

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Matthias Graw

**LUNGENBELÜFTUNG BEI NEUGEBORENEN UND TOTGEBURTEN:
VERGLEICH VON CT-DICHTEN UND SCHWIMMPROBE**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Laura Bechstein

aus

Madison, WI, USA

2020

**Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München**

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Oliver Peschel

Mitberichterstatter: PD Dr. med. Sven Thieme

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Florian Fischer

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard HICKEL

Tag der mündlichen Prüfung: 30.01.2020

Meinen Eltern
in großer Dankbarkeit

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG | 1 |
| 1.1 | LUNGENBELÜFTUNG ALS BEWEIS DES GELEBTHABENS | 1 |
| 1.2 | GESCHICHTE DER SCHWIMMPROBE | 2 |
| 1.3 | RECHTSMEDIZINISCHE OBDUKTION UND LUNGENSCHWIMMPROBE | 4 |
| 1.4 | EPIDEMIOLOGIE, RISIKOFAKTOREN UND URSACHEN DER TOTGEBURT | 6 |
| 1.5 | EPIDEMIOLOGIE UND DIAGNOSE DER KINDSTÖTUNG | 8 |
| 1.6 | GRUNDLAGEN COMPUTERTOMOGRAPHIE | 12 |
| 1.7 | ENTWICKLUNG DER VIRTUELLEN AUTOPSIE | 13 |
| 1.8 | FRAGESTELLUNG | 15 |
| 2 | MATERIAL UND METHODEN | 16 |
| 2.1 | AUSWAHL DER VERSTORBENEN | 16 |
| 2.1.1 | <i>Einschlusskriterien</i> | 16 |
| 2.1.2 | <i>Ausschlusskriterien</i> | 17 |
| 2.1.3 | <i>Ethikantrag</i> | 17 |
| 2.2 | POSTMORTALE COMPUTERTOMOGRAPHIE (PMCT) | 17 |
| 2.2.1 | <i>Bildaufnahme</i> | 18 |
| 2.2.2 | <i>Bildanalyse</i> | 18 |
| 2.3 | AUTOPSIE | 25 |
| 2.4 | KORRELATION DER AUTOPSIE MIT DER PMCT | 25 |
| 2.5 | GRUPPENBILDUNG | 26 |
| 2.6 | STATISTISCHE AUSWERTUNG | 29 |
| 3 | ERGEBNISSE | 30 |
| 3.1 | DESKRIPTIVE DATEN | 30 |
| 3.2 | AUTOPSIEBEFUNDE | 33 |
| 3.3 | PMCT-BEFUNDE | 35 |
| 3.4 | KORRELATION DER AUTOPSIE-ERGEBNISSE MIT DEN ERGEBNISSEN DER PMCT | 37 |
| 3.5 | VERGLEICH DER GRUPPEN 1A VS. 1B | 39 |
| 3.6 | VERGLEICH DER GRUPPEN 1B VS. 2 | 42 |
| 3.7 | VERGLEICH GESAMTGRUPPE ANTERIOR VS. MEDIAL VS. DORSALE ROIS | 43 |
| 3.8 | ROC-ANALYSEN ZUR ERMITTLUNG OPTIMALER TRENNUNGSPUNKTE | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | DISKUSSION | 48 |
| 4.1 | DISKUSSION DER METHODEN | 49 |
| 4.1.1 | <i>Auswahl der Verstorbenen</i> | 49 |
| 4.1.2 | <i>PMCT</i> | 49 |
| 4.1.3 | <i>Autopsie</i> | 50 |
| 4.1.4 | <i>Schwimmprobe</i> | 50 |
| 4.2 | DISKUSSION DER ERGEBNISSE | 51 |
| 4.2.1 | <i>Deskriptive Daten</i> | 51 |
| 4.2.2 | <i>Korrelation der Autopsie mit der PMCT</i> | 52 |
| 4.2.3 | <i>Vergleich der Gruppen 1a vs. 1b</i> | 55 |
| 4.3 | POSTMORTALE MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE (PMMRT) IM VERGLEICH ZUR PMCT | 55 |
| 4.4 | DISKUSSION VON EINZELFÄLLEN | 57 |
| 4.5 | AUSBLICK..... | 61 |
| 5 | ZUSAMMENFASSUNG | 62 |
| 6 | LITERATURVERZEICHNIS | 63 |
| 7 | ANHANG | 67 |
| 7.1 | FALLDARSTELLUNGEN 1-17..... | 67 |
| 7.2 | VERZEICHNIS DER TABELLEN UND ABBILDUNGEN | 85 |
| 8 | DANKSAGUNG | 87 |
| 9 | EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG | 88 |

1 Einleitung und Problemstellung

Die Differenzierung zwischen Lebend- und Totgeburt bei Neugeborenen stellt eine Herausforderung der rechtsmedizinischen Autopsie dar. Die Schwimmprobe der Lungen ist neben histologischen Untersuchungen der Untersuchungsstandard für den Nachweis, ob das Neugeborene gelebt hat, oder aber eine Totgeburt vorlag (1). Hierbei kommt auch der Beurteilung des Reifezustandes der Leibesfrucht eine besondere Bedeutung zu, dergestalt ob der Fötus überhaupt soweit entwickelt war, dass ein Überleben außerhalb des Uterus möglich gewesen wäre (2).

Die Durchführung und Interpretation der Schwimmprobe wird kritisch betrachtet. Ein positives Ergebnis, mit Aufschwimmen der Lungen in Wasser, kann erhebliche rechtliche Folgen nach sich ziehen, weil in der Regel die Mutter in den Verdacht gerät, das Neugeborene getötet zu haben. Der Schwimmprobe vergleichbare Untersuchungsmethoden zur Feststellung der Lungenbelüftung eines Neugeborenen gibt es bisher nicht.

In den letzten Jahren wird vor der eigentlichen Autopsie zunehmend die Möglichkeit der postmortalen Computertomographie (PMCT) genutzt. Unklar ist dabei bislang, ob derartige radiologische Untersuchungsverfahren vergleichbare oder sogar bessere Untersuchungsergebnisse als die klassische Schwimmprobe bieten.

1.1 Lungenbelüftung als Beweis des Gelebthabens

Eine der wichtigsten forensischen Fragestellungen bei der Untersuchung eines toten Neugeborenen birgt die Frage nach dem Gelebthaben und der Lebensfähigkeit nach Entbindung des Neugeborenen. Das Einsetzen der postpartalen Lungenbelüftung ist abhängig vom Atemreflex, vermittelt über intraalveoläre CO₂-Konzentration, mechanische Reize und Aspekte der ärztlichen Betreuung wie z. B. stattgehabte Reanimationsmaßnahmen. Klinische Indikatoren für Gelebthaben sind das Einsetzen der natürlichen Lungenatmung,

Herzschlag oder Pulsation der Nabelschnur. Ist keines dieser Lebenszeichen während oder unmittelbar nach Entbindung vorhanden, so wird das Neugeborene nach §31 der Personenverstandsverordnung je nach Geburtsgewicht als Fehlgeburt oder Totgeburt eingestuft. Die Beurteilung des Gelebthabens nach durchgeführten Reanimationsmaßnahmen ist besonders erschwert. Vor allem im Rahmen einer peripartalen fötalen Hypoxie durch Entbindungskomplikationen kann eine Reanimation des Neugeborenen notwendig werden (3). Hier kann häufig nur in Zusammenschau der peripartalen medizinischen Maßnahmen mit der Obduktion geklärt werden, ob das Neugeborene überhaupt gelebt hat bzw. lebensfähig gewesen wäre. In bestimmten Situationen wie Hausgeburt, verheimlichter Schwangerschaft oder außerklinischer Geburt ohne medizinische Betreuung bleiben die Umstände der Geburt oft unklar.

Zur Vorgeschichte des Neugeborenen erhalten Rechtsmediziner meist nur wenige Informationen. Umso wichtiger ist es anhand der Obduktion herauszufinden, was zum Tod des Neugeborenen geführt haben könnte und ob es lebensfähig geboren wurde.

1.2 Geschichte der Schwimmprobe

Bereits 200 nach Christus beschrieb Aelius Galenus in *De usu partium* „*substantia pulmonum ex rubra, gravi ac densa in albam, levem et raram transfertur*, die Substanz der Lunge verändert sich (durch die Atmung) von rot, schwer und dicht, hin zu weiß und leicht und weniger dicht“ (Galenus, zitiert nach (4)). Diese Aussage durch Galenus wird oft als erster Hinweis auf die Möglichkeit einer Schwimmprobe (*docimasia pulmonum hydrostatica*) gesehen. Dabei bleibt unklar, inwiefern Galenus sich der forensischen Bedeutung dieser Aussage bewusst war (5). Im Jahr 1667 demonstrierte der holländische Naturwissenschaftler Jan Swammerdam, dass die belüfteten Lungen von Neugeborenen, die nach der Geburt geatmet hatten, in Wasser schwammen, während unbelüftete Lungen von Neugeborenen in Wasser sanken (6). Dieser Test wurde im Laufe der Jahre erweitert um die Schwimmprobe des oberen Gastrointestinaltraktes. Neugeborene verschlucken Luft bei den ersten Versuchen des eigenständigen Atmens, weshalb in der Schwimmprobe des Gastrointestinaltraktes verschluckte Luft nachgewiesen werden kann (7).

Letztendlich gilt jedoch der deutsche Arzt Johannes Schreyer (1655-1694) als der Erste, der im Jahr 1681 die Lungenschwimmprobe einführte, wie sie bis heute praktiziert wird (8). 1690 führte Schreyers Ergebnis der Schwimmprobe im Prozess mit dem Verdacht auf Kindstötung zu dem Freispruch einer 15-jährigen Mutter, nachdem die Lungen ihres Neugeborenen in Wasser untergingen (9) (Abbildung 1). Die Schwimmprobe ist in Kombination mit der Histologie des Lungengewebes heute nach wie vor der Standard zur Feststellung des Gelebthabens (1).

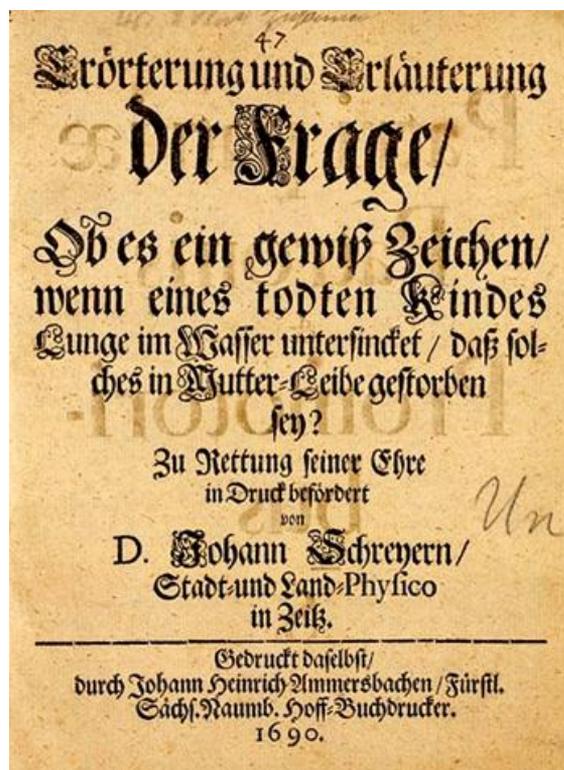


Abbildung 1: Dr. Johann Schreyers Erörterung und Erläuterung der Frage: „Ob es ein gewiß Zeichen, wenn eines todten Kindes Lunge im Wasser untersincket, dass solches in Mutter-Leibe gestorben sey?“ Im Jahr 1690 wurde die Lungenschwimmprobe im Prozess einer verdächtigten Kindstötung gebraucht. Die 15-jährige Anna Voigt wurde freigesprochen, nachdem die Lungen ihres Neugeborenen in Wasser sanken (10).

1.3 Rechtsmedizinische Obduktion und Lungenschwimmprobe

In Deutschland wird die Leichenöffnung gegebenenfalls gerichtlich bzw. staatsanwaltschaftlich angeordnet und verlangt gemäß § 87 (StPO) eine Drei-Höhlen-Obduktion mit der Eröffnung der Kopf-, Brust- und Bauchhöhle. Dabei bleibt die Rechtsmedizin in ihrer Kernaufgabe der traditionellen Autopsie seit Jahrhunderten treu. Es gilt als wesentliche Aufgabe die Todesursache und Todesumstände zu klären. Näheres zur ärztlichen Leichenschau (Veranlassung, Veränderungsverbot, Durchführung, Todesbescheinigung, nicht natürlicher Tod, Leiche eines Unbekannten, Leichenschau in sonstigen Fällen) wird festgelegt durch Bestattungsverordnungen auf Grundlage der Bestattungsgesetze (11). Diese sind Länderangelegenheiten wie z. B. das Bayerische Bestattungsgesetz (BestG) vom 24. September 1970 und die Verordnung zur Durchführung des Bestattungsgesetzes (Bestattungsverordnung – BestV) vom 1. März 2001, erlassen vom Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz und dem Bayerischen Staatsministerium des Inneren (12). Leitliniengemäß ist ein natürlicher Tod: „ein Tod aus krankhafter Ursache, der völlig unabhängig von rechtlich bedeutsamen Faktoren eingetreten ist.“ (13). Der Tod zu diesem Zeitpunkt muss aus dem Krankheitsverlauf zu erwarten gewesen sein. Ein nicht natürlicher Tod stellt einen Sammelbegriff durch ein von außen einwirkendes Ereignis dar, wie z. B. Selbsttötungen, Unfalltodesfälle, Tötungen durch fremde Hand, oder auch Todesfälle infolge ärztlicher Eingriffe. Für die Untersuchung von Neugeborenen oder Säuglingen wurden bei plötzlichem und unerwartetem Tod spezielle Protokolle entwickelt und zusätzliche Untersuchungen wie Histologie, Toxikologie und der Nachweis von Bakterien, Viren, neuropathologische Untersuchung sowie klinisch-chemische helfen bei der Todesursachenklärung (14). Im Ergebnis wird hierbei nach wie vor die Lungenschwimmprobe angewendet, ergänzt durch die Magen-Darm-Schwimmprobe.

Die Lungenschwimmprobe ist in Standardlehrbüchern der Rechtsmedizin genauer beschrieben (2). Alle Halsorgane zusammen mit beiden Lungenflügeln werden dem Leichnam entnommen und sogleich in ein Gefäß mit Wasser gelegt. Wenn die Lungen mit Luft gefüllt sind, schwimmen sie oben auf und halten das Organpaket, die Schwimmprobe ist damit positiv. Dies gilt als Nachweis dafür, dass die Lungen postnatal belüftet waren. Im Fall einer Totgeburt sind die Lungen mit Flüssigkeit gefüllt und sinken im Wasser ab.

Die Schwimmprobe ist damit negativ (Abbildung 2). Im Fall von Flüssigkeitsfüllung einzelner Lungenabschnitte bzw. Lappen (Aspiration, Pneumonie, Atelektase) kann es sein, dass die Schwimmprobe nicht eindeutig positiv oder negativ ausfällt. In solchen Fällen sollten Anteile der jeweiligen Lungenlappen zusätzlich isoliert untersucht werden.

Falsch positive Ergebnisse können durch Fäulnis entstehen (gasproduzierende Anaerobier) oder nach künstlicher Beatmung, wie z. B. im Rahmen einer Reanimation. Falsch negative Ergebnisse können vorliegen, wenn das Neugeborene vor dem ersten Atemzug getötet wurde oder unmittelbar nach der Geburt Flüssigkeit aspirierte (z.B. Entbindung auf dem WC). Zusätzlich wird der Magen-Darm-Trakt in gleicher Weise in seiner Gesamtheit in ein Wassergefäß gelegt. Analog zur Lungenschwimmprobe schwimmen belüftete Anteile des Magen-Darm-Trakts auf der Wasseroberfläche. Je nach Füllungsstatus der Eingeweide mit Luft kann eine Zeitdauer des Gelebthabens abgeschätzt werden. Im Hinblick auf falsch positive und negative Ergebnisse der Magen-Darm-Schwimmprobe gilt das gleiche wie für die Lungenschwimmprobe (s.o.). Fällt die Lungenschwimmprobe negativ aus, so gilt die Magen-Darm-Schwimmprobe als entscheidend für die Beurteilung des Gelebthabens.

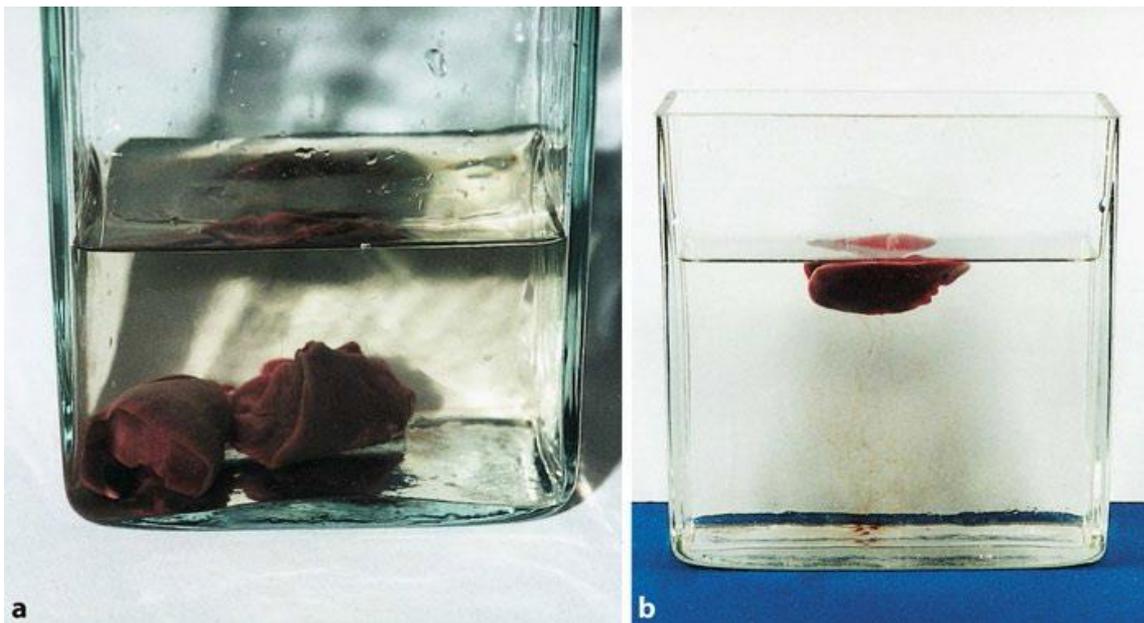


Abbildung 2: Lungenschwimmprobe. a) negativ: nicht belüftete Lungen sinken auf den Grund des mit Wasser gefüllten Gefäßes. b) positiv: belüftete Lungen schwimmen an der Oberfläche des mit Wasser gefüllten Gefäßes (2).

1.4 Epidemiologie, Risikofaktoren und Ursachen der Totgeburt

Eine Totgeburt wird in Deutschland gemäß § 31 Personenstandsgesetz wie folgt definiert: „(...) beträgt das Gewicht der Leibesfrucht jedoch mindestens 500 Gramm, gilt sie im Sinne des § 21 Abs. 2 des Gesetzes als ein totgeborenes Kind.“(15) International wird laut Literatur meist folgende Definition verwendet: die Totgeburt ist eine Geburt ohne vitale Lebenszeichen nach der Entbindung und einem Geburtsgewicht von mindestens 500 g (16). Totgeburten kommen in industriellen Ländern mit einer Häufigkeit von 2,2-3,8 pro 1000 Geburten vor (17). Einer von 200 Feten über der 22. Schwangerschaftswoche wird tot geboren. Flenady et al. (18) publizierten 2011 eine Studie zu den Hauptrisikofaktoren für Totgeburten in industriellen Ländern. Dabei stellte ein Übergewicht vor der Schwangerschaft mit einem Body-Mass-Index von $>25 \text{ kg/m}^2$ einen der wichtigsten Risikofaktoren dar. Weitere Risikofaktoren sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Risikofaktoren für Totgeburten (17, 18)

| Risikofaktor |
|---|
| Alter > 35 Jahre |
| Arterieller Hypertonus |
| Schwangerschaftsbedingt |
| Präeklampsie |
| Eklampsie |
| Geringe Größe in Bezug auf das Gestationsalter (>10 % Abweichung) |
| Gebrauch illegaler Drogen |
| Hohes Gestationsalter |
| Kaiserschnitt |
| Keine pränatale medizinische Versorgung |
| Mangelnder Zugang zum Gesundheitssystem |
| Niedriges Bildungsniveau |
| Niedriger sozioökonomischer Status |
| Primiparität |
| Rauchen während der Schwangerschaft |
| Verzögerte medizinische pränatale Versorgung (> 1. Trimester) |
| Vorbestehendes Übergewicht |
| Vorbestehender Diabetes mellitus |
| Vorausgegangene Totgeburt |
| Vorzeitige Plazentalösung |
| Zugehörigkeit zu einer ethnischen Minderheit |

Ursachen, die zu einer Totgeburt führen, werden in pränatale und intrapartale unterteilt. In der Studie des Stillbirth Collaborative Research Network (SCRN) wurden von März 2006 bis September 2008 prospektiv alle 972 Totgeburten in den fünf US Bundesstaaten Rhode Island, Massachusetts, Georgia, Texas und Utah erfasst. Von diesen stimmten 500 Mütter mit 512 Totgeburten einer Obduktion zu. Als häufigste Todesursache (29 %) fanden sich Komplikationen bei der Entbindung. Zu den Entbindungskomplikationen wurden unter anderem vorzeitige Plazentalösung, Todesfälle bei Mehrlingsschwangerschaften sowie die Konstellation von vorzeitigem Blasensprung und Zervixinsuffizienz, häufig in Kombination mit Chorioamnionitis, gezählt. Weitere Todesursachen werden in Tabelle 2 aufgelistet. Mehrere Komplikationen konnten gleichzeitig vorliegen (19).

Tabelle 2: Todesursachen bei Totgeburten (mit Mehrfachnennungen) nach (19)

| Todesursache | % |
|---|----------|
| Entbindungskomplikation | 29 |
| Plazenta Pathologie | 24 |
| Infektion | 14 |
| Fetale genetische Abnormalität | 13 |
| Nabelschnur Abnormalität | 10 |
| Hypertonus, Präeklampsie, Eklampsie | 9 |
| Mütterliche internistische Komplikation | 8 |
| Andere | 3 |

Postnatale Autopsien entdeckten eine neue Diagnose, veränderten eine bestehende Diagnose oder ergaben zusätzliche wichtige Informationen bei 22-76 % der Fälle in einer systematischen Literaturanalyse ohne spezifische Differentialdiagnosen zu benennen (20).

1.5 Epidemiologie und Diagnose der Kindstötung

Unter Kindstötung werden in der Literatur verschiedene Begriffe subsumiert. **Neonatizid** ist definiert als Kindstötung innerhalb der ersten 24 h nach Entbindung. **Infantizid** wird unterschiedlich definiert: entweder als Kindstötung bei Kindern innerhalb des ersten Lebensjahres (21-23) oder als Kindstötung in jeglichem Alter (24). Für diese Arbeit gilt erstere Definition. **Filizid** ist die Kindstötung durch eines der beiden Elternteile unabhängig vom Alter des Kindes.

Der Begriff Neonatizid findet selten Gebrauch im gesetzlichen Rahmen und wird meist unter dem Begriff Infantizid zusammengefasst. In der Regel wird nur von Kindstötung gesprochen.

Bis 1998 war in Deutschland die Kindstötung gemäß § 217 StGB als besonderes Tötungsdelikt berücksichtigt, wenn es sich um ein nichteheliches Kind handelte, das von der Mutter unmittelbar nach der Geburt getötet wurde. Es bestand eine Strafminderung begründet mit der Stigmatisierung eines unehelichen Kindes und der daraus folgenden starken psychischen und sozialen Belastung für die Mutter. Diese Gesetzgebung galt als nicht mehr zeitgemäß und wurde dementsprechend geändert. Gemäß § 212 und 213 StGB (Totschlag bzw. minder schwerer Fall des Totschlags) werden Kindstötungen heute denen von Erwachsenen gleichgestellt (24).

