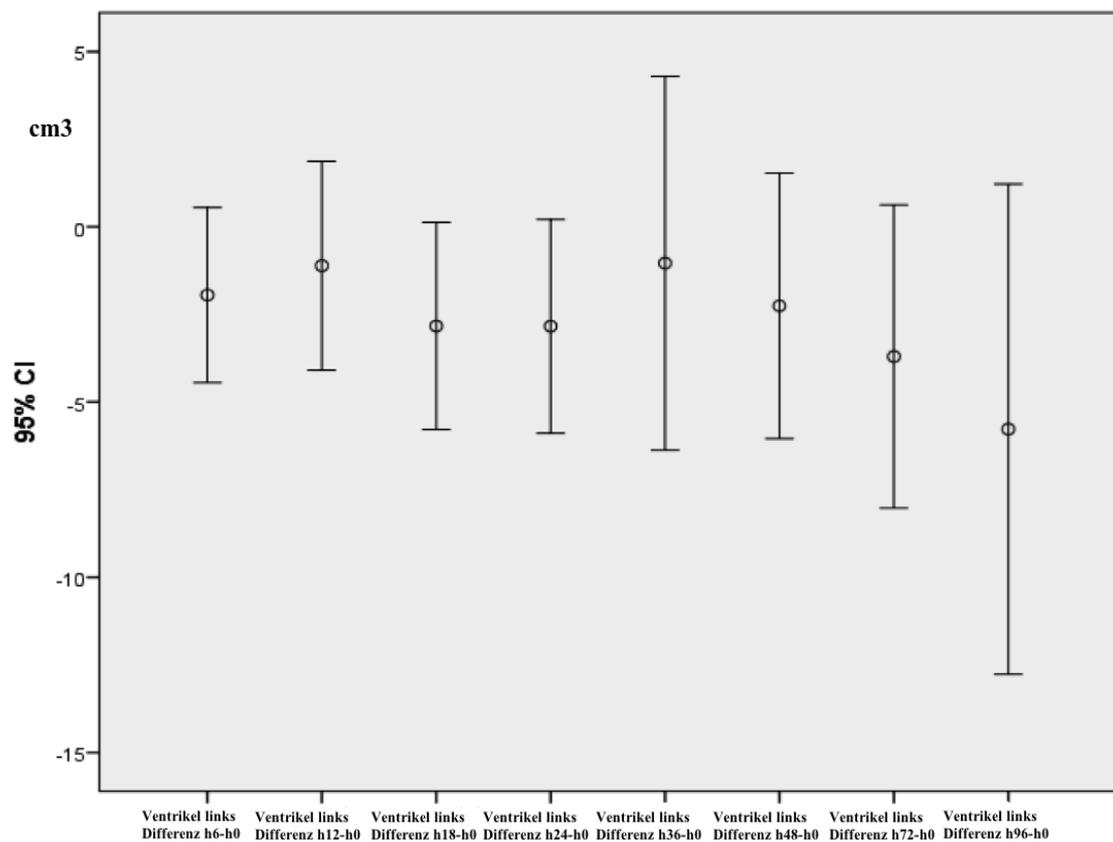


Abbildung 48: Volumenentwicklung linker Ventrikel allgemein

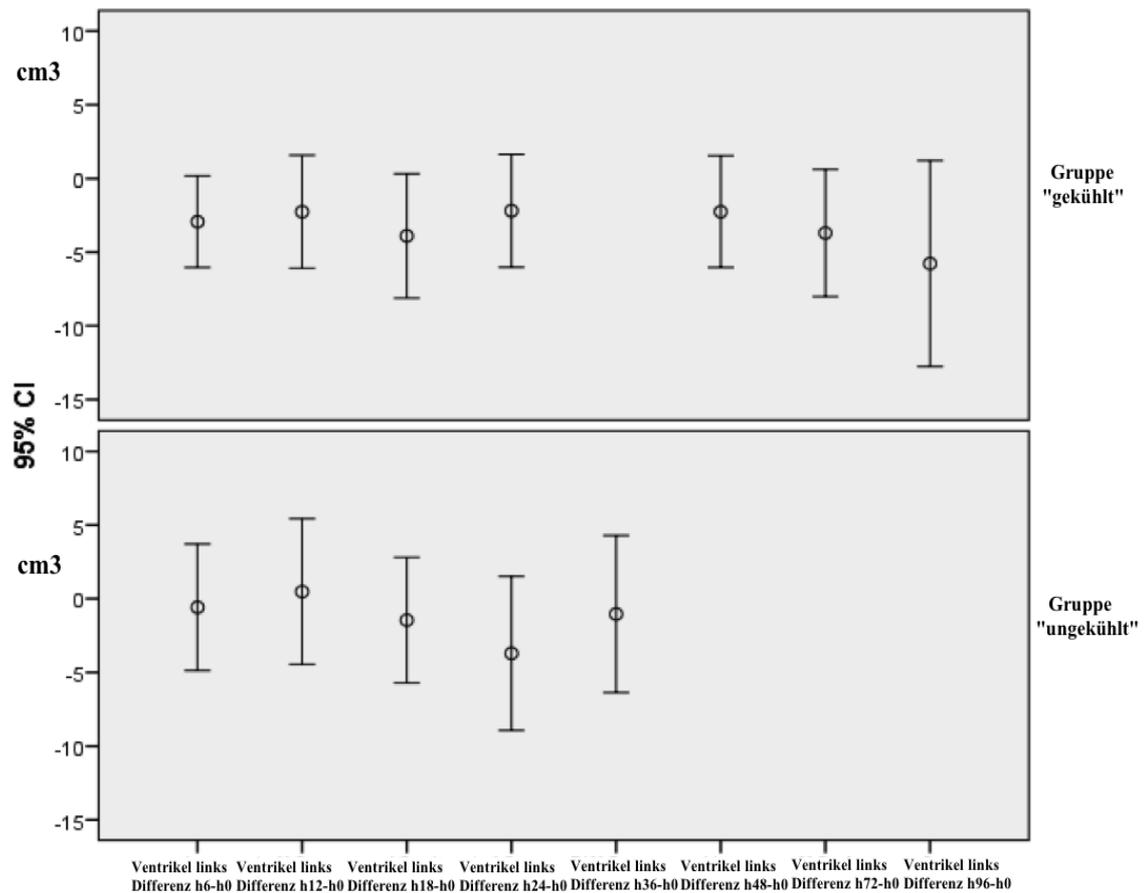


Abbildung 49: Volumentwicklung linker Ventrikel unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt"

Die Korrelation der Ventrikelvolumina mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelationen statistische Signifikanzen (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14: Signifikante Korrelation zwischen Volumentwicklung (cm³) rechter Ventrikel und BMI

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h12	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h18	Standard-abw.	p-Wert
BMI bis 22	0,0000	11,73960	<0,05	-3,0000	12,85302	<0,05
BMI > 22 bis 26	2,8750	10,67005		-1,3750	12,38211	
BMI >26 bis 30	2,3077	8,87590		2,1923	8,28985	
BMI > 30	-7,0000	11,72768		-10,0833	14,39986	
insgesamt	0,1176	10,88410		-1,8308	11,99423	

Die Korrelation der Ventrikelvolumina mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen Temperatur, relatives Blutvolumen, Todesursachen, Ödemstatus, protrahierter bzw. plötzlicher Tod und Reanimation keine statistischen Signifikanzen.

3.2.3 Das Herz gesamt

In den folgenden Abbildungen sind die Volumenentwicklungen über 96 Stunden postmortem des gesamten Herzens einmal gesamt und einmal unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“ dargestellt. Ähnlich zum rechten Vorhof zeigt auch das gesamte Herz eine deutliche Volumenabnahme über die Zeit (vgl. Abbildung 50 und Abbildung 51, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle).

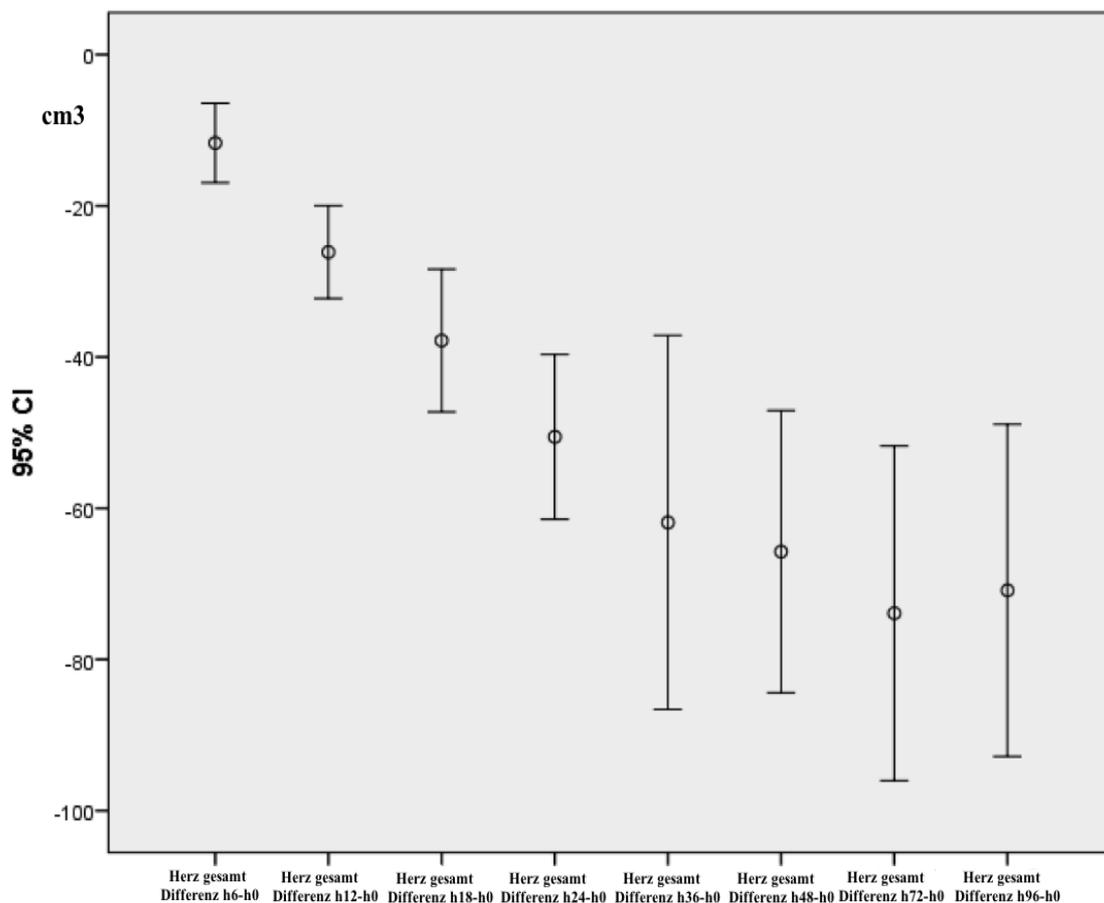


Abbildung 50: Volumenentwicklung Herzgröße gesamt

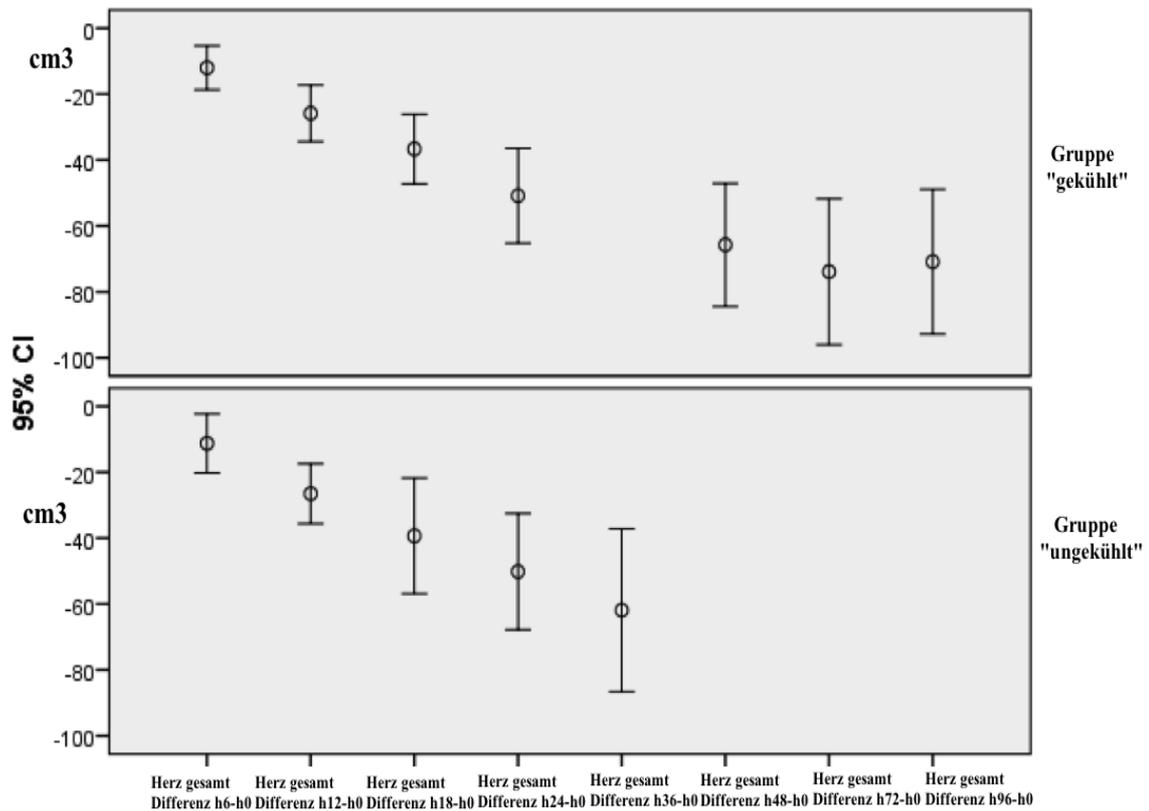


Abbildung 51: Volumenentwicklung Herz gesamt unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt"

Die Korrelation des gesamten Herzvolumens mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelationen statistische Signifikanzen (vgl. Tabelle 15).

Tabelle 15: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) Herzvolumen gesamt und pl./pr. Tod

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h6	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
plötzlicher Tod	-4,6410	16,68041	<0,01	-39,7105	37,07327	<0,05
protrahierter Tod	-21,8000	26,73162		-66,2000	49,63064	
insgesamt	-12,1014	23,10089		-51,3971	44,72975	

Tabelle 16: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (%) Herzvolumen gesamt und Todesursachen

Einflussvariablen	Mittelwert (%) Diff. h0-h6	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert (%) Diff. h0-h12	Standard-abw.	p-Wert
infektiöse Komplikation	-4,2857	4,19391	<0,01	-8,3229	5,85991	<0,01
tumortoxisch	-3,0712	4,86572		-6,5999	5,16598	
Herzversagen	-0,6247	3,40787		-3,3784	4,70222	
insgesamt	-2,0038	4,10067		-5,2333	5,53430	

Die Korrelation des gesamten Herzvolumens mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen BMI, Temperatur, relatives Blutvolumen, Ödemstatus und Reanimation keine statistischen Signifikanzen.

3.3 Die Lunge

In den folgenden Abbildungen wurden exemplarisch nur die ersten 24 Stunden dargestellt, da sich im weiteren zeitlichen Verlauf keine wesentlichen Veränderungen mehr zeigten und diese verkürzte Darstellung eine bessere Übersichtlichkeit dieses ersten, entscheidenden Zeitraums bietet.

3.3.1 Ösophagus und Trachea

In den folgenden Abbildungen sind zum einen die Ösophagus- und zum anderen die Tracheafüllung über die ersten 24 Stunden postmortem dargestellt. Sowohl beim Ösophagus als auch bei der Trachea zeigen sich deutliche Füllungstendenzen mit zunehmender Liegezeit postmortem (vgl. Abbildung 52 und Abbildung 53).

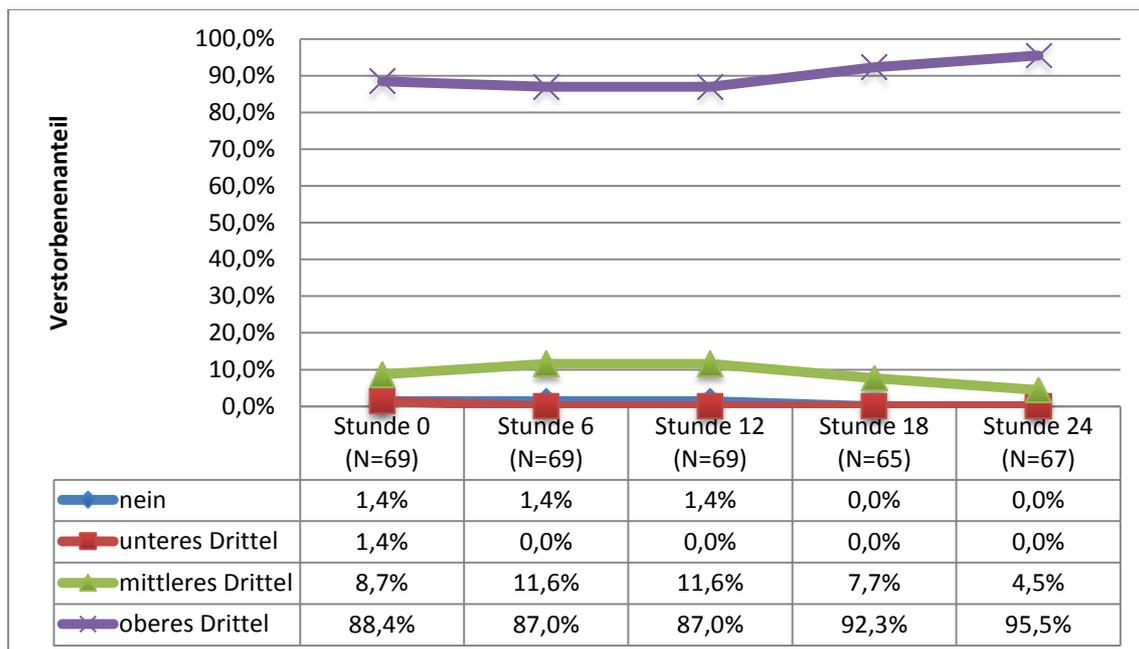


Abbildung 52: Entwicklung der Ösophagusfüllung über 24 Stunden

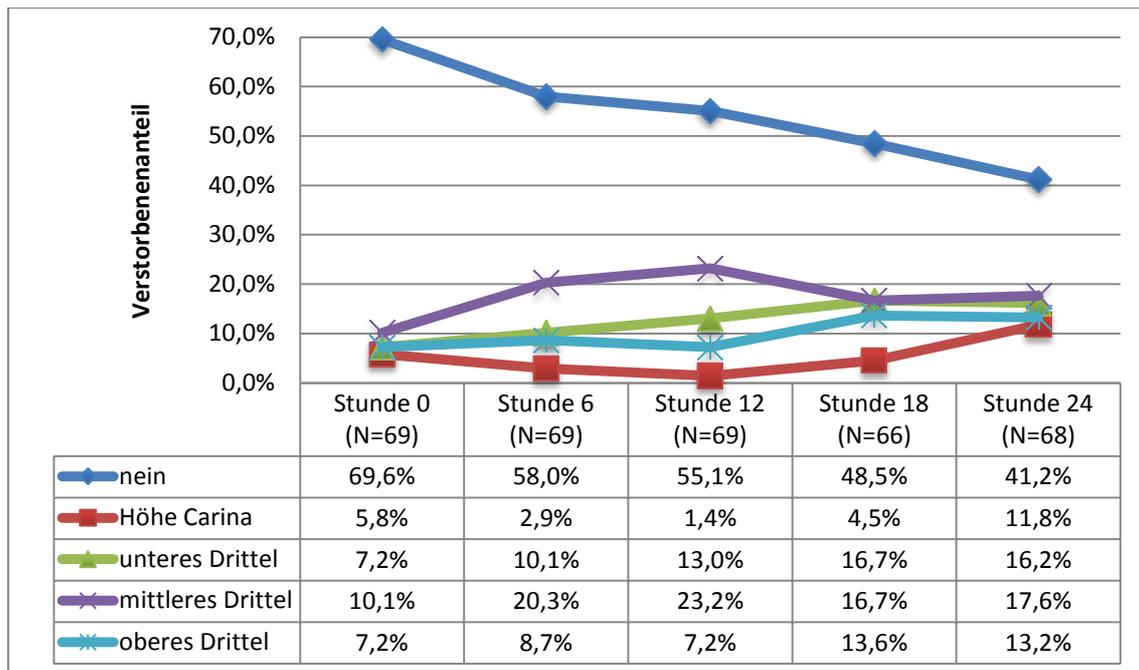


Abbildung 53: Entwicklung der Tracheafüllung über 24 Stunden

3.3.2 Die Hauptbronchien

In den folgenden Abbildungen ist die Füllung des rechten bzw. des linken Hauptbronchus über die ersten 24 Stunden postmortem dargestellt. Sowohl beim rechten als auch beim linken Hauptbronchus zeigt sich eine deutliche Zunahme der Flüssigkeitsfüllung postmortem über die Zeit (vgl. Abbildung 54 und Abbildung 55).