Statistiken zur Inzidenz von Kindstötungen sind schwer zu erheben. Man geht von einer sehr hohen Dunkelziffer aus, da viele Fälle nie aufgedeckt werden können und somit nicht registriert werden. Porter und Gavin beschreiben in einer Übersichtsarbeit eine Rate von 2,4 pro 100.000 bis 7,0 pro 100.000 in Industrienationen (England, Schottland, Wales, Vereinigte Staaten von Amerika, Kanada, Neuseeland (23)). Eine Studie über Kindstötung aus den Vereinigten Staaten von Amerika im Jahr 1990 berichtete, dass von 13 Neugeborenen 7 (64 %) nur zufällig in Mülleimern oder anderen Abfällen aufgefunden wurden, ohne dass die Mutter das Kind als vermisst gemeldet hatte (25). Levene und Bacon gaben an, dass etwa 10 % der Todesfälle, die als plötzlicher Kindstod (sudden infant death syndrom = SIDS) eingruppiert wurden, in Wirklichkeit unaufgedeckte Kindstötungen waren (26). Daher bleibt die exakte Datenlage zu Infantiziden unklar.

Die Täterprofile derer, die Neonatizid begehen, unterscheiden sich eindeutig von jenen, die Filizid begehen. Resnick betonte schon im Jahr 1970, dass es sich bei den Täterinnen um zwei unterschiedliche Gruppen von psychiatrisch kranken Menschen handele (27).

Auch die Umstände bei der Geburt, Verhaltensweisen und Einbeziehungen anderer Mitmenschen nach Entbindung scheinen hinsichtlich der Täterinnen zu variieren.

Bei 95 % der begangenen Neonatizide handelte es sich um Neugeborene, die außerhalb des Krankenhauses geboren wurden. Hingegen handelte es sich bei 92 % der Infantizide um Kinder, die in einer Klinik zur Welt kamen (28). Trautmann-Villaba und Hornstein beschrieben ebenfalls, dass Neonatizide eher von Frauen begangen wurden, die ihre Schwangerschaft verheimlichten, verdrängten oder verleugneten und später das Kind ohne vorherige medizinische Kontrolle außerhalb der Klinik zur Welt brachten. Frauen hingegen, die ihr Kind im Verlauf des 1. Lebensjahres töteten, gaben ihren Mitmenschen gegenüber vorher Warnsignale oder suchten institutionelle Hilfe (24).

Die Risikofaktoren, Neonatizid zu begehen, sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Risikofaktoren für Neonatizid

| Autor | Risikofaktor |
|-----------------|---|
| Craig (22) | Familien mit religiös-fundamentalistischen Ansichten Fehlende Kommunikation zwischen werdender Mutter und eigener Familie Niedriges Bildungsniveau Leben in ländlicher Gegend Primiparität Persönlichkeitscharakter: unreif, schüchtern, passiv Zu Hause lebend |
| Crittenden (25) | Tendenz medizinische Versorgung zu vermeiden |
| Nesca (21) | Posttraumatische Belastungsstörung |
| Overpeck (28) | Alter < 19 Jahren Entbindung außerhalb des Krankenhauses |
| Resnick (27) | Lediger Familienstand Ungewolltes Kind Verleugnung der Schwangerschaft |
| Trautmann (24) | Ablehnung der Mutterschaft Angst vor Reaktion der Umgebung Mangelhaftes Copingverhalten |

1.6 Grundlagen Computertomographie

Die Computertomographie (CT) stellt heutzutage eines der wichtigsten radiologischen Verfahren zur nichtinvasiven Diagnostik dar. Hounsfield und Cormack entwickelten 1968 das Prinzip der CT. Hierbei handelt es sich um ein Röntgen-Schnittbildverfahren mit dem transversale Schichten erzeugt werden. Im Gegensatz zur Projektionsradiographie wird durch die Akquisition von Schnittbildern durch den Körper ein detaillierter Überblick und Einblick in die untersuchte Körperregion ermöglicht. Der Patient wird für die Untersuchung auf einer Liege durch einen kurzen Tunnel, die sogenannte Gantry (Abtasteinheit), gefahren. In der Gantry rotiert eine Röntgenröhre um den Patienten, welche aus verschiedenen Richtungen eine Vielzahl von Projektionen anfertigt. Anhand von Detektoren werden Intensitätsunterschiede der Röntgenstrahlung gemessen. Durch Computerberechnungen können aus den unterschiedlichen Absorptionswerten digital Schnittbilder rekonstruiert werden. Bereits frühzeitig konnte definiert werden, wie Luft von Wasser abgegrenzt werden kann durch Kalibrierung in sogenannte Hounsfield-Einheiten (HE) bzw. Hounsfield-units (HU) (29). Die HU-Skala ist ein Maß für die Dichte und als Gerade mit den beiden definierten Bezugsgrößen Luft = -1000 HU und Wasser = 0 HU definiert. Typische Dichtewerte in der CT sind beispielsweise: Lungengewebe -600-800 HU; Fett -100-0 HU; Wasser 0 HU; frische Blutung 70-90 H; Spongiosa 300 HU; Kompakta >1000 HU. Da die Lunge Gefäße mit Weichteildichte und Luft mit -1000 HU enthält, wird ein breiteres Betrachtungsfenster für die Lunge benötigt. Die Dichtewerte werden in der CT als Graustufen dargestellt. Die sogenannte Fenstertechnik ermöglicht eine leichtere Beurteilung indem nur die zu untersuchende Organstruktur in Graustufen in jeweiligen Knochen-/Weichteil-/Lungenfenstern dargestellt wird. Mit der CT konnte erstmalig auch Weichteilgewebe mit geringen Kontrastunterschieden erfasst und zweidimensional bzw. dreidimensional dargestellt werden. Entwicklungen der Rechnerarchitektur haben eine zunehmende Auflösung und Rekonstruktion der hierbei erzeugten Daten und Bilder ermöglicht. Inzwischen können Multidetektortomographen (MDCT) in kürzerer Zeit mit dünneren Schichten größere Untersuchungsvolumina darstellen (30). Diagnostische Möglichkeiten und Indikationen werden durch stetige technische Entwicklungen zunehmend ausgeweitet. Bald fand das CT auch Eingang in der Untersuchungsmethode der Rechtsmedizin.

1.7 Entwicklung der virtuellen Autopsie

Bei der Todesursachenklärung kommen häufig interdisziplinäre Methoden zum Einsatz. Neben histologischen, toxikologischen, klinisch-chemischen und neuropathologischen Untersuchungen wird immer mehr auch auf bildgebende Verfahren zurückgegriffen.

Die Verwendung postmortaler bildgebender Verfahren kam bereits kurz nach der Einführung der Radiologie zum Einsatz (31). Im Jahr 1896 - nur ein Jahr nach der Einführung von Röntgen durch Wilhelm Conrad Röntgen - wurde die mumifizierte Hand einer ägyptischen Prinzessin geröntgt (32). Neben der Verwendung in der Anthropologie wurden später mobile Röntgengeräte von rechtsmedizinischen Instituten zur Detektion röntgendichter Fremdkörper oder Knochenläsionen im Körper genutzt (33). Die erste Anwendung postmortaler CT (PMCT) wurde im Jahr 1983 im Fall eines verstorbenen Tauchers dokumentiert. Dabei konnte die Gasverteilung im Schädel dargestellt werden (34). Forensische Anwendung fand das CT auch zur Ergänzung konventioneller Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen zur Rekonstruktion von Schussverletzungen des Schädel (35). Ein Überblick über die verschiedenen postmortalen bildgebenden Verfahren wurde in den letzten Jahren in mehreren Veröffentlichungen dargestellt (33, 36). Die Vorteile der computertomographischen Untersuchung des Leichnams vor der Autopsie wurden rasch deutlich. Zum Einen kann hiermit eine Aufnahme erstellt werden, die den Moment der Untersuchung festhält, ohne den Leichnam zu beschädigen. Zum Anderen ist hiermit eine archivierbare Dokumentation möglich, die eine jederzeitige quantitative Analyse und Nachbearbeitung erlaubt. Diese Dokumentation ist zwar nur bedingt aussagekräftig und in vielen Aspekten der Autopsie unterlegen, dennoch können die Ergebnisse der CT teilweise die der Autopsie vorhersagen. Des Weiteren können zusätzliche Informationen aufgedeckt werden, die der Autopsie mitunter verborgen blieben, wie z.B. der Nachweis von Luftembolien (37). Für diese Herangehensweise hat Dirnhof, der seinerzeitige Direktor des Instituts für forensische Medizin in Bern, den Begriff Virtopsy geprägt (38). Aufbauend auf den Arbeiten der Berner Arbeitsgruppe untersuchten Michiue und Mitarbeiter die PMCT zur Untersuchung der pulmonalen Pathophysiologie im Hinblick auf die Todesursache (39). Insbesondere beschrieben sie auch in einer kleinen Serie, dass PMCT durch Analyse der Luft/Gas-Verteilung bei Neugeborenen möglicherweise eine Unterscheidung hinsichtlich der Beurteilung liefern können, ob es sich um eine Totgeburt oder eine

Kindstötung handelte (40). Jüngere Untersuchungen an verstorbenen Erwachsenen bestätigen, dass anhand PMCT bestimmte HU Profile der Lungen erstellt werden können, die bereits Aufschlüsse über die Todesursache geben. So liegt beispielsweise beim Herztod morphologisch meist ein Lungenödem oder eine Stauung vor. Durch die erhöhte Menge an Wasser und anderen Blutkomponenten erhöht sich die Strahlenundurchlässigkeit des Lungengewebes und die HU-Werte weisen eine größere Spannweite negativer HU-Werte auf. Tödliche Blutungen oder Hypothermien hingegen zeigten durch eine relative Zunahme an Luft innerhalb der Lungen deutlich niedrigere HU-Werte als beim Herztod (41). Der Vergleich zwischen PMCT und Schwimmprobe der Lungen im Rahmen der Autopsie wurde erstmals von Guddat und Mitarbeitern aus Berlin anhand von vier Einzelfällen geschildert (7).

Ein Vergleich systematischer CT-Analysen mit den Ergebnissen der Autopsie in der Differentialdiagnose zwischen Totgeburt und Lebendgeburt mit anschließendem Eintreten des Todes steht bisher aus.

1.8 Fragestellung

In dieser Studie wurde die Aussagekräftigkeit von PMCT hinsichtlich der Belüftung der Lunge im Vergleich zur rechtsmedizinischen Schwimmprobe untersucht. Als Kontrollgruppe wurde eine Kohorte von verstorbenen Säuglingen herangezogen, bei denen der Tatbestand des Gelebthabens zweifelsfrei war. Da bei diesen aus nachvollziehbaren Gründen keine Schwimmprobe durchgeführt wurde, konnten prospektiv prädiktive Werte nicht errechnet werden. Die folgenden Fragestellungen wurden bearbeitet:

- 1) Ist es möglich mit der PMCT des Thorax eine sichere Aussage über den Belüftungszustand der Lunge zu treffen?
- 2) Wie hoch ist die Übereinstimmung der Ergebnisse der PMCT des Thorax und der Autopsie (mit oder ohne Schwimmprobe) im Hinblick auf den Belüftungszustand der Lunge?
- 3) Gibt es geeignete Cut-off-Werte der HU für die Beurteilung des Belüftungszustandes der Lunge in der virtuellen Autopsie?

2 Material und Methoden

2.1 Auswahl der Verstorbenen

Bei der hier vorliegenden Arbeit handelt es sich um eine retrospektive Kohortenstudie. Untersucht wurden die demographischen und (soweit bekannt) anamnестischen Daten, die PMCT-Bilder sowie die rechtsmedizinischen Obduktionsergebnisse von 42 Kindsleichen, die dem Institut für Rechtsmedizin der LMU im Zeitraum von Juni 2008 bis Februar 2012 überstellt worden waren. Anhand der institutsinternen Dokumentation wurden alle Kindsleichen, die in diesem Zeitraum aus ungeklärten Gründen verstarben und daraufhin eine PMCT sowie eine rechtsmedizinische Autopsie erhielten, eingeschlossen. Bei vier der Kindsleichen mit ungeklärter Todesursache wurden PMCT-Bilder erstellt, die für die Fragestellung dieser Dissertation von unzureichender Qualität waren. Diese ließen sich aufgrund ungünstiger Bedingungen bezüglich der Kindslage, Abgrenzbarkeit der Lunge gegenüber dem restlichen Gewebe oder unzureichender Bilderanzahl auf verschiedenen Ebenen, nicht auswerten und wurden nicht berücksichtigt (Abbildung 6). Insgesamt wurden somit die Daten von 38 Kindsleichen mit ungeklärter Todesursache ausgewertet.

2.1.1 Einschlusskriterien

Eingeschlossen wurden Kindsleichen mit ungeklärter Todesursache innerhalb des ersten Lebensjahres, die im oben genannten Zeitraum im Institut für Rechtsmedizin der LMU gerichtlich obduziert worden waren.

Von den 38 Kindsleichen wurden 17 Neugeborene am Tag der Geburt für tot erklärt oder gehalten und als Studiengruppe verwendet. Bei 14 dieser 17 Neugeborenen wurde im Rahmen der Autopsie eine Lungenschwimmprobe durchgeführt. Weitere 21 waren Kindsleichen, die über die Neugeborenenperiode (>24 h) hinaus gelebt hatten und als Kontrollgruppe verwendet wurden. Aufgrund der in dieser Gruppe überschrittenen Neugeborenenperiode war gesichert, dass die Kindsleichen vor ihrem Todeszeitpunkt bereits gelebt hatten. Daher wurde auf die Durchführung einer Schwimmprobe verzichtet. Ein positiver prädiktiver Wert der Schwimmprobe konnte daher nicht errechnet werden.

2.1.2 Ausschlusskriterien

Ausgeschlossen wurden Kindsleichen, bei denen PMCT-Bilder vorlagen, jedoch aufgrund ungenügender Anzahl der Bilder, ungünstiger Kindslage oder schlechter Abgrenzbarkeit der Lunge gegenüber dem restlichen Gewebe, keine aussagekräftigen Messungen möglich waren (n=4, Abbildung 6).

2.1.3 Ethikantrag

Eine gesonderte Einwilligung für die gerichtsmedizinischen und radiologischen Untersuchungen war nicht erforderlich, da die Untersuchung auf Anordnung der Staatsanwaltschaft zur Todesursachenklärung erfolgte. Für die Durchführung des retrospektiven Forschungsprojektes auf Grundlage der durch die Rechtsmedizin und Radiologie erhobenen Daten liegt ein positives Votum der Ethikkommission vor (Ethikantrag Nr.: 51-08).

2.2 Postmortale Computertomographie (PMCT)

2.2.1 Bildaufnahme

Jeder Körper wurde von einem CT 750 HD Revolution “Discovery”, General Electric (GE Healthcare, München), mit 64 Zeilen bei einer Kollimation von 0,625 mm aufgenommen und daraus axiale Schichten von 2,5mm Dicke rekonstruiert.

Die Kindsleichen wurden in Rückenlage gescannt, die Arme wurden seitlich platziert. In allen Fällen lagen axiale Aufnahmen vor. Für die Höhenzuordnung zu den Wirbelkörpern wurden entweder sagittale oder koronare Reformationen verwendet.

2.2.2 Bildanalyse

Retrospektiv wurden die Multidetektor-CT-Thoraxbilder (MDCT) des 64-Zeilen-Scanners an einer speziell für solche Auswertungen zur Verfügung stehende Workstation des CT-Herstellers analysiert. Hierbei handelt es sich um einen speziell eingerichteten Computerarbeitsplatz, mit dem große Datensätze der Schnittbildgebung systematisch analysiert werden können. Zum Zeitpunkt der PMCT-Bildauswertung waren die Untersucher verblindet gegenüber dem Ergebnis der Obduktion bzw. der Schwimmprobe. Das Geburtsdatum war, sofern bekannt, den Aufnahmen zu entnehmen ebenso wie das Untersuchungsdatum der PMCT. Alle thorakalen Schnitte wurden durch zwei Untersucher ausgewertet: die Doktorandin und ein Facharzt für Radiologie mit mehreren Jahren Erfahrungen in der CT Diagnostik, werteten die Bilder an einer PC-Workstation aus. Zur Orientierung wurden im Weichteilfenster sagittale oder koronare Reformationen verwendet, auf denen die gesamte Wirbelsäule abgebildet war. Referenzlinien wurden zwischen den jeweiligen Brustwirbelkörpern (BWK) parallel zu den Dornfortsätzen der Wirbelkörper gezogen. In einigen Fällen lagen keine sagittalen Bilder vor. In diesem Fall wurde der sogenannte Scout zur Orientierung verwendet. Beim Scout handelt es sich um eine Übersichtsaufnahme in der Art einer anterior-posterioren Aufnahme der gesamten gescannten Körperregion, in der virtuell die durchgeführten Schnittrekonstruktionen eingeblendet

werden können. Folgende Ebenen wurden systematisch im Lungenfenster mit Hounsfield-einheiten (HU) vermessen:

Ebene 1) zwischen BWK 2-3

Ebene 2) zwischen BWK 3-4

Ebene 3) zwischen BWK 4-5

Ebene 4) zwischen BWK 5-6

Ebene 5) zwischen BWK 6-7

Ebene 6) zwischen BWK 7-8

Für jede Ebene wurde ein axiales Bild verwendet. Für die axialen Ebenen wurden jeweils sechs Regions of Interests (ROI) definiert, drei auf der rechten und drei auf der linken Seite. Die ROIs wurden wie folgt definiert:

ROI 1. anterior rechts

ROI 2. medial rechts

ROI 3. dorsal rechts

ROI 4. anterior links

ROI 5. medial links

ROI 6. dorsal links

Für jeden ROI wurde eine repräsentative Fläche von 0,5-0,7 cm² ausgewählt. Potentielle Überschneidungen mit anderen Strukturen als dem Lungengewebe (Rippen oder mediastinale Strukturen) wurden vermieden. Gleichmaßen wurden im Fall eines offensichtlichen Pneumothorax die Bereiche freier Luft im Pleuraspalt von den Messungen ausgeschlossen. Die HUs für jeden ROI wurden separat notiert. Insgesamt gab es für jeden Säugling 36 repräsentative ROIs (sechs Ebenen à sechs ROIs). Die folgenden Abbildungen 3a-b zeigen den Workflow, anhand dessen die ROIs in den entsprechenden Ebenen

festgelegt wurden. Die Abbildungen 4a-f zeigen die sechs axialen Ebenen (E) mit entsprechenden ROIs eines Falles aus der Studiengruppe, die Abbildungen 5a-f zeigen das gleiche für einen Fall aus der Kontrollgruppe. Die ROIs wurden soweit wie möglich voneinander entfernt gesetzt, sodass eine repräsentative Fläche der Gesamtlunge erfasst werden konnte. Jeweils ein repräsentatives axiales und sagittales Beispielbild in Weichteil- und Lungenfenster (je nach Verfügbarkeit z. T. Scout) befindet sich für jeden Fall aus der Studiengruppe im Anhang.

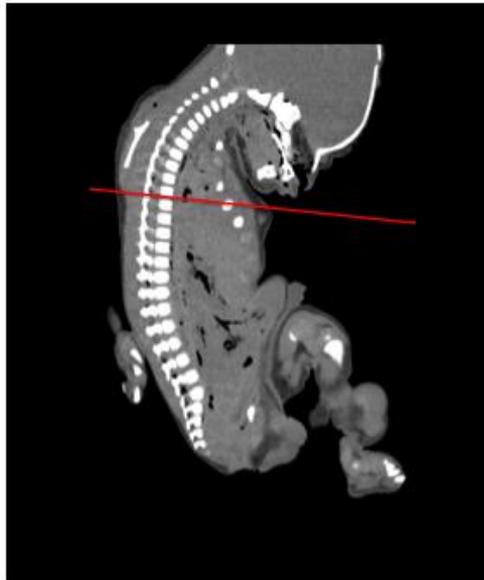


Abbildung 3a: Workflow PMCT in sagittaler Ansicht im Weichteilfenster. Fallnummer 1 Ebene 5 markiert mit der roten Linie.

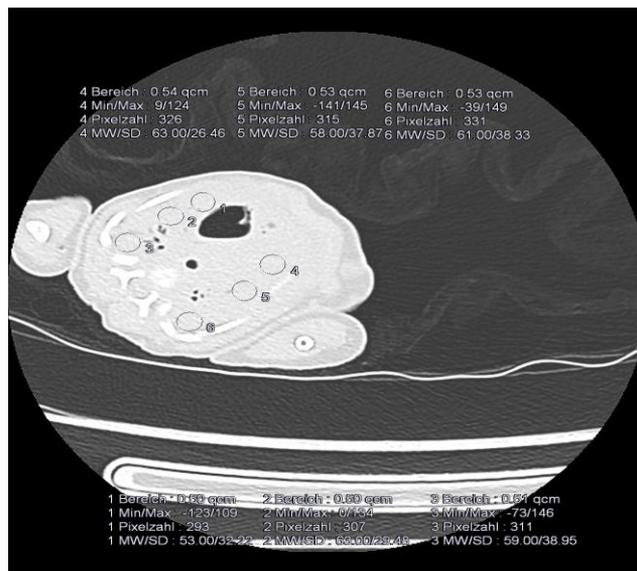


Abbildung 3b: Workflow PMCT in axialer Ansicht im Lungenfenster. Fallnummer 1 Ebene 5 eingestellt anhand Abb. 3a. Pro Ebene sechs platzierte ROIs mit einer Größe zwischen 0,5-0,7 cm². ROI 1 anterior rechts, ROI 2 medial rechts, ROI 3 dorsal rechts, ROI 4 anterior links, ROI 5 medial links ROI 6 dorsal links.

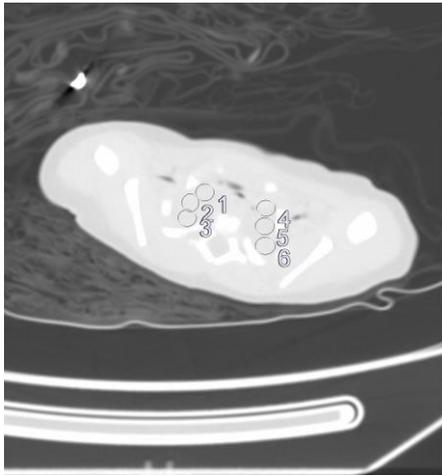


Abbildung 4a: Ebene 1 Studiengruppe

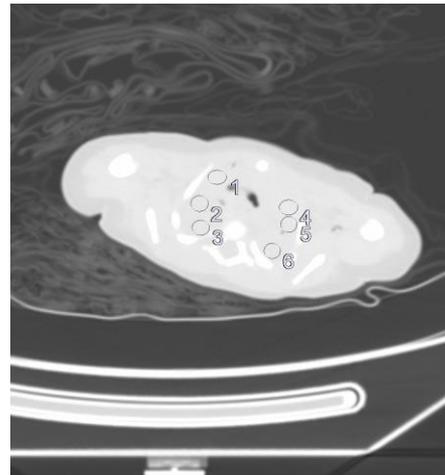


Abbildung 4b: Ebene 2 Studiengruppe

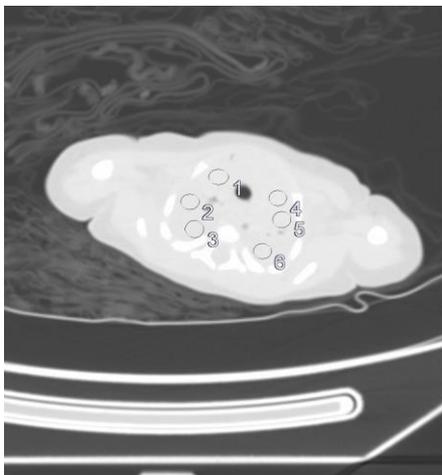


Abbildung 4c: Ebene 3 Studiengruppe

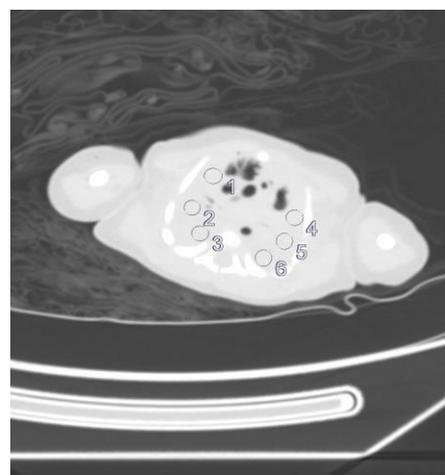


Abbildung 4d: Ebene 4 Studiengruppe

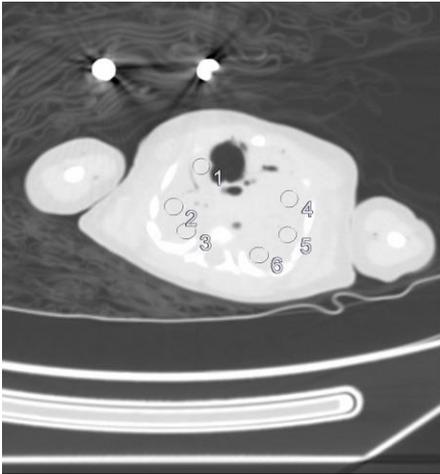


Abbildung 4e: Ebene 5 Studiengruppe

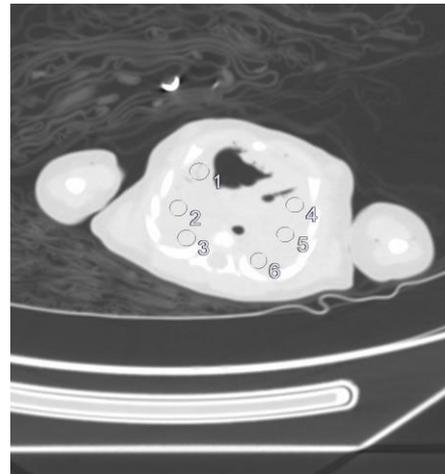


Abbildung 4f: Ebene 6 Studiengruppe

Abbildungen 4a-f: Workflow Studiengruppe E1-6. Darstellung der ROIs 1-6 in allen 6 Ebenen für Fallnummer 9. ROI 1 anterior rechts E 1-6, ROI 2 medial rechts E 1-6, ROI 3 dorsal rechts E1-6, ROI 4 anterior links E 1-6, ROI 5 medial links E1-6, ROI 6 dorsal links E 1-6.

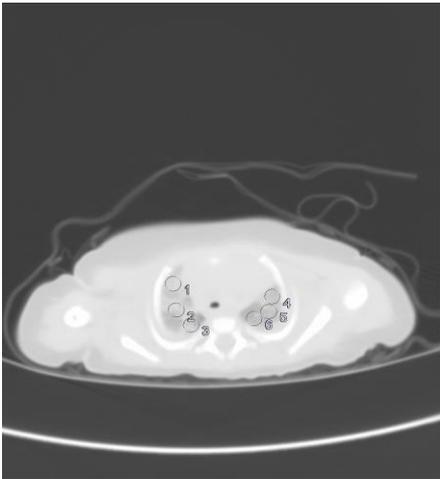


Abbildung 5a: Ebene 1 Kontrollgruppe

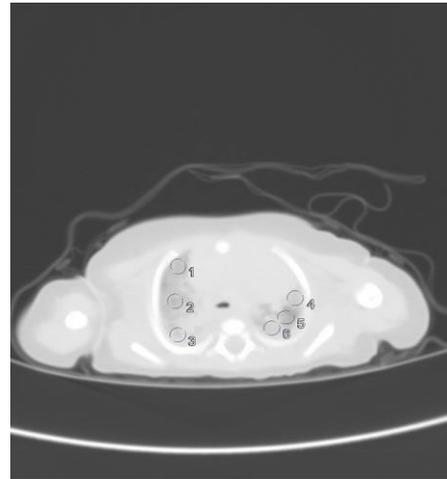


Abbildung 5b: Ebene 2 Kontrollgruppe

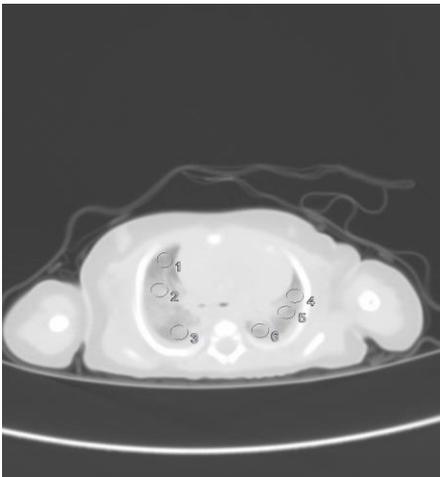


Abbildung 5c: Ebene 3 Kontrollgruppe

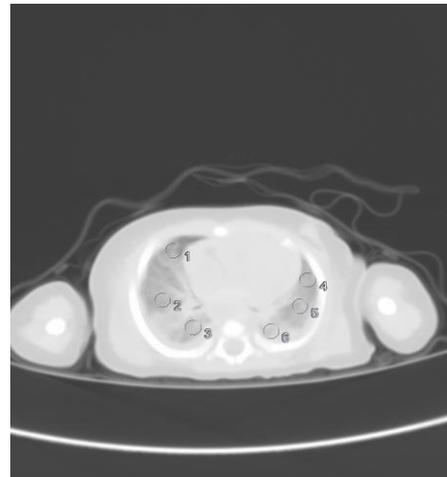


Abbildung 5d: Ebene 4 Kontrollgruppe

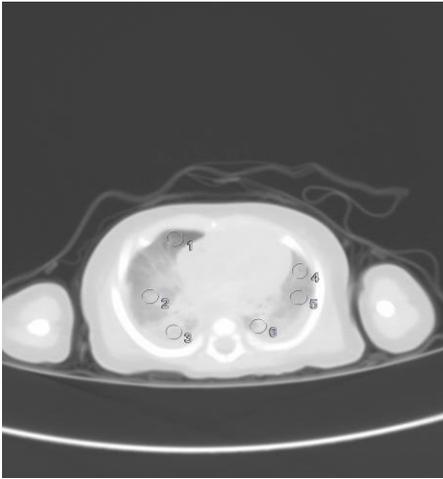


Abbildung 5e: Ebene 5 Kontrollgruppe

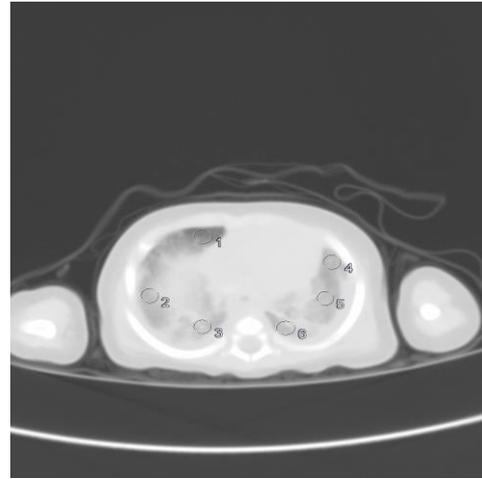


Abbildung 5f: Ebene 6 Kontrollgruppe

Abbildungen 5a-f: Workflow Kontrollgruppe E1-6. Darstellung der ROIs 1-6 in allen 6 Ebenen für Fallnummer 19. ROI 1- anterior rechts E 1-6, ROI 2 medial rechts E 1-6, ROI 3 dorsal rechts E 1-6, ROI 4 anterior links E 1-6, ROI 5 medial links E1-6, ROI 6 dorsal links E 1-6.

2.3 Autopsie

Die verstorbenen Kinder wurden im Institut der Rechtsmedizin gemäß § 87 StPO durch zwei Ärzte, von denen mindestens einer Facharzt war, mit Eröffnung aller drei Körperhöhlen obduziert. Die komplette Sektion inklusive äußerer und innerer Besichtigung der Schädelhöhle, Brust- und Bauchhöhle, Halsorgane, Brustorgane und Bauchorgane wurde an jedem Leichnam durchgeführt. Organgewichte wurden gemessen und dokumentiert. Die Lungen wurden mit besonderem Fokus auf ihren Belüftungszustand inspiziert. In 14 Fällen mit unklarem Belüftungsstatus wurde zusätzlich eine Schwimmprobe beider Lungenflügel durchgeführt. Dabei wurde jede Lunge einzeln auf das Wasser gelegt und von jeder Lunge jeder Lungenlappen. Dadurch sollten auch einzelne Lungenabschnitte, die belüftet hätten gewesen sein können, detektiert werden können. Die Lungenschwimmprobe galt als positiv, wenn beide Lungenflügel nach Untertauchen in Wasser zur Oberfläche schwammen und als negativ, wenn die Lungenflügel in Wasser sanken.

2.4 Korrelation der Autopsie mit der PMCT

Nach der Bildanalyse wurden die Obduktionsergebnisse systematisch analysiert und in einer Excel-Tabelle festgehalten. Insbesondere die Ergebnisse der Schwimmprobe der Lungen wurden dokumentiert. In Fällen, in denen keine Schwimmprobe vorlag, wurden die Beschreibungen zum Zustand der Lungen festgehalten. Zusatzinformationen bezüglich der Vorgeschichte, Todesumstände und Todesursache wurden festgehalten. Fälle, in denen eine Reanimation stattfand, wurden vermerkt. Anschließend wurden die Ergebnisse der Bildanalyse bezüglich der Lungenbelüftung mit denen der Autopsie verglichen.

2.5 Gruppenbildung

Drei verschiedene Gruppen wurden anhand der Obduktionsergebnisse unterschieden:

- 1a) Studiengruppe unbelüftete Lunge
- 1b) Studiengruppe belüftete Lunge
- 2) Kontrollgruppe

Der Standard der Festlegung, ob eine Lunge belüftet war oder nicht, wird durch die Schwimmprobe ermittelt. Im Verlauf der Analyse wurde aus den Obduktionsberichten entnommen, ob eine Schwimmprobe durchgeführt worden war und gegebenenfalls welches Ergebnis die Schwimmprobe ergab. Sank die Lunge unter Eintauchen in Wasser, so fiel die Schwimmprobe negativ aus und wurde der Gruppe 1a, unbelüftet, zugeteilt (ohne Kenntnis der Ergebnisse der Bildgebung/PMCT). Schwamm die Lunge nach Aufbringen auf Wasser auf, so fiel die Schwimmprobe positiv aus und wurde der Gruppe 1b, belüftet, zugeteilt (ohne Kenntnis der Ergebnisse der Bildgebung, s. Abbildung 6). In drei Fällen

wurde formal keine Schwimmprobe durchgeführt, jedoch die Lungen laut Obduktionsbericht als belüftet eingestuft. In einem Fall wurden nach reanimationspflichtiger Notsectio die Lungen als vollständig belüftet vermerkt. In einem weiteren Fall verstarb das Neugeborene am Tag der Entbindung nach Entlassung zu Hause und galt damit als belüftete Lunge. Im letzten Fall verstarb das Neugeborene am Folgetag der Geburt unter medizinischer Betreuung und galt somit ebenfalls als belüftet (s. Abbildung 6).

Die Hounsfieldeinheiten (HU) wurden in allen Ebenen und allen ROIs bestimmt. Es wurde der Mittelwert aller Messwerte der HUs aller Ebenen und ROIs eines Falls ermittelt (HU-MW). War dieser Mittelwert negativ, so wurde die Lunge als belüftet eingestuft (ohne Kenntnis der Ergebnisse der Schwimmprobe). War dieser Mittelwert positiv, so wurde der Mittelwert als nicht belüftet eingestuft (ohne Kenntnis der Ergebnisse der Schwimmprobe). Ein Mittelwert von „0“ trat nicht auf.

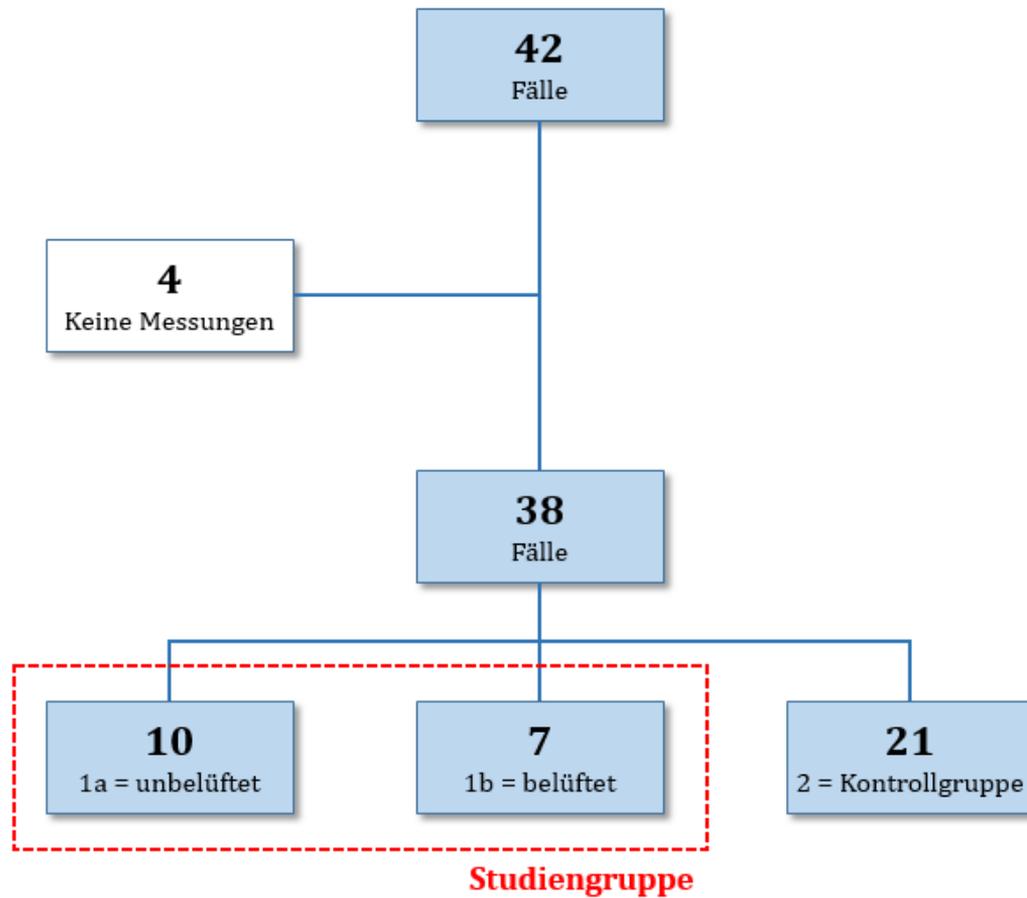


Abbildung 6: Übersicht Fälle. Dem Institut der Rechtsmedizin der LMU wurden im Zeitraum von 2008-2012 42 Kindsleichen obduziert. Vier dieser Kindsleichen konnten aufgrund mangelnder Bildqualität nicht eingeschlossen werden. Es blieben 38 zu untersuchende Fälle, die je nach Ergebnis der Schwimmprobe eingeteilt wurden. Negative Schwimmproben wurden als Gruppe 1a eingestuft, positive Schwimmproben/laut Obduktionsbericht belüftete Lungen als Gruppe 1b und die sicher gelebten Kindsleichen, die über die Neugeborenenperiode (> 24 h) lebten, galten als Kontrollgruppe.

2.6 Statistische Auswertung

Die genannten Daten wurden in Excel-Tabellen erfasst. Für stetige Variablen wurden Mittelwert, Median, Minimum und Maximum berechnet. Die kategorischen Variablen wurden in Häufigkeitstabellen aufgeführt, in denen die jeweilige Anzahl der Beobachtungen (N) sowie der zugehörige Prozentsatz angegeben wurden.

Die Auswertung der Daten erfolgte anhand der erfassten Excel Tabellen mit anonymisierten Daten durch ein unabhängiges biometrisches Institut (MedCommTools). Die statistische Analyse wurde mit Methoden der deskriptiven Statistik durchgeführt. Fehlende Werte wurden nicht ersetzt und unplausible Werte wurden auf fehlend gesetzt. Eingesetzt wurden die Software Pakete STATISTICA der Firma StatSoft, Inc., Tulsa, USA (42) sowie BiAS für Windows (43).

Es wurde der Mann-Whitney-U-Test für den Vergleich zwischen den Gruppen 1a und 1b im Hinblick auf den durchschnittlichen HU-MW aller gemessenen Lungenfelder eines Falls (36 ROIs) herangezogen. Für die Durchführung des U-Tests werden alle Werte der stetigen Variablen der Größe nach geordnet. Dem kleinsten Wert wird die Rangzahl 1, dem zweitkleinsten die Rangzahl 2 usw. zugeordnet. Die Rangzahlen werden getrennt nach Kategorien der diskreten Variablen addiert und daraus eine Prüfgröße U berechnet. Durch Vergleich mit der so genannten Standardnormalverteilung erhält man den Wert für die Irrtumswahrscheinlichkeit p. Die Nullhypothese war: die Wahrscheinlichkeit, dass ein HU-Wert in der einen Studiengruppe größer ist, als ein HU-Wert der anderen Studiengruppe, ist gleich 1/2. Anders ausgedrückt die Stichproben unterscheiden sich nicht hinsichtlich des Medians. Es wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (alpha) von 5 % angenommen, entsprechend einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$.

Zur Ermittlung des optimalen HU Grenzwertes (Cut-Off Value) zwischen belüfteten und unbelüfteten Lungen wurde eine Analyse der Receiver Operating Characteristic durchgeführt. Hierbei handelt es sich um eine Grenzwertoptimierungskurve, bei der der bestmögliche Grenzwert für einen diagnostischen Test ermittelt werden soll im Hinblick auf Sensitivität und Spezifität des Tests (44).

3 Ergebnisse

3.1 Deskriptive Daten

Die Neonaten waren im Median 52cm groß (Spannweite 42-55 cm) und hatten ein medianes Gewicht von 3296g (Spannweite 1324-4380 g). Die Kinder, die über die Neugeborenenperiode hinaus gelebt hatten, waren im Median 57cm groß (Spannweite 54-63cm) und hatten ein medianes Gewicht von 4200g (Spannweite 1360-6200g). Es handelte sich um 22 männliche und 16 weibliche Kindsleichen. Das mediane Alter der Gesamtgruppe ließ sich nicht berechnen, da häufig weder die Geburtszeit noch der Todeszeitpunkt exakt bekannt waren. Das mediane Alter der 21 Kindsleichen, die sicher über die Neugeborenenperiode hinaus gelebt hatten, betrug 8 Wochen (Spannweite 3-12 Wochen). Diese Daten sind in Tabelle 5 sowie in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

Tabelle 4: Deskriptive Daten

| Gruppen | Fallnummer | Geschlecht | Körperlänge (cm) | Körpergewicht (g) |
|------------------------|------------|------------|------------------|-------------------|
| 1a – unbelüftet | 1 | m | 55 | 2500 |
| | 2 | m | 56 | 4380 |
| | 3 | m | 48 | 2166 |
| | 4 | m | 48 | 3260 |
| | 5 | w | 50 | 3296 |
| | 6 | m | 50 | 2878 |
| | 7 | w | 42 | 1324 |
| | 8 | w | 43 | 1708 |
| | 9 | m | 53 | 4162 |
| | 10 | m | 55 | 3300 |
| 1b – belüftet | 11 | m | 50 | 2880 |
| | 12 | m | 52 | 3312 |
| | 13 | m | 55 | 3744 |
| | 14 | w | 53 | 3880 |
| | 15 | m | 54 | 3768 |
| | 16 | w | 52 | 3302 |
| | 17 | m | 49 | 3050 |
| 2 – Kontrolle | 18 | m | 56 | 3000 |
| | 19 | w | 58 | 1360 |
| | 20 | m | 59 | 5176 |
| | 21 | m | 60 | 5440 |
| | 22 | w | 58 | 5300 |
| | 23 | m | 55 | 3744 |
| | 24 | w | 58 | 4800 |
| | 25 | w | 59 | 5300 |
| | 26 | w | 58 | 4100 |
| | 27 | m | 54 | 4200 |
| | 28 | w | 55 | 3654 |
| 29 | m | 56 | 4508 | |
| 30 | m | 63 | 6200 | |
| 31 | m | 54 | 3500 | |
| 32 | w | 61 | 6100 | |
| 33 | m | 54 | 3690 | |
| 34 | w | 55 | 4070 | |
| 35 | m | - | - | |
| 36 | w | 57 | 4940 | |
| 37 | w | 56 | 4100 | |
| 38 | m | 62 | 5700 | |

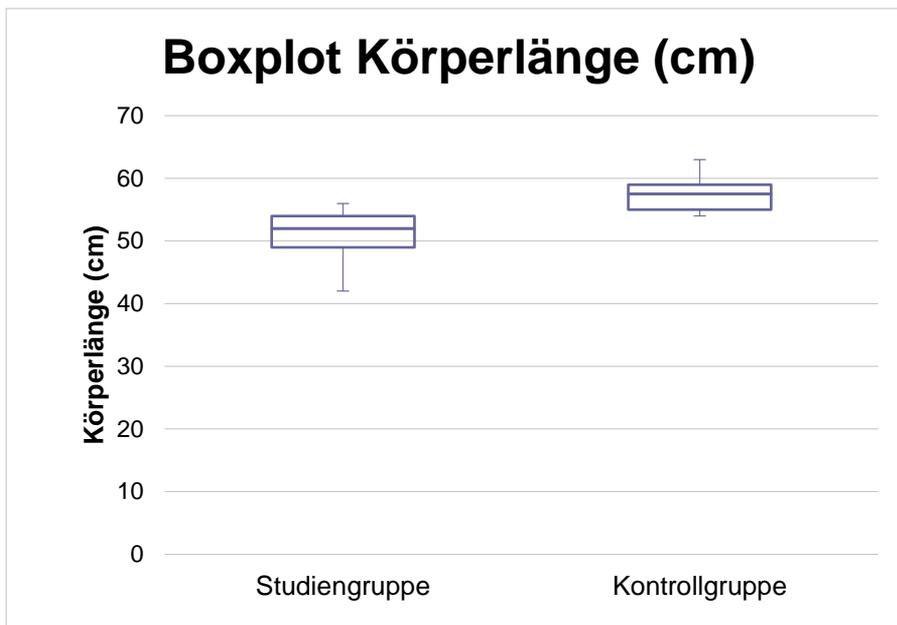


Abbildung 7: Boxplot Körperlänge (cm)

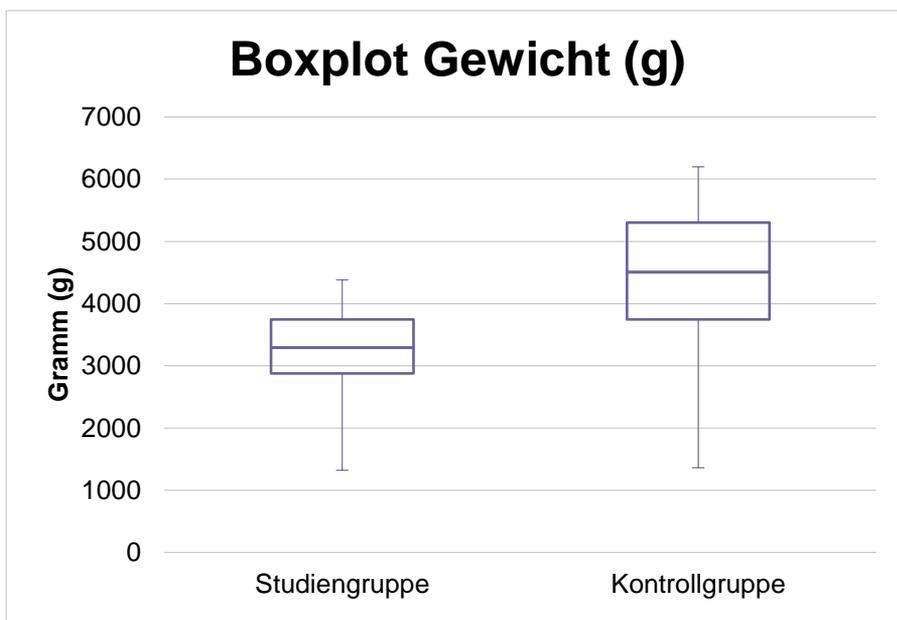


Abbildung 8: Boxplot Gewicht (g)

3.2 Autopsiebefunde

Die Autopsiebefunde von 38 Kindsleichen wurden systematisch aufgearbeitet und erfasst. Im Median betrug die Differenz zwischen Sterbe- bzw. Auffindedatum und dem Zeitpunkt der Obduktion einen Tag (Spannweite 0-6 Tage). Die Schwimmprobe wurde in 14 Fällen durchgeführt und dokumentiert. Bei vier der Fälle fiel die Schwimmprobe positiv aus, bei 10 der Fälle negativ. In weiteren drei Fällen wurde formal keine Schwimmprobe durchgeführt, jedoch die Lungen laut Obduktionsbericht als belüftet eingestuft. Bei 21 Kindsleichen aus der Kontrollgruppe, die sicher über die Neugeborenenperiode hinaus gelebt haben, wurde auf die Durchführung einer Schwimmprobe verzichtet (Tabelle 5, Abbildung 9). Anhand dieser Ergebnisse erfolgte die Einteilung in die Gruppen 1a, 1b und 2.