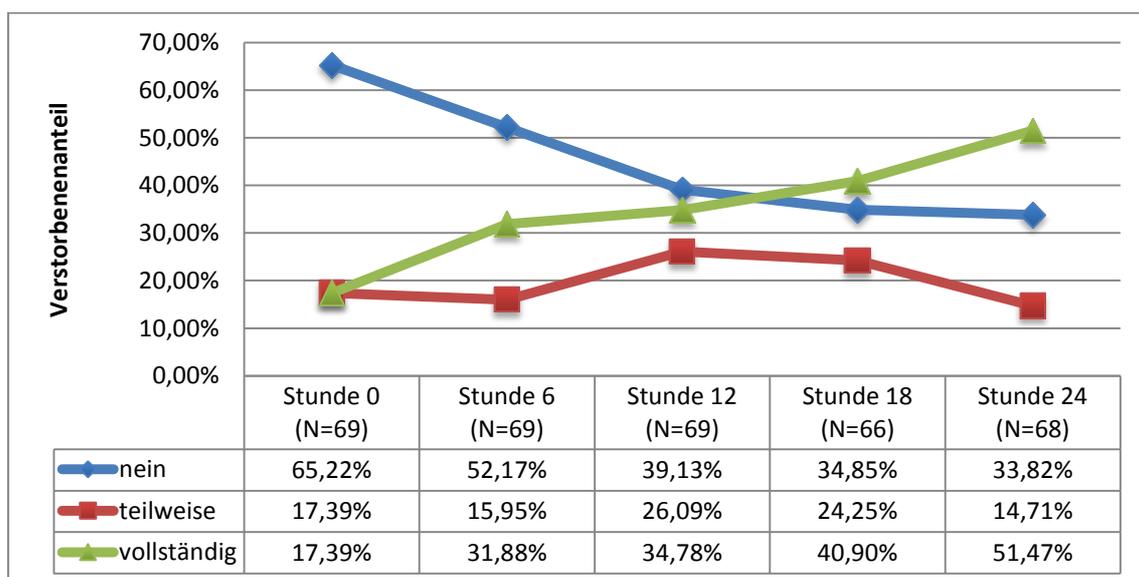


Abbildung 54: Entwicklung Hauptbronchusfüllung rechts über 24 Stunden

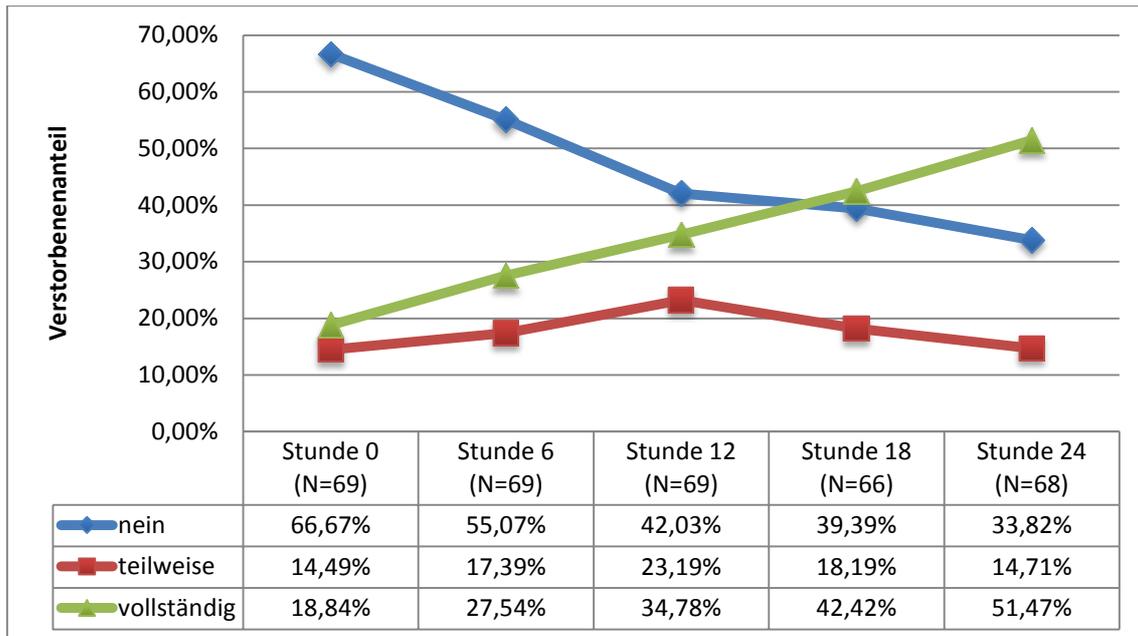


Abbildung 55: Entwicklung Hauptbronchusfüllung links über 24 Stunden

3.3.3 Das Bronchiogramm

In den folgenden Abbildungen ist der Verlauf des rechten bzw. des linken Bronchiogramms im Unterlappen bzw. im Oberlappen über die ersten 24 Stunden postmortem dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich das Bronchiogramm mit zunehmender Liegezeit postmortem immer weniger verzweigt darstellt bzw. es immer weniger überhaupt noch auszudifferenzieren ist (vgl. Abbildung 56 bis Abbildung 59).

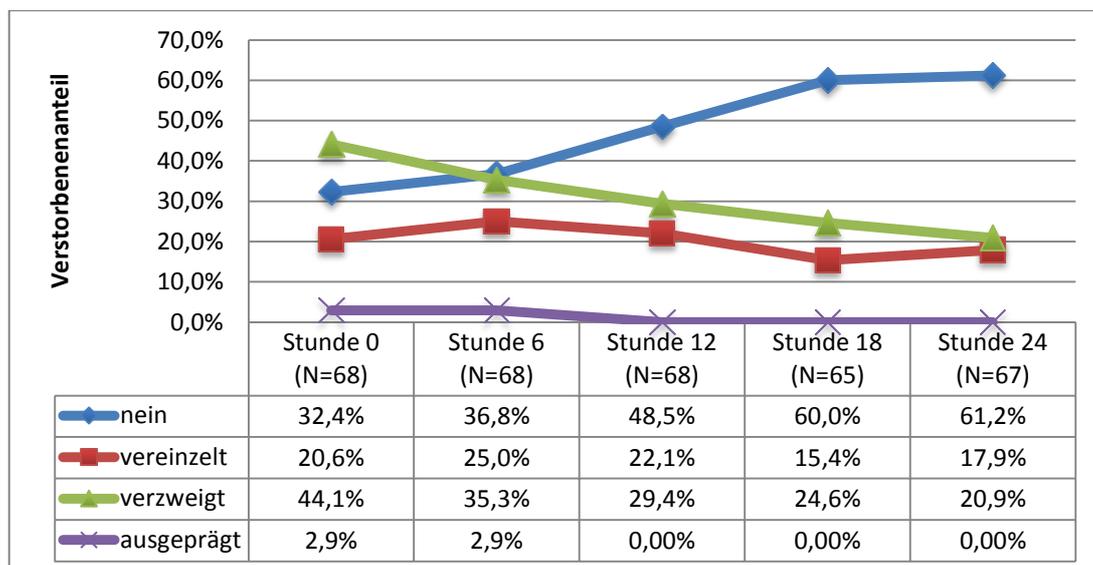


Abbildung 56: Verlauf Bronchiogramm rechter Unterlappen über 24 Stunden

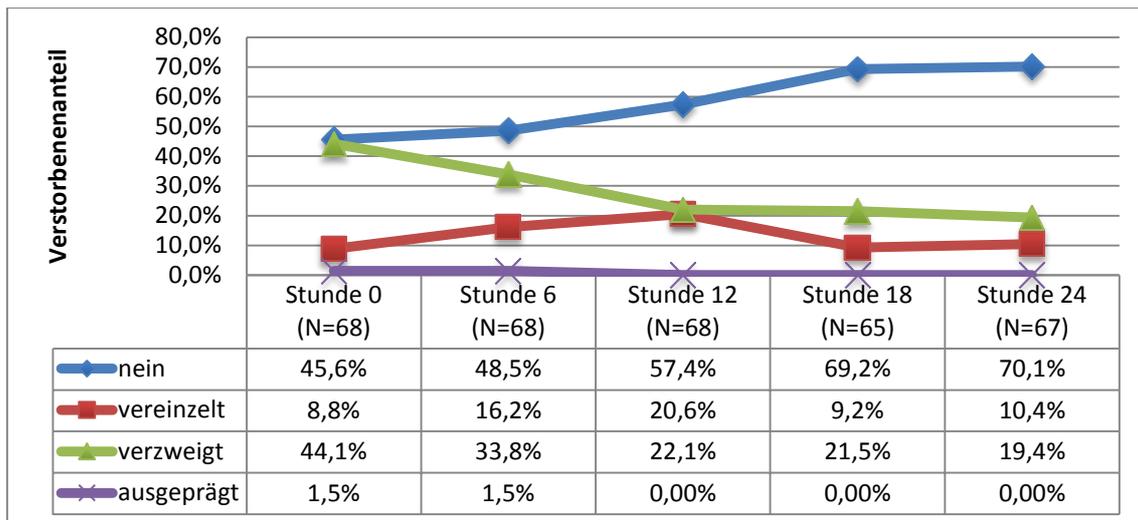


Abbildung 57: Verlauf Bronchiogramm linker Unterlappen über 24 Stunden

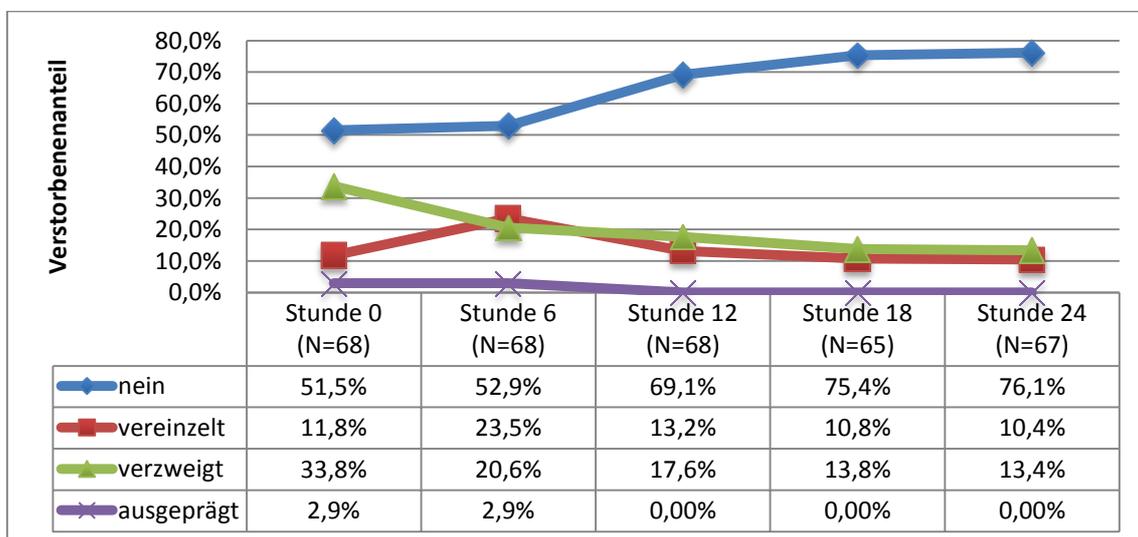


Abbildung 58: Verlauf Bronchiogramm rechter Oberlappen über 24 Stunden

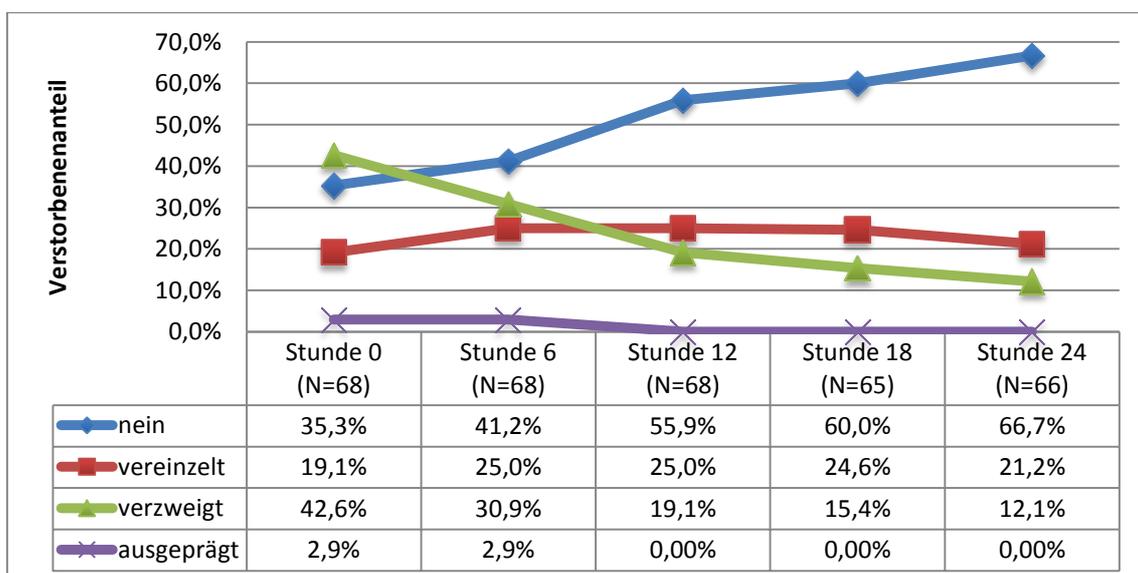


Abbildung 59: Verlauf Bronchiogramm linker Oberlappen über 24 Stunden

3.3.4 Pleuraerguss quantitativ

In den folgenden Abbildungen ist die quantitative Entwicklung des Pleuraergusses links bzw. rechts, unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“, über 96 Stunden postmortem dargestellt. Gruppenübergreifend lässt sich auf beiden Lungenseiten eine deutliche Zunahme der Ergüsse über die Zeit feststellen (vgl. Abbildung 60 und Abbildung 61, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle).

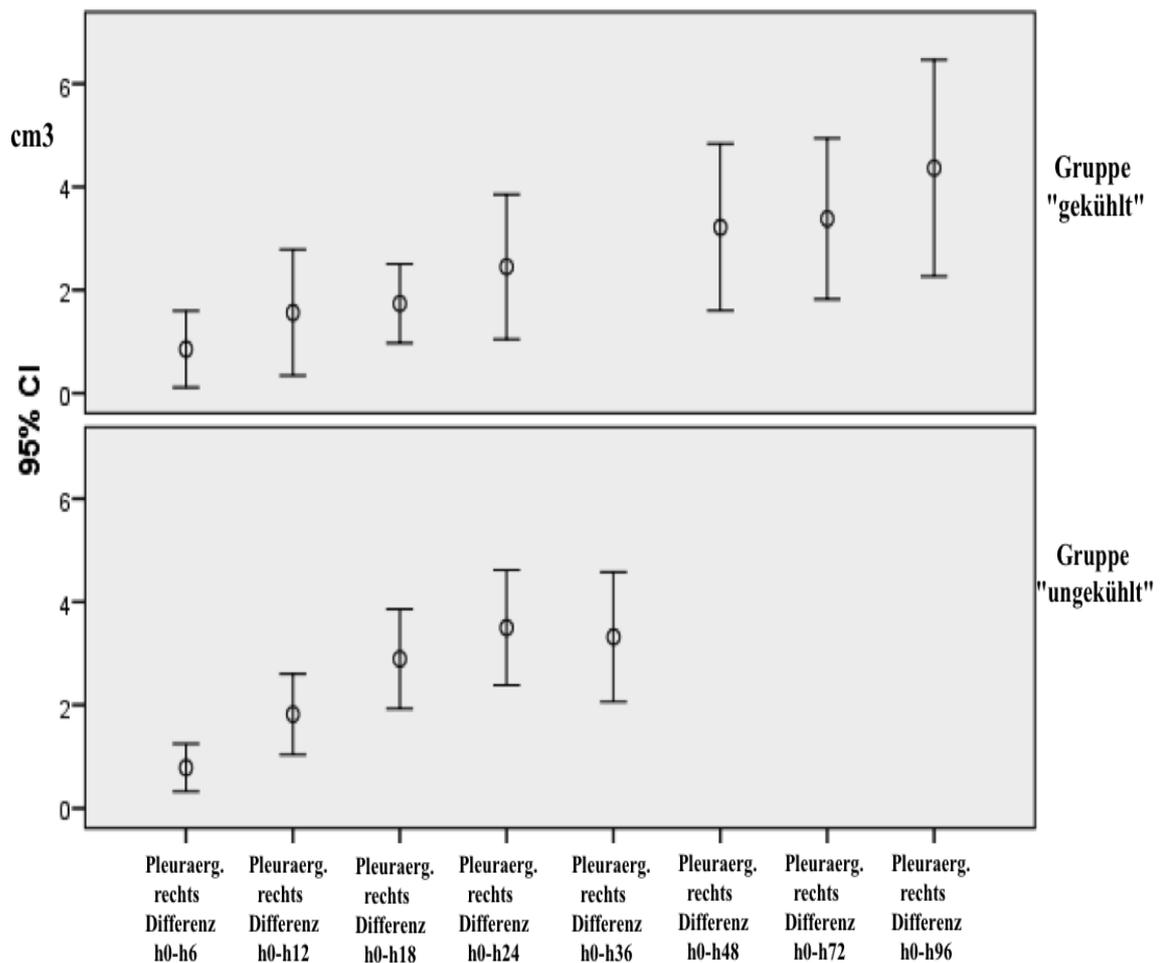


Abbildung 60: Entwicklung des Pleuraergusses quantitativ rechts über die Zeit

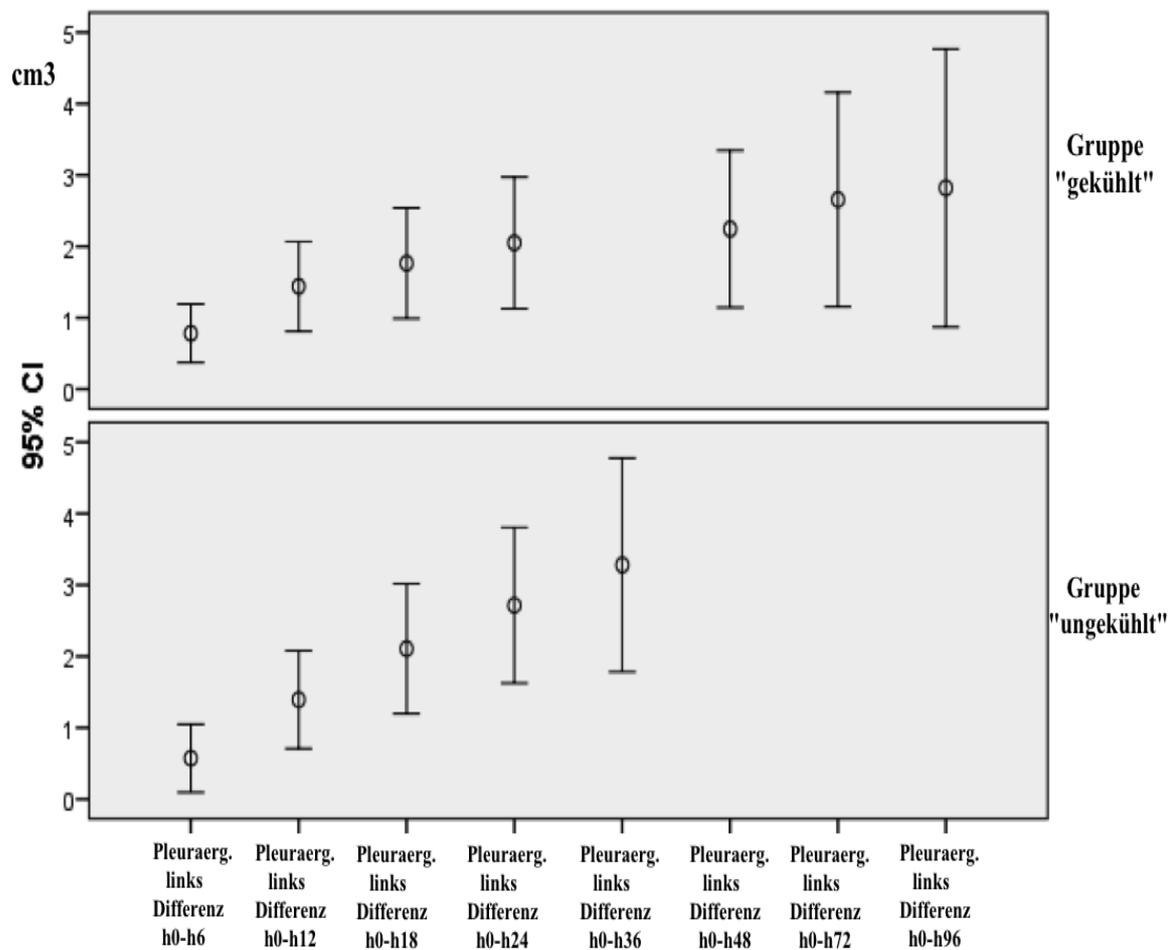


Abbildung 61: Entwicklung des Pleuraergusses quantitativ links über die Zeit

Die Korrelation der Entwicklung des Pleuraergusses quantitativ mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelationen statistische Signifikanzen (vgl. Tabelle 17, Tabelle 18 und Tabelle 19).

Tabelle 17: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ rechts und pl./pr. Tod

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h18	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
plötzlicher Tod	1,6154	2,32396	<0,05	1,8947	2,66904	<0,05
protrahierter Tod	3,1111	2,39122		4,1333	4,72509	
insgesamt	2,2273	2,44820		2,8824	3,85378	

Tabelle 18: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ links und pl./pr. Tod

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h18	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
plötzlicher Tod	1,3333	2,14394	<0,05	1,5526	2,65795	<0,05
protrahierter Tod	2,7407	2,39539		3,3000	2,83026	
insgesamt	1,9091	2,33849		2,3235	2,85177	

Tabelle 19: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ links und Reanimation

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h12	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
Reanimation ja	1,0513	1,66936	<0,01	1,8205	2,58408	<0,01
Reanimation nein	2,4783	2,04205		3,9545	2,96772	
insgesamt	1,5806	1,92948		2,5902	2,89469	

Tabelle 20: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ links und Todesursachen

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h6	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h18	Standard-abw.	p-Wert
infektiöse Komplikation	1,2941	1,40378	<0,05	3,2000	2,45531	<0,05
tumortoxisch	1,8000	2,48998		3,2000	2,38747	
Herzversagen	0,4063	0,94560		1,3438	2,28048	
insgesamt	0,8148	1,36083		2,0577	2,46873	

Die Korrelation der Entwicklung des Pleuraergusses quantitativ mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen BMI, Temperatur, relatives Blutvolumen und Ödemstatus keine statistischen Signifikanzen.

3.3.5 Pleuraerguss qualitativ

Wie bereits in Abbildung 52 bis Abbildung 59 wurde auch in den folgenden Abbildungen der qualitativen Entwicklung des Pleuraergusses rechts bzw. links zur besseren Übersichtlichkeit exemplarisch ein verkürztes Zeitintervall bis 72 Stunden postmortem dargestellt (vgl. Abbildung 62 und Abbildung 63).

Nicht so prominent wie bei der quantitativen Pleuraergussmessung in 3.3.4 zeigt sich bei der qualitativen Einteilung des Pleuraergusses nur eine leichte Zunahmetendenz der Ergüsse über die Zeit. Dies mag an der größeren anatomischen Einteilung qualitativ liegen, da bei der quantitativen Messung schon wenige cm einen großen Effekt ausmachen.