Tabelle 5: Ergebnisse der Lungenschwimmprobe

| Ergebnisse der Schwimmprobe | Fälle | |
|--|-------|-----|
| | N | % |
| Studiengruppe | | |
| Negativ - unbelüftet | 10 | 26 |
| Positiv - belüftet | 4 | 11 |
| nicht durchgeführt – als belüftet eingestuft | 3 | 8 |
| Kontrollgruppe | | |
| nicht durchgeführt – als belüftet eingestuft | 21 | 55 |
| Summe | 38 | 100 |

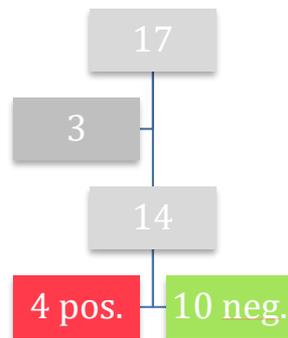


Abbildung 9: Diagramm Ergebnisse Lungenschwimmprobe Studiengruppe. In drei Fällen wurde formal keine Schwimmprobe durchgeführt, in vier Fällen fiel die Schwimmprobe pos.-positiv aus und in 10 Fällen neg.-negativ.

Die Zuordnung zu den drei Gruppen (1a Studie - unbelüftete Lunge, 1b Studie - belüftete Lunge, 2 - Kontrollgruppe) erfolgte aufgrund des im Obduktionsbericht vermerkten Belüftungsstatus der Lungen ohne Kenntnisse der Bildgebung (Tabelle 6, Abbildung 9).

Tabelle 6: Gruppeneinteilung nach Autopsie

| Gruppen | Fälle | |
|--------------------------|-------|-----|
| | N | % |
| 1 a – unbelüftete Lungen | 10 | 26 |
| 1 b – belüftete Lungen | 7 | 19 |
| 2 – Kontrollgruppe | 21 | 55 |
| Summe | 38 | 100 |

3.3 PMCT-Befunde

Die PMCT-Bilder von 38 Kindsleichen wurden systematisch analysiert. Im Median betrug die Differenz zwischen Sterbe- bzw. Auffindedatum und dem Zeitpunkt der PMCT-Bildgebung einen Tag (Spannweite 0-6 Tage).

Es wurden pro Leiche bzw. PMCT-Untersuchung sechs x sechs ROIs in den Lungen platziert (siehe Methodik). Anhand dieser 36 Werte wurde der Gesamtdurchschnitt der Lungen in HU bestimmt. Positive Gesamtdurchschnitte wurden als unbelüftete Lungen eingestuft, negative Gesamtdurchschnitte als belüftete Lungen, ohne Kenntnisse der Autopsiebefunde.

In 26 Fällen ergab der Gesamtdurchschnitt der HUs negative Werte, in 12 Fällen positive Werte. Von den 26 Fällen mit negativen Gesamtdurchschnitten waren 20 Fälle Kindsleichen, die sicher gelebt hatten (Kontrollgruppe). In einem einzigen Fall aus der Kontrollgruppe ergab der gesamt durchschnittliche Wert der HUs der Lungen positive Werte.

In der Studiengruppe ergaben 11 Fälle positive Gesamtdurchschnitte der HUs und 6 Fälle negative Gesamtdurchschnitte der HUs (Tabelle 7, Abbildung 10).

Tabelle 7: Ergebnisse der PMCT

| Gruppen | Fälle | |
|--------------------------------|-------|-----|
| | N | % |
| Studiengruppe | | |
| Positiver HU Wert– unbelüftet | 11 | 29 |
| Negativer HU Wert– belüftet | 6 | 16 |
| Kontrollgruppe | | |
| Positiver HU Wert – unbelüftet | 1 | 3 |
| Negativer HU Wert– belüftet | 20 | 52 |
| Summe | 38 | 100 |

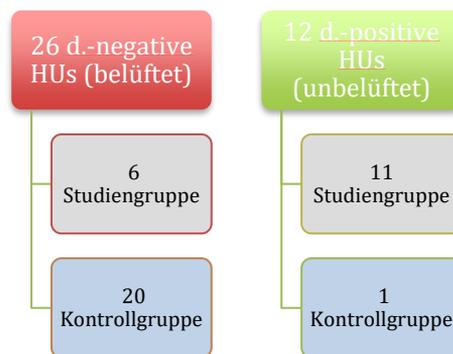


Abbildung 10: Diagramm Ergebnisse PMCT. Die PMCT-Analyse ergab 26 Fälle mit einem durchschnittlichen negativen HU-Mittelwert und wurde als belüftet gewertet. Davon fielen sechs Fälle in die Studiengruppe (Gruppe 1) und 20 Fälle in die Kontrollgruppe (Gruppe 2). 12 Fälle ergaben einen durchschnittlich positiven HU-Mittelwert und wurden als unbelüftet gewertet. Davon fielen 11 Fälle in die Studiengruppe (Gruppe 1) und ein Fall in die Kontrollgruppe (Gruppe 2).

3.4 Korrelation der Autopsie-Ergebnisse mit den Ergebnissen der PMCT

In 38 Fällen wurden die Autopsie-Ergebnisse mit denen der PMCT verglichen. Die CT wurde entweder am Tag der Autopsie oder einen Tag zuvor durchgeführt. Im Median betrug die Differenz zwischen dem Zeitpunkt der PMCT und dem Zeitpunkt der Obduktion null Tage (Spannweite 0-1 Tag). Die Lungen wurden jeweils verblindet nach Autopsiebefunden und nach PMCT als belüftet oder nicht belüftet eingestuft. Anschließend wurden die Ergebnisse der Autopsie und der PMCT, hinsichtlich des Belüftungszustandes der Lungen, für jeden Fall miteinander verglichen und dokumentiert.

In 14 Fällen, in denen eine Schwimmprobe durchgeführt wurde, korrelierte der durchschnittliche Gesamtmittelwert der HU-Werte der Lungen mit dem Ergebnis der Schwimmprobe. In drei Fällen (Fallnummer: 12, 13, 16) wurde formal keine Schwimmprobe durchgeführt, jedoch die Lungen laut Obduktionsbericht als belüftet eingestuft. Zwei von diesen drei Fällen (Fall 13, 16) ergaben nach Bildanalyse einen negativen durchschnittlichen HU-Mittelwert (HU-MW) und wurden dementsprechend als belüftet eingestuft. In diesen Fällen korrelierten die Aussagen über den Belüftungsstatus der Lungen nach CT mit den Ergebnissen der Obduktion. In einem einzigen Fall (12) wurde die Lunge laut Obduktionsbericht als belüftet eingestuft, nach CT-Aussage jedoch als unbelüftet mit positiven HU-Werten im Gesamtdurchschnitt. In diesem Fall korrelierten CT-Aussage und Obduktionsbericht nicht.

In weiteren 21 Fällen wurde die Lunge obduziert, jedoch auf eine Schwimmprobe verzichtet, da diese bereits sicher über die Neugeborenenperiode hinaus gelebt hatten. Die Lungen wurden demnach alle als belüftet eingestuft. Die Bildanalyse ergab in 20 Fällen negative durchschnittliche HU-MW und korrelierte mit der Beurteilung der Obduktion als belüftet. In einem Fall ergab die PMCT hingegen einen positiven durchschnittlichen HU-MW, trotz medizinisch sicheren Gelebthabens (Alter 10 Wochen). Die Ergebnisse der einzelnen Fälle werden in Tabelle 10 aufgeführt.

Tabelle 8: Fallübersicht

| Fall | Todesursache | Differentialdiagnose | Belüftung- Autopsie | SP ¹ | dHU-MW ² | CPR ³ |
|--|---------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|---------------------|------------------|
| 1a = unbelüftet | | | | | | |
| 1 | Totgeburt | | | - | 58 | |
| 2 | Totgeburt | | | - | 55 | + |
| 3 | Totgeburt | | | - | 46 | |
| 4 | Totgeburt | | | - | 38 | + |
| 5 | Totgeburt | | | - | 40 | |
| 6 | Totgeburt | Fruchtwasseraspiration | | - | 22 | + |
| 7 | Totgeburt | | | - | 42 | |
| 8 | Totgeburt | Erstickung* | | - | 48 | |
| 9 | Totgeburt | | | - | 57 | + |
| 10 | Totgeburt | Erstickung* | | - | 54 | |
| 1b = belüftet | | | | | | |
| 11 | Totgeburt | Virusinfekt, Pneumonie | | + | -169 | + |
| 12 | SHT/Unfall | Pneumothorax | | | 43 | + |
| 13 | Hypoxie infolge Herzmissbildung | | | | -13 | |
| 14 | unklar | Tötung, Fäulnis | | + | -572 | |
| 15 | unklar | Tötung, Mekoniumaspiration | | + | -117 | |
| 16 | unklar | Tötung | | | -55 | |
| 17 | unklar | Tötung, Fäulnis | | + | -178 | |
| 2 = Kontrollgruppe | | | | | | |
| 18 | SIDS | | + | | -112 | + |
| 19 | SIDS | | + | | -157 | + |
| 20 | SIDS | Virusinfekt | + | | -165 | + |
| 21 | SIDS | | + | | -276 | + |
| 22 | SIDS | | + | | -94 | + |
| 23 | SIDS | Aspiration, Intoxikation | + | | -295 | + |
| 24 | SIDS | | + | | -242 | + |
| 25 | SIDS | Virusinfekt | + | | -200 | + |
| 26 | SIDS | | + | | -258 | + |
| 27 | SIDS | Virusinfekt | + | | -127 | + |
| 28 | SIDS | | + | | -92 | |
| 29 | SIDS | | + | | -233 | |
| 30 | SIDS | | + | | -225 | |
| 31 | SIDS | | + | | -254 | + |
| 32 | SIDS | | + | | -289 | + |
| 33 | unklar | Infekt | + | | -235 | |
| 34 | unklar | SIDS | + | | -196 | + |
| 35 | unklar | Erstickung/Aspiration | + | | -483 | + |
| 36 | Tötung | | + | | 46 | + |
| 37 | Tötung | | + | | -258 | + |
| 38 | Tötung | | + | | -205 | |
| Belüftung Autopsie Pluszeichen (+) = belüftet, SP ¹ – Schwimmprobe; Pluszeichen (+) = positiv, Minuszeichen (-) = negativ, dHU-MW ² - durchschnittlicher HU-Mittelwert, CPR ³ – Z. n. kardiopulmonaler Reanimation, *Atemwegsöffnung unter Wasser | | | | | | |

3.5 Vergleich der Gruppen 1a vs. 1b

Die durchschnittlichen Werte der HU-Parameter in Bezug auf alle gemessenen Lungenfelder eines Falls (36 ROIs) für die Gruppen 1a (N=10) und 1b (N=7) wurden getrennt voneinander ermittelt (Tabelle 9, Tabelle 10). Dabei wurde für jeden Fall ein durchschnittlicher HU-Gesamtmittelwert (HU-MW), ein durchschnittlicher HU-Wert für alle rechten Lungenfelder (ROI 1, 2, 3 Ebene 1-6), ein durchschnittlicher HU-Wert für alle linken Lungenfelder (ROI 4, 5, 6 Ebene 1-6), ein Median, ein durchschnittlicher HU-Wert für die anterioren (ROI 1, 4 Ebene 1-6) Regionen beider Lungenseiten rechts und links, ein durchschnittlicher HU-Wert für die medialen Regionen (ROI 2, 5 Ebene 1-6) beider Lungenseiten, ein durchschnittlicher HU-Wert für die dorsalen Regionen (ROI 3, 6 Ebene 1-6) beider Lungenseiten, sowie ein durchschnittlicher HU-Minimum- und Maximumwert für jeden Fall bestimmt. Anhand dieser Daten wurden jeweils ein Mittelwert (MW), Median, Minimum (Min.), Maximum (Max.) sowie eine Standardabweichung für alle durchschnittlichen Werte einer Gruppe gebildet. Aus Tabelle 9 und Tabelle 10 geht hervor, dass die mittlere Tendenz der HU-Werte in der Gruppe 1a deutlich höher ist als in der Gruppe 1b (z. B. HU-MW 1a: 46; 1b: -147).

Tabelle 9: Durchschnittliche HU-Parameter (dHU) für die Gruppe 1a

| Gruppe 1a = unbelüftet | | | | | | |
|------------------------|----|----|--------|------|------|---------|
| | N | MW | Median | Min. | Max. | Stdabw. |
| dHU gesamt | 10 | 46 | 47 | 22 | 58 | 11 |
| dHU rechts | 10 | 45 | 47 | 4 | 68 | 18 |
| dHU links | 10 | 46 | 46 | 34 | 57 | 8 |
| dHU Median | 10 | 47 | 47 | 36 | 60 | 8 |
| dHU anterior | 10 | 47 | 46 | 35 | 58 | 9 |
| dHU medial | 10 | 45 | 47 | 3 | 62 | 17 |
| dHU dorsal | 10 | 48 | 47 | 37 | 59 | 8 |
| dHU Min. | 10 | 23 | 36 | -50 | 42 | 29 |
| dHU Max. | 10 | 60 | 60 | 49 | 72 | 8 |

Tabelle 10: Durchschnittliche HU-Parameter (dHU) für die Gruppe 1b

| Gruppe 1b = belüftet | | | | | | |
|----------------------|---|------|--------|------|------|---------|
| | N | MW | Median | Min. | Max. | Stdabw. |
| dHU gesamt | 7 | -147 | -117 | -572 | 43 | 202 |
| dHU rechts | 7 | -147 | -109 | -630 | 65 | 233 |
| dHU links | 7 | -147 | -123 | -513 | 34 | 174 |
| dHU Median | 7 | -139 | -113 | -583 | 44 | 214 |
| dHU anterior | 7 | -163 | -86 | -620 | -6 | 212 |
| dHU medial | 7 | -154 | -78 | -563 | -19 | 188 |
| dHU dorsal | 7 | -160 | -123 | -532 | -15 | 174 |
| dHU Min. | 7 | -344 | -282 | -817 | -76 | 229 |
| dHU Max. | 7 | -21 | 6 | -258 | 98 | 120 |

Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Mann-Whitney-U-Tests zum Vergleich beider Gruppen. In der letzten Spalte dieser Tabelle sind die p-Werte angegeben. Die meisten p-Werte sind kleiner als die Grenze zur statistischen Signifikanz von $p=0,05$ (grau hinterlegt). Die Unterschiede zwischen den Gruppen können demnach als statistisch signifikant angesehen werden. Die Abbildung 11 zeigt beispielhaft den Vergleich für den Parameter durchschnittlicher HU-MW in Bezug auf alle gemessenen Lungenfelder eines Falls zwischen den Gruppen 1a und 1b.

Tabelle 11: Ergebnisse der Mann-Whitney-U-Tests Gruppe 1a und 1b

| Mann-Whitney-U-Test | Rgs. | | U | N | | 2*eins. exakt p |
|---------------------|------|----|----|----|----|--------------------|
| | 1a | 1b | | 1a | 1b | |
| dHU gesamt | 121 | 32 | 4 | 10 | 7 | 0,001234 |
| dHU rechts | 109 | 44 | 16 | 10 | 7 | 0,070239 |
| dHU links | 124 | 29 | 1 | 10 | 7 | 0,000206 |
| dHU Median | 118 | 35 | 7 | 10 | 7 | 0,004628 |
| dHU anterior | 125 | 28 | 0 | 10 | 7 | 0,000103 |
| dHU medial | 125 | 28 | 0 | 10 | 7 | 0,000103 |
| dHU dorsal | 125 | 28 | 0 | 10 | 7 | 0,000103 |
| dHU Min. | 125 | 28 | 0 | 10 | 7 | 0,000103 |
| dHU Max. | 106 | 47 | 19 | 10 | 7 | 0,133073 |

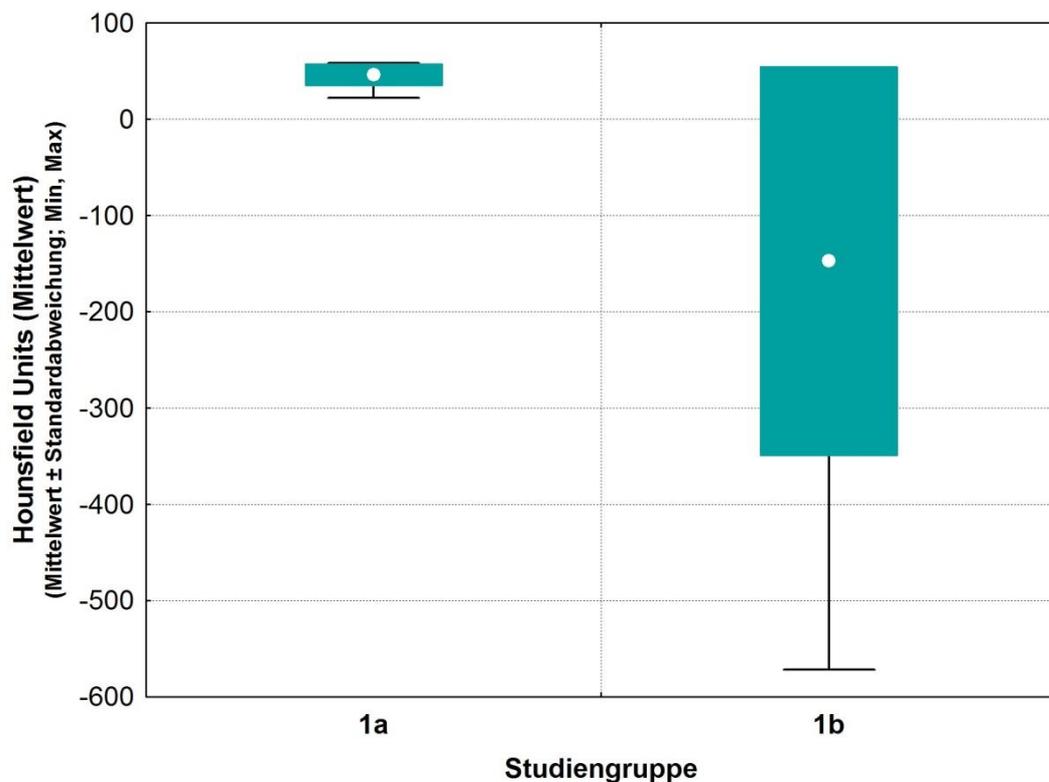


Abbildung 11: Boxplot dHU-Studiengruppe. Vergleich für den Parameter durchschnittlicher HU-Mittelwert in Bezug auf alle Lungenfelder eines Falls (36 ROIs).

3.6 Vergleich der Gruppen 1b vs. 2

Die durchschnittlichen Werte der HU-Parameter in Bezug auf alle gemessenen Lungenfelder eines Falls (36 ROIs) für die Gruppen 1b und 2 wurden getrennt voneinander ermittelt (Tabelle 14, Tabelle 17). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird die Tabelle 10 auf der darauffolgenden Seite erneut abgedruckt. Die Unterschiede des durchschnittlichen HU-MW innerhalb einer Gruppe sind hier viel kleiner (z.B. HU-MW 1b; -147, 2; -208) als zwischen den Gruppen 1a und 1b und in keinem Fall statistisch signifikant (alle $p \geq 0,05$). Auf eine grafische Abbildung wird aufgrund des geringen Unterschieds zwischen den beiden Gruppen in diesem Fall verzichtet.

Tabelle 10: Durchschnittliche HU-Parameter für die Gruppe 1b

| Gruppe 1b = unbelüftet | | | | | | |
|------------------------|---|------|--------|------|------|---------|
| | N | MW | Median | Min. | Max. | Stdabw. |
| dHU gesamt | 7 | -147 | -117 | -572 | 43 | 202 |
| dHU rechts | 7 | -147 | -109 | -630 | 65 | 233 |
| dHU links | 7 | -147 | -123 | -513 | 34 | 174 |
| dHU Median | 7 | -139 | -113 | -583 | 44 | 214 |
| dHU anterior | 7 | -163 | -86 | -620 | -6 | 213 |
| dHU medial | 7 | -154 | -78 | -563 | -19 | 188 |
| dHU dorsal | 7 | -160 | -123 | -532 | -15 | 174 |
| dHU Min. | 7 | -344 | -282 | -817 | -76 | 229 |
| dHU Max. | 7 | -21 | 6 | -258 | 98 | 120 |

Tabelle 12: Durchschnittliche HU-Parameter für die Gruppe 2

| Gruppe 2 = Kontrollgruppe | | | | | | |
|---------------------------|----|------|--------|------|------|---------|
| | N | MW | Median | Min. | Max. | Stdabw. |
| dHU gesamt | 21 | -208 | -225 | -483 | 46 | 104 |
| dHU rechts | 21 | -193 | -210 | -476 | 47 | 100 |
| dHU links | 21 | -223 | -226 | -490 | 45 | 111 |
| dHU Median | 21 | -203 | -206 | -543 | 46 | 115 |
| dHU anterior | 21 | -198 | -215 | -417 | 46 | 94 |
| dHU medial | 21 | -208 | -231 | -502 | 46 | 107 |
| dHU dorsal | 21 | -215 | -229 | -530 | 47 | 113 |
| dHU Min. | 21 | -418 | -487 | -684 | 34 | 178 |
| dHU Max. | 21 | -44 | -36 | -164 | 178 | 79 |

Tabelle 13: Ergebnisse der Mann-Whitney U- Tests Gruppen 1b und 2

| Mann-Whitney U-Test | Rgs. | Rgs. | U | N | N | 2*eins. |
|---------------------|------|------|----|----|----|----------|
| | 1b | 2 | | 1b | 2 | exakt p |
| dHU gesamt | 135 | 271 | 40 | 7 | 21 | 0,079810 |
| dHU rechts | 136 | 270 | 39 | 7 | 21 | 0,070631 |
| dHU links | 137 | 269 | 38 | 7 | 21 | 0,062297 |
| dHU Median | 133 | 273 | 42 | 7 | 21 | 0,100888 |
| dHU anterior | 136 | 270 | 39 | 7 | 21 | 0,070631 |
| dHU medial | 138 | 268 | 37 | 7 | 21 | 0,054750 |
| dHU dorsal | 135 | 271 | 40 | 7 | 21 | 0,079810 |
| dHU Min. | 127 | 279 | 48 | 7 | 21 | 0,189266 |
| dHU Max. | 122 | 284 | 53 | 7 | 21 | 0,296036 |

3.7 Vergleich Gesamtgruppe anterior vs. medial vs. dorsale ROIs

Die durchschnittlichen HU-Werte für die Regionen anterior (ROI 1, 4 Ebene 1-6), medial (ROI 2, 5 Ebene 1-6) und dorsal (ROI 3, 6 Ebene 1-6) wurden für beide Lungenseiten rechts und links für jeden Fall getrennt voneinander ermittelt. Die folgende Tabelle 14 zeigt die deskriptiven Kenngrößen der durchschnittlichen HU-MW für die Lungenfelder aller Fälle der Gruppen 1a, 1b und 2 (N=38) in den Regionen anterior (ROI 1, 4), medial

(ROI 2, 5) und dorsal (ROI 3, 6). Dabei wurden jeweils ein Mittelwert, Median, Minimum- und Maximumwert sowie eine Standardabweichung ermittelt. Die Mittelwerte zwischen den Regionen sinken geringfügig von HU-MW -127 anterior auf -136 dorsal ab.

Tabelle 14: Deskriptive Kenngrößen für die Regionen

| Deskriptive Statistik | | | | | | |
|-----------------------|----|------|--------|------|------|---------|
| | N | MW | Median | Min. | Max. | Stdabw. |
| dHU anterior | 38 | -127 | -122 | -620 | 58 | 153 |
| dHU medial | 38 | -131 | -134 | -563 | 62 | 154 |
| dHU dorsal | 38 | -136 | -136 | -532 | 59 | 157 |

Anhand des Friedman-ANOVA Test wurden die drei Regionen anterior, medial, dorsal für alle Lungenfelder der Gesamtgruppe (Gruppe 1a, 1b und 2) miteinander verglichen (Tabelle 15). Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den drei Lokalisationen war allerdings nicht nachzuweisen (Friedman-ANOVA, $p=0,19$; grau hinterlegt). Die Abbildung 12 veranschaulicht die Ergebnisse grafisch.

Tabelle 15: Ergebnisse des Friedman-ANOVA Tests

| Friedmans ANOVA χ^2 (N=38, FG=2) =3,315789 $p=,19054$ | | | | |
|---|-------------|-----------|----------|---------|
| | Mittl. Rang | Rangsumme | Mittelw. | Stdabw. |
| dHU anterior | 2,2 | 85 | -127 | 153 |
| dHU medial | 1,9 | 73 | -131 | 154 |
| dHU dorsal | 1,8 | 70 | -136 | 157 |

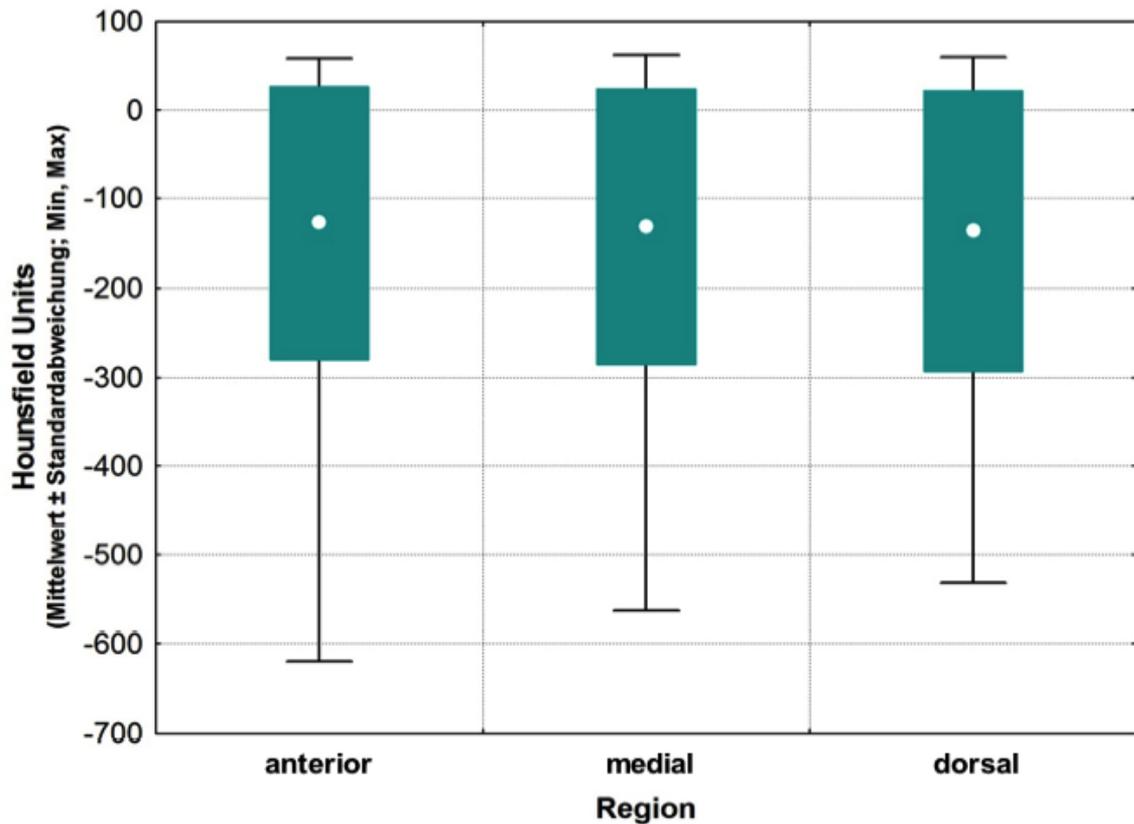


Abbildung 12: Boxplot Vergleich Regionen der Gesamtgruppe. Vergleich der Gesamtgruppe (1a, 1b, 2) für die durchschnittlichen HU-Werte für die Lungenfelder eines Falls in den Regionen anterior, medial, dorsal. Hierbei ist kein statistisch signifikanter Unterschied aufzuweisen.

3.8 ROC-Analysen zur Ermittlung optimaler Trennungspunkte

Die folgenden Übersichten zeigen das Ergebnis der ROC-Analysen zur Festlegung des optimalen Trennungspunktes zwischen belüfteten und unbelüfteten Lungen anhand der HU-Messungen. Bester Trennungspunkt ist dabei derjenige, bei dem der niedrigste Anteil fehlklassifizierter Fälle auftritt, bei denen also die größtmögliche Übereinstimmung zwischen den HU-Messungen und der Einteilung unbelüftet/belüftet besteht.

Der Vergleich der HU-Werte erbringt einen optimalen Trennungspunkt zwischen belüfteten und unbelüfteten Lungen bei -35,05 HU. In diesem Fall beträgt der Anteil der fehlklassifizierten Werte 3,8 %.

Tabelle 16: Ergebnis der ROC-Analysen

| Parameter | Optimaler Trennungspunkt (HU) | Fehlklassifikationsrate (%) | Mann-Whitney-U-Test Abweichung von Winkelhalb. | AUC |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|--|--------|
| Mittelwert HU | -35,05 | 3,85 % | $p < 0,0001$ | 96,5 % |
| Mittelwert HU rechts | -43,10 | 3,85 % | $p < 0,0001$ | 94,6 % |
| Mittelwert HU links | -30,05 | 3,85 % | $p < 0,0001$ | 98,1 % |
| Median HU | -24,00 | 3,85 % | $p < 0,0001$ | 96,9 % |
| Mittelwert HU anterior | -20,55 | 1,92 % | $p < 0,0001$ | 98,1 % |
| Mittelwert HU medial | -36,80 | 1,92 % | $p < 0,0001$ | 98,5 % |
| Mittelwert HU dorsal | -19,40 | 1,92 % | $p < 0,0001$ | 97,7 % |
| HU-Min. | -63,00 | 1,92 % | $p < 0,0001$ | 98,1 % |
| HU-Max. | 41,00 | 5,77 % | $p = 0,0002$ | 90,1 % |

Die folgende Abbildung 13 zeigt beispielhaft die ROC-Kurve für den Parameter HU-Mittelwert.

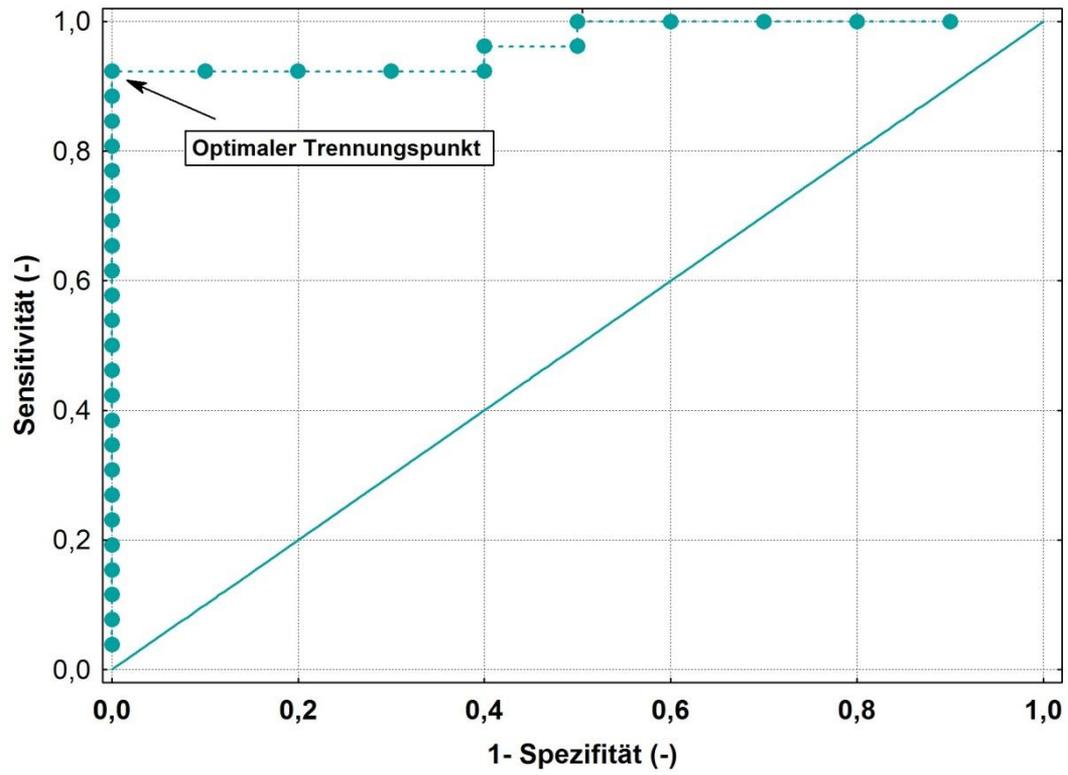


Abbildung 13: ROC-Kurve für den Parameter HU-Mittelwert.

4 Diskussion

Dies ist die erste systematische Untersuchung des Stellenwerts der PMCT in der Beurteilung des Belüftungszustands der Lungen zur Unterscheidung von Tot- und Lebendgeburt bei Verdacht auf Neonatizid. Frühere Arbeiten sind entweder Darstellungen einzelner Fälle (7), Beurteilung des Belüftungsstatus von Lungen anhand postmortaler Magnetresonanztomographie (PMMRT) (45) oder Untersuchungen hinsichtlich der Gasverteilung innerhalb der Lungen und des Gastrointestinaltraktes bei Neugeborenen (40). In dieser Arbeit wurde mit der systematischen Auswertung von sechs x sechs Arealen der Lungen untersucht, ob die Werte der gemessenen Hounsfield-Einheiten zuverlässige Aussagen über den Belüftungszustand der Lungen geben könnten. Als Standard wurde die Schwimmprobe herangezogen. Grundlage der Untersuchungen waren PMCT-Bilder von Kindsleichen, die im rechtsmedizinischen Institut der LMU eingeliefert worden waren. Seit 2008 wurden von den Kindsleichen nach einem definierten Protokoll standardisierte PMCT durchgeführt und digital gespeichert. In der vorliegenden Arbeit wurden die Daten von 38 Kindsleichen herangezogen, die im Zeitraum von 2008 bis 2012 untersucht wurden. Hierbei wurden anhand der Obduktion 28 Lungen als belüftet und 10 als unbelüftet eingestuft. Aus 17 Fällen der Studiengruppe, die an dem Tag ihrer Geburt oder in den darauf folgenden 24 h für tot erklärt wurden, wurde in 14 Fällen eine Schwimmprobe durchgeführt. In weiteren drei Fällen wurde formal keine Schwimmprobe durchgeführt, jedoch die Lungen laut Obduktionsbericht als belüftet eingestuft. Bei 21 Kindsleichen aus der Kontrollgruppe wurde auf Grund des Überschreitens der Neugeborenenperiode (>24 h) und die dadurch sichere Lungenbelüftung auf eine Schwimmprobe verzichtet. Die Zuordnung zu den drei Gruppen (1a Studie - unbelüftet, 1b Studie - belüftet, 2 - Kontrollgruppe) erfolgte aufgrund der Autopsiebefunde ohne Kenntnisse der Bildgebung. Die Obduktionen ergaben folgende Todesursachen: 15 SIDS, 11 Totgeburten, ein Unfall/SHT, eine Herzmissbildung sowie 10 unklare Fälle mit Verdacht auf Tötungsdelikt.

4.1 Diskussion der Methoden

4.1.1 Auswahl der Verstorbenen

In diese Studie konnten 38 Kindsleichen, die innerhalb des ersten Lebensjahres mit ungeklärter Todesursache verstarben, einbezogen werden. Das Institut der Rechtsmedizin der LMU ist eines der größten Institute in Deutschland, an dem frühzeitig in Zusammenarbeit mit dem Institut für Diagnostische Radiologie systematische PMCT verstorbenen Neugeborener bzw. von Totgeburten durchgeführt wurde. Daher stand für die Untersuchung dieser Thematik zwar eine kleine Fallzahl zur Verfügung, aber immerhin die bisher größte beschriebene Fallzahl um einen Vergleich zwischen PMCT und Schwimmprobe bezüglich des Belüftungszustands der Lungen durchführen zu können. Vergleichbare Studien hatten deutlich geringere Fallzahlen (7, 40) - maximal bis $n=7$ - als die Grundgesamtheit $n=38$ der vorliegenden Studie. In zukünftigen Untersuchungen wäre eine noch größere Grundgesamtheit erstrebenswert.

4.1.2 PMCT

Die PMCT wurde systematisch anhand der Festlegung von 36 repräsentativen ROIs in HU pro Fall analysiert, wobei potentielle Überschneidungen der ROIs untereinander oder zu anderen Strukturen vermieden wurden. Es war hierbei möglich, eine sichere Aussage über den Belüftungszustand der Lunge zu treffen. Besondere Sorgfalt muss in solchen Fällen angewendet werden, wenn z.B. ein Pneumothorax vorliegt und die Lungen kollabiert sind oder aber wenn postmortal entstandene Fäulnisgase eine Lungenbelüftung vortäuschen können. Des Weiteren können durch Einblutungen in zuvor belüfteten Lungenarealen erhöhte HU-Werte bedingen. Die Festlegung einer so hohen Anzahl an ROIs sollte einen repräsentativen Gesamtdurchschnittswert in HU für die Lungen eines Falls hervorbringen. Als optimaler Cut-off-Wert zwischen belüfteten und unbelüfteten Lungen

wurde ein Wert von -35,05 HU ermittelt. Andere Studien erfassten den Belüftungszustand der Lungen der PMCT rein qualitativ (7) oder anhand einer automatisierten Analyse-Software (40). Die Verwendung unserer Methode ermöglicht ein reproduzierbares Verfahren, welches auch zu einem späteren Zeitpunkt nachvollziehbar ausgewertet werden kann. Hingegen ist vermutlich auch eine geringere Anzahl an ROIs für die Bewertung ausreichend.

4.1.3 Autopsie

Die Obduktion der Kindsleichen erfolgte im Median einen Tag nach Sterbe- bzw. Auffindedatum (Daten nicht aufgeführt). Dabei blieb zum Teil die Liegezeit der aufgefundenen Kindsleiche unklar. Eine zu lange Liegezeit bzw. Verzögerung der Obduktion zum Sterbezeitpunkt kann zu einem verstärkten Fäulniszustand der Leiche mit einer möglichen Fäulnisgasentwicklung und einem falsch positiven Ergebnis der Schwimmprobe führen. Auf Grund der zum Teil unbekanntem Liegezeit konnte dies in unserer Studie nicht berücksichtigt werden. Bis auf zwei von 38 Fällen konnte eine Übereinstimmung zwischen Belüftungsstatus im PMCT und Autopsie nachgewiesen werden. Guddat et al. führten neben der Schwimmprobe der Lungen und des Gastrointestinaltraktes, eine Schwimmprobe eines Leberlappens durch, um eine mögliche Gasentwicklung durch Fäulnis zu detektieren (7). In Zukunft könnte dieser Punkt in weiteren Arbeiten berücksichtigt werden.

4.1.4 Schwimmprobe

In Deutschland wird die Schwimmprobe als obligatorische Untersuchungsmethode im Rahmen einer Autopsie zur Differenzierung zwischen Lebend- und Totgeburt verwendet. In dieser Studie wurde in 14 Fällen formal eine Schwimmprobe durchgeführt, wobei in allen Fällen das Ergebnis der Schwimmprobe dem Ergebnis der PMCT bezüglich des Belüftungsstatus der Lungen entsprach (s. Tabelle 9). Die Studie von Große Ostendorf

et. al aus dem Jahr 2013 überprüfte die Bedeutung und Aussagekräftigkeit der Schwimmprobe in der heutigen Zeit. Schwimmproben von 208 Neugeborenen ergaben eine Zuverlässigkeit von 98 % hinsichtlich des Belüftungsstatus der Lugen zur Unterscheidung von Tot- und Lebensgeburt (1). Es gab kein falsch positives Ergebnis, folglich fiel die Schwimmprobe im Fall einer Totgeburt zu 100 % negativ aus. Dementsprechend kann im Fall einer Totgeburt von einem richtig negativen Ergebnis der Schwimmprobe ausgegangen werden.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Deskriptive Daten

In der hier vorliegenden Arbeit handelt es sich um 22 männliche und 16 weibliche Kindsleichen. Das mediane Gewicht der 17 Neugeborenen lag bei 3296g. Die Körperlänge (Scheitel-Fersen-Maß) der Neugeborenen lag im Median bei 52cm. In der Studie von Guddat et al. (7) über die PMCT vier verstorbener Säuglinge, unter denen sich zwei Neonaten befanden, lag das mediane Gewicht bei 3105g und die mediane Körperlänge bei 50cm.

In der Studie von Michiue et al. (40) über die Luft/Gas-Verteilung im PMCT bei Neugeborenen, lag das mediane Gewicht der fünf Neonaten bei 2550g und die mediane Körperlänge bei 49cm.

Bedauerlicherweise sind die demographischen Daten schwer mit denen anderer Studien zu vergleichen, da es sich jeweils um sehr kleine Kohortengruppen handelt. Die demographischen Daten der Berliner Studiengruppe um Guddat et al. (7) unterscheiden sich nur geringfügig von den Werten dieser Arbeit. Allerdings gilt hierbei auch zu beachten, dass es sich nur um einen medianen Wert zweier Neonaten handelt. Dies schränkt die Aussagekräftigkeit des Medians ein.

Die Arbeit der Japaner Michiue et al. (40) wies ein geringeres medianes Körpergewicht und eine geringere mediane Körperlänge auf. Entsprechend der im Vergleich zu Europäern kleineren japanischen Bevölkerung, können Unterschiede in Größe und Gewicht die Empfindlichkeit der CT-Untersuchung beeinflussen. Die hier untersuchte Kontrollgruppe wies ein medianes Gewicht von 4354g und eine mediane Körperlänge von 57,5cm auf.

Dabei war es aus eigener Erfahrung deutlich einfacher, die sechs ROIs einer Ebene innerhalb der Lungen bei größeren Leichen zu platzieren (Kontrollgruppe) als bei kleineren (Studiengruppe). Im Fall von kleineren, unbelüfteten oder kollabierten Lungen, mussten die sechs ROIs einer Ebene überschneidend gelegt werden.

4.2.2 Korrelation der Autopsie mit der PMCT

Im Jahr 2012 publizierten Guddat et al. (7) aus dem Institut für Rechtsmedizin der Charité Berlin eine Arbeit über die Vorteile PMCT vor der Autopsie bei verdächtigtem Neonatizid. Die PMCT sollte als Beweis des Gelebthabens des Säuglings dienen. Die Arbeit stellte vier Fälle dar: eine Totgeburt, ein Tod nach Geburt, sowie zwei Neonatizide. Dabei wurden die PMCT-Bilder von einem Rechtsmediziner (nicht von einem Radiologen) analysiert und ausgewertet. Die Autopsien beinhalteten in drei von vier Fällen eine Schwimmprobe der Lungen, des Gastrointestinaltraktes, sowie zusätzlich die Schwimmprobe einer Leberscheibe von ca. 25g Gewicht aus dem rechten Leberlappen. Ein Fall wurde als Lebendgeburt eingestuft und deshalb auf eine Schwimmprobe verzichtet. Eine systematische Messung der Hounsfieldeinheiten erfolgte nicht, die Beurteilung der Lungenbelüftung erfolgte durch einen erfahrenen Rechtsmediziner. Ein Vergleich mit der eigenen Untersuchung ist daher nur eingeschränkt möglich. Die Studie unterstreicht jedoch, dass prinzipiell die Beurteilung des Gelebthabens mithilfe der PMCT möglich ist. Dabei wiesen Guddat et al. auch auf mögliche Fehlerquellen und Falschinterpretationen hin wie z.B. Fäulnisgase, Zustand nach (vergeblicher) Reanimation sowie die seltenen Fälle von Erfrierung und Wiederauftauen eines Leichnams, bei dem atypische Gasentwicklungen auftreten können (7).

In einer systematischen Untersuchung PMCTs von 130 Verstorbenen mit einem medianen Alter von 58 Jahren (0-91 Jahren) analysierten Michiue et al. die Hounsfieldeinheiten der Lungen. Sie untersuchten nicht nur den Mittelwert der HUs, sondern auch den Modalwert, in diesem Fall die Maximumsstelle der Dichtefunktion. Anhand der Modalwertverteilung klassifizierten sie fünf verschiedene Muster der Hounsfieldverteilungen im Hinblick auf zugrundeliegende Erkrankungen beziehungsweise Todesursachen. Muster I mit Überblähung fand sich bei chronisch obstruktiver Lungenerkrankung, Verhungern und Hypothermie (Kälteexposition); Muster II mit zumeist normaler Belüftung und partieller Milchglatrübung wurde den folgenden Todesursachen zugeordnet: mechanische Erstickung (Erwürgung/Erhängen), Ertrinken, Rauchvergiftung, Kopfschuss, zerebrovaskuläre Erkrankung und Hämoperikard. Ein Muster mit Minderbelüftung bis Nicht-Belüftung, mit prädominanter hypostatischer Milchglatrübung, wurde bei Vergiftung und kongestivem Herzversagen beobachtet und als Muster III bezeichnet. Als Muster IV wurde eine Minderbelüftung bis Nicht-Belüftung, mit prädominanter hypostatischer Konsolidierung, beschrieben und fand sich bei akuter ischämischer Herzerkrankung (Myokardinfarkt). Beim Muster V schließlich fand sich keine Belüftung bis hin zur Konsolidation. Dies wurde bei Pneumonie beobachtet.