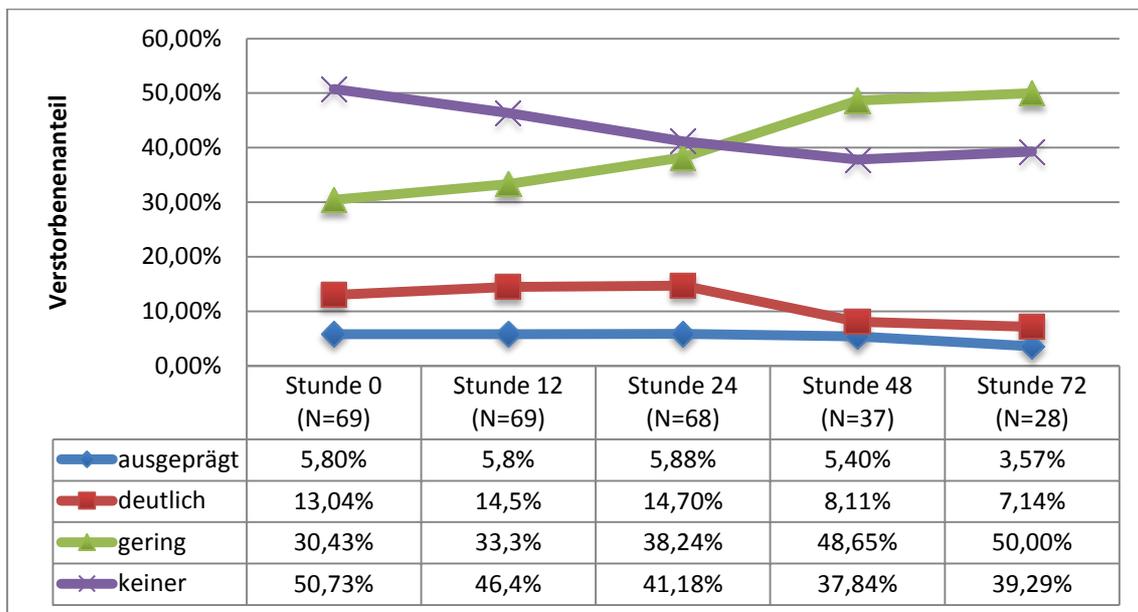


Abbildung 62: Verlauf Pleuraerguss qualitativ rechts über 72 Stunden

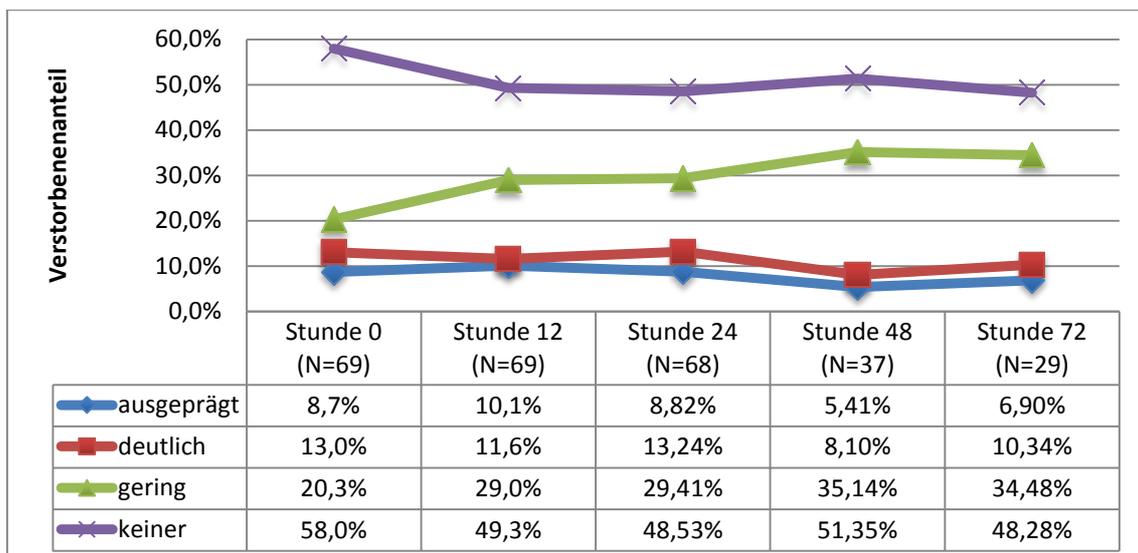


Abbildung 63: Verlauf Pleuraerguss qualitativ links über 72 Stunden

3.3.6 Der ventrale Pleuraerguss

Der Einfluss des Faktors Schwerkraft lässt sich auch in der vorliegenden Arbeit im Speziellen für die Lunge zeigen, da aufgrund der unterschiedlichen Lagerung von 5 Verstorbenen ab Stunde 18 in einer CT-Serie in Bauch- statt in Rückenlage und der anschließenden Vermessung der entstandenen Pleuraergüsse sich ab Stunde 18 hier die Pleuraergüsse ventral zeigten statt dorsal wie noch zuvor bis zur Stunde 12 der CT-Serie und somit die Flüssigkeitsansammlung lagerungsbedingt der Schwerkraft folgte (vgl. Abbildung 64).

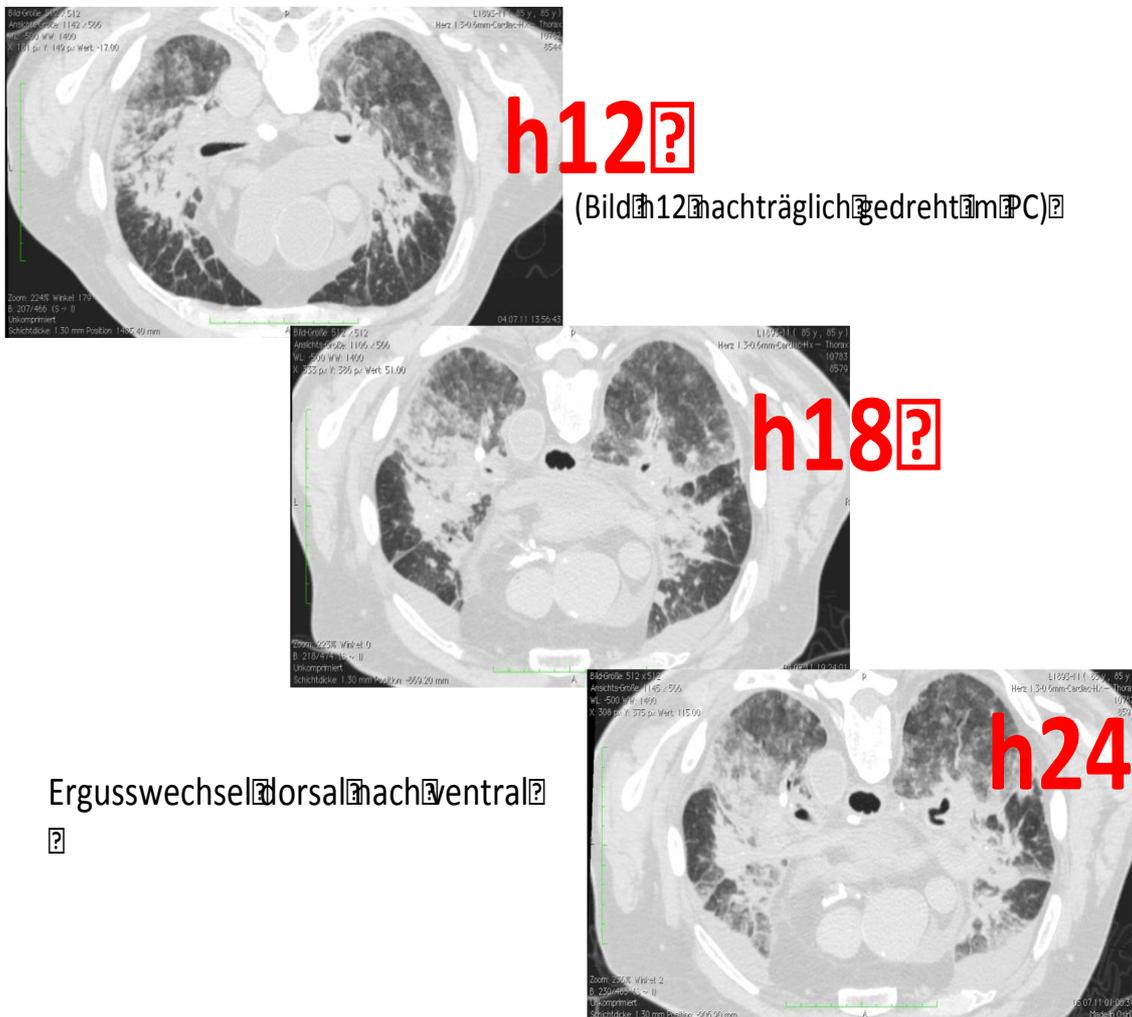


Abbildung 64: Pleuraergusswechsel von dorsal nach ventral

3.3.7 Parenchymzeichnung qualitativ

In Abbildung 65 sind die qualitativ gemessenen Parenchymzeichnungen, eingeteilt in die Gruppen „gekühlt“ bzw. „ungekühlt“, exemplarisch im rechten Oberlappen dargestellt, denn da sich über die Zeit die Entwicklung der Parenchymzeichnung des rechten Oberlappens unmerklich von der des linken Oberlappens unterscheidet, wurde im Folgenden als Abbild des linken nur der rechte Oberlappen dargestellt.

Bei der qualitativen Parenchymzeichnung bezeichnen die einzelnen Qualitäten Transparenzstufen. Die niedrigste Transparenzstufe stellt die Qualität „transparent/Milchglas“ dar und steigert sich über die Qualitäten „strukturiert“, dann „wolkig“ bis hin zu „intransparent“ als Maximum (vgl. Abbildung 65).

Es fällt auf, dass bereits zu Beginn nahezu die Hälfte beider Gruppen eine strukturiert/wolkige Parenchymzeichnung aufwies und diese sich bis zum Ende der Messungen auch nicht veränderte.

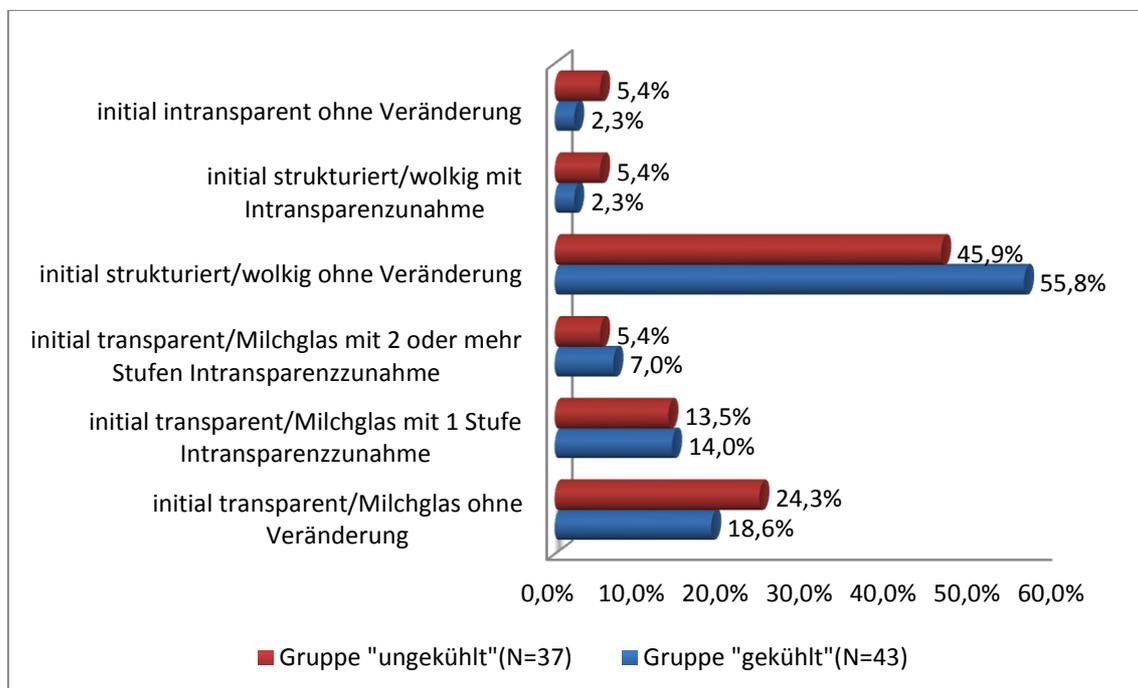


Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung der Parenchymzeichnung qualitativ im Oberlappen rechts

3.3.8 Parenchymtransparenz quantitativ

In den folgenden Abbildungen ist die quantitative Entwicklung der Parenchymtransparenz und der Standardabweichung exemplarisch im Oberlappen rechts über 96 Stunden postmortem dargestellt. Da sich über die Zeit die Entwicklung der Parenchymtransparenz und der Standardabweichung des rechten Oberlappens unmerklich von der des linken Oberlappens unterscheidet, wurde im Folgenden als Abbild des linken nur der rechte Oberlappen in Abbildung 66 und Abbildung 67 dargestellt.

Deutlich ist eine stete Abnahme der Parenchymtransparenz bei zunehmender Liegezeit postmortem zu erkennen (vgl. Abbildung 66 und Abbildung 67, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle).

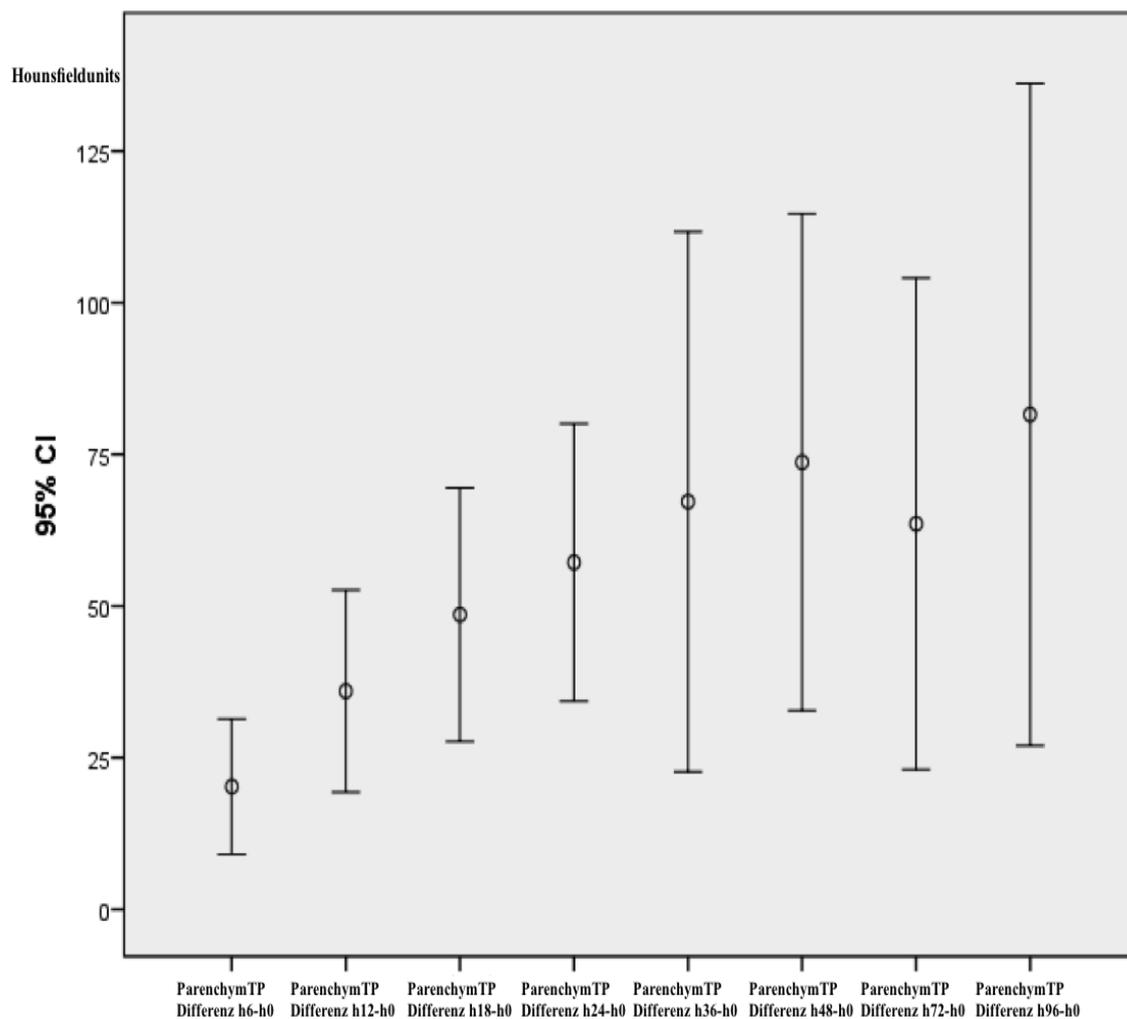


Abbildung 66: Entwicklung Parenchymtransparenz quantitativ Oberlappen rechts

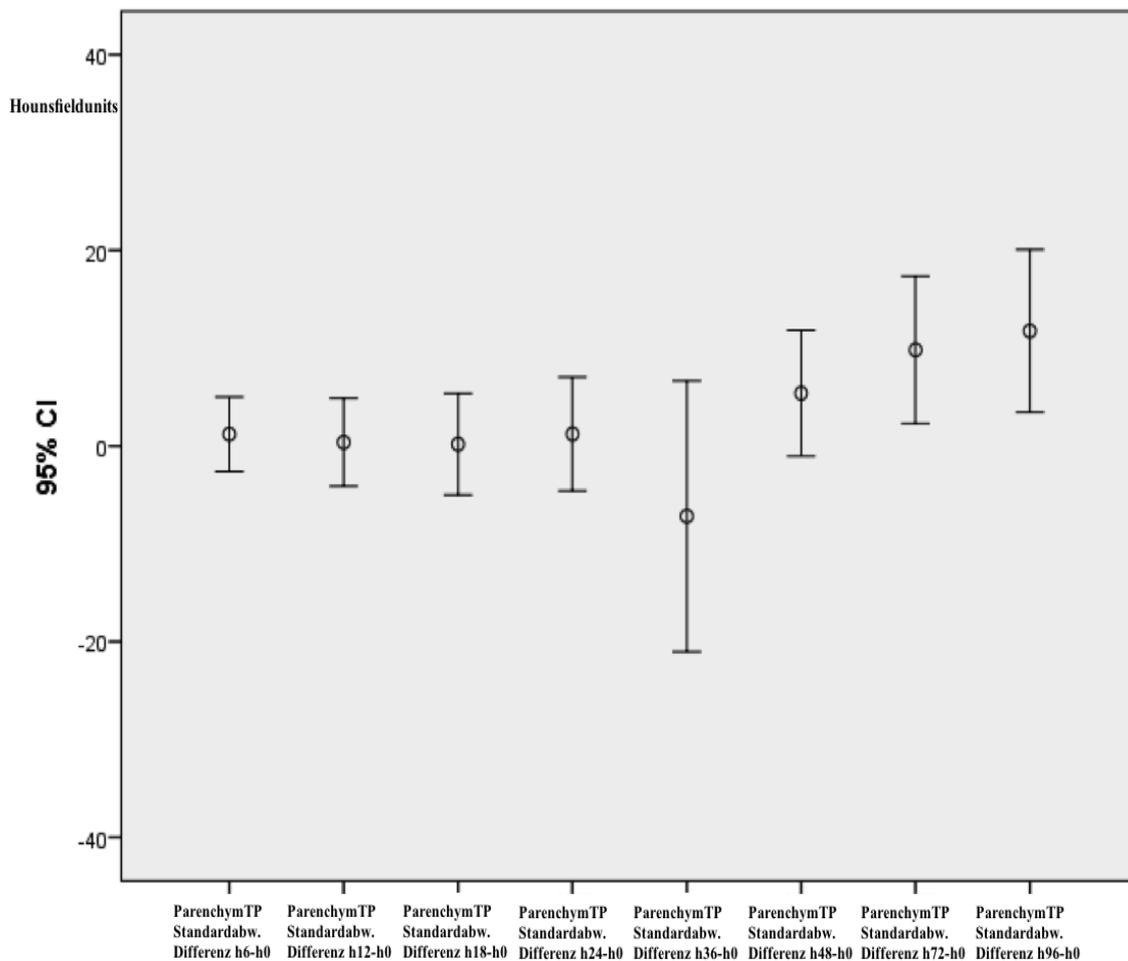


Abbildung 67: Entwicklung Parenchymtransparenz Standardabweichung Oberlappen rechts

Die Korrelation der Entwicklung der Parenchymtransparenz mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelationen statistische Signifikanzen (vgl. Tabelle 21 bis Tabelle 24).

Tabelle 21: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen rechts und pl./pr. Tod

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h12	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
plötzlicher Tod	51,47	74,571	<0,05	85,19	107,521	<0,01
protrahierter Tod	16,33	56,270		22,67	58,499	
insgesamt	35,97	68,923		57,19	93,759	

Tabelle 22: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen rechts und Reanimation

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h12	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
Reanimation ja	55,97	81,297	<0,05	82,45	109,638	<0,05
Reanimation nein	12,13	39,367		25,05	56,595	
insgesamt	39,44	71,435		61,40	97,244	

Tabelle 23: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen links und pl./pr. Tod

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h12	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
plötzlicher Tod	62,24	71,598	<0,05	96,29	110,036	<0,05
protrahierter Tod	26,19	48,070		48,33	71,140	
insgesamt	46,10	64,325		74,15	96,468	

Tabelle 24: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen links und Temperatur

Einflussvariablen	Mittelwert Differenz h0-h18	Standard-abw.	p-Wert	Mittelwert Differenz h0-h24	Standard-abw.	p-Wert
Gruppe "gekühlt"	45,97	80,297	<0,05	54,65	93,383	<0,05
Gruppe "ungekühlt"	95,79	88,782		105,35	94,857	
insgesamt	65,74	86,617		74,15	96,468	

Die Korrelation der Entwicklung der Parenchymtransparenz mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen BMI, relatives Blutvolumen, Todesursachen und Ödemstatus keine statistischen Signifikanzen.

Die Werte der Standardabweichungen der Parenchymtransparenz sowohl für den linken als auch für den rechten Oberlappen ergaben in Korrelation mit allen Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) keine statistischen Signifikanzen.

3.3.9 Zentrale Gefäßzeichnung

Die Gefäßzeichnung wurde initial zur Stunde 0 der CT-Serie bestimmt. In Abbildung 68 bedeutet der Zustand „initial deutlich bzw. gering/mäßig ohne Veränderung“, dass dieser anfangs erhobene Zustand stabil über die CT-Serie anhält.

„Initial gering/mäßig mit Veränderung“ bedeutet, dass sich der Ausgangszustand bis hin zu „deutlich“ im Verlauf verändert, wohingegen „initial deutlich mit Veränderung“ bedeutet, dass der Zustand sich von „deutlich“ rücklaufend hin zu „mäßig/gering“ während einer CT-Serie verändert.

Da sich die zentrale Gefäßzeichnung auf der rechten Seite unmerklich von der linken Seite unterscheidet, wurde im Folgenden als Abbild der linken nur die rechte Seite in Abbildung 68 dargestellt, unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“.

Deutlich wird, dass bereits zu Beginn der Messung bei der Mehrheit der Verstorbenen beider Gruppen eine deutliche zentrale Gefäßzeichnung vorlag und sich dies bis zum Ende der Messung auch nicht veränderte.

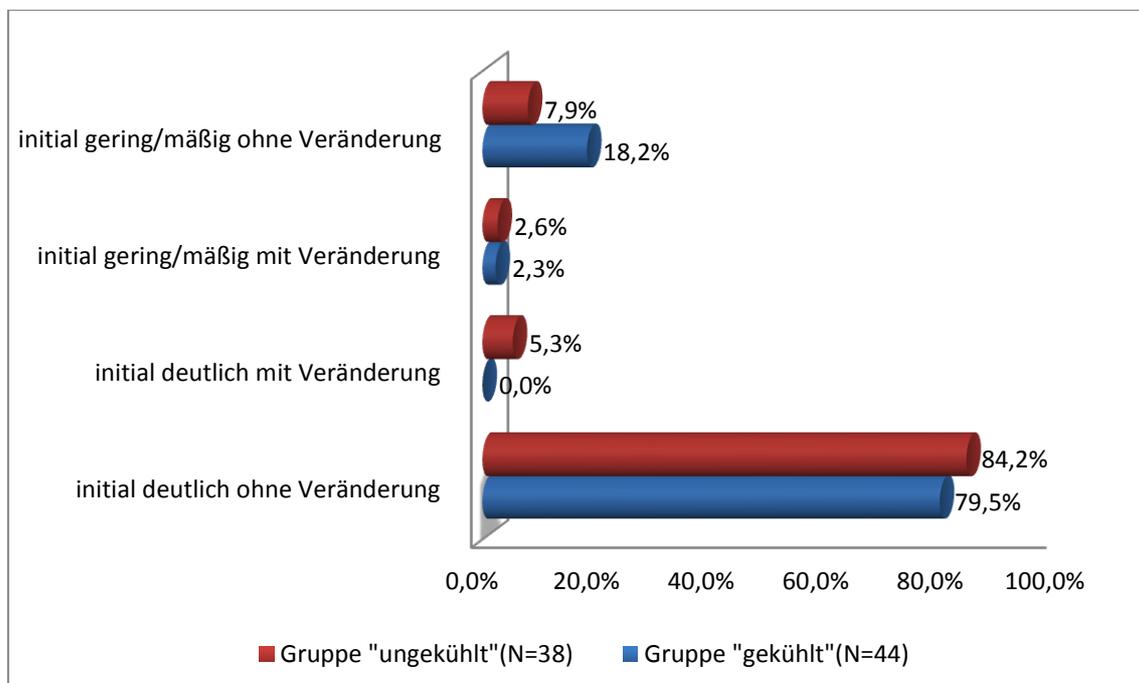


Abbildung 68: Häufigkeitsverteilung der zentralen Gefäßzeichnung rechts

3.3.10 Periphere Gefäßzeichnung

Die Gefäßzeichnung wurde initial zur Stunde 0 der CT-Serie bestimmt. In Abbildung 69 bedeutet der Zustand „initial Sternenhimmel bzw. netzförmig/gefäßbetont ohne Veränderung“, dass dieser anfangs erhobene Zustand stabil über die CT-Serie anhält.

„Initial netzförmig/gefäßbetont mit Veränderung“ bedeutet, dass sich der Ausgangszustand bis hin zu „gefäßbetont mit Wandunschärfe“ im Verlauf einer CT-Serie verändert.

Da sich die periphere Gefäßzeichnung im rechten Oberlappen unmerklich von der im linken Oberlappen unterscheidet, wurde im Folgenden als Abbild der linken nur die periphere Gefäßzeichnung des rechten Oberlappens in Abbildung 69 dargestellt.

Deutlich wird, dass bereits zu Beginn der Messung fast 30% der Verstorbenen beider Gruppen eine „gefäßbetonte periphere Gefäßzeichnung mit Wandunschärfe“ ohne weitere Veränderung im Verlauf der Messung aufwiesen und wiederum fast 30% der Verstorbenen beider Gruppen initial eine „netzförmig/gefäßbetonte“ periphere Gefäßzeichnung aufwiesen, welche im Verlauf hin zur „Gefäßbetonung mit Wandunschärfe“ zunahm (vgl. Abbildung 69).

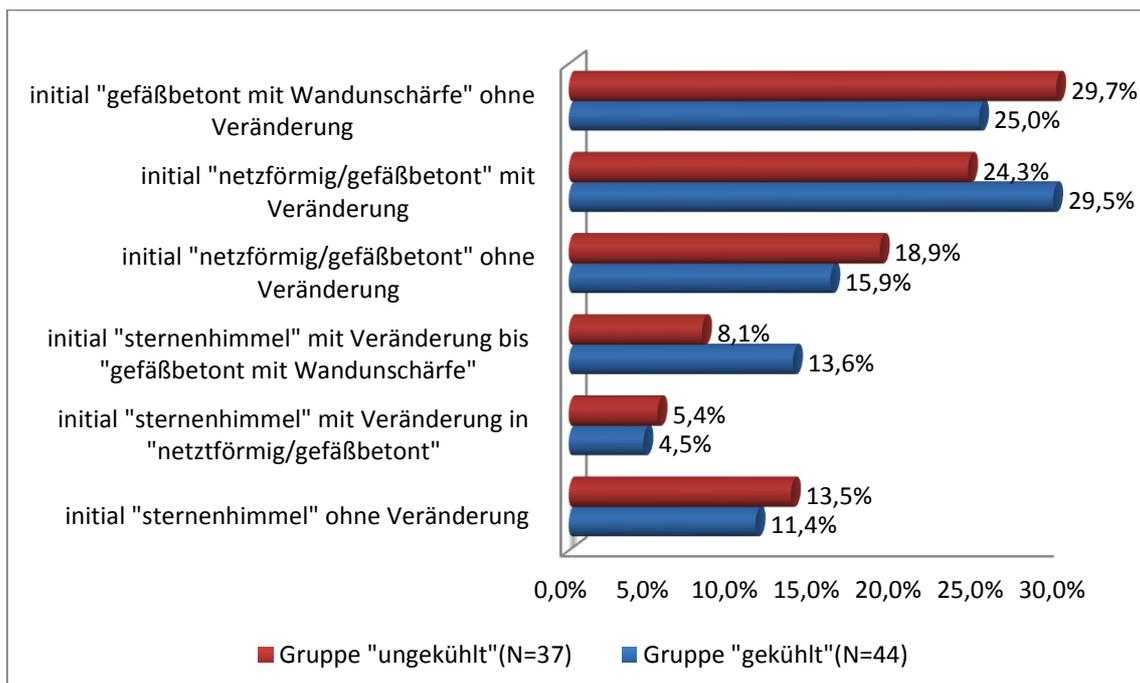


Abbildung 69: Häufigkeitsverteilung der peripheren Gefäßzeichnung Oberlappen rechts

3.3.11 Niveau- und Frontbildung qualitativ

In den folgenden Abbildungen ist die qualitative Entwicklung der Niveau- bzw. Frontbildung, unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“, dargestellt. Deutlich wird, dass bei über der Hälfte der Verstorbenen beider Gruppen bereits zu Beginn der Messung ein deutliches Niveau festzustellen war und ebenfalls bei fast annähernd der Hälfte der Verstorbenen beider Gruppen bereits initial eine deutliche Frontbildung stattgefunden hatte (vgl. Abbildung 70 und Abbildung 71).

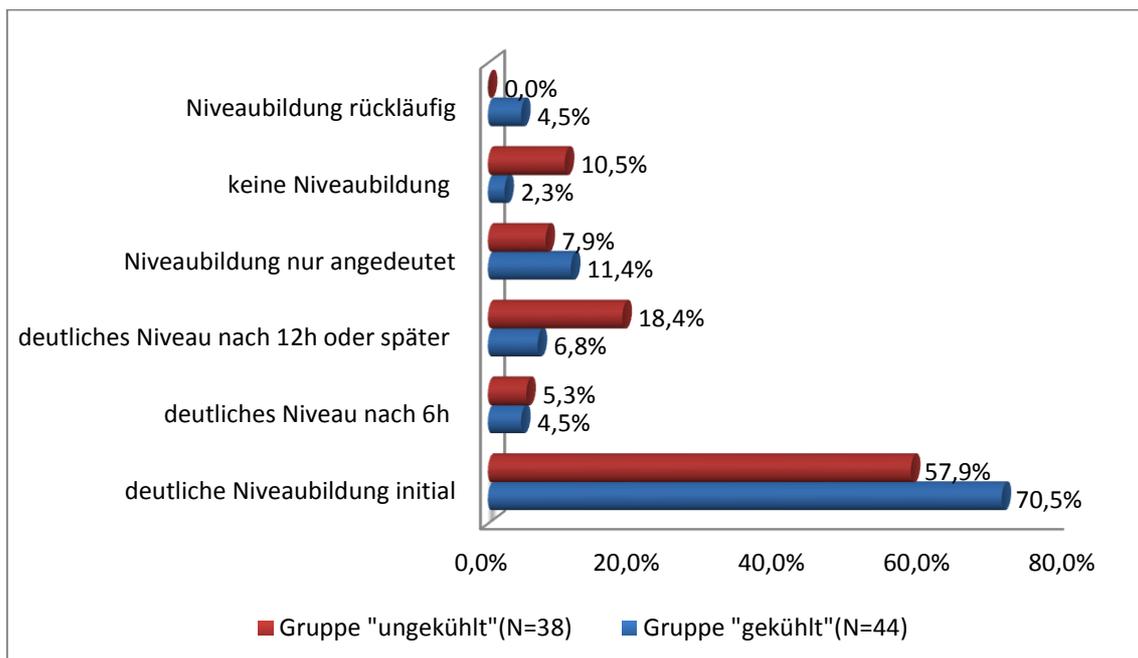


Abbildung 70: Häufigkeitsverteilung der Niveaumessung qualitativ

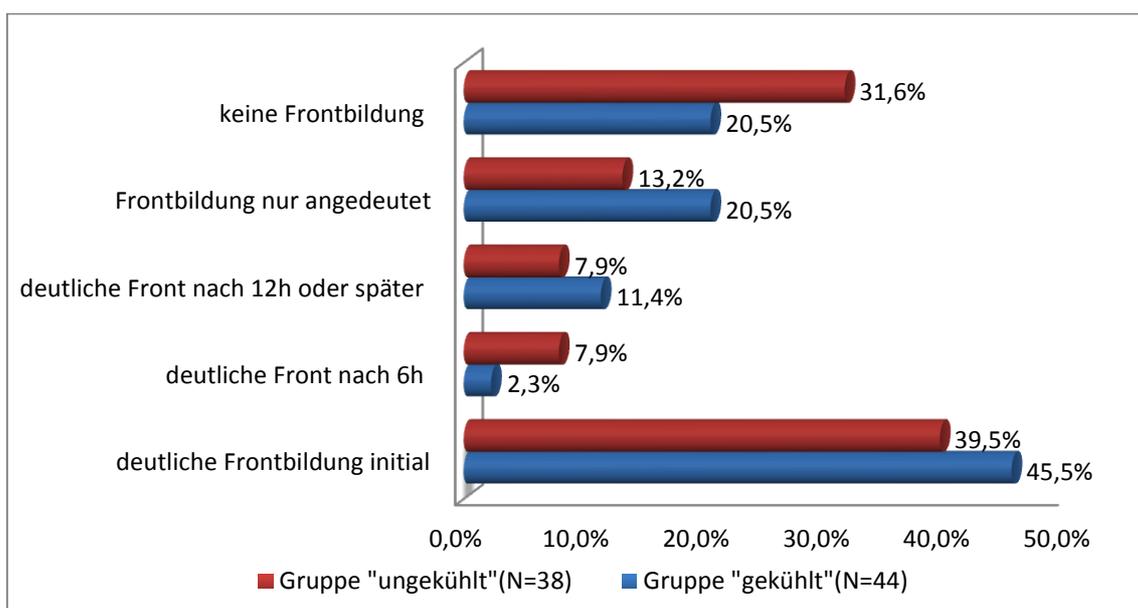


Abbildung 71: Häufigkeitsverteilung der Frontmessung qualitativ

3.3.12 Niveaumessung quantitativ

Abbildung 72, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle, stellt die quantitative Niveaumessung im Ober-, Mittel- und Unterlappen der rechten Lunge dar, unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“. Zur besseren Übersichtlichkeit der Darstellung wurden hier nur die Messzeitpunkte nach 12 Stunden, 24 Stunden und 72 Stunden postmortem gewählt und da sich die Niveaumessungen in den rechten Lungenlappen unmerklich von denen in den linken Lungenlappen unterscheiden, wurde im Folgenden als Abbild der linken nur die Niveaumessungen der rechten Lungenlappen dargestellt.

Es zeigt sich eine deutliche Tendenz zur Zunahme des Niveaus über die Zeit in beiden Gruppen.

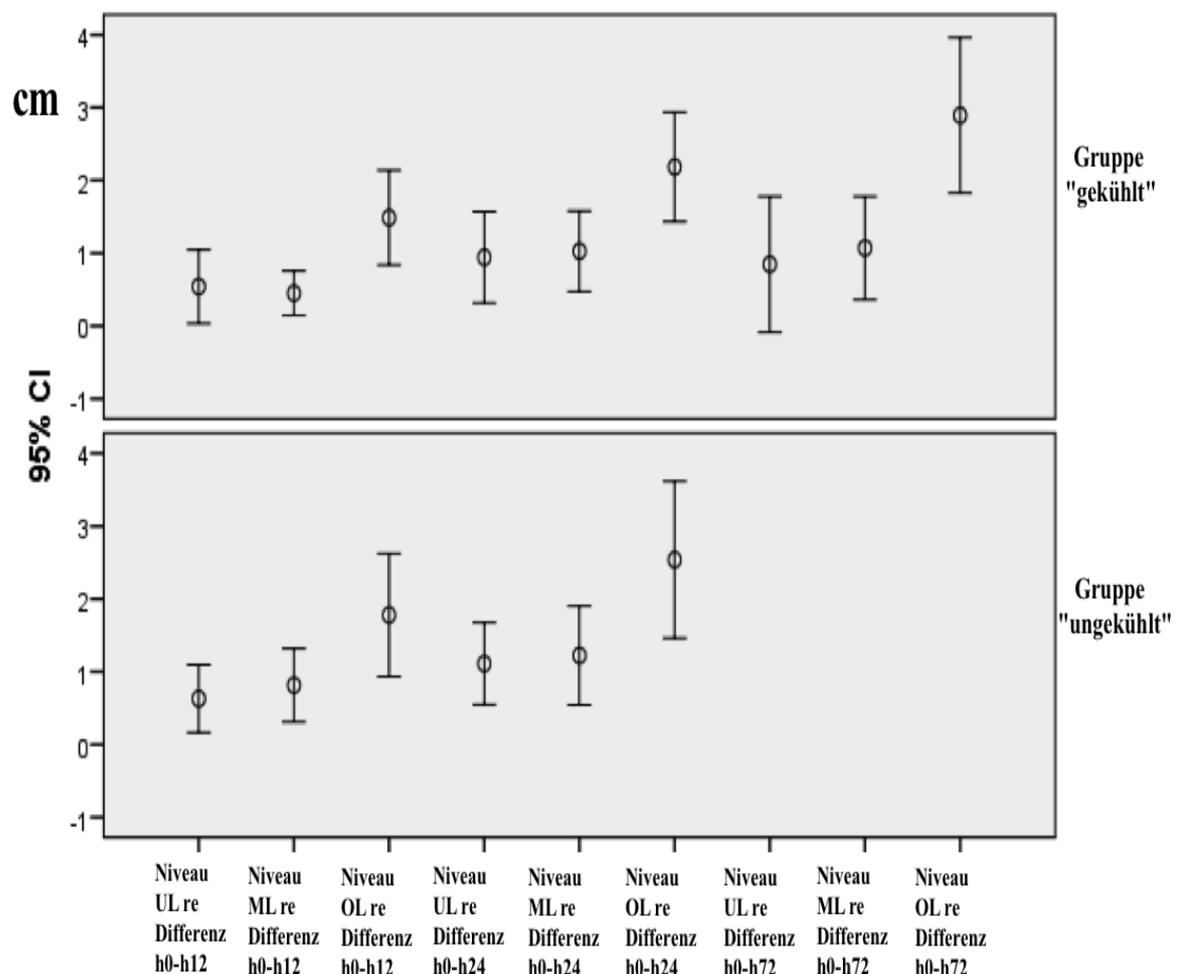


Abbildung 72: Niveauperlauf quantitativ über Stunde 12, Stunde 24 und Stunde 72 jeweils für alle Lungenlappen rechts

Die Werte der Niveauentwicklung quantitativ über alle Lungenlappen rechts zu Stunde 12, Stunde 24 und Stunde 72 ergaben in Korrelation mit den Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) BMI, relatives Blutvolumen, Todesursachen, Ödemstatus, protrahierter bzw. plötzlicher Tod und Reanimation keine statistischen Signifikanzen.

3.3.13 Segmenttransparenz qualitativ

Abbildung 73 bis Abbildung 75 zeigen die qualitative Entwicklung der Segmenttransparenz für den apikalen und dorsalen Oberlappen und für den dorsalen Unterlappen, unterteilt in die Gruppen „ungekühlt“ bzw. „gekühlt“.

Da sich die erhobenen Werte der rechten und linken Lungenlappen nur unwesentlich unterscheiden, sind in den folgenden Abbildungen (vgl. Abbildung 73, Abbildung 74 und Abbildung 75) lediglich die Werte der rechten Lungenlappen abgebildet.

Es wird deutlich, dass ab Beginn der Messung bei fast 40% der Verstorbenen beider Gruppen ein transparentes apikales Oberlappensegment bis zum Ende der Messung nicht intransparent wurde (vgl. Abbildung 73).

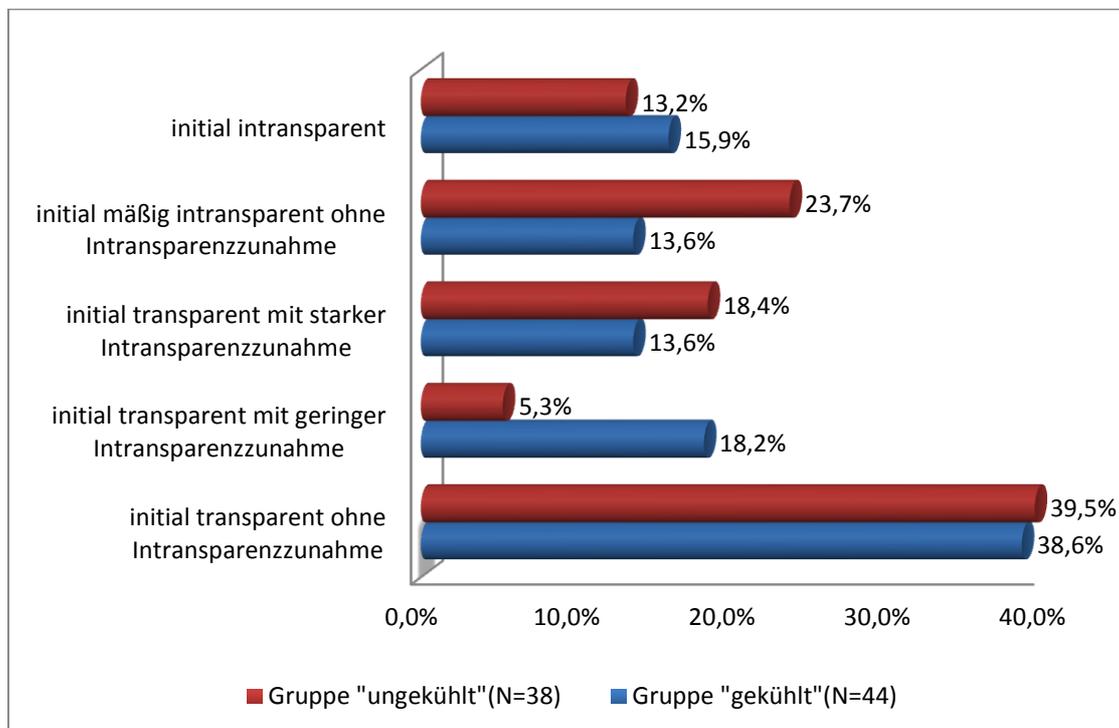


Abbildung 73: Häufigkeitsverteilung der Segmenttransparenz im apikalen Oberlappen rechts

Im Gegensatz zum apikalen Oberlappen zeigt sich beim dorsalen Oberlappen in Abbildung 74, dass sich ab Beginn der Messung bei fast 40% der Verstorbenen beider Gruppen ein intransparentes dorsales Oberlappensegment bis zum Ende der Messung ohne Veränderung zeigte.

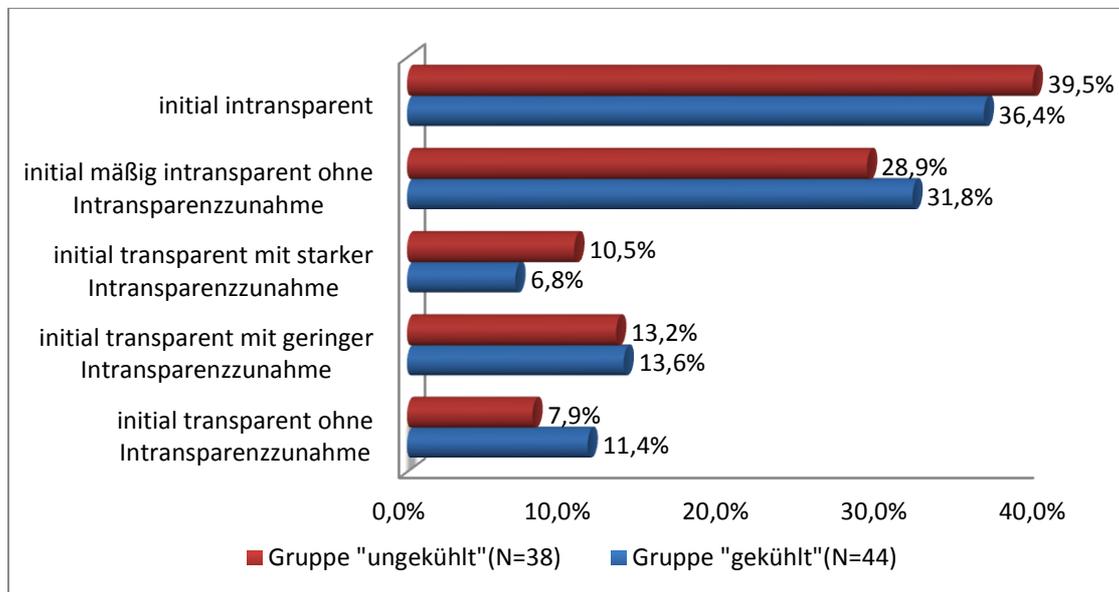


Abbildung 74: Häufigkeitsverteilung der Segmenttransparenz im dorsalen Oberlappen rechts

Noch deutlicher zeigt sich beim dorsalen Unterlappen in Abbildung 75, dass sich ab Beginn der Messung bei über der Hälfte der Verstorbenen beider Gruppen ein intransparentes dorsales Unterlappensegment bis zum Ende der Messung ohne Veränderung zeigte.