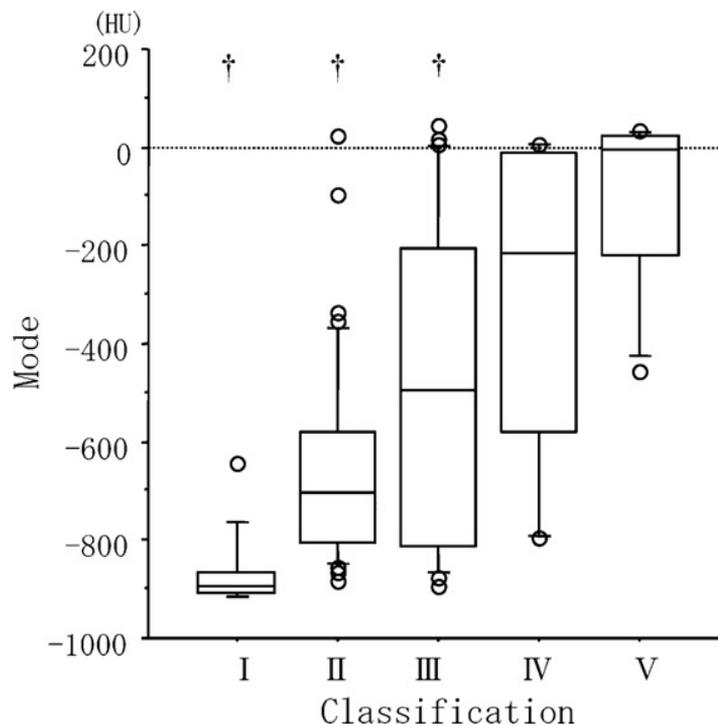


Fig. 3. Mode Hounsfield unit (HU) in the combined lung areas with regard to the pattern of CT morphology. ySignificantly lower for patterns I and II than for patterns III, IV and V, and for pattern III than for pattern V on Scheffe test (39). Pattern I, hyperaeration (obstructive pulmonary disease, starvation and hypothermia (cold exposure)); pattern II, mostly normal aeration with partial ground glass opacification (mechanical asphyxia, drowning, fire fatality, gunshot head injury, cerebrovascular disease and hemopericardium); pattern III, hypoaeration to airless with predominant hypostatic ground glass opacification (intoxication and congestive heart failure); pattern IV, hypoaeration to airless with predominant hypostatic consolidation (acute ischemic heart disease); pattern V, airless to consolidated (pneumonia).

Abbildung 14: Korrelation von Hounsfield-Einheiten der Lunge und Todesursache aus Michiue (39)

Wie aus der Abbildung 14 ersichtlich, gibt es auch unter Verwendung des Modalwertes eine weite Überlappung der HUs. Da es sich hier um Untersuchungen bei fast ausschließlich Erwachsenen handelt, ist nachvollziehbar, dass die HUs im deutlicher negativen Bereich lagen als in den eigenen Untersuchungen. Bei einem qualitativen Vergleich der eigenen Untersuchungen mit den Abbildungen der Arbeit von Michiue et al. (39) wiesen belüftete Lungen am ehesten die Muster I und II auf, während nicht belüftete Lungen das Muster V aufwiesen. Die Arbeit von Michiue et al. ist jedoch mit den eigenen Untersu-

chungen nur eingeschränkt vergleichbar, nicht nur, da es sich bei jener Arbeit ausschließlich um verstorbene Erwachsene handelte, sondern auch durch die Verwendung des Modalwerts.

4.2.3 Vergleich der Gruppen 1a vs. 1b

Es wurden insgesamt neun unabhängige Berechnungen des Mann-Whitney-U-Test durchgeführt: jeweils für die dHU rechts, dHU links, dHU anterior, dHU medial, dHU dorsal sowie dHU gesamt, dHU Median, dHU Min., dHU Max (Tabelle 11) Dies kann das alpha (Fehler 1. Art) beeinflussen. Mit einer Bonferronikorrektur für die neun durchgeführten Berechnungen ergibt sich ein adjustiertes Signifikanzniveau von $p < 0,05/9$ entsprechend in diesem Fall $p < 0,005$. Bis auf dHU rechts und dHU Max. wurde dieses adjustierte Signifikanzniveau von allen Berechnungen unterschritten.

4.3 Postmortale Magnetresonanztomographie (PMMRT) im Vergleich zur PMCT

Barber et. al (45) brachten im Jahr 2014 eine Studie über die PMMRT im Hinblick auf die Differenzierung zwischen Lebend- und Totgeburt heraus. Die PMMRT wurde ohne Kenntnisse der Autopsiebefunde ausgewertet. Dabei wurden die Neugeborenen in zwei Gruppen unterteilt in Gruppe 1: „Lebendgeburt“, definiert als Neugeborene die lebendig geboren wurden und deren spontane Atmung vor Todeseintritt beobachtet worden war (N=19) und Gruppe 2: „keine Lebendgeburt“ definiert als später Schwangerschaftsabbruch aufgrund von Fehlbildungen (über die 24. Schwangerschaftswoche hinausgehend, N=17) oder Totgeburten, die tot zur Welt kamen (N=6). Als Standard für die Beurteilung des Atemstatus der Lungen galt die klinische Krankengeschichte und perinatale Doku-

mentation. Die PMMRT-Bilder wurden in T₁- und T₂- Sequenzen in Bezug auf die Anwesenheit von Luft in den folgenden 6 anatomischen Regionen betrachtet: (1) Atemwege, (2) Lungenparenchym, (3) Gastrointestinaler Trakt, (4) rechte Herzhöhle, (5) linke Herzhöhle, (6) Leber- und Gallensystem. Luft in fast allen anatomischen Regionen wurde häufiger in Fällen von Lebendgeburten gefunden als in denen von Totgeburten. Die Lungenbelüftung galt als der beste Indikator einer Lebendgeburt in der PMMRT mit einer Spezifität von 95,6 % und mit einer Übereinstimmung zwischen PMMRT und Autopsie von 92,9 % sowie einem positiven prädiktiven Wert von 94,4 %. Luft im Gastrointestinaltrakt hingegen war der sensitivste Marker mit 100 % und einem negativ prädiktiven Wert von 100 %. Luft in den Herzhöhlen und im Leber- und Gallensystem wurde häufiger nach Totgeburten beobachtet als nach Lebendgeburten. Diese waren jedoch keine zuverlässigen Indikatoren zur Differenzierung der beiden Gruppen.

Darüber hinaus wurde PMMRT bereits in einigen rechtsmedizinischen Institutionen zur Klärung anderer Fragestellungen verwendet (46). Die Bildgebung eignet sich demnach besonders bei Gewaltopfern oder in Fällen von Kindesmissbrauch zur Detektion von Weichteil- oder Organverletzungen sowie zur Beurteilung des Atemstatus. Bei den PMMRT Aufnahmen ist immer nur ein relativ kleiner Ausschnitt möglich oder die Untersuchungsdauer wird für größere Ausschnitte deutlich länger. Bei Neugeborenen hingegen lassen sich auf Grund der kleinen Körpergröße deutlich mehr Strukturen in den Ausschnitten darstellen, als bei Erwachsenen. Insbesondere dann, wenn Eltern eine Autopsie verweigern, dient das PMMRT als gute Alternative zur Todesursachenklärung. Limitierende Faktoren des PMMRTs sind eingeschränkte Verfügbarkeit sowie höhere Kosten verbunden mit höherem Zeitaufwand im Vergleich zur PMCT (36). Darüber hinaus ist die Auswertung der Bilder komplexer und aufwendiger. Das PMCT hingegen lässt sich leichter in den forensisch-pathologischen Alltag integrieren. Möglicherweise liegt die Zukunft darin, sowohl die PMMRT als auch die PMCT vor der Autopsie durchzuführen, um eine bestmögliche Dokumentation zu erhalten. Solch ein Aufwand wird vermutlich nicht bei allen Fällen betrieben werden, aber in Fällen von SIDS und dem Verdacht auf Fremdeinwirkung wäre dies durchaus denkbar.

4.4 Diskussion von Einzelfällen

Anhand einiger Einzelfälle aus den untersuchten Kohorten soll die Problematik der PMCT in der Diskriminierung zwischen Tot- und Lebendgeburt verdeutlicht werden.

In einem einzigen Fall (Fallnummer 12) korrelierte der Belüftungszustand der Lunge laut Obduktionsbericht nicht mit dem Ergebnis der PMCT und ergab einen positiven Gesamtmittelwert. In diesem Fall war das Neugeborene im Anschluss an einen PKW-Unfall der Mutter unter Notsectio und Reanimation zur Welt gebracht worden. Im Obduktionsbericht wurden die Lungen wie folgt beschrieben: „1. Die Lungen sind gleichmäßig grau-rosa, vollständig belüftet. 2.[...] an der Rückseite der Unterlappen weißliche Einlagerungen, leicht erhaben, evtl. überblähte Gefäßchen [sic!] [...] 4. Auf der Schnittfläche das Gewebe trocken, blutarm, fleckig gezeichnet. Auch hier zeigen sich weißliche [...] Einlagerungen, fraglich sehr unregelmäßige Belüftung mit Überblähung.“ Als Todesursache ergab die gerichtsmedizinische Untersuchung eine: „Luftbrust beidseits, vermutlich als Folge der notfallmäßig erforderlichen künstlichen Beatmung. [...]“ sowie ein „schweres, stumpfes Schädel-Hirntrauma mit Schädeldachbruch beidseits sowie Einblutungen in die Kopfschwarte.“ Bei der Analyse der PMCT war die linke Lunge kollabiert und lies sich erst ab Ebene 5 beurteilen (s. Abbildung 26a-b). Die Ausbildung eines beidseitigen Pneumothorax wurde laut Obduktion vermutlich auf die Überblähung der Lungen im Rahmen der Reanimation zurückgeführt. Die HU der auszuwertenden ROIs aller Lungenschnitte lagen hingegen im positiven Bereich - letztlich dann als Folge eines Spannungspneumothorax mit anschließendem Kollaps der Lunge nach Reanimation. Dadurch wären die Befunde der PMCT mit kollabierter Lunge und massiver intrapleuraler Luft zu erklären, eventuell durch Lungenalveolen- oder Bronchusruptur bei konsekutiv nicht erfolgreicher Lungenbelüftung.

Generell kann eine erfolgte Reanimation die Aussagekräftigkeit einer Lungenschwimmprobe beeinflussen. In insgesamt sechs Fällen der Studiengruppe wurden die Neugeborenen reanimiert. Davon fiel in nur einem Fall (Fallnummer 11) die Schwimmprobe positiv aus und der HU-MW lag im negativen Bereich. In diesem Fall war das Neugeborene als Zwillingsskind unter Reanimation bei Herzstillstand geboren worden. Nach Angaben in

der Todesbescheinigung sei das „Kind bis 7 Minuten vor der Geburt mit unauffälligem CTG gewesen“. Während des Geburtvorgangs selbst konnten keine CTG-Frequenzen abgeleitet werden und unter exzessiver Reanimation sei keine spontane Herzaktion darstellbar gewesen. Im Obduktionsbericht war die Lunge bei der Lungenschwimmprobe „als Ganzes aufschwimmend, auch das untergehende Halspaket am Schwimmen haltend. Die Lungenoberfläche mit schwärzlich-fleckigen Einblutungen im Bereich der Lungenränder, auch punktförmige Einblutungen, ansonsten zeigt die Oberfläche wie die Schnittfläche helle und dunklere Felderungen gleichmäßig nebeneinander, keine sonstigen Auffälligkeiten, normale Konsistenz.“ Die Obduktion ergab den Verdacht auf einen „wesentlich vorbestehenden Infekt, z. B. durch Viren“ welcher sich durch „die vergrößerte Leber, die vermehrte Flüssigkeit im Herzbeutel sowie die ganz atypisch gezeichnet erscheinenden Nebennieren“ erhärtete. Bei der Analyse der PMCT fielen gestaute Lungengefäßzeichnungen sowie eine Verdichtung des Lungengewebes auf. Dabei könnte es sich um ein Infiltrat der Lunge gehandelt haben. Eine Viruspneumonie kann zum Auftreten von negativen HU-Werten führen, obwohl keine Belüftung von Lungenarealen erfolgt ist. Bei Erwachsenen wurde dieses Phänomen von Michiue et. al beschrieben (39). Die Histologie der Lungen kann in solchen Fällen Aufschluss über einen vorhandenen Infekt liefern und sollte berücksichtigt werden. Dementsprechend ist das positive Ergebnis der Schwimmprobe in diesem Fall vermutlich eher infektbedingt als dass es auf die Reanimation zurückzuführen ist.

Auch Guddat et. al. (7) wiesen auf die Problematik über die Gültigkeit der Aussagekräftigkeit der Schwimmprobe im Fall einer erfolgten Reanimation hin. Eine erfolgte Reanimation zählt laut Literatur neben Fäulnis und Erfrierung zu den Hauptausschlusskriterien für eine Schwimmprobe. Kellet stellte fest, dass unter künstlicher Beatmung die eingebrachte Luft zwar eine gewisse Lungenexpansion hervorruft, diese jedoch nicht das gleiche Ausmaß der Expansion wie bei einer natürlichen Atmung einnimmt (47). In der Studie von Barber et al. (45) gab es einen falsch positiven Fall, nachdem die Lunge in der PMMRT als gut belüftet eingestuft worden waren, es sich hierbei laut Krankheitsgeschichte um eine Totgeburt mit keiner beobachteten spontan Atmung in der 38. Schwangerschaftswoche handelte. Daher muss im Fall einer Reanimation das Ergebnis der Schwimmprobe immer kritisch betrachtet werden und in Zusammenhang mit der klinischen Vorgeschichte gesehen werden.

In einem Fall (Fallnummer 14) innerhalb der Studiengruppe wies die als belüftet eingestufte Lunge einen deutlicheren negativen durchschnittlichen Gesamtmittelwert auf (-572 HU) als die übrigen Studienfälle. In diesem Fall wurde das Neugeborene in einem weit fortgeschrittenen Fäulniszustand mit ausgeprägter Gasblähung der Hautdecken in einer Plastiktüte an einer Staustufe vorgefunden. Levy et. al (48) stellten in einer Übersichtsarbeit fest, dass sich Gasblasenbildung durch Fäulnis in der PMCT Luft symmetrisch bzw. gleichmäßig innerhalb des Körpers verteilt, solange kein lokalisierter oder asymmetrischer Zersetzungsprozess durch äußere Einflussfaktoren wie Verletzungen, Wärme oder Kälte vorliegt. Dabei sind erste Zeichen von Autolyse bereits 24-48 Stunden nach Todeseintritt unter Kühlung im Gehirn in PMCT nachweisbar. In unserem Fall war auf Grund des starken Verwesungsprozesses der Todeszeitpunkt nicht zu eruieren. Die stark negativen HU-Werte können auf die fortgeschrittene Gasentwicklung zurückzuführen sein. Um das Ausmaß des Fäulniszustandes besser evaluieren zu können weisen Guddat et. al in ihrer Arbeit auf die Durchführung einer Lebersektionsschwimmprobe hin, da sich Fäulnisgase in diesen Organen in einem ähnlichen Ausmaß entwickeln können wie im Lungengewebe (7). Egger et al. wiesen daraufhin, dass eine Assoziation besteht zwischen intrakardialer und hepatischer postmortaler Gasentstehung mittels derer eine postmortale Fäulnisgasentwicklung von tödlicher Luftembolie abgegrenzt werden kann (49). In diesem Zusammenhang ist erwähnenswert, dass Fischer et al. eine zeitabhängige postmortale intrahepatische Gasverteilung bei nicht traumatischem Tod nachweisen konnten (50). In weiteren Untersuchungen sollte in Fällen von stark aufgetretener Fäulnis ebenfalls eine Schwimmprobe der Leber durchgeführt werden um den Verwesungszustand besser einschätzen zu können.

Aspiration als Todesursache kann ebenfalls ein limitierender Faktor der Schwimmprobe und PMCT sein. Aspiration kann sowohl zur Totgeburt führen als auch postmortal auftreten. Bei intrauteriner Fruchtwasseraspiration können beide Lungen mit Fruchtwasser gefüllt sein, so dass eine postnatale Spontanatmung nicht möglich ist (Fallnummer 6). Hierbei zeigt sich in der PMCT eine unbelüftete Lunge, komplett ausgefüllt mit Flüssigkeit und niedrig positiven HU-Werten (22 HU-MW), eine negative Schwimmprobe in der Autopsie und wird entsprechend als Totgeburt eingestuft. Filograna et al. (51) führten eine Studie über die Vor- und Nachteile der PMCT hinsichtlich der Diagnostik bei Aspiration durch. Sie stellten fest, dass diese zwar nicht den Ursprung des aspirierten Materials unterscheiden kann, jedoch zur Einschätzung der Verteilung und des Schweregrades des veränderten Lungenparenchyms durch aspiriertes Material der Autopsie überlegen

sei. Wird ein Neugeborenes in Wasser geboren und absichtlich darin ertränkt, besteht keine Möglichkeit auf Entfaltung der Lunge. Laut Dressler et al. (52) kann die Lunge durch die Aspiration von Wasser, statt der Inhalation von Luft, einer Totgeburt ähneln und die Schwimmprobe negativ ausfallen, obwohl das Neugeborene nach der Geburt Atembewegungen ausübte. Bei absichtlichen Unterwassergeburten wird das Neugeborene sofort nach Austreibung aus dem Wasser gehoben und mit dem ersten Schrei beginnt das Kind zu atmen. Wird ein Kind jedoch in häuslicher Umgebung ohne die Anwesenheit einer Hebamme zur Welt gebracht, kann nicht ausgeschlossen werden, ob das Neugeborene länger eingetaucht gewesen war und somit ertränkt wurde (52). In so einem Fall kann eine Kindstötung den Eindruck einer Totgeburt erwecken und übersehen werden. In unserer Studie bleibt in zwei Fällen unklar (Fallnummer 8, 10), ob es sich demnach um eine Totgeburt gehandelt hat oder ob durch das unmittelbare Gelangen der Atemöffnung unter Wasser eine Lungenbelüftung verhindert worden war und deshalb keine typischen Befunde für ein Gelebthaben gefunden werden konnten. In weiteren Arbeiten sollte dieser Punkt berücksichtigt werden.

In einem Fall unserer Kontrollgruppe widersprach unser PMCT Ergebnis mit positivem HU-MW der Obduktion bei einem sicherem Gelebthaben durch ein Versterben im Alter von 8 Wochen (Fallnummer 36). In diesem Fall konnten im Rahmen der Obduktion Einblutungen der Lungen nachgewiesen werden, welche positive HU-MW erklären könnten.

4.5 Ausblick

In den letzten Jahren hat sich die PMCT als nützliche Untersuchungsmethode ergänzend zur Autopsie bewährt. Obwohl die Schwimmprobe teils kritisch betrachtet wird, bleibt sie die wesentliche Untersuchungsmethode der Rechtsmedizin um zwischen Tod- und Lebendgeburt bei Neugeborenen unterscheiden zu können (1). Dennoch versucht man ergänzende Untersuchungsmethoden hinsichtlich der Beurteilung des Belüftungsstatus von Lungen bei Neugeborenen zu finden. Während die PMMRT zeitaufwendiger und teurer als die PMCT ist, stellt die PMCT eine schnell verfügbare, reproduzierbare, objektive Untersuchungsmethode dar, die wichtige Erkenntnisse über das Gelebthaben eines Neugeborenen liefern kann. Sie bietet den Vorteil einer standardisierten, untersucherunabhängigen und nicht invasiven Dokumentation mit der Option einer möglichen Reevaluation des Bildmaterials. Mithilfe des errechneten Cut-Off-Werts von -35,05 HU kann innerhalb kürzester Zeit anhand der Dichtewerte der Lungen eine Einschätzung über Lungenbelüftung und Gelebthaben getroffen werden. Dennoch ist die PMCT als ergänzende Untersuchungsmethode zu betrachten und ersetzt nicht die Autopsie. In der Zukunft wäre eine Kombination von PMCT und PMMRT vor Autopsie als Dokumentation bei besonderen Fragestellungen durchaus denkbar.

5 Zusammenfassung

Die Schwimmprobe gilt seit Jahrhunderten als Standard der Autopsie zur Differenzierung zwischen Lebend- und Totgeburt bei Verdacht auf Neonatizid. Trotz kontroverser Meinungen gibt es bisher keine der Schwimmprobe vergleichbare Untersuchungsmethode hinsichtlich der Beurteilung des postmortalen Belüftungsstatus von Lungen bei Neugeborenen. Diese bisher größte retrospektive Arbeit vergleicht die Ergebnisse der PMCT zur Schwimmprobe hinsichtlich der Lungenbelüftung bei Neugeborenen.

Die PMCT und Obduktionsberichte von 38 Kindsleichen, die im Zeitraum von 2008 bis 2012 dem rechtsmedizinischen Institut der LMU obduziert worden waren, wurden systematisch analysiert. Hauptziel dieser Arbeit war es, die Dichtewerte der Lungen mithilfe festgelegter ROIs gemessen in HU anhand PMCT zu bestimmen, um somit den Belüftungsstatus der Lungen zu beurteilen. Als Nebenziel wurde ein Cut-Off-Wert in HU bestimmt, anhand dessen man die Lungen bestmöglich in unbelüftet und belüftet einteilen kann. Die 38 Kindsleichen wurden unterteilt in Studiengruppen mit unklarem Belüftungsstatus (Gruppe 1) und Kontrollgruppe (Gruppe 2) mit sicherem Gelebthaben. Anhand der Schwimmprobe wurde Gruppe 1 in 1a – unbelüftete Lungen und 1b - belüftete Lungen unterteilt und mit den Werten aus 36 ROIs in HU verglichen. Das mediane Gewicht der Studiengruppe lag bei 3296g und die mediane Körperlänge (Scheitel-Fersen-Maß) bei 52cm. Die mittlere Tendenz der HU-Werte lag in Gruppe 1a deutlich höher als in 1b (z. B. HU-Mittelwert 1a: 47; 1b: -147) mit statistisch signifikanten Unterschieden. Der Vergleich der HU-Werte ergab einen optimalen Trennungspunkt zwischen unbelüfteten und belüfteten Lungen bei -35,05 HU. In dieser Untersuchungsserie betrug der Anteil der fehlklassifizierten Werte 3,8 %. Falsche Klassifizierungen können auftreten durch Pneumonie, Fäulnis, Trauma mit Einblutung oder Totalatelektasen.

Diese retrospektive Studie liefert Evidenz dafür, dass die PMCT gut als Untersuchungsmethode zur Bestimmung des Belüftungsstatus von Lungen bei Neugeborenen in Ergänzung bzw. zusätzlich zur Autopsie, aber nicht als deren Ersatz, herangezogen werden kann. Die Rolle der PMMRT in diesem Zusammenhang bedarf noch der Überprüfung.

6 Literaturverzeichnis

1. Grosse Ostendorf AL, Rothschild MA, Muller AM, Banaschak S. Is the lung floating test a valuable tool or obsolete? A prospective autopsy study. *International journal of legal medicine*. 2013;127(2):447-51.
2. Madea B, Lignitz E, Bajanowski T. Traumatologie und gewaltsamer Tod: Kindestötungen. In: Madea B, editor. *Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung*. 3rd: Springer-Verlag; 2015. p. 338-42.
3. Bauer K, Groneck P, Speer CP. Intensivmedizin bei Früh-und Neugeborenen. In: Burchardi H, Larsen R, Kuhlen R, Jauch K-W, Schölmerich J, editors. *Die Intensivmedizin*. 10th ed: Springer-Verlag; 2007. p. 1218.
4. Walcher K. *Leitfaden der gerichtlichen Medizin für Ärzte und Medizinstudierende*. München: Urban & Schwarzenberg; 1950.
5. Hart AM. Docimasia Pulmonum Hydrostatica. From Galen to Ploucquet and back again. *Historia Medicinae*. 2009;Volume 1(Issue 1. E04.):2.
6. Obladen M. From Crime to Disease: Laws on Infanticide in the Modern Era. *Neonatology*. 2016;109(3):170-6.
7. Guddat SS, Gapert R, Tsokos M, Oesterhelweg L. Proof of live birth using postmortem multislice computed tomography (pmMSCT) in cases of suspected neonaticide: advantages of diagnostic imaging compared to conventional autopsy. *Forensic science, medicine, and pathology*. 2013;9(1):3-12.
8. Madea B. Aufgaben und Struktur des Faches: Geschichte der Lungenprobe. In: Madea B, editor. *Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung*. 3rd: Springer-Verlag; 2015. p. 2.
9. Alfsen GC, Ellingsen CL, Hernaes L. <<The child has lived and breathed.>> Forensic examinations of newborns 1910-1912. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2013;133(23-24):2498-501.
10. Schreyer J. *Erörterung und Erläuterung der Frage, Ob es ein gewiß Zeichen, wenn eines todten Kindes Lunge im Wasser untersincket, daß solches in Mutter-Leibe gestorben sey?*: Ammersbach; 1690.
11. Madea B. Thanatologie: Leichenschau. In: Madea B, editor. *Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung*. 3rd: Springer-Verlag; 2015. p. 36-45.
12. Staatskanzlei B. *Verordnung zur Durchführung des Bestattungsgesetzes 2014*, Juli 22 [Available from: [https:// www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBestV/True](https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBestV/True)].
13. AWMF online. *Regeln zur Durchführung der ärztlichen Leichenschau 2017* [Available from: <https://www.gesetze-bayern.de/Content/Document/BayBestV/True>].
14. Bajanowski T, Vennemann M. Plötzliche und unerwartete Todesfälle aus innerer Ursache: Säuglinge und Kleinkinder. In: Madea B, editor. *Rechtsmedizin: Befunderhebung, Rekonstruktion, Begutachtung*. 3rd: Springer-Verlag; 2015. p. 450.