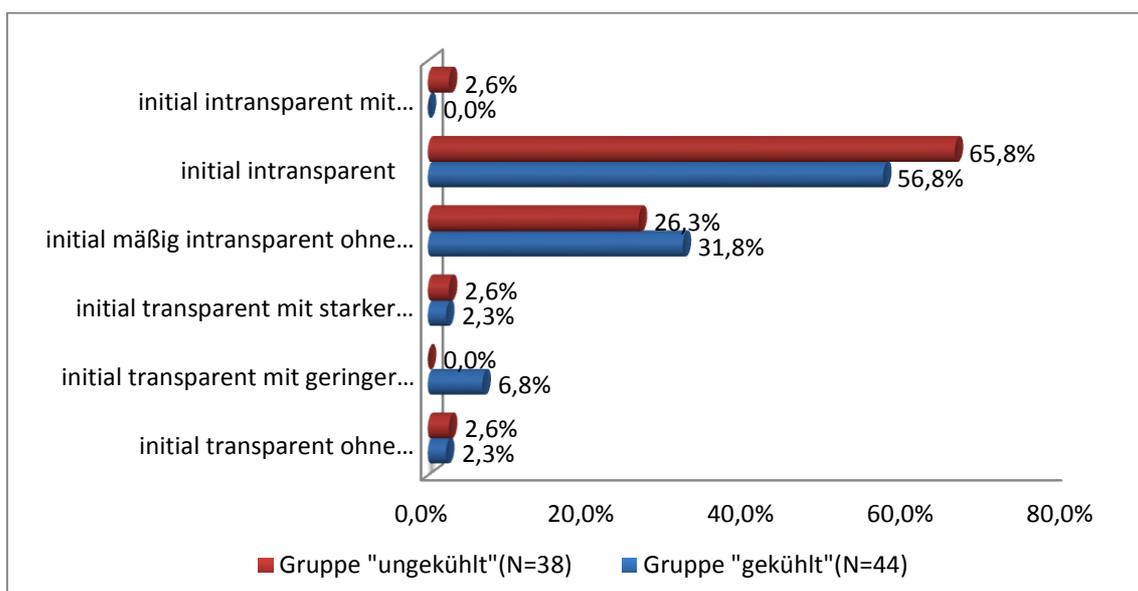


Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung der Segmenttransparenz im dorsalen Unterlappen rechts

3.3.14 Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts qualitativ

Abbildung 76 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts im rechten Oberlappen unterteilt in die Gruppen „gekühlt“ bzw. „ungekühlt“. Es zeigt sich deutlich, dass über die Hälfte der Verstorbenen beider Gruppen schon ab Beginn der Messung eine deutliche Transparenzminderung zeigte ohne Veränderung im Verlauf der Messung.

Da sich die Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts im rechten Oberlappen unmerklich sowohl von der im linken Oberlappen als auch von der im rechten Mittellappen unterscheidet, wurde im Folgenden als Abbild aller gemessenen Transparenzminderungen nur die Transparenzminderung über dem Interlobärspalt des rechten Oberlappens in Abbildung 76 dargestellt.

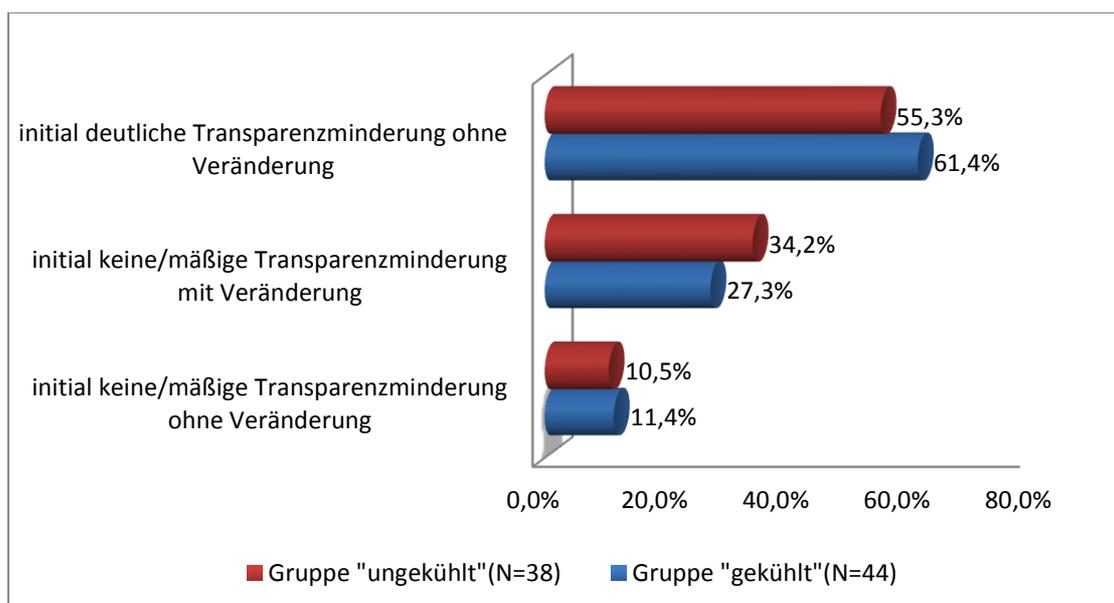


Abbildung 76: Häufigkeitsverteilung der Transparenzminderung über ILSpalt Oberlappen rechts

Die Korrelation der Entwicklung der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelation statistische Signifikanzen (vgl. Abbildung 77).

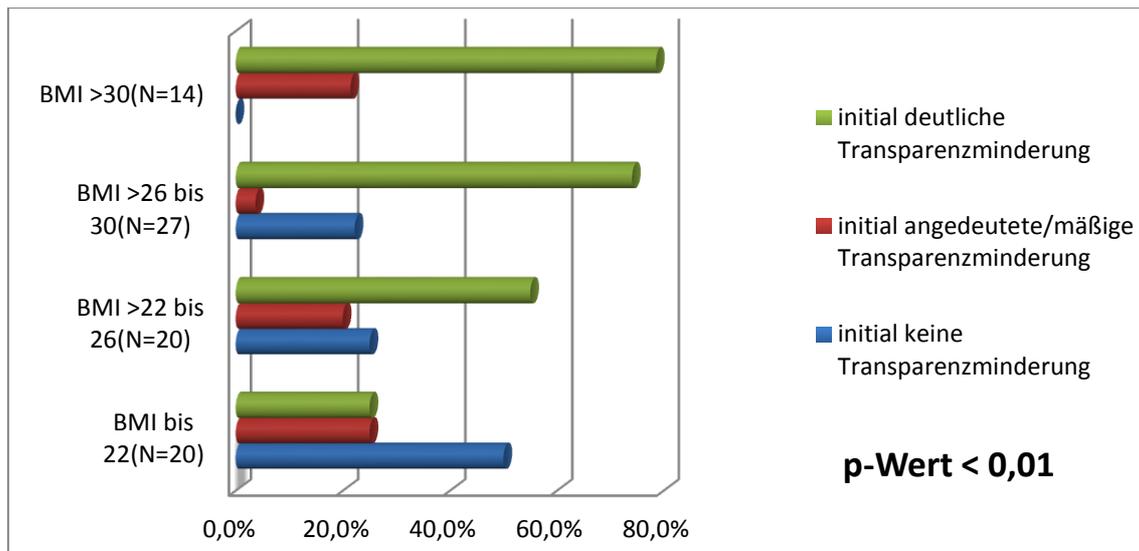


Abbildung 77: Korrelation der Transparenzminderung über ILSpalt Oberlappen rechts mit BMI

Ein ähnlich statistisch signifikanter Verlauf zeigte sich ebenfalls bei einer Korrelation der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts des rechten Mittellappens mit der Einflussvariable BMI, weshalb hier exemplarisch nur die Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts des rechten Oberlappens dargestellt ist.

Die Korrelation der Entwicklung der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts des Oberlappens bzw. des Mittellappens mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen relatives Blutvolumen, Todesursachen, Ödemstatus, protrahierter bzw. plötzlicher Tod und Reanimation keine statistischen Signifikanzen.

3.3.15 Thoraxhöhe

Abbildung 78, dargestellt sind Mittelwerte und Konfidenzintervalle, zeigt die Entwicklung der Thoraxhöhe rechts bzw. links unterteilt in die Gruppen „gekühlt“ bzw. „ungekühlt“. Zur besseren Übersicht wurden hier die Zeitintervalle 24 Stunden bzw. 48 Stunden postmortem gewählt. In beiden Gruppen lässt sich eine leichte Abnahme der Thoraxhöhe über die Zeit feststellen.

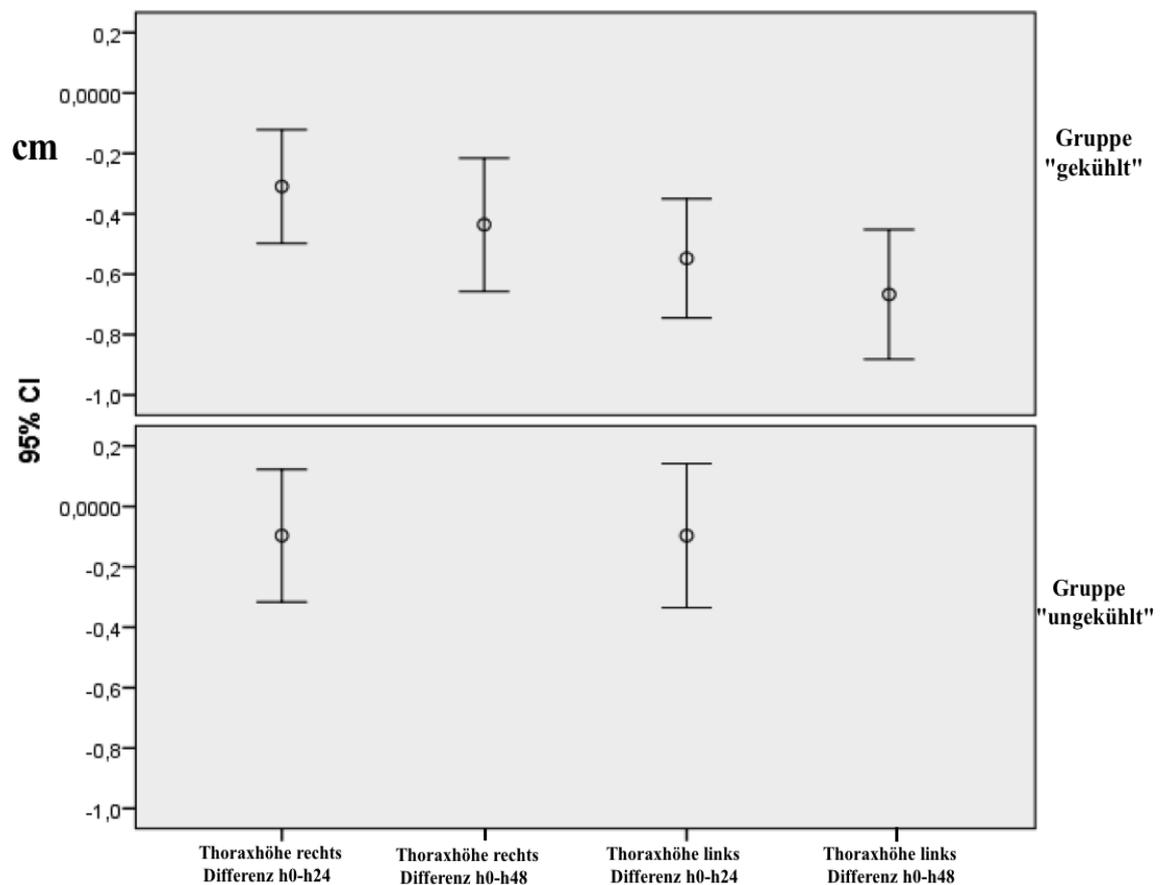


Abbildung 78: Entwicklung der Thoraxhöhe rechts/links über Stunde 24 und Stunde 48

Die Korrelation der Entwicklung der Thoraxhöhe rechts/links über Stunde 24 und Stunde 48 mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für folgende Korrelationen statistische Signifikanzen (vgl. Tabelle 25).

Tabelle 25: Entwicklung Thoraxhöhe (cm) zu Stunde 24 korreliert mit Gruppe "gekühlt/ungekühlt"

Einflussvariablen	Thoraxhöhe links Mittelwert Differenz h0-h24	Standardabweichung	p-Wert
Gruppe "gekühlt"	-0,5476	0,63255	<0,01
Gruppe "ungekühlt"	-0,0968	0,65089	
insgesamt	-0,3562	0,67433	

Die Korrelation der Entwicklung der Thoraxhöhe rechts/links über Stunde 24 und Stunde 48 mit den oben aufgeführten Einflussvariablen (vgl. Tabelle 6) ergab für die Einflussvariablen BMI, relatives Blutvolumen, Todesursachen, Ödemstatus, protraierter bzw. plötzlicher Tod und Reanimation keine statistischen Signifikanzen.

3.3.16 Korrelationen nach Pearson

In Tabelle 26 bis Tabelle 28 wird die Korrelation nach Pearson aller Verstorbenen (N=68) für die Ausgangsvariablen des gesamten Herzvolumens bzw. der Vorhöfe rechts/links nach 24 Stunden postmortem mit den Einflussvariablen Trachea-, Ösophagus- und Hauptbronchusfüllung, Bronchiogramm und Pleuraergussbildung nach 24 Stunden postmortem gezeigt, mit der Intention, einen Zusammenhang der Volumenänderung zwischen den Ausgangsvariablen und den Einflussvariablen nachzuweisen.

Tabelle 26: Korrelation nach Pearson für das gesamte Herzvolumen nach 24 Stunden, (N=68)

<i>Ausgangsvariable</i>	<i>Einflussvariable</i>	<i>Pearson-Koeffizient</i>	<i>Signifikanz</i>
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Tracheafüllung h0-h24	-0,116	0,347
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Ösophagusfüllung h0-h24	-0,151	0,223
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Hauptbronchusfüllung re h0-h24	0,007	0,957
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Bronchiogramm UL re h0-h24	0,217	0,078
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Bronchiogramm UL li h0-h24	0,093	0,452
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Pleuraerguss re h0-h24	-0,018	0,884
Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	Änderung Pleuraerguss li h0-h24	-0,165	0,178

Tabelle 27: Korrelation nach Pearson für das Vorhofvolumen rechts nach 24 Stunden, (N=68)

<i>Ausgangsvariable</i>	<i>Einflussvariable</i>	<i>Pearson-Koeffizient</i>	<i>Signifikanz</i>
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Tracheafüllung h0-h24	-0,056	0,649
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Ösophagusfüllung h0-h24	-0,138	0,264
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Hauptbronchusfüllung re h0-h24	0,195	0,111
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Bronchiogramm UL re h0-h24	0,171	0,167
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Bronchiogramm UL li h0-h24	0,13	0,294
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Pleuraerguss re h0-h24	-0,118	0,337
Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	Änderung Pleuraerguss li h0-h24	-0,215	0,079

Tabelle 28: Korrelation nach Pearson für das Vorhofvolumen links nach 24 Stunden, (N=68)

<i>Ausgangsvariable</i>	<i>Einflussvariable</i>	<i>Pearson-Koeffizient</i>	<i>Signifikanz</i>
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Tracheafüllung h0-h24	-0,22	0,71
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Ösophagusfüllung h0-h24	0,049	0,695
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Hauptbronchusfüllung re h0-h24	-0,158	0,199
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Bronchiogramm UL re h0-h24	0,014	0,912
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Bronchiogramm UL li h0-h24	-0,012	0,923
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Pleuraerguss re h0-h24	0,085	0,49
Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	Änderung Pleuraerguss li h0-h24	-0,108	0,379

Wie in Tabelle 26 bis Tabelle 28 zu erkennen, lässt sich kein Zusammenhang zwischen den Volumenänderungen der Ausgangsvariablen und der Einflussvariablen für alle Verstorbenen nach 24 Stunden postmortem aufzeigen. Aus diesem Grund wurde die Korrelation nach Pearson für weitere kleinere Teilgruppen der Verstorbenen durchgeführt.

In Tabelle 29 wird die Korrelation nach Pearson für ein Untersuchungskollektiv gezeigt, welches nur Verstorbene mit Pleuraerguss umfasst (N=49). Hierbei wurde die Ausgangsvariable des Pleuraergusses rechts bzw. links nach 24 Stunden postmortem mit den Einflussvariablen Herzvolumen gesamt, Vorhofvolumen rechts/links, Trachea-, Ösophagus- und Hauptbronchusfüllung und Bronchiogramm nach 24 Stunden postmortem korreliert, mit der Intention, einen Zusammenhang der Volumenänderung zwischen den Ausgangsvariablen und den Einflussvariablen nachzuweisen.

Tabelle 29: Korrelation nach Pearson nur für Verstorbene mit Pleuraerguss rechts/links nach 24 Stunden, (N=40)

<i>Ausgangsvariable</i>	<i>Einflussvariable</i>	<i>Pearson-Koeffizient</i>	<i>Signifikanz</i>
Änderung Pleuraerguss re h0-h24	Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	0,043	0,793
Änderung Pleuraerguss re h0-h24	Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	-0,041	0,802
Änderung Pleuraerguss re h0-h24	Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	0,01	0,952
Änderung Pleuraerguss re h0-h24	Änderung Tracheafüllung h0-h24	0,439	0,005
Änderung Pleuraerguss re h0-h24	Änderung Ösophagusfüllung h0-h24	0,178	0,278
Änderung Pleuraerguss re h0-h24	Änderung Hauptbronchusfüllung re h0-h24	0,277	0,084
Änderung Pleuraerguss li h0-h24	Änderung Herzvolumen gesamt h0-h24	-0,116	0,477
Änderung Pleuraerguss li h0-h24	Änderung Vorhofvolumen re h0-h24	-0,16	0,324
Änderung Pleuraerguss li h0-h24	Änderung Vorhofvolumen li h0-h24	-0,173	0,286
Änderung Pleuraerguss li h0-h24	Änderung Tracheafüllung h0-h24	0,178	0,272
Änderung Pleuraerguss li h0-h24	Änderung Ösophagusfüllung h0-h24	0,256	0,115
Änderung Pleuraerguss li h0-h24	Änderung Hauptbronchusfüllung li h0-h24	0,111	0,497

Wie in Tabelle 29 zu erkennen, lässt sich nur ein Zusammenhang zwischen der Volumenänderung des Pleuraergusses rechts und der Änderung der Tracheafüllung 24 Stunden postmortem mit $p > 0,01$ aufzeigen.

Aus diesem Grund wurden weitere Korrelationen nach Pearson für noch kleinere Teilgruppen der Verstorbenen durchgeführt; für Untersuchungskollektive, welche nur Verstorbene mit Pleuraerguss und einem BMI > 26 umfassten (N=24), welche nur am plötzlichen Tod Verstorbene mit Pleuraerguss umfassten (N=18) und welche nur Verstorbene mit Pleuraerguss und starkem Ödemstatus umfassten (N=10).

Hierbei wurde ebenfalls die Ausgangsvariable des Pleuraergusses rechts bzw. links nach 24 Stunden postmortem mit den Einflussvariablen Herzvolumen gesamt, Vorhofvolumen rechts/links, Trachea-, Ösophagus- und Hauptbronchusfüllung und Bronchiogramm nach 24 Stunden postmortem korreliert, mit der Intention, einen Zusammenhang der Volumenänderung zwischen den Ausgangsvariablen und den Einflussvariablen nachzuweisen.

Ähnlich zu den Werten wie in Tabelle 29 dargestellt, lässt sich auch in den kleineren Teilgruppen nur ein Zusammenhang zwischen der Volumenänderung des Pleuraergusses rechts und der Änderung der Tracheafüllung 24 Stunden postmortem mit $p > 0,05$ aufzeigen.

4 Diskussion

4.1 Allgemeine Ergebnisse

4.1.1 Die Entwicklung der Temperatur

Wie zu erwarten und in Abbildung 41 auch deutlich zu erkennen, nahm die Temperatur in der „gekühlt“ gelagerten Gruppe über einen maximalen Zeitverlauf von 96 Stunden Kühlung postmortem im Mittelwert um mehr als 30° Celsius ab, wohingegen die Temperatur in der „ungekühlt“ gelagerten Gruppe über einen maximalen Zeitverlauf von 36 Stunden ohne Kühlung postmortem im Mittelwert um lediglich etwa 10° Celsius abnahm.

4.1.2 Die Entwicklung der Thoraxhöhe

Die Thoraxhöhe sowohl in der „gekühlten“ als auch „ungekühlten“ Gruppe der Verstorbenen nahm im Verlauf der Zeit rechtsseitig wie auch linksseitig im Mittel um wenige Millimeter ab (vgl. Abbildung 78).

4.1.3 Die Entwicklung des Pleuraergusses

Generell lässt sich sagen, dass es in Bezug auf die Pleuraergussentwicklung über die Zeit vor allem zur Zunahme der Ergüsse (vgl. Abbildung 79) oder konstanter Ergussvolumenerhaltung kam, es hingegen sehr selten zu Ergussabnahmen oder Verschwinden von bestehenden Pleuraergüssen kam (vgl. Abbildung 60 und Abbildung 61).

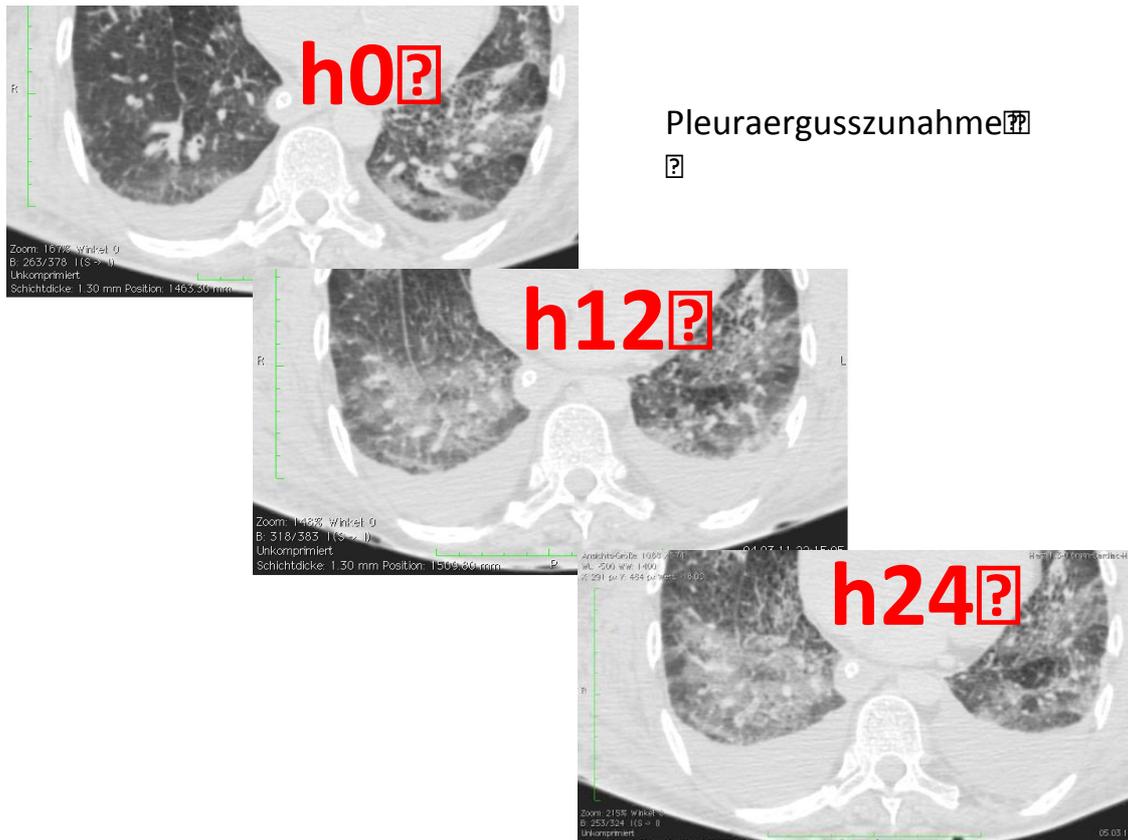


Abbildung 79: Pleuraergusszunahme beidseits über 24 Stunden

Wenn die Flüssigkeit im menschlichen Körper wandert, dann wandert sie der Schwerkraft folgend; dies wird durch die Tatsache der Bildung von Totenflecken (Livores) und durch die Hypostase beschrieben, welche belegen, dass bei Kreislaufstillstand die Erythrozyten passiv der Schwerkraft folgend absinken und längeres Stehen bzw. Liegen in den unteren, dem Boden nahen Körperpartien durch die Schwerkraft stärker auftretende Blutfülle bedingt (Penning 2006).

Dieser beschriebene Umstand der Hypostase und Flüssigkeitsansammlung in der Lunge im CT postmortem wurde schon 2003 von Thali et al. festgehalten (Thali et al. 2003) und ebenfalls 2011 in einer im Ansatz ähnlichen Arbeit von Shiotani et al. (Shiotani et al. 2011) bestätigt.

Wie bereits in 3.3.6 beschrieben, lässt sich der Einfluss des Faktors Schwerkraft im Speziellen für die Lunge darstellen, da die Pleuraergussentwicklung im Verlauf ventral statt dorsal aufgrund der unterschiedlichen Lagerung von 5 Verstorbenen ab Stunde 18 in einer CT-Serie in Bauch- statt in Rückenlage zeigt, dass die Flüssigkeitsansammlung lagerungsbedingt der Schwerkraft folgt (vgl. Abbildung 64).

Des Weiteren ist wichtig festzustellen, dass wenn ein Pleuraerguss anfangs nicht ausgebildet war, er über die Zeit selten ausgeprägt geworden ist. Zu Beginn der CT-Serien wiesen über 50% der Verstorbenen keinen Pleuraerguss rechts bzw. links auf und im Verlauf waren es nur rund 10% der Verstorbenen, die nach spätestens 72 Stunden wenigstens einen geringen Pleuraerguss entwickelten (vgl. Abbildung 62 und Abbildung 63).

War zu Beginn ein geringer Pleuraerguss festzustellen, hat dieser auf der rechten Lungenseite über 72 Stunden bei etwa 20% der Verstorbenen zugenommen, auf der linken Lungenseite bei etwa 15% der Verstorbenen. War ein Pleuraerguss allerdings bereits deutlich/ausgeprägt, dann ist er über die Zeit so geblieben oder hat noch zugenommen, war aber nie rückläufig (vgl. Abbildung 62 und Abbildung 63).

War also antemortem bereits ein Pleuraerguss oder eine leichte Tendenz dazu vorhanden, dann hat dieser postmortem im Volumen auch zugenommen; war im Umkehrschluss allerdings kein Pleuraerguss antemortem vorhanden, dann hat sich dieser Zustand postmortem selten geändert.

4.1.4 Die Entwicklung der Herzvolumina

Generell ergaben die Messungen zur Volumenentwicklung des Herzens sowohl in der „gekühlten“ als auch in der „ungekühlten“ Gruppe eine stete Abnahme des Volumens über die Zeit (vgl. Abbildung 42 bis Abbildung 51), wobei der linke Ventrikel leichte Schwankungen in der Volumenentwicklung zeigt (vgl. Abbildung 48 und Abbildung 49).

Entgegen der Feststellung von Shiotani et al. (Shiotani et al. 2003), dass das frühpostmortale Herz dilatiert, zeigte sich in dieser Arbeit für das postmortale Herz im längeren Zeitverlauf besonders prominent die Volumenabnahme über die Zeit im rechten Vorhof (vgl. Abbildung 42 und Abbildung 43), sowie im Herzvolumen gesamt (vgl. Abbildung 50 und Abbildung 51), was vor allem auf die ventrale Lage des rechten Vorhofs und die Volumenabnahme nach dorsal zurückzuführen ist, denn wie für die Lunge (vgl. 4.1.3) so konnte auch für das Herz der Einfluss der Schwerkraft und der

Hypostase auf dieses flüssigkeitsgefüllte Organ und angrenzende Gefäße bereits nachgewiesen werden (Shiotani et al. 2002 , Ishida et al. 2011).

4.1.5 Die Entwicklung des Ösophagus und der Trachea

Die Ösophagusfüllung mit Flüssigkeit reichte bei 80 Prozent der Verstorbenen bereits zu Beginn bis ins „obere Drittel“ und verblieb unverändert bis zum Ende der CT-Serien über die Zeit auch so. Bereits nach den ersten 12 Stunden postmortem war eine Füllungstendenz hin zum „mittleren bzw. oberen Ösophagusdrittel“ bei den übrigen betrachteten Verstorbenen zu beobachten und nach spätestens 18 Stunden postmortem reichte keine Füllung mehr unterhalb des mittleren Ösophagusdrittels (vgl. Abbildung 52).

Zu Beginn der CT-Serien waren die Luftröhren der Mehrheit der Verstorbenen ohne Flüssigkeitsfüllung bzw. luftgefüllt. Innerhalb der folgenden 24 Stunden der CT-Serien ließ sich eine deutliche Flüssigkeitszunahme innerhalb dieses Kompartiments messen (vgl. Abbildung 53), und anhand von Kreuztabellen zeigte sich, dass mit zunehmender Zeit die Füllungszustände nach und nach ineinander übergingen; von „ungefüllt“ über eine Füllung auf „Höhe der Carina“ bis hin zur Füllung bis zum „oberen Drittel“, was im Rahmen dessen, dass sich die Bronchien über die Zeit zunehmend füllen (vgl. 4.1.6), einen Aufstau der Flüssigkeit in den gesamten Atemwegen widerspiegelt.

4.1.6 Die Entwicklung der Bronchien

Die Füllung der Hauptbronchien sowohl rechts als auch links nahm mit zunehmender Zeit von „ungefüllt“ hin zu „vollständiger Füllung“ zu (vgl. Abbildung 54 und Abbildung 55).

Ebenso füllten sich die Bronchien und ihre Aufzweigungen über die ersten 24 Stunde zusehends und waren im Verlauf einer CT-Serie immer schwerer im Bronchiogramm zu verfolgen (vgl. Abbildung 80).



Bronchiogramm??



Abbildung 80: Verlauf eines Bronchiogramms über 24 Stunden

Beim rechten und linken Unterlappen waren zu Beginn der CT-Serien bei über 30% der Verstorbenen die Bronchien samt Aufzweigungen nicht zu verfolgen, was nach 24 Stunden bei bis zu 70% der Verstorbenen der Fall war; parallel dazu nahm die Verfolgbarkeit der Verzweigung der Bronchien im Bronchiogramm über die ersten 24 Stunden ab (vgl. Abbildung 56 und Abbildung 57).

Beim rechten und linken Oberlappen gestalteten sich die Ergebnisse ähnlich zu denen der Unterlappen rechts und links (vgl. Abbildung 58 und Abbildung 59).

Es zeigte sich also deutlich, dass der Flüssigkeitsverlauf in den Atemwegen entlang der Schwerkraft verläuft und so sammelt sich die Flüssigkeit dorsal und steigt langsam aus den Bronchioli der Lungenlappen über die Hauptbronchien bis hoch in die Trachea.

Bei einzelnen Bronchiogrammen zeigte sich, dass es im Verlauf über 24 Stunden auch möglich war, dass sich ein zuvor mit Flüssigkeit gefülltes Bronchiogramm zum Teil wieder mit Luft und im weiteren Verlauf wieder mit Flüssigkeit füllte, was eine Entlüftung der Lunge über die Zeit nach außen beschreibt und mit zu einer sinkenden Thoraxhöhe führen kann (vgl. 4.1.1).

4.1.7 Die Entwicklung der Gefäßzeichnung

Allgemein zeigte sich, dass bei der zentralen Gefäßzeichnung schon ab Beginn der CT-Serien über 80% der Verstorbenen, sowohl in der „gekühlten“ als auch in der „ungekühlten“ Gruppe, eine deutliche Gefäßfüllung zeigten, welche sich im Verlauf auch nicht veränderte (vgl. Abbildung 68). Da die A. pulmonalis dem Herzen entspringt, welches sich mit zunehmender Zeit mehr und mehr entleerte (vgl. 4.1.4), lässt sich folgern, dass die Flüssigkeit aus dem Herzen die deutliche Gefäßfüllung über die Zeit bedingt.

Bei der peripheren Gefäßzeichnung zeigte sich, dass Verstorbene, welche schon mit deutlich gefülltem peripheren Gefäßstatus eingeliefert wurden, wenig Dynamik im Verlauf zeigten, denn schon ab Beginn der CT-Serien war bei über einem Viertel der Verstorbenen, sowohl in der „gekühlten“ als auch in der „ungekühlten“ Gruppe, eine deutliche Gefäßzeichnung mit Wandunschärfe ohne Veränderung im weiteren Verlauf festzustellen (vgl. Abbildung 69).

Des Weiteren zeigte sich auch bei über 10 % der Verstorbenen jeweils eine Konstanz über die CT-Serien im Zustand der Gefäßzeichnungen „Sternenhimmel“ bzw. „netzförmig/gefäßbetont“ über den Zeitverlauf.

Nichtsdestotrotz zeigte auch rund ein Viertel der Verstorbenen, sowohl in der „gekühlten“ als auch in der „ungekühlten“ Gruppe, eine Dynamik im Verlauf von einer „netzförmig/gefäßbetonten“ Gefäßzeichnung über die Zeit hin zur „Gefäßbetonung mit Wandunschärfe“ (vgl. Abbildung 69).

Es ist festzuhalten, dass Gefäßzeichnungen durchaus konstant verbleiben können, vor allem, wenn sie schon einen deutlich gefüllten Zustand zeigen. Allerdings zeigt sich auch eine klare Zunahme der Gefäßfüllung über die Zeit hin von zentral in die Peripherie der Lungen, wenn zuvor keine bzw. wenig Füllung bestand.

4.1.8 Die Entwicklung der Parenchymzeichnung

Für die statistische Auswertung wurden die Gruppen „strukturiert“ und „wolkig/tupferartig“ nochmals zusammengefasst; deren Anteil machte zu Beginn der CT-Serien mit um die 50% der Verstorbenen in den Gruppen „gekühlt“ sowie „ungekühlt“ den größten Anteil an den Parenchymzeichnungen aus und veränderte sich auch nicht über die Zeit (vgl. Abbildung 65). Diese Qualitäten der Parenchymzeichnung umfassen transparenzgeminderte Areale, welche im Verlauf der Zeit wenig Veränderungen zeigten, also eine nicht rückläufige Art Stase der Flüssigkeitsbereiche aufwiesen.

Des Weiteren wiesen etwa 20% der Verstorbenen eine transparente bzw. milchglasartige Parenchymzeichnung auf (vgl. Abbildung 65), welche sich im Verlauf nicht veränderte.

Es lässt sich also erkennen, dass die Parenchymzeichnung sowohl transparent als auch intransparenter auftreten kann, unabhängig von der Liegezeit, doch muss auch erwähnt werden, dass wenn eine Veränderung der Parenchymzeichnung auftrat, der Wandel immer von einem transparenteren Zustand wie z.B. „Milchglas“ über eine strukturierte Parenchymzeichnung wie z.B. „wolkig“ bis hin zu einer intransparenten Parenchymzeichnung verlief.

4.1.9 Die Entwicklung der Parenchymtransparenz

Die Parenchymtransparenz nimmt über die Zeit der CT-Serien stetig ab (vgl. Abbildung 66, Abbildung 67 und Abbildung 81), was sich zum einen durch zunehmende Füllung der Lunge von dorsal nach ventral erklären lässt und zum anderen durch zunehmenden Druck auf die Lungen von außen zum Beispiel durch Druck umliegender Strukturen auf das Lungengewebe oder auch durch Abnahme der Thoraxhöhe (vgl. 4.1.1).

Des Weiteren kann sich Volumen, welches aus den Gefäßen in und um die Lunge stammt, im Lungengewebe sammeln und für eine Trübung des Gewebes sorgen.



Entwicklung der Parenchymtransparenz

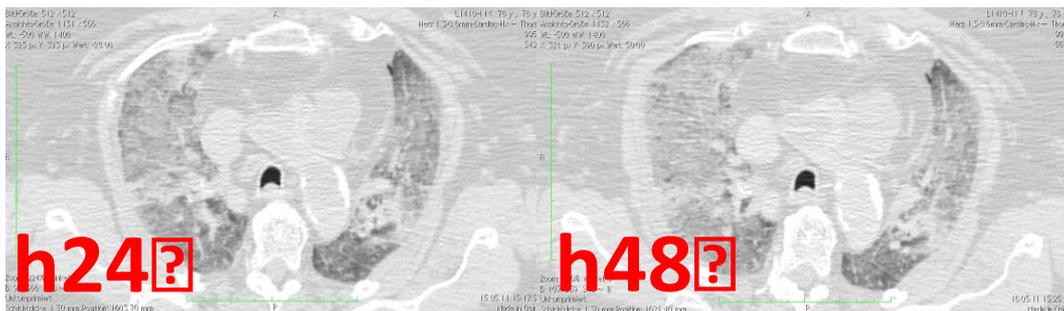


Abbildung 81: Entwicklung der Parenchymtransparenz über 48 Stunden

4.1.10 Die Entwicklung der Segmenttransparenz

Das apikale Oberlappensegment zeigte sich bei annähernd 40% der Verstorbenen, sowohl in der „gekühlten“ als auch in der „ungekühlten“ Gruppe, als ein transparentes Segment ohne im Verlauf der CT-Serien an Transparenz zu verlieren (vgl. Abbildung 73), was aufgrund der Hypostase innerhalb der Lungen im apikalen Bereich auch zu erwarten war.

Bei etwa 20% der Verstorbenen verblieb der apikale Oberlappen von Beginn an in mäßiger Intransparenz und bei etwa 15% der Verstorbenen blieb der apikale Oberlappen intransparent ab Beginn (vgl. Abbildung 73), was wohl einer bereits deutlichen Flüssigkeitsfüllung der Lungen zu Beginn geschuldet ist.

Hingegen zeigte sich bei annähernd 40% der Verstorbenen sowohl in der „gekühlten“ als auch in der „ungekühlten“ Gruppe der dorsale Oberlappen schon ab Beginn intransparent ohne Rückläufigkeit im Verlauf der CT-Serien und bei etwa 30% der Verstorbenen blieb der dorsale Oberlappen in mäßiger Intransparenz ab Beginn (vgl. Abbildung 74), was die Flüssigkeitsansammlung der Schwerkraft folgend primär dorsal statt apikal/ventral verdeutlicht.

Genauso verdeutlicht wird die Einwirkung der Schwerkraft beim dorsalen Unterlappen; hier zeigte sich bei über 50% der Verstorbenen initial ein intransparentes Unterlappensegment ab Beginn der CT-Serien und bei einem Viertel der Verstorbenen verblieb das Unterlappensegment ab Beginn in mäßiger Intransparenz (vgl. Abbildung 75).

4.1.11 Die Entwicklung der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts

Der Interlobärspalt, als Abgrenzung der Lungenlappen zueinander, zeigte bei über 50% der Verstorbenen eine deutliche und konstant bleibende Transparenzminderung ab Beginn und rund 30% der Verstorbenen zeigten eine Zunahme der Transparenzminderung von vormals „keiner/mäßiger“ hin zu „deutlicher“ Transparenzminderung (vgl. Abbildung 76).

Dies zeigt, dass sich Flüssigkeit innerhalb der Lungenlappen, quasi als „Kompartimente“ innerhalb des „Kompartiments Lunge“, wie in der gesamten Lunge verhält und sich entlang der vorhandenen Struktur des Spaltes ansammelt.

4.1.12 Die Entwicklung der Niveau- und Frontbildung

Über 50% der Verstorbenen beider Gruppen zeigten schon ab Beginn wenigstens in einem Lungenlappen eine deutliche Niveau- und Frontbildung qualitativ und rund 40% der Verstorbenen zeigten ab Beginn keine oder nur eine angedeutete Frontbildung (vgl. Abbildung 70 und Abbildung 71).

Insgesamt zeigte sich, im Gegensatz zur Niveaubildung, in der Frontbildung kaum Dynamik; entweder war diese ausgebildet oder nicht, und verblieb konstant dann über die Zeit der CT-Serien auch so.

Die quantitative Messung der Niveaus der einzelnen Lappen ergab über die Zeit eine stete Zunahme der Niveaus (vgl. Abbildung 72 und Abbildung 82). Diese Spiegelbildung innerhalb des Lungengewebes zeigt ebenfalls deutlich, dass sich die Flüssigkeit primär dorsal absetzt und mit der Zeit die Lungenfüllung pegelartig ansteigt.

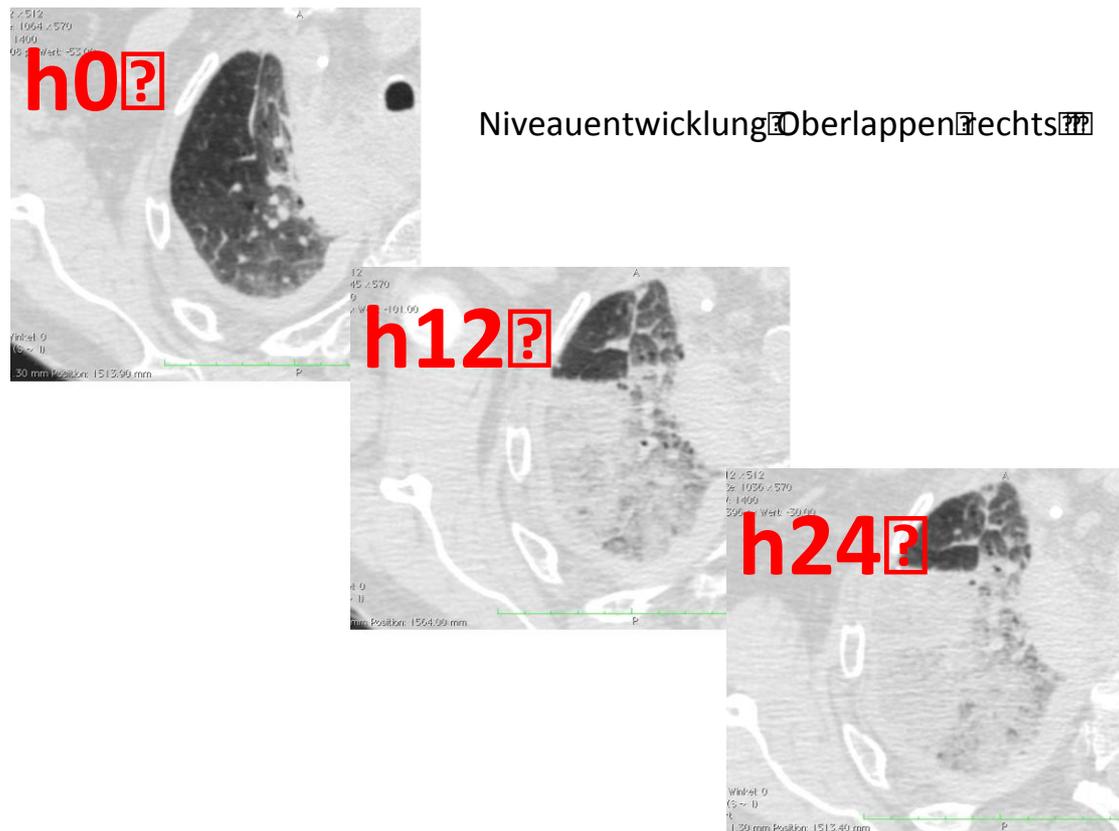


Abbildung 82: Niveaunahme über die Zeit im Oberlappen rechts

4.1.13 Besondere Befunde

Im Rahmen der Auswertung konnten im einzelnen auch Befunde erhoben werden, die sich nicht bei allen Verstorbenen zeigten und eine gesonderte Betrachtung nötig machten. Im Folgenden sind diese als „besondere Befunde“ dargestellt.