15. Verbraucherschutz BdJu. Personenstandsgesetz (PStG) 2007 [updated July 20, 2017. Available from: <https://www.gesetze-im-internet.de/pstg/BJNR01221007.html>.
16. Reeske A, Kutschmann M, Razum O, Spallek J. Stillbirth differences according to regions of origin: an analysis of the German perinatal database, 2004-2007. *BMC pregnancy and childbirth*. 2011;11:63.
17. Flenady V, Koopmans L, Middleton P, Froen JF, Smith GC, Gibbons K, et al. Major risk factors for stillbirth in high-income countries: a systematic review and meta-analysis. *Lancet*. 2011;377(9774):1331-40.
18. Flenady V, Middleton P, Smith GC, Duke W, Erwich JJ, Khong TY, et al. Stillbirths: the way forward in high-income countries. *Lancet*. 2011;377(9778):1703-17.
19. Causes of death among stillbirths. *JAMA*. 2011;306(22):2459-68.
20. Gordijn SJ, Erwich JJ, Khong TY. Value of the perinatal autopsy: critique. *Pediatr Dev Pathol*. 2002;5(5):480-8.
21. Nesca M, Dalby JT. Maternal neonaticide following traumatic childbirth: a case study. *International journal of offender therapy and comparative criminology*. 2011;55(7):1166-78.
22. Craig M. Perinatal risk factors for neonaticide and infant homicide: can we identify those at risk? *Journal of the Royal Society of Medicine*. 2004;97(2):57-61.
23. Porter T, Gavin H. Infanticide and neonaticide: a review of 40 years of research literature on incidence and causes. *Trauma Violence Abuse*. 2010;11(3):99-112.
24. Trautmann-Villalba P, Hornstein C. Tötung des eigenen Kindes in der Postpartalzeit. *Nervenarzt*. 2007;78(11):1290-5.
25. Crittenden PM, Craig SE. Developmental trends in the nature of child homicide. *J Interpers Violence*. 1990;5(2):202-16.
26. Levene S, Bacon CJ. Sudden unexpected death and covert homicide in infancy. *Archives of disease in childhood*. 2004;89(5):443-7.
27. Resnick PJ. Murder of the newborn: a psychiatric review of neonaticide. *Am J Psychiatry*. 1970;126(10):1414-20.
28. Overpeck MD, Brenner RA, Trumble AC, Trifiletti LB, Berendes HW. Risk factors for infant homicide in the United States. *The New England journal of medicine*. 1998;339(17):1211-6.
29. Brooks RA. A quantitative theory of the Hounsfield unit and its application to dual energy scanning. *J Comput Assist Tomogr*. 1977;1(4):487-93.
30. Hünerbein R. Radiologische Verfahren: Computertomographie (CT). In: Reiser M, editor. *Radiologie*. Stuttgart: Thieme; 2017. p. 85-92.
31. Thomas AMK. Post-mortem imaging - development and historical review. In: Grabherr S, Grimm J, Heinemann A, editors. *Atlas of Postmortem angiography*: Springer International Publishing; 2016. p. 3-33.
32. Meadowcroft WH. *The ABC of the x-rays*: London: Simpkin, Marshall, Hamilton, Kent & Co.; 1896.
33. Grabherr S, Egger C, Vilarino R, Campana L, Jotterand M, Dedouit F. Modern post-mortem imaging: an update on recent developments. *Forensic Sciences Research*. 2017;2(2):52-64.
34. Krantz P, Holtas S. Postmortem computed tomography in a diving fatality. *J Comput Assist Tomogr*. 1983;7(1):132-4.

35. Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C, Ozdoba C, et al. Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)--a feasibility study. *Journal of forensic sciences*. 2003;48(2):386-403.
36. Grabherr S, Baumann P, Minoiu C, Fahrni S, Mangin P. Post-mortem imaging in forensic investigations: current utility, limitations, and ongoing developments. *Research and Reports in Forensic Medical Science*. 2016;6:25-37.
37. Christe A, Flach P, Ross S, Spendlove D, Bolliger S, Vock P, et al. Clinical radiology and postmortem imaging (Virtopsy) are not the same: Specific and unspecific postmortem signs. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*. 2010;12(5):215-22.
38. Thali MJ, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross SG, Dirnhofner R. VIRTOPSY - the Swiss virtual autopsy approach. *Leg Med (Tokyo)*. 2007;9(2):100-4.
39. Michiue T, Sakurai T, Ishikawa T, Oritani S, Maeda H. Quantitative analysis of pulmonary pathophysiology using postmortem computed tomography with regard to the cause of death. *Forensic science international*. 2012;220(1-3):232-8.
40. Michiue T, Ishikawa T, Kawamoto O, Sogawa N, Oritani S, Maeda H. Postmortem CT investigation of air/gas distribution in the lungs and gastrointestinal tracts of newborn infants: a serial case study with regard to still- and live birth. *Forensic science international*. 2013;226(1-3):74-80.
41. Schober D, Schwendener N, Zech WD, Jackowski C. Post-mortem CT: Hounsfield unit profiles obtained in the lungs with respect to the cause of death assessment. *International journal of legal medicine*. 2017;131(1):199-210.
42. StatSoft Inc. STATISTICA für Windows [Software-System für Datenanalyse, Version 9.1]; Eigenverlag: Tulsa, USA; 2010.
43. Ackermann H. Bias für Windows, Version 10. Frankfurt: epsilon-Verlag; 2012.
44. Nandalur KR, Hardie AH, Bollampally SR, Parmar JP, Hagspiel KD. Accuracy of computed tomography attenuation values in the characterization of pleural fluid: an ROC study. *Acad Radiol*. 2005;12(8):987-91.
45. Barber JL, Sebire NJ, Chitty LS, Taylor AM, Arthurs OJ. Lung aeration on post-mortem magnetic resonance imaging is a useful marker of live birth versus stillbirth. *International journal of legal medicine*. 2015;129(3):531-6.
46. Addison S, Arthurs OJ, Thayyil S. Post-mortem MRI as an alternative to non-forensic autopsy in fetuses and children: from research into clinical practice. *Br J Radiol*. 2014;87(1036):20130621.
47. Kellett RJ. Infanticide and child destruction--the historical, legal and pathological aspects. *Forensic science international*. 1992;53(1):1-28.
48. Levy AD, Harcke HT, Mallak CT. Postmortem imaging: MDCT features of postmortem change and decomposition. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2010;31(1):12-7.
49. Egger C, Bize P, Vaucher P, Mosimann P, Schneider B, Dominguez A, et al. Distribution of artifactual gas on post-mortem multidetector computed tomography (MDCT). *International journal of legal medicine*. 2012;126(1):3-12.
50. Fischer F, Grimm J, Kirchhoff C, Reiser MF, Graw M, Kirchhoff S. Postmortem 24-h interval computed tomography findings on intrahepatic gas development and

changes of liver parenchyma radiopacity. *Forensic science international*. 2012;214(1-3):118-23.

51. Filigrana L, Bolliger SA, Ross SG, Ruder T, Thali MJ. Pros and cons of post-mortem CT imaging on aspiration diagnosis. *Legal medicine (Tokyo, Japan)*. 2011;13(1):16-21.

52. Dressler J, Schmidt U, Hanisch U, Demmler G, Riehn A, Pollak S. Neonatal freshwater drowning after birth in the bathroom. *The American journal of forensic medicine and pathology*. 2011;32(2):119-23.

7 Anhang

7.1 Falldarstellungen 1-17

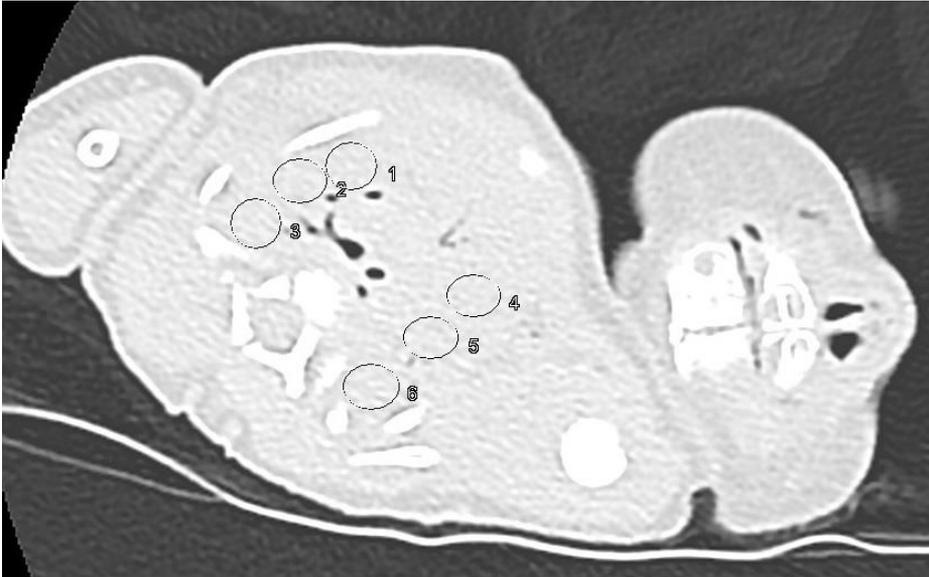
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 15a: Fallnr. 1 Ebene 2: axial



Abbildung 15 b: Fallnr. 1 Ebene 2: sagittal

Fallnr. 1: männlich; 55 cm; 2500 g; SP negativ; dHU-Wert 58; Td: Totgeburt

SP=Schwimmprobe; dHU-Wert=durchschnittlicher HU-Wert aller 36 ROIs; CPR=Z.n. kardiopulmonaler Reanimation;
Td=Todesursache

Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 16a: Fallnr. 2 Ebene 6: axial

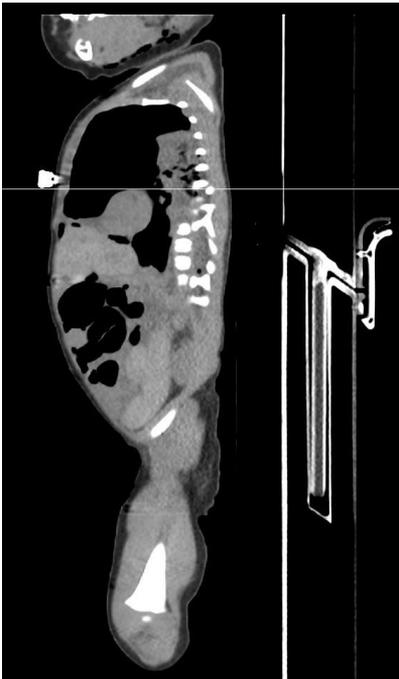


Abbildung 16b: Fallnr. 2 Ebene 6: sagittal

Fallnr. 2: männlich; 56 cm; 4380 g; SP negativ; dHU-Wert 55; Z.n. CPR; Td: Totgeburt

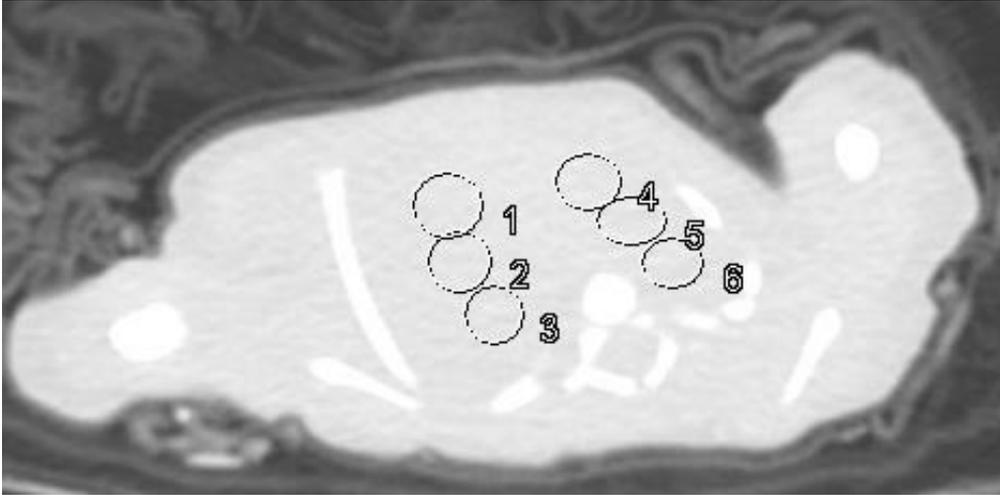
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 17a: Fallnr. 3 Ebene 4: axial

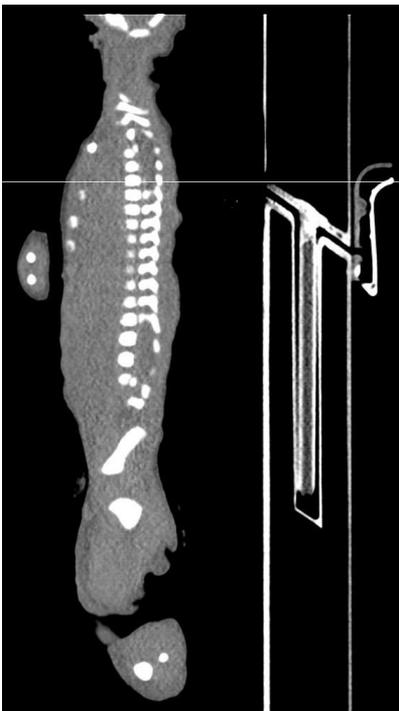


Abbildung 17b: Fallnr. 3 Ebene 4: sagittal

Fallnr. 3: männlich; 48 cm; 2166 g; SP negativ; dHU-Wert 46; Td: Totgeburt

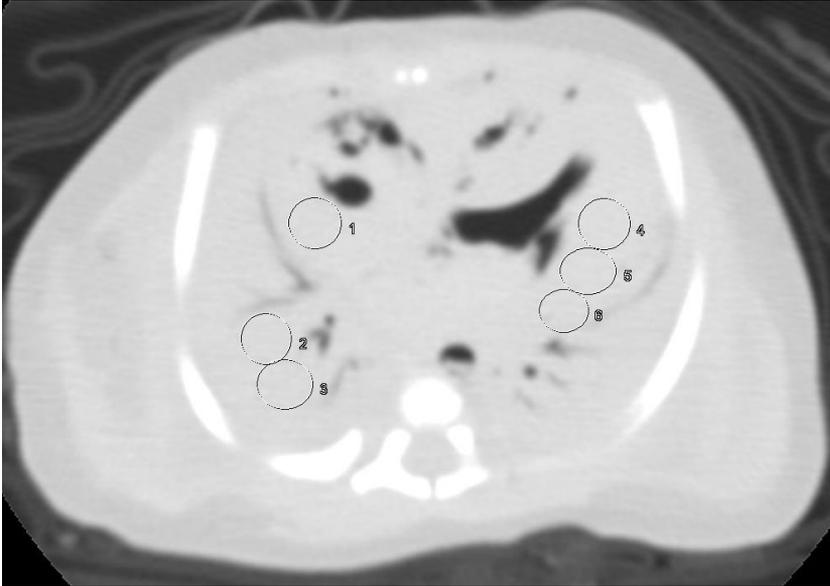
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 18a: FallNr. 4 Ebene 5: axial

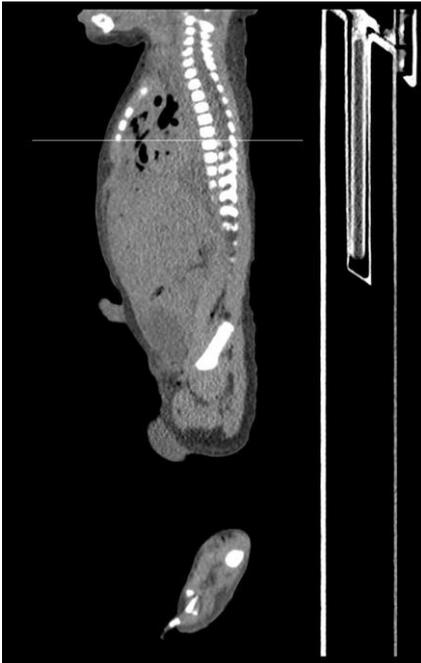


Abbildung 18b: FallNr. 4 Ebene 5:sagittal

FallNr. 4: männlich; 48 cm; 3260 g; SP negativ; dHU-Wert 38; Td: Totgeburt

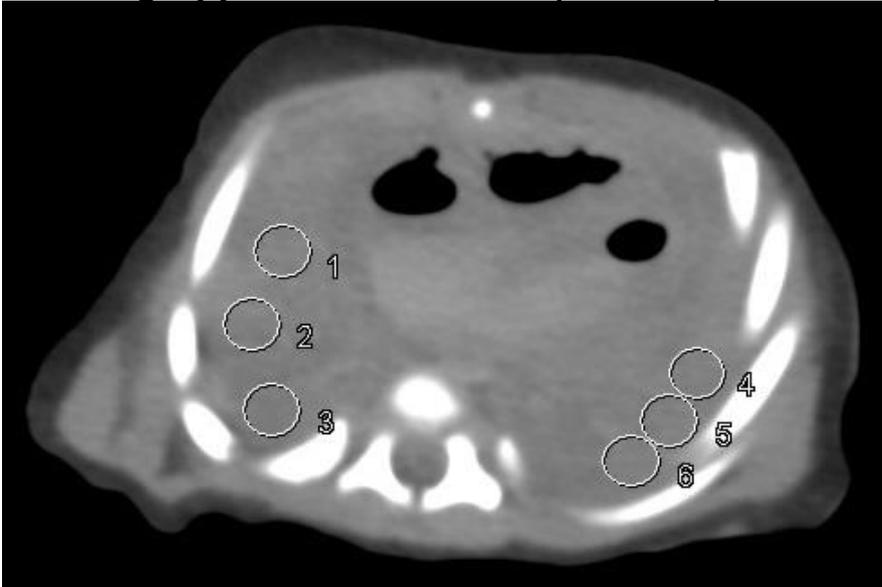
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 19a: Fallnr. 5 Ebene 5: axial

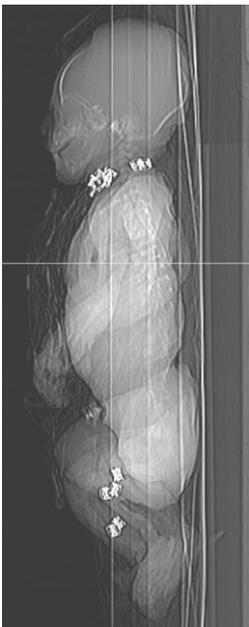


Abbildung 19b: Fallnr. 5 Ebene 5: Scout sagittal

Fallnr. 5: weiblich; 50 cm; 3296 g; SP negativ; dHU-Wert 40; Td: Totgeburt

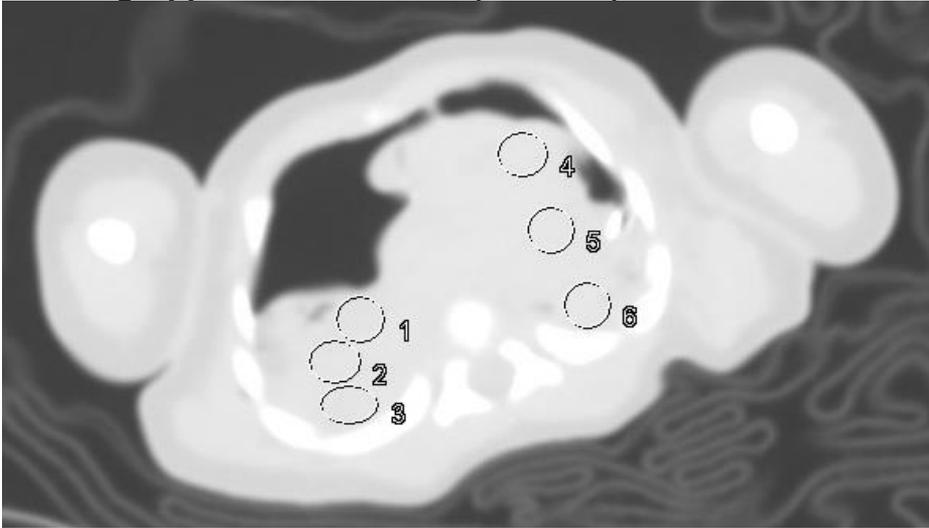
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 20a: Fallnr. 6 Ebene 6: axial



Abbildung 20b: Fallnr. 6 Ebene 6: Scout coronar

Fallnr. 6: männlich; 50 cm; 2878 g; SP negativ; dHU-Wert 22; Z.n. CPR; Td: Totgeburt

DD: Fruchtwasseraspiration

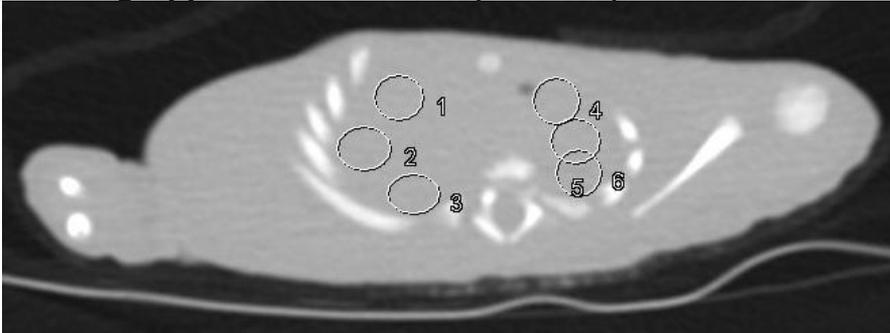
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 21a: Fallnr. 7 Ebene 3: axial



Abbildung 21b: Fallnr. 7 Ebene 3: sagittal

Fallnr. 7: weiblich; 42 cm; 1324 g; SP negativ; dHU-Wert 42; Td: Totgeburt

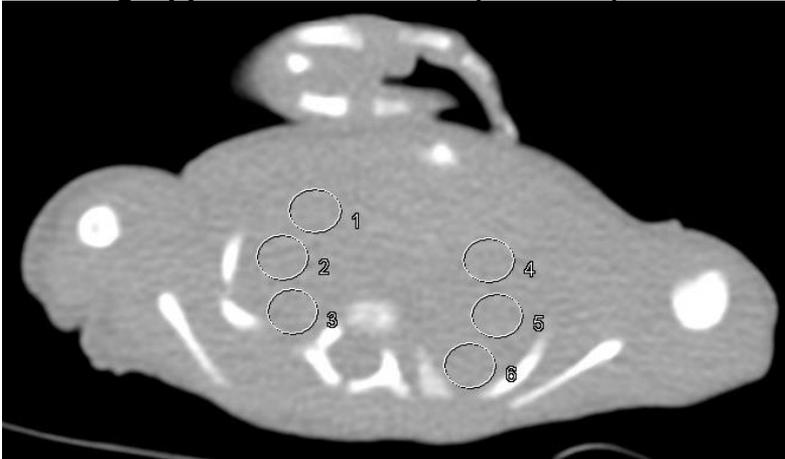
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 22a: Fallnr. 8 Ebene 1: axial