4.1.13.1 Bullae – Entwicklung und Volumetrie

Im Rahmen der Auswertung der CT-Befunde wurden 11 Lungenbefunde erhoben, welche mindestens eine Bulla enthielten. Diese Bullae wurden mittels 6 gleichmäßig gesetzten ROIs in OsiRix volumetriert. Es konnte festgestellt werden, dass sich die Volumina der einzelnen Bullae über die Zeit weder erhöhten noch verringerten, noch füllten sich die Bullae mit Flüssigkeit, auch wenn sie in einem flüssigkeitsgefüllten Areal lagen (vgl. Abbildung 83 und Abbildung 84).

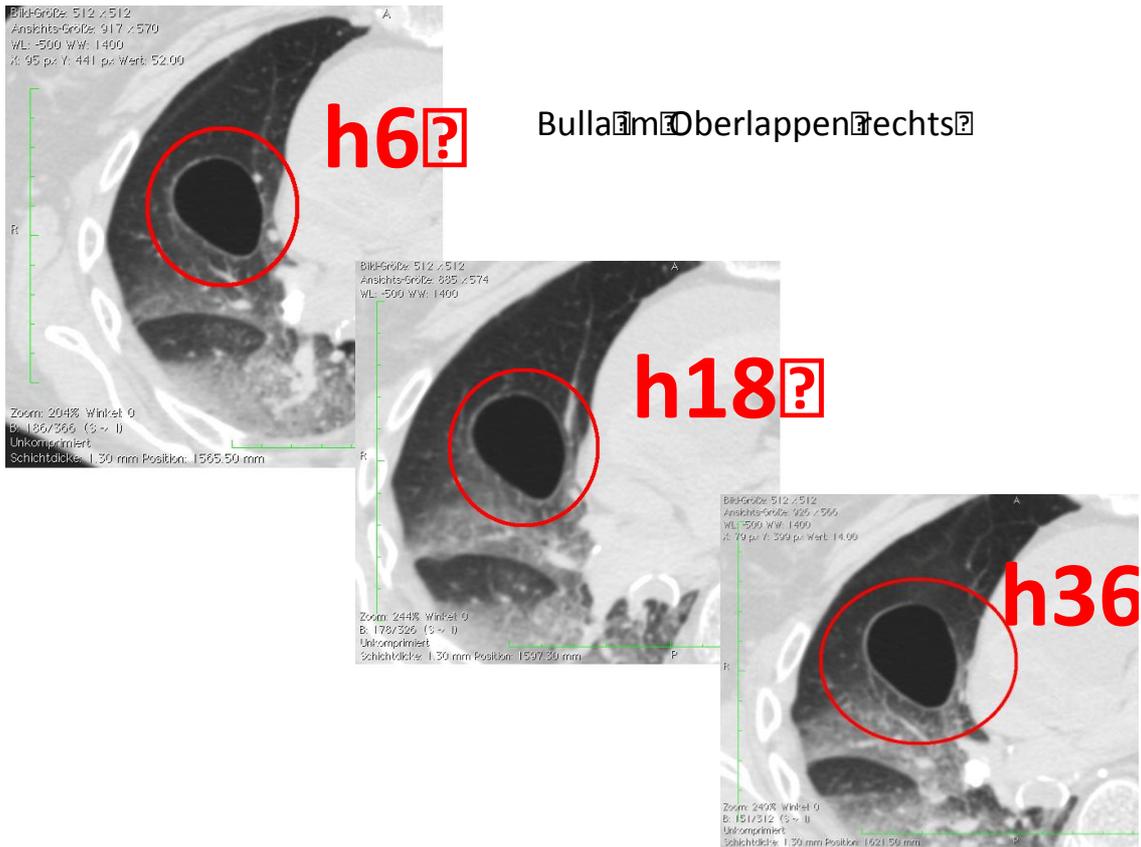


Abbildung 83: Entwicklung einer Bulla im Oberlappen rechts über die Zeit

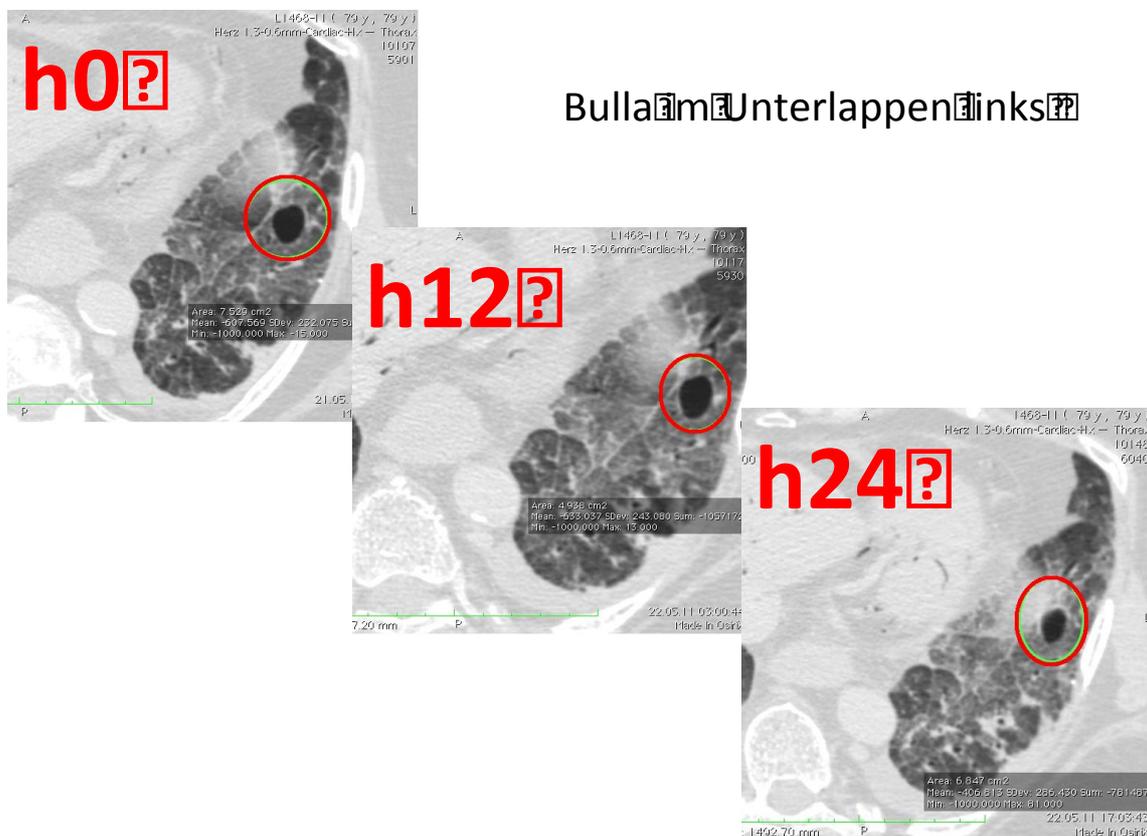


Abbildung 84: Entwicklung einer Bulla im Unterlappen links über die Zeit

4.1.13.2 Infiltrate – Entwicklung und Volumetrie

Im Rahmen der Auswertung der CT-Befunde wurden 7 Lungenbefunde erhoben, welche mindestens ein Infiltrat aufwiesen. Diese Infiltrate wurden mittels 4 gleichmäßig gesetzten ROIs in OsiriX volumetriert. Es konnte festgestellt werden, dass sich bei allen Infiltraten die Volumina der einzelnen Infiltrate über die Zeit weder erhöhten noch verringerten (vgl. Abbildung 85 und Abbildung 86).

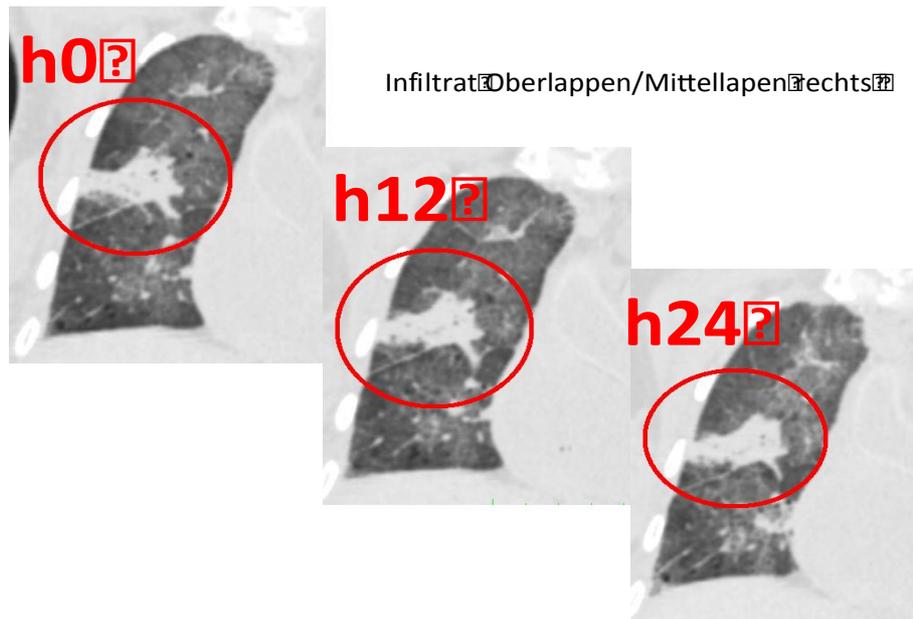


Abbildung 85: Entwicklung eines Infiltrats im Oberlappen/Mittellappen rechts über die Zeit



Abbildung 86: Entwicklung eines Infiltrats im Oberlappen rechts über die Zeit

4.2 Einflussvariablen für die Entwicklung...

4.2.1 Einflussvariable BMI

Der Body-Mass-Index oder auch Körpermassenindex berechnet sich aus dem Körpergewicht in Kilogramm geteilt durch das Quadrat der Körpergröße in Metern und dient der WHO als Einteilungskriterium der Adipositas, einer übernormalen Vermehrung des Körperfetts (Greten et al. 2010). Des Weiteren kann sich der BMI eines Menschen auch durch vermehrte Flüssigkeit im System, welche sich ja auch auf das Gewicht auswirkt, erhöhen.

Bei Korrelation der „gekühlten bzw. ungekühlten“ Gruppe über die Zeit mit der Einflussvariable BMI stellte sich heraus, dass sowohl gekühlt als auch nicht gekühlt gelagerte Verstorbene mit einem niedrigen BMI schneller an Körpertemperatur verlieren als Verstorbene mit einem hohen BMI (vgl. Tabelle 8 und Tabelle 9).

Dies ist logisch nachvollziehbar, da ein erhöhter BMI ja einem erhöhten Fettgewebsanteil entspricht und eben dieses Fett nicht nur als Speicher- und Baufett, sondern auch als Isolierfett der Wärmeisolation dient (Greten et al. 2010).

Ein hoher BMI schon ab einem Wert von 26 aufwärts zeigt beim rechten Vorhof und ein sehr hoher BMI ab einem Wert von 30 aufwärts zeigt beim rechten Ventrikel signifikant eine verstärkte Volumenabnahme ab 12 Stunden bzw. 72 Stunden postmortem (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 14).

Dies könnte man erklären, da ein erhöhter BMI mit einem erhöhten Risiko für u.a. Hypertonus und kardiovaskuläre Erkrankungen einhergeht (Greten et al. 2010), was u.a. zu dilatativen Herzerkrankungen und verstärkter Herzgröße führt, welche sich postmortem nach Erschlaffen der Strukturen schneller und in größerem Maße entleeren und somit zu signifikanter Flüssigkeitswanderung führen kann.

Diese signifikante Flüssigkeitswanderung und –ansammlung zeigt sich wiederum im Lungengewebe anhand der Korrelation zwischen dem BMI und der Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts (vgl. Abbildung 77). Je höher der BMI der Verstorbenen, umso deutlicher die Transparenzminderung ventral des Interlobärspalts schon ab Beginn, was auch darauf hindeutet, dass der gesteigerte BMI auch auf eine deutliche Flüssigkeitsansammlung im System zurückzuführen ist.

4.2.2 Einflussvariable relatives Blutvolumen

Im Rahmen der Korrelationen ergab sich, dass bei Verstorbenen mit geringem bis sehr geringem relativem Blutvolumen das Vorhofvolumen rechts signifikant stärker absinkt als bei Verstorbenen mit höherem relativem Blutvolumen (vgl. Tabelle 11).

Wenn ein Verstorbener also zu Beginn der CT-Serie ein wenig gefülltes Gefäßsystem aufwies, dann zeigte sich dadurch, dass noch Raum in den Gefäßen zur Füllung bestand, am meisten Dynamik in der Flüssigkeitswanderung gegenüber den Verstorbenen, die schon von Anfang an deutlich gefüllte Gefäße aufwiesen.

4.2.3 Einflussvariable Temperatur

Da nicht gekühlt gelagerte Verstorbene ab dem ersten CT-Scan bis zum Ende der CT-Serie, also über einen Zeitraum von 36 Stunden, bei Raumtemperatur im CT-Raum lagen, zeigte sich bei diesen eine langsamere Temperaturabnahme (vgl. 4.1.1); dadurch wurden Prozesse wie Autolyse oder auch Gasbildung gefördert (Madea 2003).

Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass bei Verstorbenen, die nicht gekühlt gelagert wurden, die Transparenz im linken Oberlappen deutlich abnahm (vgl. Tabelle 24) und die Thoraxhöhe im Verlauf nicht so signifikant abnahm wie bei gekühlt gelagerten Verstorbenen (vgl. Tabelle 25).

4.2.4 Einflussvariable Todesursache

Die protrahierten Todesgeschehen umfassen v.a. toxisch bedingte, infektiöse und tumoröse Komplikationen, welche nahezu alle im Verlauf in einem Ausfall von zwei oder mehr Organsystemen und somit im Multiorganversagen enden (Classen et al. 2009). Diese Komplikationen, welche über längere Zeit hin zum Tode führen, wie z.B. ein Nierenversagen oder eine schwere Sepsis bzw. ein schwerer septischer Schock, bedingen einen längeren Krankenhausaufenthalt auf Intensivstationen und werden dort mit einem ausgeprägten Flüssigkeitsmanagement versorgt, welches zu einer positiven Flüssigkeitsbilanz im Körper insgesamt führt (Marino 2008).

Dem gegenüber steht der plötzliche Tod, welcher zumeist auf ein zum Herzstillstand führendes Ereignis wie Herzinfarkt zurückzuführen ist. Gleichzeitig bedeutet aber auch der Umstand, an einem plötzlichen Tod zu versterben, dass bei den Verstorbenen in diesem Fall vermehrt die Reanimation zum Einsatz kommt im Vergleich zu Patienten, die über lange Zeit an einer zum Tode führenden Komplikation gelitten haben oder deren Tod sogar auf ärztlichen Beschluss hin nach Abschalten von lebenserhaltenden Maßnahmen eintrat.

Die Reanimation wird angewandt, um mittels rhythmischer extrathorakaler Herzkompression und Beatmung einen Herzstillstand zu beheben und eine Blutzirkulation aufrecht zu erhalten (Larsen 2010). Wenn man sich nun vorstellt, dass eine Reanimation v.a. mit einem plötzlichen Tod verbunden ist und es bei diesen Verstorbenen zuvor zu keiner langen Zeit intensiver Infusionen, Überwässerung und Anreicherung mit toxischen Abbaumetaboliten durch Krankheit oder Krebs kam, dann erklären sich folgende erhobene Zusammenhänge.

Sowohl beim rechten Vorhof als auch beim gesamten Herzvolumen zeigte sich eine signifikant verstärkte Volumenabnahme schon ab 6 Stunden Liegezeit, wenn der Verstorbene zuvor an einem protrahierten Todesgeschehen gestorben war (vgl. Tabelle 12 und Tabelle 15); des Weiteren sinkt das prozentuale Volumen des gesamten Herzens signifikant stärker, wenn der Verstorbene im Speziellen an einer infektiösen Komplikation gestorben war (vgl. Tabelle 16) und im linken Vorhof wiederum zeigte sich eine größere Volumenabnahme ohne vorhergehende Reanimation (vgl. Tabelle 13).

Die Korrelationen der quantitativ gemessenen Pleuraergüsse sowohl rechts- als auch linksseitig ergaben, dass Verstorbene, die an einem protrahierten Todesgeschehen verstorben sind, eine signifikant stärkere Pleuraergusszunahme zeigten als plötzlich Verstorbene (vgl. Tabelle 17 und Tabelle 18); zu dem passend zeigte sich linksseitig auch eine signifikant stärkere Pleuraergusszunahme, wenn Verstorbene im Speziellen an tumortoxischen bzw. infektiösen Komplikationen verstorben sind (vgl. Tabelle 20) und zuvor nicht reanimiert wurden (vgl. Tabelle 19).

Bereits innerhalb der ersten 24 Stunden zeigte sich sowohl im rechten als auch im linken Oberlappen eine signifikant stärkere Abnahme der Parenchymtransparenz, wenn die Verstorbenen an einem plötzlichen Tod und nicht an einem protrahierten Todesgeschehen verstorben sind (vgl. Tabelle 21 und Tabelle 23); im Speziellen im rechten Oberlappen kam es zu einer stärkeren Abnahme der Parenchymtransparenz, wenn zuvor eine Reanimation versucht wurde (vgl. Tabelle 22).

4.3 Fazit

4.3.1 Schwierige Beurteilbarkeit

Wie bereits an einigen Stellen in dieser Arbeit erwähnt, gibt es derzeit noch zu wenige systematische Deskriptionsstandards für die radiologische Beurteilung postmortem.

Forschungen von Thali et al. fokussieren das Problem der oft schweren virtuellen Beurteilbarkeit der Organe wie z.B. der Lunge nach dem Tod, welche als antemortem luftgefülltes Kompartiment nach dem Tod über die Zeit nicht mehr ventiliert wird bzw. mehr und mehr in der Gewebestruktur komprimiert und zunehmend unübersichtlicher und schwerer zu beurteilen ist (Germerott et al. 2010). Arbeiten wie diese zeigten bereits, dass sich beschriebene Flüssigkeitszunahmen bzw. Transparenzabnahmen durch Interventionen wie Ventilation postmortem zum Teil beheben lassen.

Des Weiteren zeigen Forschungen um Shiotani et al., dass es schwierig ist, zwischen normalen und pathologischen Befunden der Lunge postmortem zu unterscheiden, und das weitere Studien folgen müssen, um genaue Todesursachen an der virtuellen Bildgebung festmachen zu können (Shiotani et al. 2004).

4.3.2 Kooperation und Standards

Im Rahmen dieser Studie, während der eigenen Arbeit am CT und der Erhebung der Daten, aber auch während der Literaturrecherche zeigten sich nicht nur positive Aspekte des unterstützenden Elements Bildgebung für die Rechtsmedizin. Zum einen fiel das Fehlen von Standards bezüglich einer radiologischen Befundung post- statt wie gewohnt antemortem auf; im Laufe der Auswertung mussten viele Parameter, die in der Bildgebung auffielen, erst eine eigene Bezeichnung erhalten, bevor die Bilder im Ganzen ausgewertet werden konnten. Dies stellt einen wichtigen Faktor für die zukünftige praktische Handhabung in der Rechtsmedizin dar. Denn nicht nur eine gute Kooperation der vielen rechtsmedizinischen Institute mit Radiologen ist nötig, sondern auch eine Standardisierung der radiologischen Befundung postmortem.

Diesem Punkt, im Hinblick auf die wachsende Bedeutung der Radiologie in der Rechtsmedizin, könnte man in Zukunft u.a. mit einer radiologischen Zusatzausbildung angehender Rechtsmediziner oder über Zusammenarbeit mit forensisch-radiologischen Kompetenzzentren begegnen, welche allerdings zeitnah zur erhobenen Bildgebung postmortem arbeiten müssen, was eine Zusammenarbeit auf Abruf mit sich bringt.

Des Weiteren sollten noch mehr prospektive Studien in größerem Umfang durchgeführt werden, um Besonderheiten der Bildgebung postmortem festzuhalten und feststellen zu können, womit in der Radiologie postmortem zu rechnen ist.

5 Zusammenfassung

Die im Laufe der letzten Jahre zunehmende Zahl an Publikationen über die Anwendungsmöglichkeiten der Bildgebung mittels Computertomographie und Magnetresonanztomographie als unterstützendes Element zur Autopsie zeigt deutlich, wie sehr diese Technologien mehr und mehr an Wichtigkeit und Bedeutung im rechtsmedizinischen Alltag gewinnen.

Gegenüber der klinischen Radiologie ergeben sich jedoch eine Reihe von Artefakten in der postmortalen Bildgebung; im Rahmen dessen versucht diese prospektive Studie bezogen auf die Entwicklung der Organe Lunge und Herz postmortem über die Zeit, Erkenntnisse über frühpostmortale Veränderungen zu gewinnen und beschäftigt sich im Speziellen mit der Frage nach der Flüssigkeitsentwicklung bzw. -verschiebung postmortem in den Organen Lunge und Herz.

In der vorliegenden Arbeit wurde ein Studienkollektiv von 85 Verstorbenen im Alter von 16 bis 94 Jahren betrachtet, wobei drei Fälle im Nachhinein ausgeschlossen wurden und 5 weitere Fälle zur deskriptiven Auswertung separiert wurden, sodass schlussendlich ein Studienkollektiv von 77 Verstorbenen statistisch ausgewertet wurde.

Das Studienkollektiv wurde in zwei Gruppen unterteilt, welche zum einen bei 4° Celsius („Gruppe gekühlt“) und zum anderen bei etwa 20-25° Celsius Raumtemperatur („Gruppe ungekühlt“), jeweils nur durch die einzelnen CT-Scans unterbrochen, gelagert wurden.

Die CT-Scans wurden mit einem Philips MX 8000 Quad 4 bei Einlieferung (definiert als Scan zu „Stunde 0“), dann zunächst jeweils alle 6 Stunden postmortem und später in größeren zeitlichen Abständen bis 96 Stunden postmortem durchgeführt.

Einmalig wurden zu jedem Verstorbenen anfangs allgemeine Daten wie Alter, Größe, Gewicht, BMI, Ödemstatus, sowie Todesursache, evt. stattgehabte Reanimation und Sterbezeit protokolliert. Des Weiteren wurde das relative Blutvolumen jedes

Verstorbenen anhand der Leichenfleckenhöhe geschätzt und vor jedem Scan die Rektaltemperatur gemessen.