Abbildung 22b: Fallnr. 8 Ebene 1

Fallnr. 8: weiblich; 43 cm; 1708 g; SP negativ; dHU-Wert 42; Td: Totgeburt DD: Erstickung

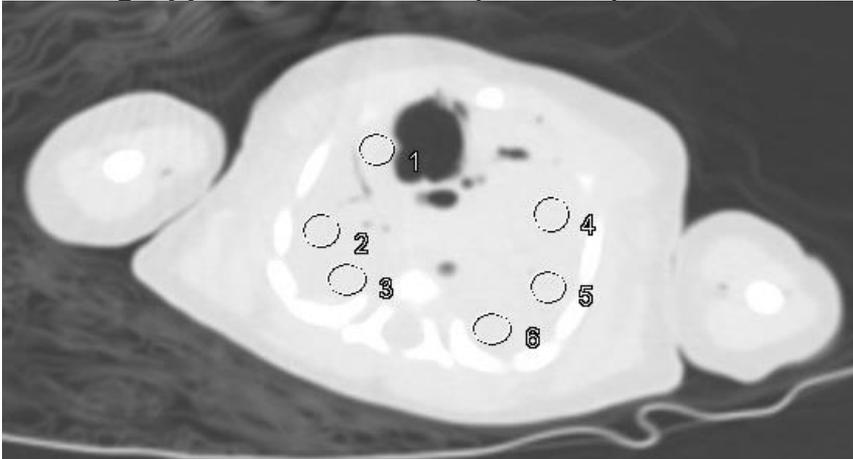
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 23a: Fallnr. 9 Ebene 5: axial



Abbildung 23b: Fallnr. 9 Ebene 5: sagittal

Fallnr. 9: männlich; 53 cm; 4162 g; SP negativ; dHU-Wert 57; Z.n CPR; Td: Totgeburt

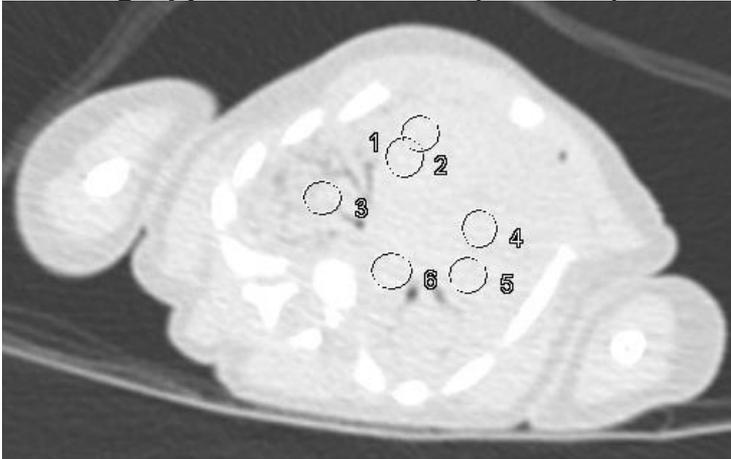
Studiengruppe 1a = unbelüftet (Fall 1-10)

Abbildung 24a: Fallnr. 10 Ebene 6: axial



Abbildung 24b: Fallnr. 10 Ebene 6: sagittal

Fallnr. 10: männlich; 55 cm; 3300 g; SP negativ; dHU-Wert 54; Td: Totgeburt DD: Erstickung

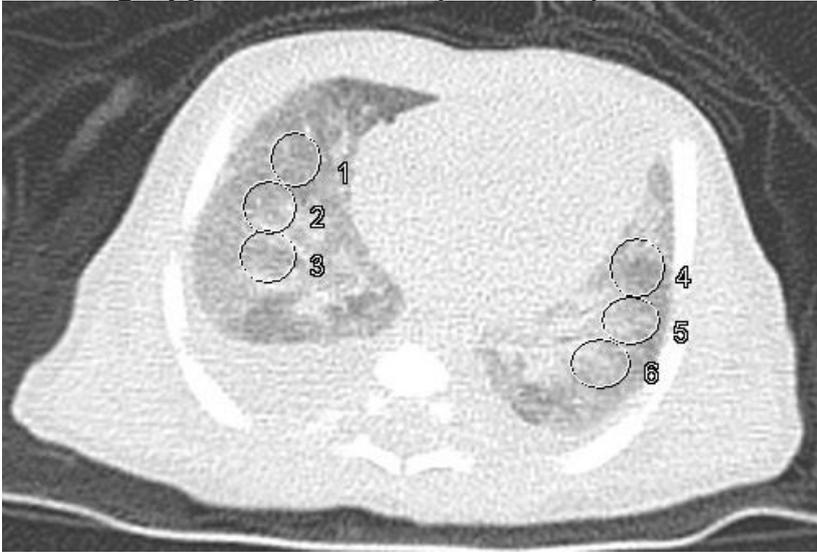
Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 25a: Fallnr. 11 Ebene 6: axial



Abbildung 25b: Fallnr. 11 Ebene 6: sagittal

Fallnr. 11: männlich; 50 cm; 2880 g; SP positiv; dHU-Wert -169; Z.n. CPR; Td: Totgeburt DD: Virusinfekt, Pneumonie

Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 26a: FallNr. 12 Ebene 5: axial



Abbildung 26b: FallNr. 12 Ebene 5: Scout coronar

FallNr. 12: männlich; 52 cm; 3312 g; SP nicht erfolgt; dHU-Wert 43; Z.n. CPR; Td: SHT/Unfall
DD: Pneumothorax

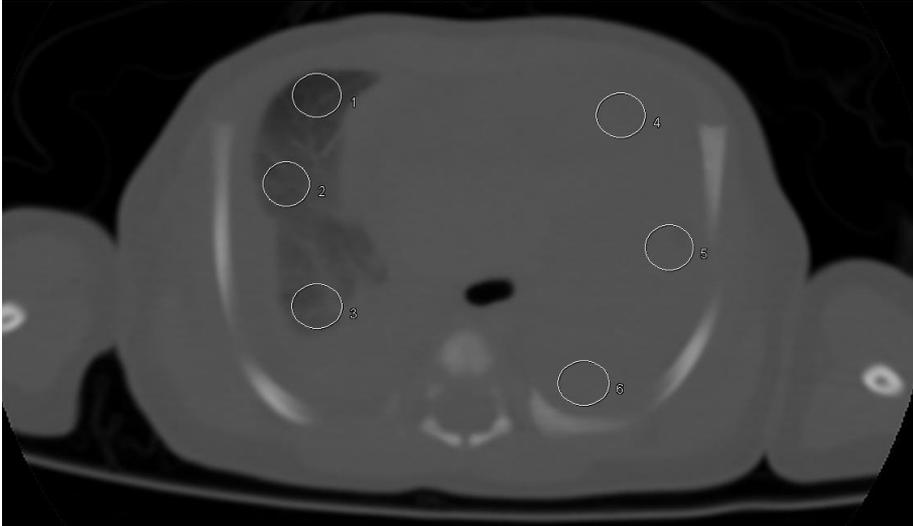
Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 27a: Fallnr. 13 Ebene 5: axial

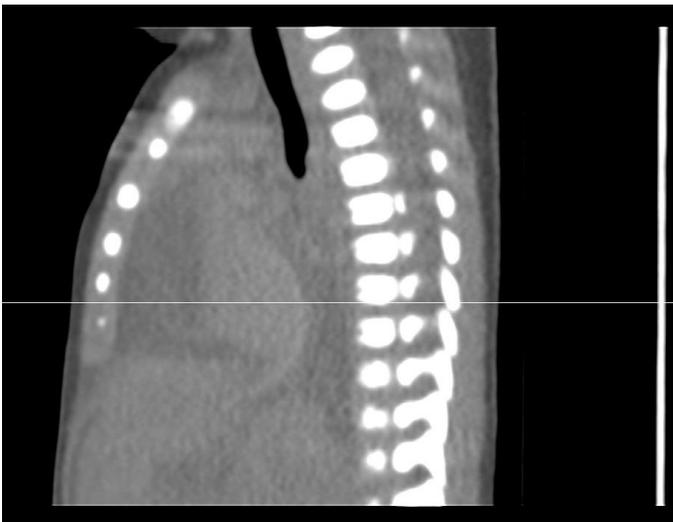


Abbildung 27b: Fallnr. 13 Ebene 5: sagittal

Fallnr. 13: männlich; 55 cm; 3744 g; SP nicht erfolgt; dHU-Wert -13; Td: Hypoxie infolge Herzmissbildung

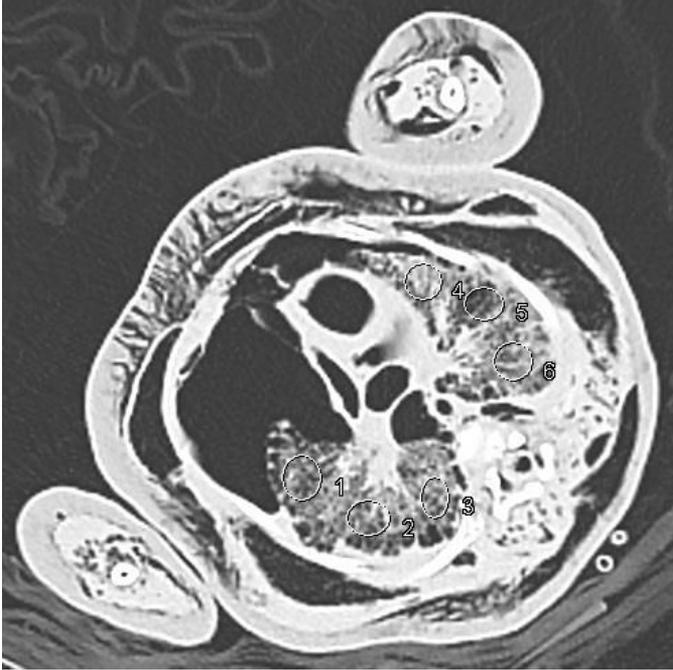
Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 28a: Fallnr. 14 Ebene 6: axial

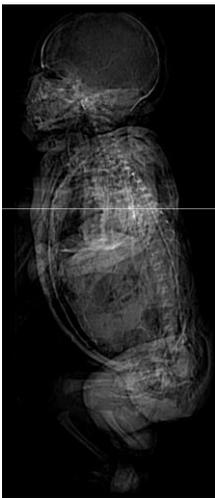


Abbildung 28b: Fallnr. 14 Ebene 6: Scout sagittal

Fallnr. 14: weiblich; 53 cm; 3880 g; SP positiv; dHU-Wert -572; Td: unklar DD: Tötung, Fäulnis

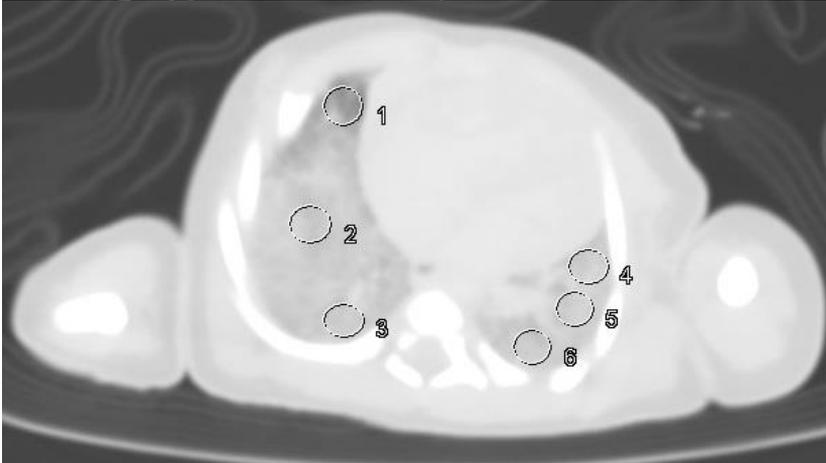
Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 29a: Fallnr. 15 Ebene 6: axial

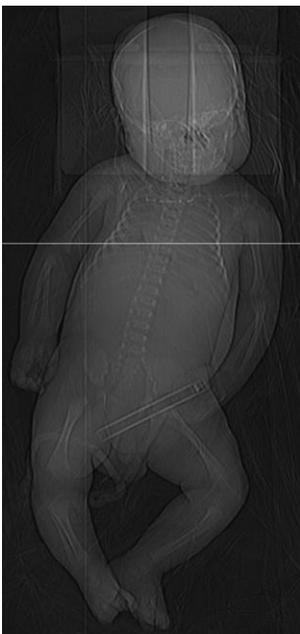


Abbildung 29b: Fallnr. 15 Ebene 6: Scout coronar

Fallnr. 15: männlich; 54 cm; 3768 g; SP positiv; dHU-Wert -117; Td: unklar DD: Tötung,
Mekoniumaspiration

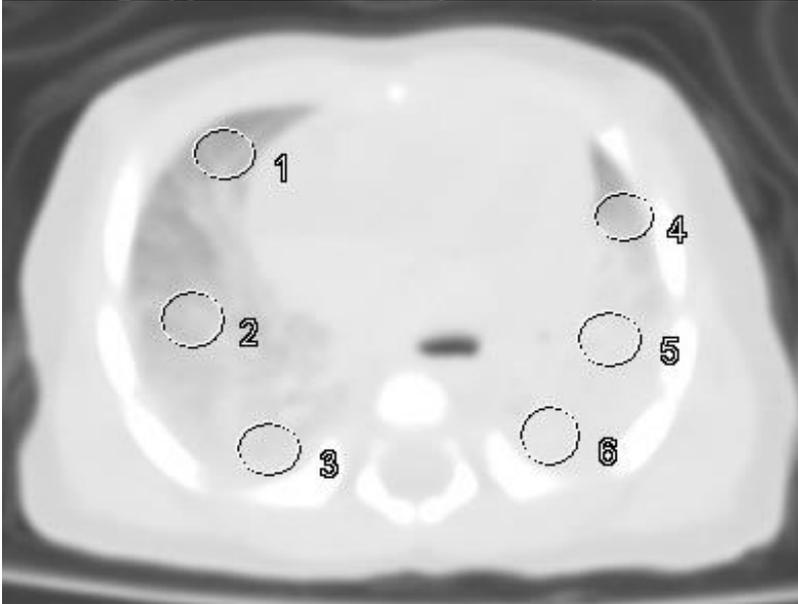
Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 30a: Fallnr. 16 Ebene 6: axial



Abbildung 30b: Fallnr. 16 Ebene 6: Scout coronar

Fallnr. 16: weiblich; 52 cm; 3302 g; SP nicht erfolgt; dHU-Wert -55; Td: unklar DD: Tötung

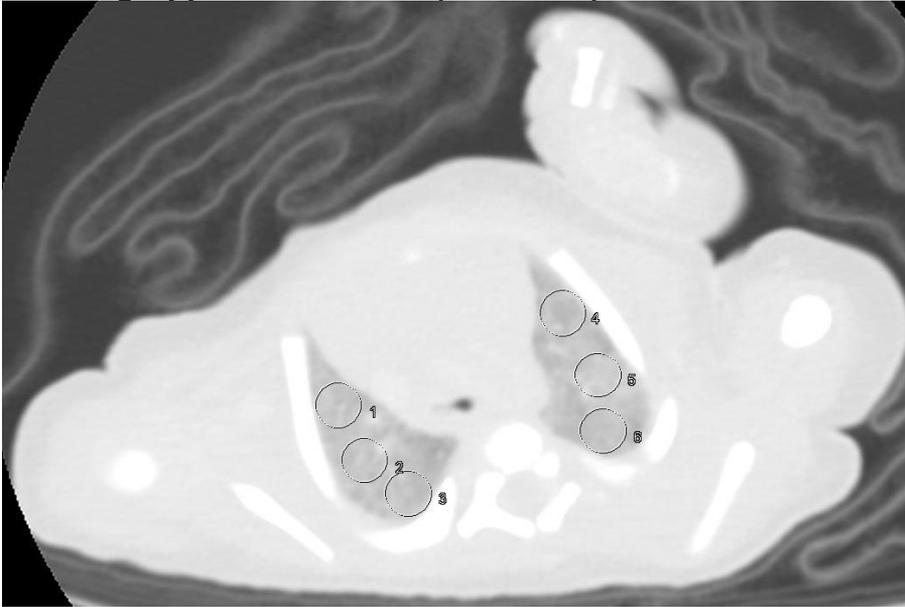
Studiengruppe 1b = belüftet (Fall 11-17)

Abbildung 31a: Fallnr. 17 Ebene 1: axial



Abbildung 31b: Fallnr. 17 Ebene 1: sagittal

Fallnr. 17: männlich; 49 cm; 3050 g; SP positiv; dHU-Wert -178; Td: unklar DD: Tötung, Fäulnis

7.2 Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

| | | |
|-----------------|---|----|
| TABELLE 1: | RISIKOFAKTOREN FÜR TOTGEBURTEN (17, 18) | 7 |
| TABELLE 2: | TODESURSACHEN BEI TOTGEBURTEN (MIT MEHRFACHNENNUNGEN) NACH (19) | 8 |
| TABELLE 3: | RISIKOFAKTOREN FÜR NEONATIZID..... | 11 |
| TABELLE 4: | DESKRIPTIVE DATEN | 31 |
| TABELLE 5: | ERGEBNISSE DER LUNGENSCHWIMMPROBE | 33 |
| TABELLE 6: | GRUPPENEINTEILUNG NACH AUTOPSIE | 34 |
| TABELLE 7: | ERGEBNISSE DER PMCT | 36 |
| TABELLE 8: | FALLÜBERSICHT | 38 |
| TABELLE 9: | DURCHSCHNITTLICHE HU-PARAMETER (DHU) FÜR DIE GRUPPE 1A | 40 |
| TABELLE 10: | DURCHSCHNITTLICHE HU-PARAMETER (DHU) FÜR DIE GRUPPE 1B | 40 |
| TABELLE 11: | ERGEBNISSE DER MANN-WHITNEY-U-TESTS GRUPPE 1A UND 1B..... | 41 |
| TABELLE 12: | DURCHSCHNITTLICHE HU-PARAMETER FÜR DIE GRUPPE 2..... | 43 |
| TABELLE 13: | ERGEBNISSE DER MANN-WHITNEY U- TESTS GRUPPEN 1B UND 2 | 43 |
| TABELLE 14: | DESKRIPTIVE KENNGRÖßEN FÜR DIE REGIONEN..... | 44 |
| TABELLE 15: | ERGEBNISSE DES FRIEDMAN-ANOVA TESTS | 44 |
| TABELLE 16: | ERGEBNIS DER ROC-ANALYSEN..... | 46 |
| | | |
| ABBILDUNG 1: | DR. JOHANN SCHREYERS ERÖRTERUNG UND ERLÄUTERUNG DER FRAGE..... | 3 |
| ABBILDUNG 2: | LUNGENSCHWIMMPROBE | 5 |
| ABBILDUNG 3A: | WORKFLOW PMCT IN SAGITTALER ANSICHT | 21 |
| ABBILDUNG 3B: | WORKFLOW PMCT IN AXIALER ANSICHT | 21 |
| ABBILDUNG 4A-D: | EBENE 1-4 STUDIENGRUPPE | 22 |
| ABBILDUNG 4E-F: | EBENE 5-6 STUDIENGRUPPE | 23 |
| ABBILDUNG 5A-D: | EBENE 1-4 KONTROLLGRUPPE | 24 |
| ABBILDUNG 5E-F: | EBENE 5-6 KONTROLLGRUPPE | 25 |
| ABBILDUNG 6: | ÜBERSICHT FÄLLE..... | 28 |
| ABBILDUNG 7: | BOXPLOT KÖRPERLÄNGE (CM)..... | 32 |
| ABBILDUNG 8: | BOXPLOT GEWICHT (G) | 32 |
| ABBILDUNG 9: | DIAGRAMM ERGEBNISSE LUNGENSCHWIMMPROBE STUDIENGRUPPE | 34 |
| ABBILDUNG 10: | DIAGRAMM ERGEBNISSE PMCT | 36 |
| ABBILDUNG 11: | BOXPLOT DHU-STUDIENGRUPPE | 41 |

| | |
|---|----|
| ABBILDUNG 12: BOXPLOT VERGLEICH REGIONEN DER GESAMTGRUPPE | 45 |
| ABBILDUNG 13: ROC-KURVE FÜR DEN PARAMETER HU-MITTELWERT | 47 |
| ABBILDUNG 14: KORRELATION VON HOUNSFIELD-EINHEITEN DER LUNGE UND TODESURSACHE | 54 |
| ABBILDUNG 15A/B: FALLNR. 1 | 68 |
| ABBILDUNG 16A/B: FALLNR. 2 | 69 |
| ABBILDUNG 17A/B: FALLNR. 3 | 70 |
| ABBILDUNG 18A/B: FALLNR. 4 | 71 |
| ABBILDUNG 19A/B: FALLNR. 5 | 72 |
| ABBILDUNG 20A/B: FALLNR. 6 | 73 |
| ABBILDUNG 21A/B: FALLNR. 7 | 74 |
| ABBILDUNG 22A/B: FALLNR. 8 | 75 |
| ABBILDUNG 23A/B: FALLNR. 9 | 76 |
| ABBILDUNG 24A/B: FALLNR. 10 | 77 |
| ABBILDUNG 25A/B: FALLNR. 11 | 78 |
| ABBILDUNG 26A/B: FALLNR. 12 | 79 |
| ABBILDUNG 27A/B: FALLNR. 13 | 80 |
| ABBILDUNG 28A/B: FALLNR. 14 | 81 |
| ABBILDUNG 29A/B: FALLNR. 15 | 82 |
| ABBILDUNG 30A/B: FALLNR. 16 | 83 |
| ABBILDUNG 31A/B: FALLNR. 17 | 84 |

8 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich bei der Anfertigung der vorliegenden Arbeit unterstützt haben.

Professor Dr. med. Matthias Graw möchte ich für die Ermöglichung hervorragender Arbeitsbedingungen in seinem Institut danken.

Professor Dr. med. Oliver Peschel danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und dafür, dass er immer in allen Fragen hilfsbereit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Professor Dr. med. Stefan Wirth danke ich für die kritische Durchsicht und die konstruktiven hilfreichen Kommentare.

Herrn Dr. med. Florian Fischer danke ich für Betreuung die er trotz seiner Belastung in Klinik und Forschung übernommen hat.

Herrn Dr. med. Jochen Grimm danke ich für die Betreuung und kompetente Unterstützung, insbesondere für die wertvollen Ratschläge bei der Auswertung der CT-Bilder.

Herzlichen Dank an die Mitarbeiter des Instituts für Rechtsmedizin sowie an die Mitarbeiter des Instituts für Klinische Radiologie, insbesondere den MTRAs.

Für Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse danke ich Herrn Dr. med. Hartmut Buhck, Herrn Dr.-Ing. Wolfgang Reimers sowie Frau Frauke Kuhn.

Ein weiteren Dank meinem Vater, der mir immer zur Seite stand, zum Verständnis vieler Quellen verhalf und mir wichtige sachliche Hinweise gab.

Weiterhin bedanke ich mich bei meiner Familie und Freunden, die durch ihre vielfältige Unterstützung zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Ich danke ihnen, dass sie mir immer wieder Kraft und Motivation im richtigen Moment gaben und zu konstruktiver und ehrlicher Kritik bereit waren.

Vielen Dank!

9 Eidesstattliche Versicherung

Bechstein, Laura

Ich erkläre hiermit an Eides statt,

dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema:

Lungenbelüftung bei Neugeborenen und Totgeburten: Vergleich von CT-Dichten und Schwimmprobe

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, 04.02.2020

Laura Bechstein