Die Untersuchung mittels der im Internet frei erhältlichen Software OsiRix 3.9.1 (32bit Version) erfolgte nach festgelegtem Standard; hierbei wurde am Herzen das Gesamtvolumen, das Volumen der Vorhöfe und das der Ventrikel gemessen. Bei der Lunge wurde auf die Entwicklung der Bronchien, des Ösophagus, der Trachea sowie auf die Entwicklung des Lungenparenchyms, der Gefäße und etwaiger Ergussbildungen geachtet mit besonderem Augenmerk auf die im Verlauf auftretende sogenannte „Niveau- und Frontbildung“.

Die möglichen Einflussgrößen wie Temperatur oder BMI wurden mit den beobachteten Veränderungen der Organe wie Volumen- und Parenchymtransparenzentwicklung korreliert.

Als ein wichtiges Ergebnis dieser Arbeit gilt es, die Entwicklung und Zunahme des Pleuraergusses und die signifikante Abnahme des Herzvolumens, v.a. des rechten Vorhofs, über die Zeit postmortem hervorzuheben, was bisher von keiner Studie so deutlich belegt werden konnte.

Des Weiteren wird deutlich, dass es im Bezug auf die Entwicklung der Organe Lunge und Herz postmortem über die Zeit allgemein zu einer Flüssigkeitsverschiebung kommt, auf deren Wanderungsrichtung vor allem die Schwerkraft in Form der Hypostase und der Verlust der Haltekraft einzelner Strukturen z.B. durch Autolyse Einfluss nimmt.

Genau diese Flüssigkeitswanderung und –ansammlung beeinflusst in bestimmten Kompartimenten die Beurteilbarkeit der Bildgebung postmortem und sorgt im Verlauf der Betrachtungszeit der CT-Bilder postmortem für strukturelle Veränderungen, Spiegelbildungen und diverse Formen von Parenchymzeichnungen, die es in Zukunft gilt, durch weitere umfassende Studien mehr zu konkretisieren, um anhand dessen Standards zur Beurteilbarkeit eines nach dem Tode erstellten CTs bezogen auf Lunge und Herz festlegen zu können.

Bezüglich der rechtsmedizinischen Praxis wäre es für zukünftige Arbeiten wünschenswert, wenn die erhobenen Befunde noch systematischer mit gewonnenen Autopsieergebnissen korreliert werden könnten.

6 Abkürzungsverzeichnis

A.	–	Arteria
BMI	–	Body-Mass-Index
bzw.	–	beziehungsweise
CCT	–	craniale Computertomographie
CI	–	Konfidenzintervall
cm	–	Zentimeter
cm ²	–	Quadratcentimeter
cm ³	–	Kubikcentimeter
CT	–	Computertomographie/-tomogramm
Diff.	–	Differenz
d.h.	–	dass heißt
EHEC	–	enterohämorrhagische Escherichia coli
h	–	Stunde
HIV	–	Humanes Immundefizienzvirus
HU	–	Hounsfieldunits
HWK	–	Halswirbelkörper
ILSpalt	–	Interlobärspalt
minip	–	Minimum Intensity Projection
ML	–	Mittellappen
MPR	–	Multi-Planar Reconstruction
MRT	–	Magnetresonanztomographie
n	–	absolute Anzahl
OL	–	Oberlappen
Pleuraerg.	–	Pleuraerguss
pl. Tod	–	plötzlicher Tod
pr. Tod	–	protrahierter Tod
re	–	rechts
ROI	–	region of interest
Standardabw.	–	Standardabweichung
TP	–	Transparenz
u.a.	–	unter anderem

UKE	–	Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf
UL	–	Unterlappen
v.a.	–	vor allem
vgl.	–	vergleiche
WHO	–	World Health Organization

7 Literaturverzeichnis

Bücheler, E., Lackner, K.-J., & Thelen, M. (1998). *Einführung in die Radiologie*. Stuttgart: Thieme, S. 229-317 und S. 332-386.

Bisset, R., Thomas, N., Turnbull, I. & Lee, S. (2002). **Postmortem examinations using magnetic resonance imaging: four year review of a working service.** *BMJ* (324), S. 1423-1424.

Bollinger, S., Thali, M., Ross, S., Buck, U., Naether, S. & Vock, P. (2008). **Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects.** *Eur Radiol* (18), S. 273-282.

Brogdon, B. (1998). *Forensic radiology (1. Ausg.)*. Boca Raton: CRC press.

Classen, M., Diehl, V. & Kochsiek, K. (2009). *Innere Medizin (6. Ausg.)*. München: Elsevier, Urban & Fischer, S. 1370-1371.

Dettmeyer, R. B. & Verhoff, M. A. (2011). *Rechtsmedizin*. Heidelberg: Springer, S. 247-255.

Donchin, Y., Rivkind, A., Bar-Ziv, J., Hiss, J., Almog, J. & Drescher, M. (1994). **Utility of postmortem computed tomography in trauma victims.** *The Journal of Trauma* (37), S. 552-556.

Egger, C., Vaucher, P., Doenz, F., Palmiere, C., Mangin, P. & Grabherr, S. (2012). **Development and validation of a postmortem radiological alteration index: the RA-Index.** *Int J Legal Med* (126), S.559-566.

Germerott, T., Preiss, U., Ebert, L., Ruder, S., Ross, S., Flach, P. et al. (2010). **A new approach in virtopsy: Postmortem ventilation in multislice computed tomography.** *Legal Medicine* (12), S. 276-279.

- Greten, H., Rinninger, F. & Greten, T. (2010). *Innere Medizin (13. Ausg.)*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, S. 662-665.
- Ishida, M., Gono, W., Hagiwara, K., Takazawa, Y., Akahane, M., Fukayama, M. et al. (2011). **Hypostasis in the heart and great vessels of non-traumatic in-hospital death cases on postmortem computed tomography: Relationship to antemortem blood tests.** *Legal Medicine* (13), S. 280-285.
- Kauffmann, G., Moser, E. & Sauer, R. (2006). *Radiologie*. München: Elsevier, Urban & Fischer, S. 3-7.
- Larsen, R. (2010). *Anästhesie (9. Ausg.)*. München: Elsevier, Urban & Fischer, S. 915-918.
- Madea, B. (2003). *Praxis Rechtsmedizin*. Berlin: Springer Verlag, S. 47-49.
- Marino, P. (2008). *Das ICU-Buch - Praktische Intensivmedizin (4. Ausg.)*. München: Elsevier, Urban & Fischer, S. 447 & S. 568.
- Oesterhelweg, L. & Thali, M. (2009). **Experiences with virtual autopsy approach worldwide.** In M. Thali, R. Dirnhofer & P. Vock, *The virtopsy approach*. Boca Raton: CRC Press, S. 475-477.
- Penning, R. (2006). *Rechtsmedizin systematisch (2. Ausg.)*. Bremen: UNI-MED Verlag AG, S. 25-27.
- Prokop, M. & Galanski, M. (2003). *Spiral and multisliced computed tomography of the body*. New York: Thieme, S. 1-10.
- Ros, P., Li, K., Vo, P., Baer, H. & Staab, E. (1990). **Preautopsy magnetic resonance imaging: initial experience.** *Magn Reson Imaging* (8), S. 303-308.
- Rutty, G. (2007). **Are autopsies necessary? The role of computed tomography as a possible alternative to invasive autopsies.** *Rechtsmedizin* (17), S. 21-28.

Rutty, G., Morgan, B., O'Donnell, C., Leth, P. & Thali, M. (2008). **Forensic institutes across the world place CT or MRI scanners or both into their mortuaries.** *J Trauma* (65(2)), S. 493-494.

Shiotani, S., Kobayashi, T., Hayakawa, H., Kikuchi, K. & Kohno, M. (2011). **Postmortem pulmonary edema: A comparison between immediate and delayed postmortem computed tomography.** *Legal Medicine* (13), S. 151-155.

Shiotani, S., Kohno, M., Ohashi, N., Yamazaki, K. & Itai, Y. (2002). **Postmortem intravascular high-density fluid level (hypostasis): CT findings.** *Journal of Computer Assisted Tomography* (26), S. 892-893.

Shiotani, S., Kohno, M., Ohashi, N., Yamazaki, K., Nakayama, H. & Watanabe, K. (2003). **Dilatation of the heart on postmortem computed tomography (PMCT): comparison with live CT.** *Radiat. Med.* (21), S. 29-35.

Shiotani, S., Kohno, M., Ohashi, N., Yamazaki, K., Nakayama, H., Watanabe, K. et al. (2004). **Non-traumatic postmortem computed tomographic (PMCT) findings of the lung.** *Forensic Sci Int* (139), S. 39-48.

Thali, M., Jackowski, C., Oesterhelweg, L., Ross, S. & Dirnhofer, R. (2007). **Virtopsy - the Swiss virtual autopsy approach.** *Legal Medicine* (9), S. 100-104.

Thali, M., Yen, K., Schweitzer, W., Vock, P., Boesch, C., Ozdoba, C. et al. (2003). **Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) - a feasibility study.** *J Forensic Sci* (48), S. 386-403.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung der untersuchten Todesfälle	10
Abbildung 2: Liegezeit postmortem bei erstem Scan	11
Abbildung 3: Computertomograph Philips MX8000 Quad4	12
Abbildung 4: Alter der Verstorbenen	13
Abbildung 5: BMI der Verstorbenen	13
Abbildung 6: Rektaltemperatur bei CT-Serienstart	14
Abbildung 7: Volumetrie in 2D/3D Transversalebene	17
Abbildung 8: Interratervariabilität der ersten zehn CT-Untersuchungen Herz	19
Abbildung 9: rechter Pleuraerguss „gering“	20
Abbildung 10: linker Pleuraerguss „deutlich“	20
Abbildung 11: linker Pleuraerguss „ausgeprägt“	21
Abbildung 12: Ösophagus „unteres Drittel“	21
Abbildung 13: Bronchiogramm „nicht vorhanden“	22
Abbildung 14: Bronchiogramm „vereinzelt“	23
Abbildung 15: Bronchiogramm „verzweigt“	23
Abbildung 16: Bronchiogramm „ausgeprägt“	23
Abbildung 17: Parenchym „transparent“	24
Abbildung 18: Parenchym „Milchglas“	24
Abbildung 19: Parenchym „zerfressen“	25
Abbildung 20: Parenchym „wabenartig“	25
Abbildung 21: Parenchym „tupferartig“	26
Abbildung 22: Parenchym „teilverschattet“	26
Abbildung 23: Parenchym „netzartig“	27
Abbildung 24: Parenchym „wolkig“	27
Abbildung 25: Parenchym „eher transparent“, apikales Oberlappensegment rechts/links	28
Abbildung 26: Parenchym „mäßig intransparent“, Oberlappensegment dorsal links	29
Abbildung 27: Parenchym „stärker intransparent“, Oberlappensegment dorsal links	29
Abbildung 28: Parenchym „intransparent“, Unterlappensegment dorsal links	29
Abbildung 29: Transparenzminderung „nicht vorhanden“, ventral vom ILSpalt Oberlappen links	30
Abbildung 30: Transparenzminderung „angedeutet/mäßig vorhanden“, ventral vom ILSpalt Oberlappen/Mittellappen rechts	30
Abbildung 31: Transparenzminderung „deutlich vorhanden“, ventral vom ILSpalt Oberlappen links	31
Abbildung 32: Gefäßzeichnung „Sternenhimmel“	31
Abbildung 33: Gefäßzeichnung „netzförmig“	32
Abbildung 34: Gefäßzeichnung „gefäßbetont“	32
Abbildung 35: Gefäßzeichnung „gefäßbetont mit Wandunschärfe“	32

Abbildung 36: Gefäßzeichnung zentral "mäßig gestaut" _____	33
Abbildung 37: Gefäßzeichnung zentral "deutlich gestaut" (in dieser Bildebene anhand A. pulmonalis dextra gut sichtbar) _____	33
Abbildung 38a+b: Front- und Niveaubildung "deutlich vorhanden", Unterlappen rechts, Ausschnittvergrößerung _____	34
Abbildung 39a+b: Front- und Niveaubildung MPR "deutlich vorhanden", Unterlappen rechts, Ausschnittvergrößerung _____	34
Abbildung 40: Häufigkeitsverteilung der Todesursachen _____	37
Abbildung 41: Temperaturverlauf über die Zeit _____	39
Abbildung 42: Volumenentwicklung rechter Vorhof allgemein _____	41
Abbildung 43: Volumenentwicklung rechter Vorhof unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt" _____	42
Abbildung 44: Volumenentwicklung linker Vorhof allgemein _____	42
Abbildung 45: Volumenentwicklung linker Vorhof unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt" _____	43
Abbildung 46: Volumenentwicklung rechter Ventrikel allgemein _____	45
Abbildung 47: Volumenentwicklung rechter Ventrikel unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt" _____	46
Abbildung 48: Volumenentwicklung linker Ventrikel allgemein _____	46
Abbildung 49: Volumenentwicklung linker Ventrikel unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt" _____	47
Abbildung 50: Volumenentwicklung Herzgröße gesamt _____	48
Abbildung 51: Volumenentwicklung Herz gesamt unterteilt in Gruppe "gekühlt"/"ungekühlt" _____	49
Abbildung 52: Entwicklung der Ösophagusfüllung über 24 Stunden _____	51
Abbildung 53: Entwicklung der Tracheafüllung über 24 Stunden _____	52
Abbildung 54: Entwicklung Hauptbronchusfüllung rechts über 24 Stunden _____	52
Abbildung 55: Entwicklung Hauptbronchusfüllung links über 24 Stunden _____	53
Abbildung 56: Verlauf Bronchiogramm rechter Unterlappen über 24 Stunden _____	53
Abbildung 57: Verlauf Bronchiogramm linker Unterlappen über 24 Stunden _____	54
Abbildung 58: Verlauf Bronchiogramm rechter Oberlappen über 24 Stunden _____	54
Abbildung 59: Verlauf Bronchiogramm linker Oberlappen über 24 Stunden _____	54
Abbildung 60: Entwicklung des Pleuraergusses quantitativ rechts über die Zeit _____	55
Abbildung 61: Entwicklung des Pleuraergusses quantitativ links über die Zeit _____	56
Abbildung 62: Verlauf Pleuraerguss qualitativ rechts über 72 Stunden _____	58
Abbildung 63: Verlauf Pleuraerguss qualitativ links über 72 Stunden _____	58
Abbildung 64: Pleuraergusswechsel von dorsal nach ventral _____	59
Abbildung 65: Häufigkeitsverteilung der Parenchymzeichnung qualitativ im Oberlappen rechts _____	60
Abbildung 66: Entwicklung Parenchymtransparenz quantitativ Oberlappen rechts _____	61
Abbildung 67: Entwicklung Parenchymtransparenz Standardabweichung Oberlappen rechts _____	62
Abbildung 68: Häufigkeitsverteilung der zentralen Gefäßzeichnung rechts _____	64
Abbildung 69: Häufigkeitsverteilung der peripheren Gefäßzeichnung Oberlappen rechts _____	65
Abbildung 70: Häufigkeitsverteilung der Niveaumessung qualitativ _____	66
Abbildung 71: Häufigkeitsverteilung der Frontmessung qualitativ _____	66

<i>Abbildung 72: Niveauverlauf quantitativ über Stunde 12, Stunde 24 und Stunde 72 jeweils für alle Lungenlappen rechts</i>	67
<i>Abbildung 73: Häufigkeitsverteilung der Segmenttransparenz im apikalen Oberlappen rechts</i>	68
<i>Abbildung 74: Häufigkeitsverteilung der Segmenttransparenz im dorsalen Oberlappen rechts</i>	69
<i>Abbildung 75: Häufigkeitsverteilung der Segmenttransparenz im dorsalen Unterlappen rechts</i>	69
<i>Abbildung 76: Häufigkeitsverteilung der Transparenzminderung über ILSpalt Oberlappen rechts</i>	70
<i>Abbildung 77: Korrelation der Transparenzminderung über ILSpalt Oberlappen rechts mit BMI</i>	71
<i>Abbildung 78: Entwicklung der Thoraxhöhe rechts/links über Stunde 24 und Stunde 48</i>	72
<i>Abbildung 79: Pleuraergusszunahme beidseits über 24 Stunden</i>	78
<i>Abbildung 80: Verlauf eines Bronchiogramms über 24 Stunden</i>	81
<i>Abbildung 81: Entwicklung der Parenchymtransparenz über 48 Stunden</i>	84
<i>Abbildung 82: Niveaunahme über die Zeit im Oberlappen rechts</i>	86
<i>Abbildung 83: Entwicklung einer Bulla im Oberlappen rechts über die Zeit</i>	87
<i>Abbildung 84: Entwicklung einer Bulla im Unterlappen links über die Zeit</i>	87
<i>Abbildung 85: Entwicklung eines Infiltrats im Oberlappen/Mittellappen rechts über die Zeit</i>	88
<i>Abbildung 86: Entwicklung eines Infiltrats im Oberlappen rechts über die Zeit</i>	88

9 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Entwicklung der Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs über die Zeit allgemein</i>	15
<i>Tabelle 2: Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs in den diversen Untergruppen</i>	15
<i>Tabelle 3: Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs in Untergruppen der Ödemeinteilung</i>	15
<i>Tabelle 4: Verstorbenenanzahl des Studienkollektivs in Untergruppen der Blutvolumeneinteilung</i>	15
<i>Tabelle 5: Weitere Gruppierung der Parenchymzeichnungen</i>	28
<i>Tabelle 6: Auswertungs- und Einflussvariablen</i>	36
<i>Tabelle 7: Einteilung der Todesursachen</i>	37
<i>Tabelle 8: Temperaturverlauf (°Celsius) der Gruppe "gekühlt" korreliert mit BMI</i>	39
<i>Tabelle 9: Temperaturverlauf (°Celsius) der Gruppe "ungekühlt" korreliert mit BMI</i>	40
<i>Tabelle 10: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Vorhof und BMI</i>	43
<i>Tabelle 11: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Vorhof und relativem Blutvolumen</i>	44
<i>Tabelle 12: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Vorhof und pl./pr. Tod</i>	44
<i>Tabelle 13: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) linker Vorhof und Reanimation</i>	44
<i>Tabelle 14: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) rechter Ventrikel und BMI</i>	47
<i>Tabelle 15: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (cm³) Herzvolumen gesamt und pl./pr. Tod</i>	49
<i>Tabelle 16: Signifikante Korrelation zwischen Volumenentwicklung (%) Herzvolumen gesamt und Todesursachen</i>	50
<i>Tabelle 17: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ rechts und pl./pr. Tod</i>	56
<i>Tabelle 18: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ links und pl./pr. Tod</i>	57
<i>Tabelle 19: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ links und Reanimation</i>	57
<i>Tabelle 20: Signifikante Korrelation zwischen Pleuraerguss (cm³) quantitativ links und Todesursachen</i>	57
<i>Tabelle 21: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen rechts und pl./pr. Tod</i>	62
<i>Tabelle 22: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen rechts und Reanimation</i>	63
<i>Tabelle 23: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen links und pl./pr. Tod</i>	63
<i>Tabelle 24: Signifikante Korrelation zwischen Parenchymtransparenz (HU) Oberlappen links und Temperatur</i>	63

Tabelle 25: Entwicklung Thoraxhöhe (cm) zu Stunde 24 korreliert mit Gruppe "gekühlt/ungekühlt" 72

Tabelle 26: Korrelation nach Pearson für das gesamte Herzvolumen nach 24 Stunden, (N=68) _____ 73

Tabelle 27: Korrelation nach Pearson für das Vorhofvolumen rechts nach 24 Stunden, (N=68) _____ 74

Tabelle 28: Korrelation nach Pearson für das Vorhofvolumen links nach 24 Stunden, (N=68) _____ 74

Tabelle 29: Korrelation nach Pearson nur für Verstorbene mit Pleuraerguss rechts/links nach 24 Stunden, (N=40) _____ 75

10 Danksagung

Bei Herrn Prof. Dr. med. Klaus Püschel, Direktor des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, möchte ich mich herzlich bedanken: Für die Aufnahme am Institut, die Unterstützung und die Ermöglichung dieser Arbeit.

Im Besonderen gilt mein Dank Herrn Dr. med. Axel Heinemann, Leitender Oberarzt am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, für seine exzellente Betreuung in technischen, statistischen wie auch medizinischen Fragestellungen, für die vielen Stunden der Zusammenarbeit, für die Motivation und das Ermöglichen, wirklich jeden CT-Scan durchführen zu können.

Vor allem war mir diese Arbeit nur möglich durch die wertvolle, tatkräftige Unterstützung meiner beiden Kommilitonen Nina Dietrich und Victor Schüttfort, ohne die ich die Daten nie allein hätte sammeln können und bei denen ich mich hiermit recht herzlich bedanken möchte.

Des Weiteren danke ich allen Ärzten des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, darunter v.a. Herrn Dr. med. Axel Gehl und Herrn Dr. med. Michael Kammal, Forensische Radiologie am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, für Unterstützung, Ideen und eine gute Zusammenarbeit.

Herrn Prof. Dr. med. Hermann Vogel, Forensische Radiologie am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, ehemaliger Chefarzt am Albers-Schönberg-Institut für Röntgendiagnostik an der Asklepiosklinik St. Georg, danke ich für die gute Zusammenarbeit, den regen Gedankenaustausch, das Erarbeiten von Parametern und Auswertungsstrukturen, sowie für die Unterstützung bei radiologischen Befunden.

Mein Dank gilt auch besonders dem Personal des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf, für freundliche Unterstützung, Motivation und gute Zusammenarbeit.

Zu guter Letzt seien auch nicht Familie und Freunde unerwähnt, die mich immer unterstützt haben mit Anregungen, Aufmunterungen und viel Verständnis; vielen Dank.

11 Lebenslauf

Persönliche Daten

.....

Name	Wencke Cornelia Uhle
Geburtsdatum	13. Mai 1987
Geburtsort	24768 Rendsburg
Eltern	Peter-Michael Uhle, Unternehmer Irene Uhle, Krankenschwester
Geschwister	Stephanie Görrissen, Industriekauffrau Sebastian Uhle, Berufssoldat Wiebke Uhle, Lehrerin
Familienstand	ledig

Schulbildung

.....

1993 – 1997	Grundschule Kropp
1997 - 2007	Domschule Schleswig, Abschluss: Abitur

Studium

.....

Juli – Oktober 2007	Eintritt in die Bundeswehr Absolvieren der Grundausbildung
seit Oktober 2007	Studium der Humanmedizin in Hamburg am Universitätsklinikum Eppendorf
März 2010	Physikum
Februar 2013	Beginn des Praktischen Jahres

12 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Unterschrift: