

VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNG VON CT- UND MR-
VIRTOPSISIE MIT DER KONVENTIONELLEN AUTOPSISIE BEI
KINDERN

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Regine Rudloff, geb. Wiegand
geboren am 22.09.1991 in Halle (Saale)

Gutachter

1. Herr Univ.-Prof. Dr. med. Hans-Joachim Mentzel, Universitätsklinikum Jena
2. Frau Univ.-Prof. Dr. med. Gita Mall, Universitätsklinikum Jena
3. Frau PD Dr. med. Sibylle Banaschak, Universitätsklinikum Köln

Tag der öffentlichen Verteidigung

03.05.2021

Ich widme diese Arbeit meinem Großvater Bruno Wiegand für sein immer offenes Ohr und seine guten Worte sowie meiner Schwester Ulrike Wiegand, auf die ich mich stets verlassen kann.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Zusammenfassung	9
2 Einleitung.....	11
2.1 Virtopsie – Die postmortale Bildgebung	11
2.1.1 Begriffsdefinition.....	11
2.1.2 Grundlagen der Computertomographie.....	11
2.1.3 Grundlagen der Magnetresonanztomographie	12
2.1.4 Wertigkeit der postmortalen Bildgebung	14
2.2 Autopsie – Die konventionelle Leichenöffnung	16
2.2.1 Begriffsdefinition.....	16
2.2.2 Aufbau eines Autopsieprotokolls	17
2.2.3 Wertigkeit der konventionellen Autopsie.....	19
3 Ziele der Arbeit	24
4 Patienten und Methodik	25
4.1 Patientenkollektiv	25
4.1.1 Vorauswahl der Patienten	25
4.1.2 Ausgewertetes Kollektiv	26
4.2 Gerichtsmedizinische Autopsie	26
4.2.1 Makroskopische und histologische Autopsie.....	26
4.2.2 Auswertung der Autopsie- und Histologieprotokolle.....	27
4.3 Postmortale Bildgebung	28
4.3.1 Postmortale Computertomographie.....	28
4.3.2 Postmortale Magnetresonanztomographie.....	28
4.3.3 Auswertung der postmortalen Bildgebung	29
4.4 Vergleich der Methoden und statistische Analyse	29
4.4.1 Auswertung der Todesursachen	30

4.4.2 Auswertung der Befunde nach Organsystemen.....	31
4.4.3 Statistische Analyse	32
4.5 Literaturrecherche	34
5 Ergebnisse	35
5.1 Todesursachen	35
5.1.1 Postmortale Bildgebung und makroskopische Autopsie	36
5.1.2 Postmortale Bildgebung und Histologische Autopsie	37
5.1.3 Postmortale Bildgebung und kumulative konventionelle Autopsie.....	37
5.1.4 Todesursache Infektion.....	40
5.2 Betrachtung der einzelnen Organsysteme und Körperabschnitte	42
5.2.1 Zerebrale Befunde.....	42
5.2.2 Kephale Befunde	46
5.2.3 Zervikale Befunde.....	48
5.2.4 Pulmonale Befunde	50
5.2.5 Kardiale Befunde	55
5.2.6 Thorakale Befunde.....	57
5.2.7 Abdominale und retroperitoneale Befunde	60
5.2.8 Skelettale Befunde	62
5.2.9 Sonstige Befunde	65
6 Diskussion	69
6.1 Kann durch eine ergänzende Bildgebung ein Mehrge­win­n an Information gegenüber der Autopsie erzielt werden?	69
6.2 Kann eine ergänzende postmortale Bildgebung zur Aufklärung der Todesursache beitragen?	70
6.3 Welche Unterschiede gibt es in der Detektion pathologischer Einzelbefunde der einzelnen Körperregionen und Organsysteme?.....	71
6.4 Welche Unterschiede können zwischen den Modalitäten CT und MRT im postmortalen Setting festgestellt werden?.....	73

6.5	Stellt die Virtopsie eine angemessene Alternative zur konventionellen Autopsie dar und wenn ja, in welchen Fällen?	75
6.6	Sollte generell vor jeder Autopsie eine Bildgebung durchgeführt werden, um essenziell wichtige Informationen zur Aufklärung eines Todesfalls nicht zu übersehen?	77
6.7	Ist die postmortale Bildgebung allein bzw. in Kombination mit einer äußeren Leichenschau und gezielter Probeentnahme in der Lage, unter Zusammenschau aller Erhebungen die Todesursache festzustellen?	78
6.8	Können die Virtopsie und die konventionelle Autopsie als gleichwertige Methoden betrachtet werden?	80
6.9	Könnte in Zukunft nach einer stattgefundenen postmortalen Bildgebung völlig auf eine Autopsie verzichtet werden?	80
6.10	Limitationen der Arbeit	81
6.10.1	Studiendesign	81
6.10.2	Terminologie und interdisziplinäre Zusammenarbeit	84
6.10.3	Untersuchtes Patientenkollektiv und statistische Auswertung	85
6.11	Ausblick: Wertigkeit der Virtopsie im Rahmen von Ermittlungs- und Gerichtsverfahren	86
7	Schlussfolgerungen	88
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	90
9	Anhang	94
9.1	Danksagung	94
9.2	Zusatzmaterial	95
9.2.1	Abbildungsverzeichnis	95
9.2.2	Tabellenverzeichnis	95
9.2.3	Tabelle nicht aufgenommener Befunde	99
9.2.4	Auszüge aus GOÄ, Vereinbarung UV/Pathologie und JVEG	100
9.4	Ehrenwörtliche Erklärung	102

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
AGFB	Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
bds.	beidseits
BVK	Blasenverweilkatheter
cCT	Kraniale Computertomographie
cMRT	Kraniale Magnetresonanztomographie
CO	Kohlenmonoxid
CT	Computertomographie
DGRM	Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin
DWI	diffusion-weighted imaging/diffusionsgewichtete Bildgebung
EDH	Epiduralhämatom
engl.	Englisch
FLAIR	Fluid-Attenuated-Inversion-Recovery-Sequenz
GOÄ	Gebührenordnung für Ärzte
HA	histologische Autopsie
HE	Hounsfield-Einheit
IBM	International Business Machines Corporation
JVEG	Justizvergütungs- und -entschädigungsgesetz
KKA	Kumulative konventionelle Autopsie
kVp	kilovoltage peak (Röhrenspannung)
lat.	Latein
MA	makroskopische Autopsie
mAs	Milliamperesekunden (Röhrenstrom-Zeit-Produkt)
MIA	minimal-invasive Autopsie
mm	Millimeter
MR	Magnetresonanz
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
PACS	Picture Archiving and Communication System

PEG	perkutane endoskopische Gastrostomie
PMBG	postmortale Bildgebung
PMCTA	postmortale CT-Angiographie
PMI	post-mortem imaging
RIS	Radiologie-Informations-System
SAB	Subarachnoidalblutung
SDH	Subduralhämatom
SIDS	Sudden infant death syndrome/plötzlicher Kindstod
SL	Second look
SPACE	Sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution (MRT-Sequenz)
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (ursprünglich)
STIR	Short-Tau-Inversion-Recovery-Sequenz
StPO	Strafprozessordnung
SUDI	Sudden unexpected death in infants
SWI	susceptibility-weighted imaging/suszeptibilitätsgewichtete Bildgebung
UV	Unfallversicherung
WHO	World Health Organization (Weltgesundheitsorganisation)
Z.n.	Zustand nach
ZVK	Zentraler Venenkatheter

1 Zusammenfassung

Die postmortale Bildgebung bzw. Virtopsie ist international Gegenstand aktueller Forschung, wobei die Datenlage vor allem für das Kindesalter sehr schwach ist und sich auf wenige Studien mit kleinen Fallzahlen beschränkt. Um einen Beitrag zur Schließung dieser Forschungslücke zu leisten, wird in der vorliegenden Arbeit die Aussagefähigkeit der Virtopsie analysiert. Dabei wird insbesondere die Frage berücksichtigt, inwieweit die Virtopsie einen zusätzlichen Informationsgewinn erzielt bzw. eine Alternative zur konventionellen Autopsie bei Kindern darstellt.

Virtopsie, eine Verschmelzung der Worte „*virtuell*“ und „*Autopsie*“, bezeichnet die Möglichkeit zur forensischen Untersuchung eines Leichnams mittels bildgebender Verfahren. Unter dem Begriff der konventionellen Autopsie wird in dieser Arbeit die gerichtsmedizinische Obduktion mit oder ohne anschließende histologische Untersuchung verstanden.

Die Daten von 52 obduzierten Kindern (30 Jungen und 22 Mädchen im Alter von 0 bis 10 Jahren) wurden retrospektiv ausgewertet. Alle Kinder wurden vor der Autopsie mittels 64-Zeilen-CT und 17 Kinder zusätzlich mittels 1,5-Tesla-Ganzkörper-MRT untersucht. In 30 Fällen wurden zudem die im Rahmen der Obduktion entnommenen Organe histologisch aufgearbeitet.

Verglichen wurden die Ergebnisse der Virtopsie bezogen auf die ermittelte Todesursache und die erhobenen Einzelbefunde, geordnet nach Körperregionen und Organsystemen, mit der makroskopischen Autopsie, den Ergebnissen der Histologie und dem kumulativen konventionellen Autopsiebefund. Die Todesursache „*Infektion*“ wurde gesondert statistisch betrachtet. Die Analyse der Virtopsie erfolgte zunächst geblindet und zu einem späteren Zeitpunkt erneut unter Kenntnis des Autopsiebefundes im Second look.

Bei den ermittelten Todesursachen bestand eine vollständige Übereinstimmung zwischen Virtopsie und kumulativer konventioneller Autopsie bei „*Strangulation*“, „*Trauma*“ und „*Volvulus*“. Bei der Beurteilung der Todesursache „*Intrauteriner Fruchttod*“ stimmten die Ergebnisse der o.g. Methoden in 66,7 % überein, bei „*Infektion*“ in 53,3 % und bei „*Sonstigen*“ Todesursachen (plötzlicher Kindstod, Intoxikation, Überhitzung, Enzephalomalazie) in 25,0 %. Ein Tod durch Erstickten oder Ertrinken konnte in keinem Fall eindeutig durch die Virtopsie detektiert werden. Allerdings ließen sich indirekte Hinweise finden wie Flüssigkeitsaspiration, akute Rechtsherzbelastung oder Lungenüberblähung.

Die Virtopsie wies zuverlässig eingebrachtes Fremdmaterial, Flüssigkeitsansammlungen (z.B. Pleuraergüsse), pneumonische Infiltrate sowie Belüftungsstörungen der Lunge nach und konnte wichtige Zusatzbefunde im Bereich der knöchernen Strukturen (z.B. Frakturen) liefern. Die Bildgebung war der Autopsie in der Detektion von umschriebenen Luftansammlungen (z.B. Pneumothorax), in der Verifizierung von Frakturen, im Flüssigkeitsnachweis in Nasennebenhöhlen, Mittelohr und Mastoidzellen sowie in der Beurteilung von Lymphadenopathien überlegen. Die kumulative konventionelle Autopsie erwies sich als die bessere Methode beim Erkennen von Petechien, die zwar unspezifisch, aber wegweisend bei der Diagnose eines Erstickungstodes sowie in der Feststellung und Interpretation äußerer Verletzungsbefunde sind. In der histologischen Autopsie konnten v.a. Infektionen verifiziert werden. Der Second look der Virtopsie erbrachte nur in geringem Ausmaß neue Erkenntnisse (z.B. sehr schmale Ergüsse).

Aufgrund der geringen Fallzahl und der heterogenen Befunde war die Durchführung statistischer Tests nur eingeschränkt möglich. Durch den ausschließlich qualitativen Vergleich von CT- und MRT-Befunden ließ sich kein direkter statistischer Vergleich zwischen beiden bildgebenden Modalitäten ziehen.

Auf Grundlage der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lässt sich ableiten, dass die Virtopsie die Autopsie zwar nicht ersetzen kann, jedoch abhängig von der Fragestellung eine hilfreiche zusätzliche Methode zur Feststellung der Todesursache und der Todesumstände darstellt. Eine wegweisende Funktion könnte die Virtopsie insbesondere beim Erkennen von infektionsbedingten Todesursachen einnehmen. Bei Ablehnung einer Autopsie kann die Virtopsie zusammen mit einer äußeren Leichenschau und gezielter Gewebeprobenentnahme als eine alternative, obwohl nicht gleichwertige postmortale Untersuchung in Frage kommen. Eine flächendeckende Virtopsie könnte zudem durch eine präzisere Todesursachenstatistik indirekt zur Qualitätssicherung und zur Verbesserung der medizinischen Versorgung beitragen. Denkbar wäre auch eine standardmäßige Virtopsie und abhängig vom Ergebnis die Entscheidung für oder gegen eine (klinische) Autopsie. V.a. bei nicht erfolgter Histologie und bei spezifischen Fragestellungen ist die postmortale Bildgebung eine wertvolle Ergänzung zur Autopsie. So ließen sich die Stärken beider Methoden verbinden und ausschöpfen.

Generell sollte der interdisziplinäre Dialog verbessert werden, z.B. in Form eines postmortalen Konsils von Klinikern, Radiologen und Rechtsmedizinern bzw. Pathologen, um die Fehlinterpretation von Befunden zukünftig zu vermeiden.

2 Einleitung

2.1 Virtopsie – Die postmortale Bildgebung

2.1.1 Begriffsdefinition

Virtopsie bzw. Virtopsy[®] ist eine Zusammenführung der Begriffe „*virtuell*“ (engl. virtual) und „*Autopsie*“ (engl. autopsy). In dieser Dissertation wird der deutsche Begriff Virtopsie oder postmortale Bildgebung verwendet.

Die Virtopsie umfasst die Erhebung, Dokumentation, Analyse und Nachbearbeitung postmortalen Befunde von CT und MRT (Dirnhofer et al. 2006). Diese Form der Untersuchung und Befundung ist als Möglichkeit einer forensischen Bildgebung zu verstehen. Vorreiter für diese Art der Bildgebung ist eine Forschungsgruppe der Institute für Rechtsmedizin, Diagnostische Radiologie und Neuroradiologie der Universität Bern mit dem Namen „Virtopsy Project“. Dieses Projekt kombiniert die Autopsie und die moderne Bildgebung und möchte so eine neue Art der Dokumentation mit dem Ziel einer höheren Genauigkeit etablieren. Durch einen systematischen Vergleich von Befunden aus konventioneller Autopsie und bildgebenden Verfahren wird dieses Vorgehen validiert (Dirnhofer et al. 2006).

2.1.2 Grundlagen der Computertomographie

Das Prinzip der postmortalen CT ist äquivalent zu der CT beim Lebenden. Mithilfe der Grundbauteile Röntgenröhre, Detektor, Steuer- und Bildrechner werden überlagerungsfreie röntgendensitometrische Schnittbilder mit hoher Ortsauflösung in den drei Raumebenen erzeugt (Alkadhi et al. 2011, Buzug 2004). Dabei rotieren die Röntgenröhre und der Detektor in der Gantry (Scan-Einheit) auf einer Kreisbahn um den Patienten, der auf einem beweglichen Untersuchungstisch kontinuierlich durch die Gantry geschoben wird. Die ausgesendeten Röntgenstrahlen werden durch parallele Kollimation (Parallelrichtung der Strahlen) zu einem dünnen Fächer gebündelt. Dieser Fächer definiert die Schichtdicke. Treten Röntgenstrahlen durch den Patienten hindurch, werden sie, abhängig von der Gewebedichte und -dicke unterschiedlich stark abgeschwächt. Detektoren erfassen den abgeschwächten Röntgenstrahl und aus der lokalen Schwächung erfolgt verschiedene mathematische Analysemodelle eine Bildrekonstruktion. Das entstehende Grauwert-Bild entsteht durch Codierung der lokalen Röntgenschwächung in CT-Werte (Dichteschätzwerte in Hounsfield-Einheiten (HE)) (Alkadhi et al. 2011). Dabei kann jedem Gewebe ein typischer Hounsfield-Wert zugeordnet werden (Buzug 2004). Wasser liegt definitionsgemäß auf der Hounsfield-

Skala bei 0 HE, Kalk bei bis zu +1000 HE und Luft bei -1000 HE. Dementsprechend erfolgt die Zuordnung der verschiedenen Gewebe in das jeweilige Spektrum (z.B. frisches Blut mit einem Wert von 40 – 60 HE, seröse Flüssigkeit bei 10 – 20 HE). Aus einem Spiral-CT-Datensatz können zweidimensionale Bilder in beliebiger Ebene und dreidimensionale (3D) Abbildungen des untersuchten Volumens rekonstruiert werden (Vogl et al. 2011).

Multidetektorsysteme mit parallel angeordneten Detektoren (Mehr-Zeilen-Scanner mit vier bis mehr als 256 Detektorzeilen) verfügen über die Möglichkeit, bei einer Rotation die Rohdaten aus entsprechend vielen Schichten zeitgleich zu erfassen. Der Vorteil dieser Systeme liegt in einer verringerten Untersuchungsdauer mit geringeren Bewegungsartefakten (Vogl et al. 2011), was in der postmortalen Untersuchung allerdings keine Rolle spielt.

Die CT ist das Verfahren der ersten Wahl zur Beurteilung von knöchernen Strukturen und von Verkalkungen sowie zur Darstellung lufthaltiger Strukturen, wie z.B. des Lungenparenchyms. Zudem zählt die kraniale CT (cCT) bei Schlaganfällen und beim Schädel-Hirn-Trauma aufgrund seiner Schnelligkeit und hohen Verfügbarkeit zur Basisdiagnostik im klinischen Alltag. Bei der Beurteilung von Weichteilen ist die CT der MRT unterlegen (Reiser et al. 2011).

2.1.3 Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Die MRT ist ein Schnittbildverfahren, das keine ionisierende Röntgenstrahlung verwendet und somit von erheblichem Vorteil bei der Untersuchung des Lebenden ist. Dieses Verfahren nutzt die im Folgenden beschriebene Eigenschaft von Atomkernen mit ungerader Nukleonenzahl, z.B. des Wasserstoffprotons (Weishaupt et al. 2009). Die positive Ladung eines Protons umkreist mit einer stoffspezifischen Geschwindigkeit die eigene Achse. Dieses Phänomen wird als Eigendrehimpuls bzw. Kernspin bezeichnet und induziert ein eigenes Magnetfeld. Im menschlichen Körper liegen viele dieser Atomkerne mit eigenem Magnetfeld vor, welche im Normalzustand ungeordnet sind und sich folglich gegenseitig aufheben. Wird ein äußeres stärkeres Magnetfeld angelegt, ordnen sich die Kernteilchen entlang der Feldlinien an. Die Atomkerne bewegen sich nun um die Längsachse des angelegten Magnetfeldes in der sogenannten Präzessions- oder Lamorfrequenz, also in einer durch das Magnetfeld vorgegebenen Geschwindigkeit (Weishaupt et al. 2009). Die Lamorfrequenz ist abhängig vom angeregten Stoff und der Stärke des angelegten Magnetfeldes. Letztere wird in Tesla angegeben (Rinck 2019). Klinische MR-Tomographen arbeiten derzeit mit Feldstärken von 0,2 Tesla (Niederfeldsysteme) bis 7 Tesla (Hochfeldsysteme); am weitesten verbreitet im klinischen Alltag sind 1,5 und 3 Tesla MR-Tomographen (Rinck 2019).

Die Ausrichtung der Atomkerne und die Larmorfrequenz ermöglichen das physikalische Phänomen der Resonanz. Mithilfe eines senkrecht zum statischen Magnetfeld des Scanners angelegten Hochfrequenzimpulses mit der Larmorfrequenz werden die Protonen angeregt. Wird der Impuls beendet, kehren die Kernteilchen in ihren Grundzustand zurück und richten sich wieder entlang der Hauptachse des statischen Magnetfeldes in paralleler oder antiparalleler Orientierung aus (Relaxation). Die aufgenommene Energie wird wieder von den Teilchen abgegeben, was mittels Spulen gemessen und zur Bilderzeugung genutzt wird (Rinck 2019).

Die Rückkehr in den Grundzustand verursacht gleichzeitig eine longitudinale Relaxation bzw. Längsrelaxation und eine transversale Relaxation bzw. Querrelaxation (Weishaupt et al. 2009). Bei der Längsrelaxation erfolgt eine Rückkehr in die Längsmagnetisierung. Hierbei wird Energie an die Umgebung abgegeben. Auf diesem Phänomen basiert die T1-Wichtung der Magnetresonanztomographie. Die Querrelaxation hingegen ist die Desynchronisation der Teilchenbewegung um die Längsachse des Magnetfeldes, also der Präzessionsbewegung. (Weishaupt et al. 2009). Die Querrelaxation ist das Grundprinzip der T2-Wichtung. Um die magnetischen Impulse messbar zu machen, erfolgt eine mehrmalige Anregung der Kernteilchen. Diese Folge mehrerer Hochfrequenzimpulse wird als Pulssequenz bezeichnet. Die Zeit zwischen zwei aufeinanderfolgenden Anregungen derselben Schicht wird mit der Repetitionszeit (TR) angegeben. Unter der Echozeit (TE) versteht man die Zeitspanne von der Anregung der Kernteilchen bis zur Messung eines Signals. Repetitions- und Echozeit sind ausschlaggebende Parameter für den Bildkontrast (Vogl et al. 2011).

In der MRT kommen verschiedene Pulssequenzen zum Einsatz. Auf die in dieser Arbeit verwendeten Sequenzen soll an dieser Stelle kurz eingegangen werden. In der Spin-Echo-Sequenz erfolgt die Anregung durch einen schichtselektiven Impuls. Diese Sequenz ist aufgrund ihrer relativ niedrigen Störanfälligkeit durch eine sehr gute Bildqualität gekennzeichnet. Ein Nachteil dieser Methode ist die lange Untersuchungszeit und dadurch höhere Anfälligkeit für Bewegungsartefakte. Dies spielt jedoch bei der postmortalen Bildgebung eine untergeordnete Rolle. Als neue Form der Spin-Echo-Sequenz ermöglicht die SPACE (Sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution) eine 3D-Rekonstruktion des Datensatzes (El Shafie et al. 2018). Um die Signale bestimmter Gewebe zu unterdrücken und damit die übrigen Gewebe besser beurteilen zu können, gibt es zudem die Möglichkeit der Inversion-Recovery-Sequenz. Die beiden klinisch relevanten Formen dieser Methode sind einerseits die Fluid-Attenuated-Inversion-Recovery-

Sequenz (FLAIR) und andererseits die Short-Tau-Inversion-Recovery-Sequenz (STIR). Die FLAIR mit der Unterdrückung von Liquorsignalen eignet sich besonders gut zur Darstellung zerebraler Läsionen (Vogl et al. 2011). Mit der STIR wird eine Fettsuppression ermöglicht (Vogl et al. 2011). Die susceptibilitätsgewichtete Bildgebung (SWI) dient vor allem der Beurteilung der venösen Gefäße und der Darstellung von Hämorrhagien im Gehirn (Luo et al. 2018, Deistung et al. 2006). Zur Darstellung des Hirngewebes wird in zunehmendem Maße die diffusionsgewichtete Bildgebung (DWI) genutzt, die vor allem bei der Suche nach Diffusionsstörungen im Rahmen von möglichen axonalen Schädigungen beim Schütteltrauma, bei akzidentiellen Verletzungen aber auch bei Zustand nach Hypoxie oder Ischämie sowie zur Differenzierung von Tumoren nützlich ist (Takayasu et al. 2018).

Zur Beurteilung von Weichteilgewebe, Tumoren, Entzündungen und des zentralen Nervensystems ist die MRT im klinischen Alltag am besten geeignet. Bei der Beurteilung von Frakturen und Verkalkungen hingegen ist sie nicht die Methode der Wahl (Vogl et al. 2011, Reiser et al. 2011).

2.1.4 Wertigkeit der postmortalen Bildgebung

Eine erste postmortale bildgebende Untersuchung erfolgte bereits 1977 an Patienten mit Kopfschusswunden und damit einhergehenden Verletzungen (Wullenweber et al. 1977). Mittlerweise gilt die Virtopsie als eine neuartige, untersucherunabhängige Methode, welche die Fachbereiche Pathologie bzw. Rechtsmedizin, Radiologie, Bildverarbeitung, Physik und Biomechanik vereint (Joseph et al. 2017).

Innerhalb der letzten Jahre hat sich die postmortale Bildgebung zu einem wichtigen diagnostischen Werkzeug entwickelt (Lundström et al. 2012, Roberts et al. 2012, Underwood 2012). In weiten Teilen Europas, Australiens und in den USA wird die postmortale Bildgebung inzwischen routinemäßig als Bestandteil forensischer Untersuchungen der Rechtsmedizin durchgeführt (Bolliger und Thali 2015, Cirielli et al. 2018, Ruder et al. 2013). Aktuelle Studien sehen zudem großes Potenzial für die postmortale CT in der schnellen Identifizierung von Verstorbenen anhand spezifischer Charakteristika von Zähnen, Nasennebenhöhlen, Skelettveränderungen oder eingebrachtem chirurgischem Material (Lundström et al. 2012). Dies könnte beispielsweise bei Ereignissen mit vielen Todesfällen zu einem wichtigen Werkzeug zur Identifizierung von Leichnamen werden (Bolliger und Thali 2015). Bei Verbrennungsoffern und teilmumifizierten Leichen kann die CT mithilfe von 3D-Rekonstruktionen zur Personenidentifikation angewandt werden (Sakuma et al. 2010). Auch zur Rekonstruktion von Verletzungsmechanismus und -ursache, z.B. bei Autounfällen, kann

die Beurteilung der Körperoberfläche mittels 3D-Scan beitragen (Bolliger et al. 2008, Thali et al. 2005).

Vor Gericht werden Ergebnisse der postmortalen Bildgebung bislang nur gemeinsam mit Ergebnissen der Autopsie präsentiert und gewertet (Bolliger und Thali 2015). Während es bei klassischen radiologischen Befunden wie Frakturen oder dem Nachweis von Fremdkörpern (z.B. Schusswaffen-Projektilen) bereits eine hohe Akzeptanz gibt, sind andere Befunde, wie bspw. Lungenveränderungen bei einer Pneumonie, nur durch die bereits etablierten Methoden der Autopsie und der Histologie anerkannt (Bolliger und Thali 2015). Aktuelle Studien geben eine Genauigkeit der Virtopsie bei der Identifikation der Todesursache von ca. 80 % und eine Überlegenheit gegenüber der Autopsie bei der Detektion von Frakturen an (Joseph et al. 2017).

Am Universitätsklinikum Jena gehört die Virtopsie seit einigen Jahren bei ungeklärten Todesfällen von Kindern und bei Tötungsdelikten bzw. bei Verdacht auf Fremdeinwirkung zur Standarddiagnostik. Die Vorteile der postmortalen Bildgebung liegen zum einen in der Untersuchung des kompletten Körpers einschließlich der für die Obduktion schwer zugänglichen Körperpartien, wie z.B. des Rückenmarks und der oberen Halswirbelsäule (Bolliger und Thali 2015). Zum anderen bleibt der Leichnam im Gegensatz zur Obduktion bei einer postmortalen Bildgebung unversehrt und die erzeugten Datensätze können beliebig im Nachgang der Untersuchung analysiert werden. Anders verhält es sich bei der Autopsie, bei der das Vorgehen mit Leichenöffnung und Aufarbeitung der verschiedenen Organpakete in der Regel ein einmaliges Ereignis und zudem abhängig von der Erfahrung des Pathologen bzw. Rechtsmediziners ist. Vorteil der Autopsie ist die Gewinnung von Gewebeproben und Körperflüssigkeiten u.a. für histologische, chemisch-toxikologische und mikrobiologische/virologische Untersuchungen. Die Darstellung in verschiedenen Schnittrichtungen und die 3D-Rekonstruktion in der Virtopsie bieten die Möglichkeit einer objektiven Oberflächenbeurteilung, was z.B. im Falle von Überrollspuren wichtige Zusatzinformationen liefern kann (Bolliger und Thali 2015). Die aktuell gängige Methode der Fotodokumentation während einer Autopsie gibt Abdrücke lediglich zweidimensional wieder (Bolliger und Thali 2015).

Auch wenn es keine exakten Zahlen gibt, wird die Akzeptanz der postmortalen Bildgebung bei den Angehörigen der Verstorbenen – insbesondere bei verstorbenen Kindern – im Vergleich zu einer Autopsie allgemein als höher eingeschätzt (Rodewald et al. 2017). Eine CT- oder MRT-Untersuchung wurde auch in Fällen zugelassen, in denen eine konventionelle

Autopsie aus ethisch-moralischen, religiösen oder anderen Gründen abgelehnt wurde (Thayyil et al. 2013, Addison et al. 2014). Allerdings besteht noch Aufklärungsbedarf über die Möglichkeit dieser Methode sowohl bei Patienten als auch bei medizinischem Fachpersonal (Tal et al. 2015). In dieser Arbeit wurden ausschließlich Fälle betrachtet, bei denen eine Obduktion gerichtlich angeordnet wurde und eine Ablehnung der Untersuchung durch die Angehörigen daher nicht möglich war.

Durch die bildgebenden Verfahren können weder Aussagen zu Farbe, Textur oder Geruch eines Gewebes getroffen werden, noch können manche, im Rahmen der Autopsie äußerlich feststellbaren und bezüglich der Frage nach Fremdverschulden wesentlichen Befunde wie Petechien, Hämatome und deren Färbung durch die Virtopsie nachgewiesen werden. Gleiches gilt für kleine Quetsch-, Riss- oder Stichwunden. Insbesondere forensisch relevante Befunde wie Ausrichtung, Größe, Wundrand- und Wundwinkelcharakteristiken können mit der Virtopsie mit Ausnahme von größeren Stich- oder Schussverletzungen nicht beurteilt werden. Wichtige diagnostische Informationen und auch solche zur Aufdeckung von Straftaten gehen somit verloren. Zudem benötigt die Auswertung der postmortalen Bildgebung eine gewisse Expertise um physiologische postmortale Veränderungen nicht mit tatsächlich pathologischen Befunden zu verwechseln (Cartocci et al. 2019). Ein weiterer Nachteil liegt in der Verfügbarkeit dieser Untersuchungsmethode. Nicht jedes Krankenhaus bzw. jedes rechtsmedizinische Institut besitzt ein CT- oder gar ein MRT-Gerät und bei hoher Nutzungsrate würde stets der lebende Patient Vorrang vor einem Leichnam haben (Bolliger und Thali 2015). Allerdings wären die Modalitäten – falls vorhanden – 24 Stunden am Tag verfügbar. Auch die Erfahrung mit der CT- und MRT-Untersuchung Verstorbener ist bisher noch begrenzt, sodass der vollständige Verzicht auf die konventionelle Autopsie in absehbarer Zukunft nicht vorstellbar ist (Burton und Underwood 2007).

2.2 Autopsie – Die konventionelle Leichenöffnung

2.2.1 Begriffsdefinition

Die Autopsie bezeichnet in der Medizin die „Leichenöffnung zur Feststellung der Todesursache“ (Schwarzenberg 1997). Die klinische Autopsie dient vor allem der Qualitätssicherung in Hinblick auf Diagnose, Therapie und Todesursachen bei Todesfällen, die sich plötzlich und unerwartet während eines Krankenhausaufenthalts ereignet haben, und ist außerdem wichtiger Bestandteil von Epidemiologie, Lehre und Forschung sowie der Gesundheitsfürsorge (Hoppe und Scriba 2005, Jütte et al. 2007). Die anatomische Autopsie erfolgt zum Zweck der Ausbildung, der Lehre und der Forschung über den Aufbau des

menschlichen Körpers (Jütte et al. 2007). Eine Sonderform der Autopsie ist die gerichtsmedizinische Autopsie oder Obduktion, die von einem Richter oder Staatsanwalt angeordnet werden muss (Madea 2014). Vorgehen und Umfang einer gerichtsmedizinischen Autopsie werden in Deutschland durch die Strafprozessordnung (StPO) geregelt. Diese Arbeit bezieht sich auf die StPO-Fassung der Bekanntmachung vom 7. April 1987, die zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2015 (BGBl. I S. 2525) geändert wurde.

2.2.2 Aufbau eines Autopsieprotokolls

Gemäß § 89 der StPO umfassen alle gerichtsmedizinischen Leichenöffnungen Kopf-, Brust- und Bauchhöhle. Die Autopsieprotokolle sind folgendermaßen gegliedert (AWMF 2017):

A) Äußere Besichtigung

B) Innere Besichtigung

- Kopfhöhle
- Brust- und Bauchhöhle
 - Hals- und Brustorgane
 - Bauchorgane

C) Vorläufiges Gutachten

- Vorgeschichte
- Wesentliche Obduktionsbefunde/Obduktionsergebnis
- Todesursache und Todesart
- Asservate und Hinweise auf Zusatzuntersuchungen
- Vorbehalt eines abschließenden, wissenschaftlich begründeten Gutachtens/Stellungnahme zur Leichenfreigabe/Mitteilung zur Aufbewahrungsdauer der Asservate

In der äußeren Besichtigung erfolgt eine detaillierte Dokumentation aller äußerlichen Befunde der gesamten Körperoberfläche. Zuerst werden Angaben zu Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht des Leichnams getroffen. Dann wird zunächst die Bekleidung des Leichnams beschrieben. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf Hinweise zu den Umständen des Todes wie bspw. eingerissene Kleidung oder Abdrücke von Reifen gelegt. Anschließend erfolgt die Beschreibung des entkleideten Leichnams. Systematisch werden die Körperpartien Kopf, Hals, Brustkorb, Bauchregion, obere und untere Extremitäten äußerlich beurteilt. Die sicheren Todeszeichen Totenflecke, Leichenstarre und späte Leichenveränderungen (Fäulnis) (Madea 2003), jegliche Hautveränderungen wie Verfärbungen, Abschürfungen und Petechien,

eingebrautes Fremdmaterial wie Gefäßzugänge sowie Deformationen, Fehlstellungen und widernatürliche Beweglichkeit von Extremitäten, Kopf, Brustkorb, Becken und Wirbelsäule werden beschrieben. Auch kleinste Einblutungen in Augenlider, Augenbindehäute, Mund- und Nasenschleimhaut sind in diesem Untersuchungsgang zu dokumentieren. Nach Verbringen der Leiche in Bauchlage werden ebenfalls alle Veränderungen des Rückens einschließlich der Totenflecke aufgenommen.

Die innere Besichtigung beginnt stets mit der Kopfhöhle. Es erfolgt eine detaillierte Beurteilung der Kopfschwarte, der Schädelkalotte, der Schädelbasis, der Dura mater encephali mit Blutgefäßen, der Arachnoidea und Pia mater encephali mit Blutgefäßen, des Gehirns, des Mittelohrs und zum Teil auch der Nasennebenhöhlen. Pathologien wie Einblutungen, makroskopisch sichtbare Gewebeschäden und Veränderungen der Gewebekonsistenz werden in diesem Abschnitt vermerkt. Für eine eventuelle neuropathologische Zusatzuntersuchung wird das Gehirn in einigen Fällen bei entsprechender Fragestellung im Ganzen in Formaldehydlösung fixiert. Anschließend erfolgt die Eröffnung der Brust- und Bauchhöhle mit einer ersten Beurteilung der Organlage und des Zwerchfells sowie der Dokumentation von freier Flüssigkeit in Brust- oder Bauchhöhle und von Flüssigkeit im Herzbeutel.

Eine Betrachtung der einzelnen Organpakete von kranial nach kaudal schließt sich an. Zunächst werden die Halsgefäße, die Zunge, das Zungenbein, das Kehlkopfskelett, die Trachea, der Ösophagus, die Schilddrüse, die zervikale Muskulatur und die zervikalen Weichgewebe einschließlich der Speicheldrüsen und Lymphknoten näher betrachtet. Der Abschnitt Brustorgane dient der Beurteilung von Herz und Herzkranzgefäßen, der Lunge mit Pleura und Tracheobronchialsystem, des Thymus, der Aorta und der großen thorakalen Gefäße, der Lymphknoten und der thorakalen Muskulatur. Weiterhin werden die Organe der Bauchhöhle und des Retroperitonealraums untersucht. Hierbei erfolgt die Dokumentation aller Befunde von Leber, Gallenblase, Pankreas, Milz, Gastrointestinaltrakt, Nieren, Nebennieren, Urogenitaltrakt, Aorta und großen abdominalen Gefäßen sowie abdominalen Lymphknoten und Muskulatur. Der Inhalt von Magen, Darm und Harnblase wird in diesem Abschnitt beschrieben und Gewicht bzw. Volumen werden miterfasst. Bei Verdacht auf Knochenbrüche werden die entsprechenden Abschnitte des Skeletts ebenfalls präpariert und am Ende der inneren Besichtigung aufgelistet. Eine Präparation von Rückenweichteilgeweben und Extremitäten erfolgt ebenfalls je nach Fragestellung zur Feststellung bzw. zum Ausschluss von Verletzungsfolgen wie Einblutungen und Läsionen.

Zudem werden Gehirn, Herz, rechter und linker Lungenflügel, Thymus, Leber, Milz, rechte und linke Niere gewogen und die Organgewichte im Autopsieprotokoll festgehalten. Danach erfolgt die Entnahme kleiner Gewebeproben und die Asservierung in Formaldehydlösung für eine eventuelle histologische Zusatzuntersuchung aus oben genannten Organen. Eine Ausnahme bildet das Gehirn, wenn dieses wie oben beschrieben im Ganzen fixiert wird. Bei jeder Autopsie werden regelhaft Flüssigkeiten (u. a. Oberschenkelvenenblut, Urin, Mageninhalt) und teilweise Organproben für toxikologische Zusatzuntersuchungen asserviert. Weiterhin werden je nach Fragestellung Gewebeproben zur Schätzung des Wundalters z.B. eines Hämatoms oder einer Fraktur sowie Abstriche bzw. Gewebeproben für mikrobiologische/virologische Untersuchungen entnommen.

Nach der äußeren und inneren Besichtigung wird ein vorläufiges Gutachten erstellt. Hierbei wird zunächst die Vorgeschichte des Falles geschildert, einschließlich der Anamnese mit Auszügen aus der Krankenakte bei vorangegangenem Krankenhausaufenthalt oder ärztlicher Behandlung, Angaben anwesender Polizeibeamter sowie eventueller Zeugenaussagen zum Auffinden des Leichnams und zu anderen mit dem Todesfall in Zusammenhang stehenden Ereignissen. Anschließend werden alle wesentlichen Obduktionsergebnisse aufgelistet, d.h. alle pathologischen Befunde bzw. Abweichungen vom Normalbefund, die zur Beurteilung der Todesursache und Todesart von Relevanz sind. Es folgt die Angabe der Todesursache und der Todesart mit einer kurzen gutachterlichen Beurteilung. Kann keine eindeutige Todesursache bestimmt werden, wird die Formulierung „pathologisch-anatomisch nicht eindeutig feststellbar“ gewählt und eine Verdachtsdiagnose diskutiert. Danach werden die Asservate aufgelistet und eine Empfehlung für Zusatzuntersuchungen wie Histologie, Neuropathologie, Toxikologie oder Mikrobiologie/Virologie gegeben bzw. bereits erfolgte Untersuchungsaufträge dokumentiert. Vorbehalte eines abschließenden Gutachtens sowie eine Stellungnahme zur Leichenfreigabe werden formuliert und eine Mitteilung zur Aufbewahrungsdauer der Asservate gemacht (AWMF 2017).

2.2.3 Wertigkeit der konventionellen Autopsie

Die Autopsie ist ein wichtiger Bestandteil der Medizin und gilt traditionell als der Goldstandard der postmortalen Untersuchung zur Qualitätsprüfung im Gesundheitswesen (Sonnemans et al. 2018). Vor allem die klinische Autopsie ermöglicht die Evaluation der medizinischen Versorgung und dient damit auch deren Verbesserung (Lundström et al. 2012). Für die Hinterbliebenen besteht in einer endgültigen Klärung der Todesursache zudem ein therapeutischer Wert (Finkbeiner et al. 2009). Seit dem Ende des letzten Jahrhunderts ist jedoch weltweit ein stetiger Rückgang der durchgeführten klinischen Autopsien zu

verzeichnen (Inai et al. 2016, Thayyil et al. 2013). Auch Deutschland ist in dieser Hinsicht keine Ausnahme (Erlmeier et al. 2017). Die Gründe für diesen Rückgang sind vielfältig. Einerseits nahm die öffentliche Ablehnung gegenüber der Autopsie aus kulturellen, emotionalen oder religiösen Gründen zu. Andererseits ging das klinische Interesse an Autopsien zurück, zum einen aufgrund der Fortschritte in der prä-mortalen Diagnostik, zum anderen wegen mangelhafter oder sehr später Information der behandelnden Ärzte über die Ergebnisse der Autopsie (Burton und Underwood 2007). Aktuelle Untersuchungen berichten von einem Anteil mittels klinischer Autopsie untersuchter Todesfälle von 0 - 15 % sowohl für Universitätskrankenhäuser als auch für nicht-akademische Krankenhäuser (Wagensveld et al. 2018). Somit ist aktuell in den meisten Fällen die klinische Beurteilung der entscheidende Faktor für die Feststellung der Todesursache (Sonnemans et al. 2018).

Der Anteil gerichtsmedizinischer Autopsien liegt in Deutschland seit Jahren mit etwa 2 % konstant auf niedrigem Niveau (Madea 2014). Dies bestätigt sich beim Vergleich der Todesfallzahlen und gerichtlichen Autopsien der letzten Jahre aus Thüringen (Tabelle 1). Da nahezu alle rechtsmedizinischen Obduktionen in Thüringen durch das Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Jena durchgeführt werden, kann deren Anzahl schätzungsweise als Anzahl aller Obduktionen in diesem Bundesland angenommen werden.

Jahr	Todesfälle in Thüringen	Anzahl Obduktionen	Anteil der Obduktionen in %
2010	26701	602	2,3
2013	27593	605	2,2
2014	26957	617	2,3
2015	28830	643	2,2

Tabelle 1: Gesamtzahl aller Todesfälle in Thüringen für die Jahre 2010, 2013, 2014 und 2015 (Quelle: Thüringer Landesamt für Statistik), Anzahl der durchgeführten Obduktionen am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Jena (Quelle: Institut für Rechtsmedizin Jena) und der Anteil der Obduktionen an allen Todesfällen in Thüringen in Prozent

Eine rechtsmedizinische Obduktion ist dann erforderlich, wenn „fremdes Verschulden am Tod in Betracht kommt und die Todesursache oder Todeszeit festgestellt werden muss“ (Madea 2003). Gemäß § 87 f. StPO wird eine gerichtliche Autopsie auf Antrag der Staatsanwaltschaft von einem Richter angeordnet. Für diesen Zweck kann eine Leiche beschlagnahmt werden, wenn durch die Staatsanwaltschaft eine Obduktion angestrebt wird (Madea 2003). Gibt es „zureichende tatsächliche Anhaltspunkte für eine Straftat“ (Madea 2003), so wird eine Obduktion durchgeführt. Fallabhängig wird spätestens nach Beendigung der äußeren Leichenschau entschieden, ob eine zusätzliche radiologische Untersuchung in

Form von Röntgenaufnahmen und/oder einer CT oder MRT des Leichnams notwendig oder erforderlich ist (AWMF 2017). Seit 2014 gibt es die Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (AGFB), deren Ziel eine „harmonische Einführung der Bildgebung in die deutsche Rechtsmedizin“ und die Förderung der „nationalen Zusammenarbeit auf diesem Gebiet“ ist (DGRM 2019). Trotz einer hohen Genauigkeit der Bildgebung kommt es ohne eine durchgeführte Autopsie häufig zu fehlerhaften Diagnosen in der Ermittlung der Todesursache (Euler et al. 2017). Schwerwiegende Diskrepanzen zwischen klinischer Diagnose und Todesursache nach Autopsie bestehen auch weiterhin in fast einem Viertel der Fälle (Kuijpers et al. 2014). Unerwartete Befunde finden sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts trotz stetig fortschreitender Entwicklung in der Diagnostik bei etwa 10 % der Autopsien (Goldman et al. 1983, Kuijpers et al. 2014, Cardoso et al. 2006). Ein Großteil der klinisch relevanten Information bei Todesfällen im Krankenhaus und die daraus resultierende Prävention weiterer Todesfälle beruht in ca. 10 % der Fälle auf Obduktionen (Addison et al. 2014). Die Autopsie behält somit ihren Stellenwert in der Qualitätskontrolle klinischer Diagnosen und Therapien (Kuijpers et al. 2014). Auch in der pädiatrischen Intensivmedizin kommt der Autopsie eine besondere Bedeutung zu, da hier ebenfalls eine Vielzahl wichtiger Informationen gewonnen werden (Cardoso et al. 2006). Befunde der Obduktion bleiben somit trotz ständiger Fortschritte der Bildgebung weiterhin Beweismittel der ersten Wahl vor Gericht (Bolliger und Thali 2015).

Im Vergleich zu schnittbildgebenden Verfahren ist ein Vorteil der Autopsie, das makroskopische Erscheinungsbild einschließlich der Konsistenz von Geweben und Organen beurteilen zu können. So sind kleinste petechiale Blutungen erkennbar und auch eine diffizile Untersuchung vor allem des kardiovaskulären Systems ist möglich. Des Weiteren können innerliche und äußerliche Verletzungen hinsichtlich ihrer Morphologie detailliert beschrieben werden, was für die Gesamtbeurteilung eines Falles relevant sein kann. Während die Bildgebung bei fortgeschrittener Fäulnis und bei der Untersuchung von verstorbenen Neugeborenen und Föten an ihre Grenzen stößt, kann durch die Autopsie in diesen Fällen eine, wenn auch eingeschränkte, jedoch ausführlichere Beurteilung als in der Bildgebung erfolgen. Zwar ist durch die Leichenöffnung der Körper nicht mehr unversehrt, sie bietet aber die Möglichkeit, aus konkreten Geweben und Organen Proben für eine histologische, neuropathologische, toxikologische bzw. eine mikrobiologische/virologische Untersuchung zu gewinnen.

Nicht zu unterschätzen ist auch der Lerneffekt durch Beiwohnen oder Assistenz bei einer Autopsie. Medizinstudierende konnten in Untersuchungen nach mehrfachen Autopsien

sowohl Organpathologien besser einschätzen als auch ihre Anatomiekenntnisse verbessern (Tandon et al. 2019). So gaben 60 % der Studierenden an, ein besseres Verständnis von klinisch-pathologischen Zusammenhängen und von der Ausstellung eines Totenscheins gewonnen zu haben (Tandon et al. 2019).

Laut der Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ Stand 01.04.2019) belaufen sich die Kosten für eine Ganzkörper-MRT auf etwa 600 €, für eine Ganzkörper-CT auf etwa 250 € (siehe hierzu entsprechende Auszüge aus der GOÄ im Anhang). Die Vergütung für die klinische Leichenöffnung ist in der Vereinbarung Unfallversicherung/Pathologen (Stand 01.07.2017) mit 510 € für eine gewöhnliche Öffnung der drei Körperhöhlen und mit 663 € für besonders schwierige Leichenöffnungen festgelegt (siehe hierzu entsprechender Auszug aus der Vereinbarung im Anhang). Für die gerichtsmedizinische Autopsie werden Honorare gemäß des Justizvergütungs- und -entschädigungsgesetzes (JVEG Stand 11.10.2016) berechnet. Demnach liegen die Kosten für eine gerichtlich angeordnete Autopsie bei ca. 760 € für eine einfache Obduktion mit zwei Obduzenten ohne Präparator, bei erschwerten Bedingungen (z.B. Fäulnis der Leiche) und bei mindestens 1340 € oder mehr (siehe hierzu entsprechende Auszüge aus dem JVEG im Anhang).

Dies unterscheidet sich zum Teil von Zahlen anderer Studien, in denen die Autopsie, verglichen vor allem mit der MRT-Untersuchung, als verhältnismäßig kostengünstig eingeschätzt wird (Burton und Underwood 2007, Roberts et al. 2012). Allerdings gibt es bislang keine konkrete Kostenkalkulation für die postmortale Bildgebung, sodass die genannten Zahlen nur Schätzungen entsprechen.

Ein wichtiger Aspekt der Autopsie ist die Tatsache, dass ein unabhängiger Spezialist einbezogen wird, der mit dem Fall im Vorfeld nicht vertraut war. Laut § 87 Absatz 2 der StPO ist dem Arzt, welcher den Verstorbenen unmittelbar vor seinem Tod behandelt hat, die Leichenöffnung nicht zu übertragen. War der Radiologe, der die Virtopsie vornimmt, bereits vorher in den Patientenfall involviert, wäre diese Vorgabe nicht erfüllt. Für diesen Fall gibt es bislang keine konkrete Regelung.

Die Autopsie in der Rechtsmedizin basiert auf Techniken wie der Präparation mittels Skalpell und der schriftlichen und ggf. fotografischen Befunddokumentation. Während die Obduzenten als externe Spezialisten unabhängig sind, ist das Ergebnis der Autopsie selbst dagegen stark von der fachlichen Expertise des Pathologen bzw. des Rechtsmediziners abhängig. So werden bei der Autopsie evtl. übersehene oder nicht berücksichtigte Befunde mit einer Einäscherung vollständig vernichtet (Dirnhöfer et al. 2006). Eine radiologische Begutachtung vorhandener Bilder kann hingegen auch nach Jahrzehnten beliebig häufig

wiederholt werden (Bolliger et al. 2008). Ein Mediziner, der nicht unmittelbar an der Obduktion beteiligt war, kann sich zwar durch das Autopsieprotokoll, die Ergebnisse der Zusatzuntersuchungen wie Histologie oder Toxikologie und die Fotodokumentation ein Urteil bilden, eine unabhängige Beurteilung des Leichnams durch Dritte ist zu einem späteren Zeitpunkt jedoch nur noch eingeschränkt möglich. Die Exhumierung bietet die einzige Möglichkeit einer erneuten Untersuchung, welche je nach Liegezeit deutlich erschwert wird. Auch die Notwendigkeit der physischen Anwesenheit der Obduzenten bei der Autopsie kann als Nachteil gegenüber der postmortalen Bildgebung ausgelegt werden. Während der Rechtsmediziner zur Befundung am gleichen Ort wie der Leichnam sein muss, kann eine postmortales CT oder MRT ortsunabhängig beurteilt werden. Eine Datenübermittlung an einen Spezialisten zum Einholen einer Zweitmeinung bzw. Begutachtung durch Dritte ist ebenfalls möglich. Allerdings ist anzumerken, dass die Beurteilung der CT- und/oder MRT-Befunde die Gefahr birgt, dass wesentliche Befunde, welche nur durch eine Besichtigung des Leichnams feststellbar sind, übersehen werden und es somit zu einer Fehlbeurteilung kommen kann. Ein Nachteil der Autopsie ist die Dauer der Untersuchung. Für die Ganzkörper-CT liegt die Untersuchungszeit inklusive der Lagerungszeit im Bereich weniger Minuten. Der eigentliche Ganzkörper-CT-Scan bei minimalen Rotationszeiten ist in wenigen Sekunden durchgeführt, während eine Autopsie fallspezifisch eine Stunde oder mehr Zeit in Anspruch nimmt. Zudem gibt es bei der Leichenöffnung ein größeres Infektionsrisiko für den Obduzenten, als bei der postmortalen Bildgebung (Bolliger und Thali 2015). Zu bedenken ist allerdings die Zeit, die für die Bildanalyse und Einordnung bzw. Wertung der erhobenen Befunde der Bildgebung notwendig ist. Die zeitaufwendige Auswertung ist bei Datensätzen von einigen tausend Bildern nicht zu unterschätzen. Hierbei spielt die Erfahrung in der Ganzkörper-Bildgebung und Kenntnis typischer postmortaler Befundkonstellationen eine große Rolle (Cartocci et al. 2019). Von einer gewissen Lernkurve ist auszugehen, was aber auch für die Autopsie gilt.

3 Ziele der Arbeit

Diese Arbeit untersucht die Wertigkeit und Aussagefähigkeit postmortaler bildgebender Verfahren im Vergleich zur konventionellen Autopsie und im Vergleich der verschiedenen Modalitäten miteinander. Dabei stehen die folgenden Fragen im Vordergrund:

1. Kann durch eine ergänzende Bildgebung ein Mehrgewinn an Information gegenüber der Autopsie erzielt werden?
2. Kann eine ergänzende postmortale Bildgebung zur Aufklärung der Todesursache beitragen?
3. Welche Unterschiede gibt es in der Detektion pathologischer Einzelbefunde der einzelnen Körperregionen und Organsysteme?
4. Welche Unterschiede können zwischen den Modalitäten CT und MRT im postmortalen Setting festgestellt werden?
5. Stellt die Virtopsie eine angemessene Alternative zur konventionellen Autopsie dar und wenn ja, in welchen Fällen?
6. Sollte generell vor jeder Autopsie eine Bildgebung durchgeführt werden, um essenziell wichtige Informationen zur Aufklärung eines Todesfalls nicht zu übersehen?
7. Ist die postmortale Bildgebung allein bzw. in Kombination mit einer äußeren Leichenschau und gezielter Probeentnahme in der Lage, unter Zusammenschau aller Erhebungen die Todesursache festzustellen?
8. Können die Virtopsie und die konventionelle Autopsie als gleichwertige Methoden betrachtet werden?
9. Könnte in Zukunft nach einer stattgefundenen postmortalen Bildgebung völlig auf eine Autopsie verzichtet werden?

4 Patienten und Methodik

4.1 Patientenkollektiv

4.1.1 Vorauswahl der Patienten

Eingeschlossen wurden alle verstorbenen Kinder, die in den Jahren 2009 bis 2015 im Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Jena obduziert wurden und zusätzlich entweder mit postmortaler CT oder MRT bzw. beiden Modalitäten in der Sektion Kinderradiologie im Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Jena untersucht wurden.

Die Patientenauswahl erfolgte über das Radiologie-Informationssystem (RIS) des Instituts für Diagnostische und Interventionelle Radiologie der Universitätsklinik Jena. Es wurden zunächst alle als postmortale Bildgebung in Frage kommenden Untersuchungen dokumentiert, die in den Jahren 2009 bis 2015 durchgeführt wurden. Ausgewählt und auf Eignung geprüft wurden CT- und MRT-Untersuchungen, die mindestens eines der Stichworte „Virtopsy“, „Virtopsie“, „CT-Ganzkörper“, „CT-(Polytrauma-) Spirale“, „Body-Polytrauma“, „MR-Ganzkörper“, oder „postmortal“ enthielten. Hieraus ergaben sich 84 Fälle.

Danach erfolgte der Abgleich der Patientendaten aus dem RIS mit den Daten der Rechtsmedizin (Name, Vorname, Geburtsdatum, Datum der Autopsie), die von einem wissenschaftlichen Mitarbeiter aus dem Arbeitsbereich Biomechanik des Instituts für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Jena zur Verfügung gestellt wurden. In 18 Fällen mit Virtopsie konnte anhand der gegebenen Daten kein Autopsieprotokoll zugeordnet werden. Hierunter war auch der einzige potenzielle Fall aus dem Jahr 2009.

Nach dieser Vorselektion umfasste die Patientengruppe insgesamt 66 Kinder.

In neun Fällen (9/66 - 13,6 %) erfolgte lediglich eine MRT. Diese Kinder wurden bei zu kleiner Stichprobe aus der weiteren statistischen Analyse ausgeschlossen. Fünf weitere Fälle (5/66 – 7,6 %) wurden ausgeschlossen, da eine eindeutige Zuordnung der anonymisiert gespeicherten CT- und MRT-Bilder unter alleiniger Kenntnis des Autopsiedatums nicht möglich war.

Somit konnten 52 Kinder in die Studie eingeschlossen werden, die alle im Zeitraum von 2010 bis 2015 verstarben.

4.1.2 Ausgewertetes Kollektiv

Die Auswertung zum Vergleich von Virtopsie und Autopsie erfolgte retrospektiv für 52 Kinder, davon 30 Jungen und 22 Mädchen im Alter von 0 bis 127 Monaten (10,6 Jahre). Das mittlere Alter lag bei 17,1 Monaten (Standardabweichung 26,9), der Altersmedian bei 6 Monaten. Zwischen Tod bzw. Auffinden und Bildgebung lagen maximal 6 Tage (Mittelwert 27,6 Stunden, Median 1 Tag, Standardabweichung 1,4), ebenso zwischen Tod und Autopsie (Mittelwert 31,4 h, Median 1 Tag, Standardabweichung 1,4). Bildgebung und Autopsie fanden im Durchschnitt am selben Tag statt (Mittelwert 4,1 Stunden, Median 0 Tage, Standardabweichung 0,6). Der maximale Abstand lag bei 4 Tagen.

Zum Datenschutz wurden die Patientendaten aus den Autopsieprotokollen und aus dem RIS-/PACS-System für die Bildauswertung und die statistische Analyse pseudonymisiert. Die retrospektive Studie zum Vergleich der Ergebnisse wurde am 14. November 2016 durch die lokale Ethikkommission autorisiert (Bearbeitungsnummer 4977-11/16).

4.2 Gerichtsmedizinische Autopsie

4.2.1 Makroskopische und histologische Autopsie

Wie in § 87 Absatz 2 der StPO festgelegt, wurde jede MA von mindestens zwei Ärzten vorgenommen. Dabei war einer der Ärzte entweder Facharzt für Rechtsmedizin oder ein bereits langjährig erfahrener Arzt in Weiterbildung zum Facharzt für Rechtsmedizin (AWMF 2017). Insgesamt waren sieben verschiedene Fach- und sechs Assistenzärzte vom Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Jena an den 52 MA beteiligt. Zudem waren ein Facharzt für Radiologie in zwei Fällen und ein Arzt ohne weitere Fachbezeichnung in einem Fall als zweiter Obduzent involviert. Der Ablauf einer Autopsie und die Dokumentation im Autopsieprotokoll wurden standardisiert nach den entsprechenden AWMF-Leitlinien durchgeführt.

In 30 von 52 Fällen (57,7 %) wurde ein Auftrag zur zusätzlichen histologischen Untersuchung, in dieser Arbeit histologische Autopsie (HA) genannt, durch die Staatsanwaltschaft erteilt. Am Ende des Histologieprotokolls finden sich Ausführungen zur Todesursache und Todesart unter Zusammenfassung aller erhobenen Untersuchungen mit einer kurzen Begründung. Ähnlich wie im oben geschilderten Autopsieprotokoll wurde bei fehlender eindeutiger Todesursache „nicht sicher feststellbar“ angegeben und eventuell mögliche Verdachtsdiagnosen diskutiert.

Alle zusätzlich gewonnenen Befunde der HA wurden in der Auswertung zu den Befunden der KKA hinzugefügt. Zur Analyse der in der MA festgestellten Todesursachen erfolgte eine gesonderte Betrachtung der Fälle mit und ohne Histologie. Die Ergebnisse der postmortalen Bildgebung waren den Obduzenten zum Teil bereits zum Zeitpunkt der MA, spätestens aber zum Zeitpunkt der Erstellung des Autopsieprotokolls bekannt. Den Radiologen hingegen waren primär die genaue Anamnese, die Auffindesituation und auch das Ergebnis der Autopsie nicht bzw. nur zum Teil bekannt.

4.2.2 Auswertung der Autopsie- und Histologieprotokolle

Die erhobenen Befunde der äußeren Besichtigung im Rahmen der Autopsie wurden den Körperabschnitten Kopf, Hals, Rumpf, Gesäß/äußeres Genitale und Extremitäten zugeordnet. Die Befunde der inneren Besichtigung wurden den Organsystemen Gehirn, Hals, Thoraxwand, Herz, Lunge, Abdomen, Leber/Gallenblase, Milz, Pankreas, Gastrointestinaltrakt, Nieren/Nebennieren, Harnsystem, innere Genitale und muskuloskelettales System zugeordnet. Alle Einzelbefunde wurden fallbezogen erhoben und tabellarisch erfasst. In allen untersuchten Fällen wurden mehrere Einzelbefunde erhoben, z.B. Hirnödem, Pneumonie, Unterarmfraktur. Die Nomenklatur der erhobenen Befunde war weder für die Autopsie noch für die postmortale Bildgebung einheitlich.

In Absprache mit einer Fachärztin für Rechtsmedizin und zwei Fachärzten für Radiologie mit Schwerpunktkompetenz Kinderradiologie wurden in der vorliegenden Arbeit vergleichbare Befunde verschiedener Formulierungen und ähnlicher Lokalisationen zusammengefasst, z.B. „Lymphknotenschwellung im Nacken“ und „Lymphknotenvergrößerung im Halsbereich“ zu „zervikale Lymphadenopathie“. Für die Todesursache nicht relevante Befunde, wie z.B. „Vorhandensein einer Nebennilz“, wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Hautverfärbungen ohne korrelierende Einblutung ins Unterhautfettgewebe und oberflächliche dermale Veränderungen wie Kratzer oder Schürfwunden sowie Punktionsstellen von intravenösen oder intraossären Zugängen wurden nicht in der Analyse erfasst. Alle nicht in der Auswertung aufgenommene Befunde sind tabellarisch im Anhang aufgeführt.

Alle übrigen Befunde wurden den neun Körperregionen „*zerebral*“, „*kephal*“, „*zervikal*“, „*pulmonal*“, „*kardial*“, „*thorakal*“, „*abdominal und retroperitoneal*“, „*skelettal*“ oder „*sonstige*“ zugeordnet werden. Zusätzlich wurde in jedem Fall die festgestellte Todesursache erfasst.

4.3 Postmortale Bildgebung

Die CT- und die MRT-Untersuchungen wurden unter standardisierten Bedingungen ohne Kontrastmittel-Applikation am Universitätsklinikum Jena durchgeführt. Alle 52 verstorbenen Kinder wurden mittels postmortaler CT untersucht, 17 der Kinder wurden zusätzlich mit postmortaler MRT analysiert.

4.3.1 Postmortale Computertomographie

Alle 52 verstorbenen Kindern wurden mittels 64-Zeilen-Scanner (GE LightSpeed 64) der Firma General Electric Healthcare (Milwaukee, Wisconsin, USA) untersucht. Die CT-Virtopsie bestand aus einem Polytrauma CT-Protokoll (Ganzkörperscan vom Scheitel bis zu den Zehen) und einer kranialen CT (cCT).

	Stromstärke (mA)	Spannung (kVp)	Schichtdicke (mm)	FOV in Abhängigkeit von der Größe des Kindes (mm)
Polytrauma CT	500	120	0,625	280-470
cCT	400	120	0,625	170-250

Tabelle 2: Technische Parameter der Computertomographie (cCT-kraniale Computertomographie, mA-Milliampere, kVp-kilovoltage peak (Röhrenspannung), FOV-Field of view, mm-Millimeter)

Die technischen Parameter des CT-Protokolls sind in Tabelle 2 aufgeführt. Zur Beurteilung des gesamten Körpers wurden aus dem Datensatz zweidimensionale Bilder im Lungen-, Knochen- und Weichteilfenster in mehreren Raumebenen (axial, coronar, sagittal) rekonstruiert.

4.3.2 Postmortale Magnetresonanztomographie

Ergänzend zur CT wurde in 17 Fällen eine MRT durchgeführt. Hierfür wurde ein 1,5 Tesla-Gerät (MR Symphony oder MR Avanto) der Firma Siemens Healthineers (Erlangen, Deutschland) verwendet. Die MRT bestand aus einer Ganzkörperuntersuchung und einer gesonderten kranialen MRT (cMRT), also einer Untersuchung des Kopfes. Die technischen Parameter finden sich in Tabelle 3 und Tabelle 4.

Die ausgewerteten Aufnahmen der cMRT lagen als axiale Schnittbilder vor, die der Ganzkörper-MRT als koronare Schnittbilder von 3D-Scans, die beliebig in den Raumebenen rekonstruiert werden konnten.

Sequenz	Schichtdicke (mm)	Repetition time (ms)	Echo time (ms)
T1 Spin-Echo	3 - 4	572 - 608	12 - 17
DWI	3 - 4	4500	105 - 107
FLAIR	3 - 4	9000	129 - 139
SWI	1 - 2	44	20 - 35

Tabelle 3: Technische Parameter der cMRT (DWI-diffusionsgewichtete Bildgebung mit b-Werten von 0 und 1000s/mm², FLAIR-Fluid-Attenuated-Inversion-Recovery-Sequenz mit Inversionszeit TI von 2500ms, SWI-suszeptibilitätsgewichtete Bildgebung, mm-Millimeter, ms-Millisekunden)

Sequenz	Schichtdicke (mm)	Repetition time (ms)	Echo time (ms)
T1 SPACE	1,5	450	11 -12
T2 SPACE	1,5	2500	129 - 131

Tabelle 4: Technische Parameter der Ganzkörper-MRT (SPACE-Sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution, mm-Millimeter, ms-Millisekunden)

4.3.3 Auswertung der postmortalen Bildgebung

Die CT- und MRT-Bilder wurden retrospektiv von einer Fachärztin für Radiologie mit mehrjähriger Erfahrung in der Schwerpunktkompetenz Kinderradiologie ausgewertet, ohne Kenntnis der Patientengeschichte, der Todesursache oder der Autopsieergebnisse bzw. der bereits erfolgten initialen Befundung der Bildgebung. Die erhobenen Befunde wurden analog zur Autopsie nach Körperabschnitten und Organsystemen gegliedert erfasst. Die Ergebnisse der postmortalen Bildgebung wurden den Körperregionen „zerebral“, „kephal“, „zervikal“, „pulmonal“, „kardial“, „thorakal“, „abdominal und retroperitoneal“, „skelettal“ oder „sonstige“ zugeordnet. Unter Zusammenschau aller Befunde der postmortalen Bildgebung wurde zusammenfassend die vermutete Todesursache tabellarisch festgehalten. Mit einem Abstand von mindestens vier Wochen wurden die Aufnahmen der postmortalen Bildgebung unter Kenntnis des Autopsiebefundes und der Todesursache einer erneuten Betrachtung, dem SL, unterzogen. Zusätzlich im SL erhobene Befunde wurden in einer weiteren Spalte der Tabelle hinzugefügt.

4.4 Vergleich der Methoden und statistische Analyse

Für die tabellarische Erfassung der Todesursachen und organbezogenen Einzelbefunde wurde das Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft® Excel® für Office 365 der Firma Microsoft Cooperation (Redmont, Washington; USA).

Neben den Todesursachen und Einzelbefunden mit entsprechender Zuordnung in o.g. Bereiche wurden eine kurze Zusammenfassung des Falls (Anamnese, ggf. Polizeibericht, Zeugenaussagen etc.), Alter und Geschlecht des Kindes, Angaben über eine erfolgte

kardiopulmonale Reanimation, stattgefundenen Untersuchungen (MA, HA, CT, MRT, SL), Datum und Abstand der Untersuchungen, Konkordanz der Untersuchungen und die angegebenen Todesursachen von MA, HA, CT und MRT erfasst. Die Todesursachen wurden Untergruppen (siehe 4.4.1 Auswertung der Todesursachen) zugeordnet.

Für den Vergleich von Autopsie und postmortalen Bildgebung erfolgten die fallbezogene Auswertung nach der Todesursache und die Auswertung nach Befunden.

Um die Modalitäten miteinander vergleichen zu können, wurden die 52 Kinder anhand der stattgefundenen Untersuchungen in eine CT-Gruppe (35/52 – 67,3 %) und in eine CT/MRT-Gruppe (17/52 – 32,7 %) eingeteilt. Dabei wurden Kinder der CT-Gruppe allein einer CT-Untersuchung unterzogen, die Kinder der CT/MRT-Gruppe wurden mittels CT und MRT untersucht.

4.4.1 Auswertung der Todesursachen

Es erfolgte die Zuordnung der bei der MA bzw. HA festgestellten Todesursachen in die neun Gruppen „Erstickten“, „Ertrinken“, „Infektion“, „Intrauteriner Fruchttod“, „Strangulation“, „Trauma“, „Volvulus“, „Sonstige“ und „Ungeklärt“. In die Untergruppe „Sonstige“ wurden in der vorliegenden Studie der Tod durch Intoxikation (1/52 – 1,9 %), der Tod durch Überhitzung (1/52 – 1,9 %), der prolongierte Krampfanfall bei Enzephalomalazie (1/52 – 1,9 %) und der plötzliche Kindstod (SIDS) (1/52 – 1,9 %) aufgenommen. Bei 35 von 52 Kindern (67,3 %) lag eine natürliche Todesursache vor, bei 17 von 52 Kindern (32,7 %) war der Tod nicht natürlich.

Jedem Kind wurde in Absprache mit der Fachärztin für Rechtsmedizin bzw. der Fachärztin für Radiologie jeweils eine Todesursache zugeordnet. Gab es am Ende aller Untersuchungen mehrere konkurrierende Todesursachen, so wurde „Ungeklärt“ ausgewählt. In 17 von 52 Fällen (32,7 %) wurde sowohl eine CT als auch eine MRT durchgeführt. Beide Modalitäten gaben in allen 17 Fällen die gleiche Todesursache an. Daher wurden die CT-Gruppe und die CT/MRT-Gruppe nachfolgend nicht gesondert ausgewertet, sondern insgesamt als eine Gruppe betrachtet und beide Verfahren zur besseren Übersicht unter „postmortale Bildgebung“ (PMBG) zusammengefasst. Im Gegensatz dazu wurden die MA und die HA getrennt voneinander betrachtet, da erst unter Berücksichtigung der Ergebnisse der histologischen Untersuchung in 15 von 30 Fällen (50,0 %) eine eindeutige Todesursache bestimmt werden konnte. In der KKA sind alle Autopsiebefunde zusammengefasst.

Die Ergebnisse der Verfahren MA, HA, KKA und PMBG wurden auf Übereinstimmung geprüft und in einer erweiterten Vier-Felder-Tafel gegeneinander aufgetragen. Dabei erfolgte ein Vergleich von MA und PMBG, von HA und PMBG und von KKA und PMBG.

4.4.2 Auswertung der Befunde nach Organsystemen

Zur Auswertung der Einzelbefunde wurde aufgrund des breiten Befundspektrums bei relativ kleiner Fallzahl eine deskriptive Form der Statistik gewählt. Zur besseren Übersicht wurden die Befunde wie oben beschrieben den Körperregionen bzw. Organsystemen „zerebral“, „kephal“, „zervikal“, „pulmonal“, „kardial“, „thorakal“, „abdominal und retroperitoneal“, „skelettal“ oder „sonstige“ zugeordnet. Es wurde festgehalten, ob der jeweilige Befund im Autopsie- bzw. im Histologieprotokoll und/oder der Befundung der bildgebenden Verfahren vermerkt wurde und numerisch verschlüsselt (siehe Tabelle 5).

Alle 52 Kinder wurden mittels MA untersucht. Eine HA fand in der CT-Gruppe von 35 Kindern in 20 Fällen (20/35 – 57,1 %), in der CT/MRT-Gruppe von 17 Kindern in 10 Fällen (10/17 – 58,8 %) statt. Um die Übersichtlichkeit zu erhalten und um eine Bildung von vielen Untergruppen mit geringer Fallzahl zu vermeiden, wurde sich dafür entschieden, MA und HA für diesen Teil der Auswertung unter KKA zusammenzufassen.

Es wurden nur die Einzelbefunde aufgenommen, die von mindestens einer der Methoden KKA, CT oder MRT beschrieben worden. Daher wurde der Code 0 des Konkordanzschlüssels in keinem Fall vergeben und ist hier nur der Vollständigkeit halber mit aufgeführt. In einer weiteren Spalte wurde festgehalten, ob der Befund in der PMBG sofort gesehen wurde, hierfür wurde die Ziffer 0 eingetragen. Wurde der Befund erst in Kenntnis des Autopsiebefundes im SL detektiert, erfolgte die Codierung durch die Ziffer 1.

KKA	CT	MRT	Konkordanzschlüssel	Befunddetektion durch
0	0	0	0	Keine Methode
1	0	0	1	KKA
0	1	0	2	CT
1	1	0	3	KKA und CT
0	0	1	4	MRT
1	0	1	6	KKA und MRT
1	1	1	7	KKA, CT und MRT

Tabelle 5: Konkordanzschlüssel (In den Spalten 1 bis 3: 0-nicht vorhanden, 1-vorhanden; KKA-kumulative konventionelle Autopsie, CT-Computertomographie, MRT-Magnetresonanztomographie)

Sobald ein Befund durch eine der Methoden beschrieben wurde, galt er als vorhanden. Es erfolgte keine Abstufung in der Qualität der Aussagesicherheit.

4.4.3 Statistische Analyse

Die statistische Analyse der erhobenen Datensätze erfolgte in Abstimmung mit den Naturwissenschaftlern aus dem Arbeitsbereich Biomechanik des Instituts für Rechtsmedizin.

Die Todesursachen wurden zunächst als absolute Anzahl der verschiedenen, mittels KKA und PMBG ermittelten Todesursachen in einem Tortendiagramm abgebildet. Anschließend wurden MA, HA und KKA einzeln mit der PMBG verglichen und als Vierfeldertafel dargestellt. Eine Vierfeldertafel ist eine „(2 x 2) – Anordnung absoluter Häufigkeiten, die sich bei einer gleichzeitigen Betrachtung von zwei binären Merkmalen ergibt“ (Bender und Lange 2007). Als binäres Merkmal wird dabei eine Variable mit nur zwei möglichen Ausprägungen verstanden, z.B. in vorliegender Arbeit Todesursache „*Infektion*“ „wurde festgestellt“ oder „wurde nicht festgestellt“ (Bender und Lange 2007). Um mehrere Todesursachen gleichzeitig zu untersuchen, wurde die Vierfeldertafel in der vorliegenden Studie auf eine 10 x 10 – Anordnung erweitert. So konnten Übereinstimmungen der jeweils untersuchten Methoden veranschaulicht werden.

Für die Todesursache „*Infektion*“ als größte Untergruppe der Todesursachen erfolgte eine separate statistische Betrachtung. Verwendet wurde hierzu ebenfalls eine Vierfeldertafel. Gegenübergestellt wurden in dieser Studie die Ergebnisse von MA und PMBG in der Feststellung der Todesursache „*Infektion*“, wobei als Goldstandard das Ergebnis der KKA diente. Grundlegende Effizienzmaße einer solchen Gegenüberstellung sind Sensitivität und Spezifität (Bender und Lange 2007). Die Sensitivität gibt dabei den Anteil richtig positiver Ergebnisse an, die durch einen Test korrekt identifiziert werden (Altman und Bland 1994). In dieser Studie entspricht die Sensitivität dem Anteil der richtig positiv festgestellten Todesursache „*Infektion*“ durch die MA bzw. die PMBG an der durch den Goldstandard definierten wahren Anzahl der Todesursache „*Infektion*“. Die Spezifität gibt den Anteil richtig negativer Ergebnisse an, die durch einen Test korrekt identifiziert werden (Altman und Bland 1994). In vorliegender Arbeit entspricht die Spezifität dem Anteil der richtig ausgeschlossenen Todesursache „*Infektion*“ durch die MA bzw. die PMBG an der durch den Goldstandard definierten Anzahl von nicht-festgestellter Todesursache „*Infektion*“. Für die Ermittlung von Spezifität und Sensitivität der untersuchten Methoden wurde das Programm SPSS[®] Statistics (Version 24, multilingual) der Firma International Business Machines Corporation (IBM) verwendet.

Weiterhin wurde ein Signifikanztest mithilfe des McNemar-Tests durchgeführt. Dieser Test erlaubt die Beurteilung des (signifikanten) Unterschieds zweier korrelierter Werte in verbundenen Stichproben (Ogura und Yanagimoto 2016, McNemar 1947). Eine verbundene Stichprobe liegt vor, wenn zwischen den untersuchten Beobachtungen eine Beziehung besteht (McNemar 1947), z.B. in dieser Arbeit die Beurteilung des gleichen Kindes mit zwei verschiedenen Methoden. Um den McNemar-Test durchzuführen, müssen die Beobachtungen bzw. Befunde in einer Vierfeldertafel gegeneinander aufgetragen werden (McNemar 1947). In der vorliegenden Studie wurde das Signifikanzniveau $p < 0,05$ gewählt. Der McNemar-Test wurde ebenfalls mit dem Programm SPSS[®] Statistics durchgeführt.

In der Untersuchung der organbezogenen Einzelbefunde erfolgte die tabellarische Darstellung der Detektion einzelner Befunde durch die einzelnen Methoden. Exemplarisch soll dies anhand von Tabelle 13 erläutert werden. Es wurden jeweils die absoluten Fallzahlen n pro Ziffer des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) eingetragen. In Tabelle 13 wurde bspw. in 27 Fällen ein Hirnödem durch die Methoden KKA und CT erfasst, dies entspricht $n=27$ für die Ziffer 3 des Konkordanzschlüssels. Hieraus wurde die Gesamtanzahl n_g der verschiedenen Einzelbefunde im Gesamtkollektiv berechnet. Der Befund „Hirnödem“ kam in der CT-Gruppe insgesamt 33-mal vor, also $n_g=33$ (vgl. Tabelle 13). Damit konnte auch der prozentuale Anteil n/n_g der einzelnen Ziffern des Konkordanzschlüssels angegeben werden. Am Beispiel von Tabelle 13 entspricht der prozentuale Anteil der Ziffer 3 für den Befund „Hirnödem“ $27/33$, also 81,8 %. Zusätzlich wurde die Gesamtanzahl n_G detektierter Befunde der einzelnen Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels errechnet. In Tabelle 13 wurden bspw. insgesamt 30 Einzelbefunde durch die Methoden KKA und CT erfasst. Für die Ziffer 3 des Konkordanzschlüssels ergibt sich in dieser Tabelle also $n_G=30$.

Aus n_G konnte schließlich die Übereinstimmung der Methoden KKA und PMBG in den einzelnen Körperabschnitten berechnet werden. Für die zerebralen Befunde der CT-Gruppe (vgl. Tabelle 13) liegt diese z.B. bei 66,7 %, da 30 von insgesamt 45 Einzelbefunden in diesem Körperabschnitt durch beide Untersuchungsmethoden verifiziert wurden.

4.5 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche wurde die englischsprachige textbasierte Datenbank PubMed genutzt. Neben dem Schlagwort „post mortem imaging“ und dem entsprechenden Akronym „PMI“ wurden folgende weitere Begriffe zur Suche geeigneter Studien verwendet:

- Autopsy
- Child
- Conventional autopsy
- Fetus
- Forensic medicine
- Post-mortem CT/MRI
- Newborn
- State of the art
- SIDS (Sudden infant death syndrome)
- SUDI (Sudden unexpected death in infants)
- Virtopsy

Zur Vertiefung der Recherche wurde zudem der Zugriff auf Referenzartikel genutzt. Die Suche wurde auf deutsch- bzw. englischsprachige Publikationen beschränkt.

Die Erarbeitung radiologischer und rechtsmedizinischer Grundlagen erfolgte mithilfe von Fachbüchern sowie der StPO (Stand 01.12.2015) und den Leitlinien der Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF). Zur Ermittlung der Kosten von Bildgebenden Verfahren und Autopsie wurden die Gebührenordnung für Ärzte (Stand 01.04.2019), die Vereinbarung UV/Pathologie (Stand 01.07.2017) und das Justizvergütungs- und -entschädigungsgesetz (Stand 11.10.2016) verwendet.

Die Anzahl der Todesfälle für die untersuchten Jahre sind dem Thüringer Landesamt für Statistik entnommen, die Anzahl durchgeführter Obduktionen wurden am Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikums Jena erfragt.

5 Ergebnisse

Das gesamte Patientenkollektiv von 52 Kindern wurde mittels CT untersucht, davon 35 Kinder (35/52 – 67,3 %) nur mittels CT. Bei 17 Kindern (17/52 – 32,7 %) wurde zusätzlich eine MRT durchgeführt. Alle 52 verstorbenen Kinder wurden in einer MA untersucht, in 30 Fällen (30/52 – 57,7 %) erfolgte eine zusätzliche HA.

5.1 Todesursachen

Bei der Bestimmung der Todesursache wurden die Ergebnisse aus MA, HA, KKA und PMBG miteinander verglichen. In der KKA wurden die acht verschiedenen Todesursachen „Ersticken“, „Ertrinken“, „Infektion“, „Intrauteriner Fruchttod“, „Strangulation“, „Trauma“, „Volvulus“ und „Sonstige“ festgestellt (Abbildung 1). Zu den sonstigen Todesursachen der KKA zählten eine Überhitzung, eine Kohlenmonoxid-Intoxikation bei einem Brandopfer, ein prolongierter Krampfanfall bei Enzephalomalazie (neuronale Heterotopie) und ein plötzlicher Kindstod. Hinzu kamen die ungeklärt verbliebenen Todesfälle. In der PMBG wurde in fünf Fällen (9,6 %) die Aspiration und die Folgen dieser als Todesursache angeführt. Die Todesursache „Aspiration“ wurde nur in der PMBG beschrieben, in der KKA wurde die Aspiration lediglich als Einzelbefund in der Untergruppe Ersticken dokumentiert. Die Todesursachen „Ertrinken“ und „Ersticken“ konnten durch die PMBG nicht detektiert werden. Die übrigen Untergruppen entsprechen denen der KKA. Daher gibt es bei der PMBG sieben verschiedene Todesursachen und die ungeklärten Todesfälle (Abbildung 2). Zu den sonstigen Todesursachen der PMBG zählten je ein Verbrennungstod und ein hypoxischer Hirnschaden bei multizystischer Enzephalopathie.

Sowohl in der KKA als auch in der PMBG machten die Infektionen den größten Anteil der Todesursachen aus. Bei „Strangulation“, „Trauma“ und „Volvulus“ stimmten beide Methoden im Ergebnis aller Fälle überein. Hingegen konnten die „Ertrinken“ und „Ersticken“ in keinem Fall durch die PMBG eindeutig festgestellt werden, auch wenn Hinweise dafür in den CT- und MRT-Untersuchungen zu sehen waren, z.B. eine Flüssigkeitsaspiration beim Ertrinken. Wie oben beschrieben kam die Bezeichnung „Aspiration“ nur in der Virtopsie vor, in der konventionellen Autopsie wurde dies der Gruppe „Ersticken“ zugeordnet. „Ungeklärt“ verblieben für die KKA 10 Fälle (10/52 – 19,2 %) und für die PMBG 19 Fälle (19/52 – 36,5 %).

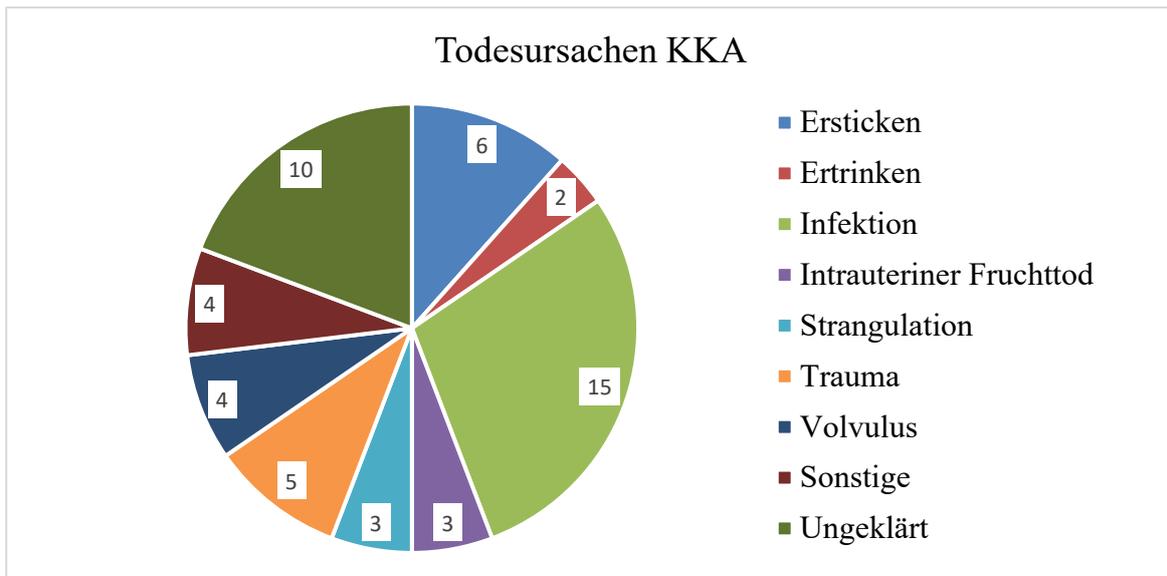


Abbildung 1: In der kumulativen konventionellen Autopsie (KKA) festgestellte Todesursachen (Sonstige-Überhitzung, Intoxikation, neuronale Heterotopie, plötzlicher Kindstod)

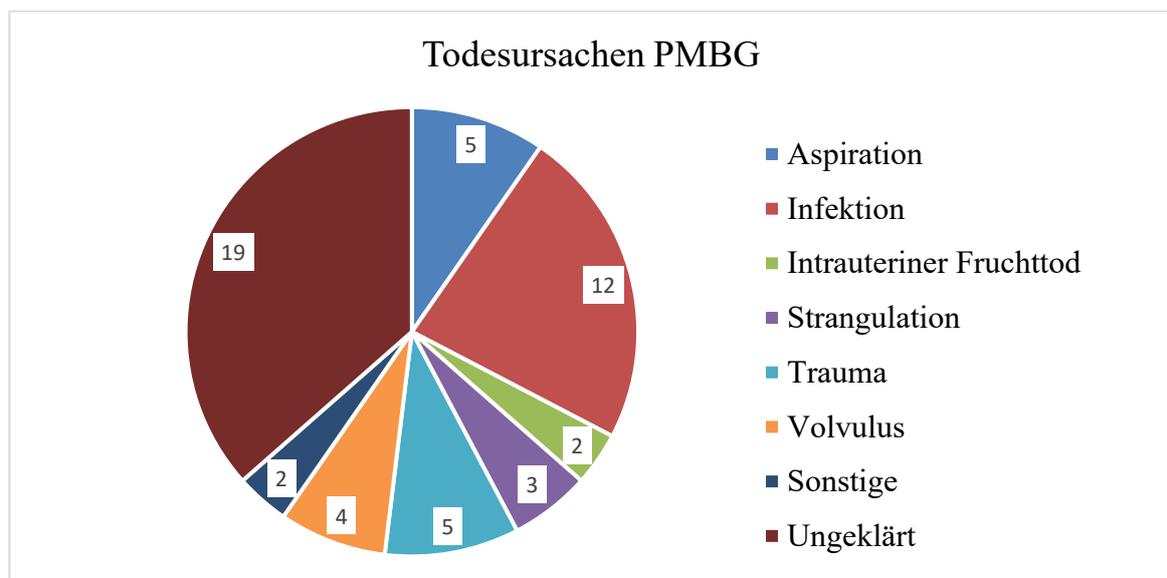


Abbildung 2 In der postmortalen Bildgebung (PMBG) festgestellte Todesursachen (Sonstige-Verbrennungstod, hypoxischer Hirnschaden)

5.1.1 Postmortale Bildgebung und makroskopische Autopsie

Beim Vergleich zwischen der Todesursache in der MA mit dem Befund der PMBG kamen beide Methoden in insgesamt 17 Fällen (32,7 %) zu übereinstimmenden Ergebnissen. Hinzu kamen 14 Fälle (26,9 %), in denen die Todesursache sowohl durch die MA als auch die PMBG ungeklärt blieb. Die größte Diskrepanz zwischen beiden Verfahren zeigte sich beim Tod durch „*Infektion*“. In einem Fall (1,9 %) kam es durch eine Brustkorbkompression zum Erstickungstod. Gleichzeitig bestand eine Infektion, die von der PMBG als todesursächlich eingestuft wurde. In neun Fällen (17,3 %) wurde in der PMBG eine Infektion als

todesursächlich vermutet, während die Todesursache in der MA ungeklärt blieb. Bei „Strangulation“, „Trauma“ und „Volvulus“ gab es eine vollständige Übereinstimmung, beim intrauterinen Fruchttod lag diese bei 66,7 %. Bei einem totgeborenen Kind (1/3 – 33,3 %) wurde zwar die fehlende Lungenbelüftung in der PMBG dokumentiert, die Todesursache intrauteriner Fruchttod war jedoch anhand der Bilder nicht feststellbar. Insgesamt ließ sich durch die MA in 26 Fällen (50,0 %) keine eindeutige Todesursache feststellen, in der Virtopsie in 19 Fällen (36,5 %). Die Übersicht der festgestellten Todesursachen von MA und PMBG ist in Tabelle 6 dargestellt.

5.1.2 Postmortale Bildgebung und Histologische Autopsie

Im Vergleich des Kollektivs der 30 Kinder, bei denen eine HA von Organen erfolgt war, stimmte der Befund der HA und der PMBG in 10 Fällen (33,3 %) überein. Drei Fälle (3/30 – 10,0 %) blieben durch beide Methoden ungeklärt. In acht Fällen, in denen die PMBG eine „Infektion“ als Todesursache feststellte, konnte diese in sechs Fällen (6/8 – 75,0 %) durch die HA bestätigt werden. Zwei weitere Fälle (2/8 – 25,0 %) einer todesursächlichen Infektion laut PMBG wurden histologisch nicht bestätigt. Stattdessen wurde ein Fall als Ersticken gewertet, auch wenn gleichzeitig histologische Entzündungszeichen beschrieben wurden. Ein weiterer Fall wurde histologisch als SIDS gewertet und fällt somit unter „Sonstige“. Bei 12 der histologisch untersuchten Fälle (12/30 – 40,0 %) wurde in der PMBG keine Todesursache ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt.

5.1.3 Postmortale Bildgebung und kumulative konventionelle Autopsie

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse von MA und HA für das Gesamtkollektiv von 52 Kindern zusammengefasst zur KKA. Diese Ergebnisse werden mit denen der PMBG verglichen (Tabelle 8). Insgesamt gab es in 23 Fällen (23/52 – 44,2 %) eine Übereinstimmung von KKA und PMBG bezüglich der Todesursache. In acht Fällen blieb die Todesursache in KKA und PMBG „Ungeklärt“. Die Übereinstimmung von KKA und PMBG lag für „Strangulation“, „Trauma“ und „Volvulus“ bei 100 %, für „Intrauteriner Fruchttod“ bei 66,7 % und für den „Infektion“ bei 53,3 %. Bei „Sonstige“ lag die Übereinstimmung von KKA und PMBG zwar bei 25,0 %, allerdings ordneten die PMBG und die KKA denselben als Tod durch Verbrennung (PMBG) bzw. Tod durch CO-Intoxikation bei einem Brandopfer (KKA) ein. „Ungeklärt“ verblieb die Todesursache nach der rechtsmedizinischen Untersuchung in zehn Fällen (10/52 – 19,2 %). Nach Auswertung der Virtopsie konnte in 19 Fällen (19/52 – 36,5 %) keine eindeutige Todesursache bestimmt werden.

		MA									
Todesursache	Aspiration	Ersticken	Ertrinken	Infektion	Intrauteriner Fruchttod	Strangulation	Trauma	Volvulus	Sonstige	Ungeklärt	Summe
PMBG	Aspiration	0	1	2	0	0	0	0	0	2	5
	Ersticken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ertrinken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Infektion	0	1	0	2	0	0	0	0	9	12
	Intrauteriner Fruchttod	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
	Strangulation	0	0	0	0	0	3	0	0	0	3
	Trauma	0	0	0	0	0	0	5	0	0	5
	Volvulus	0	0	0	0	0	0	0	4	0	4
	Sonstige	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
	Ungeklärt	0	2	0	1	1	0	0	0	1	14
	Summe	0	4	2	3	3	3	5	4	2	26

Tabelle 6: Vergleich der festgestellten Todesursachen von makroskopischer Autopsie (MA) und postmortaler Bildgebung (PMBG) (grüne Felder – Übereinstimmung beider Methoden)

		HA									
Todesursache	Aspiration	Ersticken	Ertrinken	Infektion	Intrauteriner Fruchttod	Strangulation	Trauma	Volvulus	Sonstige	Ungeklärt	Summe
PMBG	Aspiration	0	2	2	0	0	0	0	1	0	5
	Ersticken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ertrinken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Infektion	0	2	0	6	0	0	0	0	0	8
	Intrauteriner Fruchttod	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Strangulation	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
	Trauma	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3
	Volvulus	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sonstige	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
	Ungeklärt	0	1	0	6	0	0	0	0	2	3
	Summe	0	5	2	13	0	1	3	0	3	3

Tabelle 7: Vergleich der festgestellten Todesursachen von histologischer Autopsie (HA) und postmortaler Bildgebung (PMBG) (grüne Felder – Übereinstimmung beider Methoden)

		KKA										
	Todesursache	Aspiration	Ersticken	Ertrinken	Infektion	Intrauteriner Fruchttod	Strangulation	Trauma	Volvulus	Sonstige	Ungeklärt	Summe
PMBG	Aspiration	0	2	2	0	0	0	0	0	1	0	5
	Ersticken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ertrinken	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Infektion	0	2	0	8	0	0	0	0	0	2	12
	Intrauteriner Fruchttod	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
	Strangulation	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
	Trauma	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	5
	Volvulus	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4
	Sonstige	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	2
	Ungeklärt	0	2	0	6	1	0	0	0	2	8	19
	Summe	0	6	2	15	3	3	5	4	4	10	52

Tabelle 8: Vergleich der festgestellten Todesursachen von kumulativer konventioneller Autopsie (KKA) und postmortalen Bildgebung (PMBG) (grüne Felder – Übereinstimmung beider Methoden)

Methode/ Fall	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
MA	Ersticken	Infektion	Infektion	Infektion	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt							
HA	Ersticken	nicht erfolgt	nicht erfolgt	Infektion	Ersticken	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	nicht erfolgt	nicht erfolgt	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion
PMBG	Infektion	Infektion	Infektion	ungeklärt	Infektion	Infektion	Sonstige	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt	ungeklärt							
KKA	Ersticken	Infektion	Infektion	Infektion	Ersticken	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	ungeklärt	ungeklärt	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion	Infektion

Tabelle 9: Todesursache Infektion in makroskopischer Autopsie (MA), histologischer Autopsie (HA), postmortalen Bildgebung (PMBG) und kumulativer konventioneller Autopsie (KKA) (grüne Felder – vermutete oder endgültige Todesursache ist eine Infektion)

5.1.4 Todesursache Infektion

Die Infektionen wurden als größte Untergruppe der Todesursachen genauer betrachtet. Es wurden alle Fälle eingeschlossen, in denen mindestens eine der Methoden MA, HA oder PMBG die Todesursache „*Infektion*“ vermutete (siehe Tabelle 9). Dies war bei 19 Kindern der Fall. Der Vollständigkeit halber ist die KKA in Tabelle 9 mit aufgeführt.

Die folgende Analyse ist detailliert in Tabelle 9 dargestellt: In vier Fällen (4/19 – 21,1 %), (Fall 1, 5, 12 und 13 lt. Tabelle 9) gab die PMBG als einzige Methode eine todesursächliche Infektion an. In zwei Fällen davon (Fall 1 und 5) führte laut MA bzw. HA eine Infektion letztendlich zum Erstickten, einmal durch eine Epiglottitis mit begleitender Pneumonie (MA) und einmal durch Verlegung der Luftwege durch Speisebrei nach infektiions-bedingtem Erbrechen (HA). In den Fällen 12 und 13 lt. Tabelle 9 blieb die Todesursache in der MA ungeklärt und eine HA erfolgte nicht. In sieben Fällen (7/19 – 36,8 %) wurde eine Infektion in MA oder HA detektiert, jedoch nicht in der PMBG. Davon zeigten sich in sechs Fällen (14-19 lt. Tabelle 9) allein in der HA Hinweise für eine Infektion. In Fall 14 bestand laut HA eine todesursächliche Infektion bei vorbestehender multizystischer Enzephalomalazie. Die PMBG vermutete im Fall 14 bei gleichzeitig bestehender Infektion einen hypoxischen Hirnschaden bei multizystischer Enzephalomalazie als todesursächlich und es erfolgte die Zuordnung in „*Sonstige*“.

In neun Fällen (9/52 – 17,3 %) blieb die Todesursache in der MA ungeklärt, während die HA eine Pneumonie oder Bronchopneumonie feststellte (Fall 5 bis 13 lt. Tabelle 9). In sieben dieser Fälle (7/9 – 77,8 %) wurde die Pneumonie ebenfalls in der PMBG nachgewiesen und als todesursächlich eingeschätzt (Fall 5 bis 11 lt. Tabelle 9). Davon war ein Fall (1/9 % - 11,1 %) ein Erstickungstod bei Epiglottitis und Pneumonie (Fall 5 lt. Tabelle 9). In den übrigen zwei Fällen (2/9 – 22,2 %) blieb die Todesursache in der Bildgebung ungeklärt, aufgrund erhobener Befunde wurde jedoch der Verdacht auf eine pulmonale Todesursache gestellt.

In der Gruppe „*Infektion*“ wurde zudem ein Vergleich von Sensitivität und Spezifität von MA und PMBG vorgenommen, wobei die KKA als Goldstandard gewertet wurde (Tabelle 10 und Tabelle 11). Die Spezifität der MA lag in dieser Untergruppe bei 100 %, die der PMBG bei 89,2 %. Die vier falsch positiven Ergebnisse der PMBG entsprechen den Fällen 1, 5, 12 und 13 aus Tabelle 9 die sieben falsch negativen Werte den Fällen 4 und 14 – 19. Die Sensitivität der MA selbst lag bei 20,0 %, die der PMBG bei 53,3 %.

Todesursache Infektion

			Goldstandard		Gesamt
			keine Infektion	Infektion	
MA	keine Infektion	Anzahl	37	12	49
		% innerhalb von Goldstandard	100,0%	80,0%	94,2%
	Infektion	Anzahl	0	3	3
		% innerhalb von Goldstandard	0,0%	20,0%	5,8%
Gesamt		Anzahl	37	15	52
		% innerhalb von Goldstandard	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 10: Vergleich von makroskopischer Autopsie (MA) und Goldstandard (entspricht der kumulativen konventionellen Autopsie) für die Todesursache „Infektion“ (blau-Spezifität, grün-Sensitivität)

Todesursache Infektion

			Goldstandard		Gesamt
			keine Infektion	Infektion	
PMBG	keine Infektion	Anzahl	33	7	40
		% innerhalb von Goldstandard	89,2%	46,7%	76,9%
	Infektion	Anzahl	4	8	12
		% innerhalb von Goldstandard	10,8%	53,3%	23,1%
Gesamt		Anzahl	37	15	52
		% innerhalb von Goldstandard	100,0%	100,0%	100,0%

Tabelle 11: Vergleich von postmortaler Bildgebung (PMBG) und Goldstandard (entspricht der kumulativen konventionellen Autopsie) für die Todesursache „Infektion“ (blau-Spezifität, grün-Sensitivität)

Mittels des McNemar-Tests basierend auf Tabelle 11 wurde überprüft, ob die Ergebnisse der Methoden Goldstandard gegen PMBG zufällig voneinander abweichen oder signifikant verschieden sind (siehe Tabelle 12). Die Nullhypothese H_0 lautet: Die Methoden ergeben die gleichen Befunde. Der errechnete p-Wert lag bei 0,12. Damit wird die Nullhypothese abgelehnt.

Für Tabelle 10 wurde kein McNemar-Test durchgeführt, da in 22 von 52 Fällen (22/52 – 42,3 %) keine histologische Zusatzuntersuchung stattfand. Somit entspricht die MA in diesen Fällen bereits dem Goldstandard. Aufgrund dieser Ergebnisverzerrung erfolgte keine Überprüfung der Nullhypothese.

McNemar-Test

	Wert	Exakte Signifikanz (2-seitig)
McNemar-Test		0,12 ^a
Anzahl der gültigen Fälle	52	
a. Verwendete Binomialverteilung		

Tabelle 12: McNemar-Test für die Todesursache „Infektion“, Nullhypothese H_0 : Unterschiede in den Ergebnissen der Methoden sind zufällig, Ablehnung von H_0 wegen $p > 0,05$

5.2 Betrachtung der einzelnen Organsysteme und Körperabschnitte

Die Auswertung der Einzelbefunde der verschiedenen Organsysteme erfolgte getrennt für die CT-Gruppe (35/52 – 67,31 %) und die CT/MRT-Gruppe (17/52 – 32,69 %). Die MA und die HA wurden in diesem Teil der Auswertung zur KKA zusammengefasst.

Aufgrund der Heterogenität der untersuchten Fälle ergaben sich insgesamt 118 verschiedene Einzelbefunde, davon 64 Befunde in der Gruppe von 35 Kindern, die allein eine CT-Untersuchung erhalten hatten und 54 Befunde in der Gruppe von 17 Kindern, die sowohl mittels CT als auch MRT untersucht wurden.

Es sind alle Befunde aufgeführt, die von mindestens einer der Methoden KKA, CT oder MRT beschrieben wurden. Zur Codierung, welcher Befund von welcher Methode verifiziert werden konnte, wird oben beschriebener Konkordanzschlüssel (siehe Tabelle 5) in Tabelle 13 bis Tabelle 30 verwendet.

5.2.1 Zerebrale Befunde

Die Korrelation von Befunden der KKA zu CT-Befunden lag bei 66,7 % (vgl. Tabelle 13), die von mindestens einer der bildgebenden Verfahren und KKA bei 74,3 % (2,9 % MRT und KKA, 71,4 % CT, MRT und KKA) (vgl. Tabelle 14). 15,6 % der Befunde konnten in der CT-Gruppe nur von der KKA detektiert werden, 17,8 % der Befunde allein durch die CT (vgl. Tabelle 13). In der CT/MRT-Gruppe wurden 5,7 % der Befunde lediglich in der KKA beschrieben, 20,0 % nur durch die bildgebenden Verfahren (vgl. Tabelle 14).

Der CT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde zugeordnet (Anzahl im Kollektiv):

- Blutung extrazerebral: EDH, SDH, SAB (5)
- Blutung ventrikulär (1)
- Enzephalomalazie (1)
- Hirnödem (33)

- Heterotopie (neuropathologisch bestätigt) (1)
- Lufteinschlüsse intrakraniell (1)
- Ventrikulomegalie (3)

Die Einzelbefunde dieser Gruppe sind in Tabelle 13 dargestellt. Eine hohe Übereinstimmung zeigte sich vor allem beim Hirnödeme (27/36 - 81,8 %). In zwei Fällen (2/45 - 4,4 % der Gesamtbefunde) wurde ein Ödem erst durch Kenntnis des Autopsiebefundes in der CT gesehen. Eine ventrikuläre Blutung wurde durch die Bildgebung als reine Subarachnoidalblutung (SAB) interpretiert. Intrakranielle Lufteinschlüsse und Ventrikelerweiterungen konnten nur durch die CT detektiert werden, während eine Hirnentwicklungsstörung, neuropathologisch beschrieben als neuronale Heterotopie, allein durch die KKA beschrieben wurde. Eine postmortale MRT lag in diesem Fall nicht vor. Bei den extrazerebralen Blutungen wurden zwei Subduralhämatome (SDH) durch beide Methoden, eine SAB allein durch die CT und zwei diskret ausgeprägte SAB allein durch die KKA detektiert.

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n _g	n _g /n _G %	n	n/n _G %
Blutung extrazerebral	2	40,0	1	20,0	2	40,0	5	11,1	0	0,0
Blutung ventrikulär	1	100,0	0	0,0	0	0,0	1	2,2	0	0,0
Enzephalomalazie	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	2,2	0	0,0
Heterotopie	1	100,0	0	0,0	0	0,0	1	2,2	0	0,0
Hirnödem	3	9,1	3	9,1	27	81,8	33	73,3	2	4,4
Lufteinschlüsse	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	2,2	0	0,0
Ventrikulomegalie	0	0,0	3	100,0	0	0,0	3	6,7	0	0,0
Gesamt n_G	7	15,6	8	17,8	30	66,7	45	100,0	2	4,4

Tabelle 13: Zerebrale Befunde CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_g-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Der CT/MRT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Blutung, intrazerebral (2)
- Blutung, extrazerebral: EDH, SDH, SAB (8)
- Blutung, intraspinal (2)
- Hirnödem (18)
- Hirnparenchymschaden durch Hitze (1)
- Lufteinschlüsse (2)
- Polymikrogyrie (1)

- Ventrikulomegalie (1)

Die Einzelbefunde dieser Gruppe sind in Tabelle 14 dargestellt. In keinem Fall wurden die Ziffern 2 bis 4 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) vergeben, daher wurden sie in Tabelle 14. aus Gründen der Übersichtlichkeit in einer Spalte zusammengefasst. Wie in der CT-Gruppe gab es eine hohe Übereinstimmung von PMBG und KKA beim Hirnödem (17/18 - 94,4 %). Zudem wurden ein Hirnparenchymschaden nach Hitzeeinwirkung und zwei intrazerebrale Blutungen, davon eine Kontusionsblutung, von allen Methoden beschrieben. Bei den extrazerebralen Blutungen wurden zwei SAB nur durch die PMBG detektiert. In einem Fall wurde ein sogenanntes Brandhämatom, definitionsgemäß zwischen Schädelknochen und Dura mater und damit epidural liegend, in der KKA beschrieben, in CT und MRT jedoch ein Subduralhämatom dokumentiert (siehe Abbildung 3). Intrakranielle Lufteinschlüsse und eine Ventrikelerweiterung wurden allein durch die Bildgebung detektiert. Ein Fall einer Polymikrogyrie wurde in der KKA unter Kenntnis der klinischen Vorgeschichte dokumentiert und nur durch die MRT, nicht aber die CT detektiert.

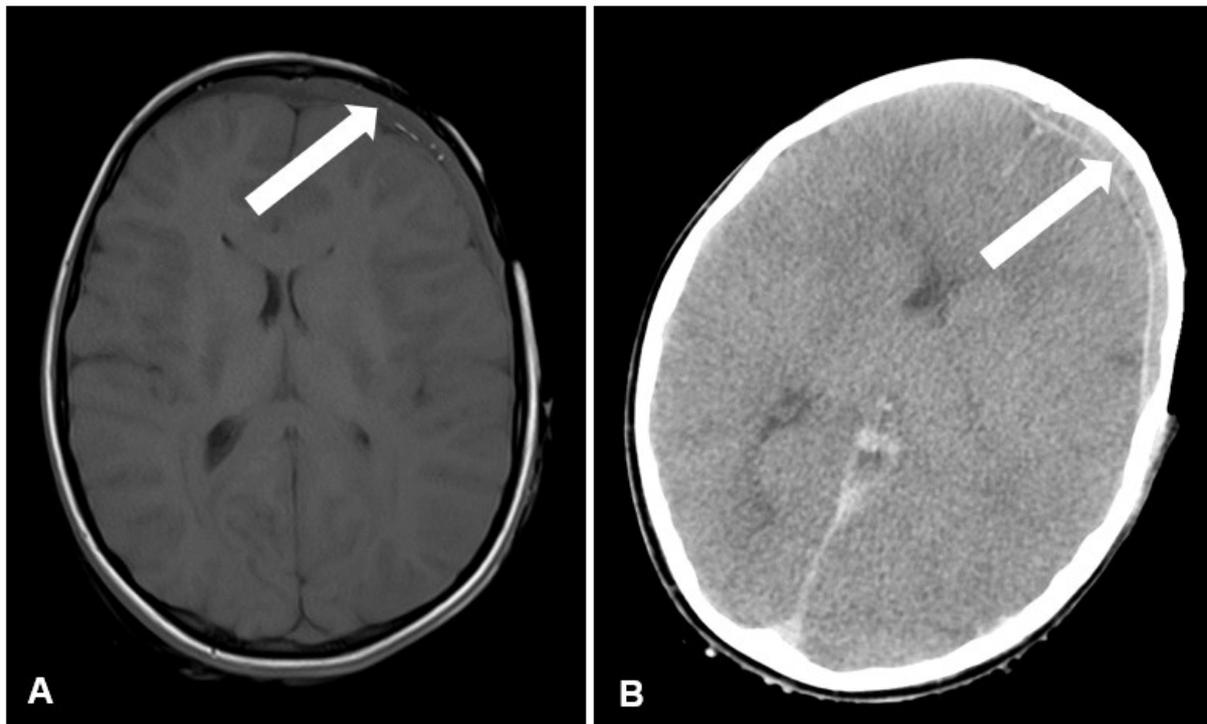


Abbildung 3: Brandhämatom in der kumulativen konventionellen Autopsie, interpretiert als frontales Subduralhämatom (Pfeile) in MRT (Bild A) und CT (Bild B)

Befund/Konkordanz	1-KKA		2 bis 4		5-KKA+MRT		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Blutung, intrazerebral	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	2	100,0	2	5,7	0	0,0
Blutung, extrazerebral	1	12,5	0	0,0	0	0,0	3	37,5	4	50,0	8	22,9	0	0,0
Blutung, intraspinal	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	50	1	50,0	2	5,7	0	0,0
Hirnödem	1	5,6	0	0,0	0	0,0	0	0	17	94,4	18	51,4	0	0,0
Hirnparenchymschaden	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0	1	100,0	1	2,9	0	0,0
Lufteinschlüsse	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	100	0	0,0	2	5,7	0	0,0
Polymikrogyrie	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0	0	0,0	1	2,9	0	0,0
Ventrikulomegalie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100	0	0,0	1	2,9	0	0,0
Gesamt n_G	2	5,7	0	0,0	1	2,9	7	20	25	71,4	35	100,0	0	0,0

Tabelle 14: Zerebrale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Befund/Konkordanz	1-KKA		2 bis 5		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichteile	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	100,0	5	19,2	0	0,0
Flüssigkeit Cavum tympani/ Mastoid	0	0,0	0	0,0	5	83,3	1	16,7	6	23,1	0	0,0
Flüssigkeit/ SH-Schwellung NNH	0	0,0	0	0,0	6	75,0	2	25,0	8	30,8	0	0,0
Lufteinschlüsse intraorbital	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	3,8	0	0,0
Sekret endonasal/ enoral	3	75,0	0	0,0	0	0,0	1	25,0	4	15,4	0	0,0
Weichgewebeläsion	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	100,0	2	7,7	0	0,0
Gesamt n_G	3	11,5	0	0,0	12	46,2	11	42,3	26	100,0	0	0,0

Tabelle 15: Kephale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, SH-Schleimhaut, NNH-Nasennebenhöhlen, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

5.2.2 Kephale Befunde

Den kephalen Befunden (kephal = den Kopf betreffend (Schwarzenberg 1997)) wurden entsprechend der Autopsie Nomenklatur alle aurikulären, nasalen, oralen und okulären Weichteilgewebefunde hinzugefügt sowie alle Befunde von Kopf- und Gesichteweichteilgeweben einschließlich der kephalen Muskulatur und der Kopfschwarte. Zudem wurden Auffälligkeiten von Mittelohr, Mastoidzellen, Orbita und Nasennebenhöhlen den kephalen Befunden zugeordnet. Letztgenannte Regionen werden in der KKA allerdings nicht regelhaft untersucht. Petechien von kephalen Häuten und Schleimhäuten wurden mit allen Kleinsteinblutungen des gesamten Körpers zusammengefasst und sind mit bei den sonstigen Befunden aufgeführt.

Die Korrelation von Befunden der KKA und der CT lag bei 35,8 % (vgl. Tabelle 16) die von KKA, CT und MRT bei 42,3 % (vgl. Tabelle 15). In der CT-Gruppe wurden 20,8 % der Befunde allein durch die KKA detektiert, 43,4 % der Befunde allein durch die CT (vgl. Tabelle 16). In der CT/MRT-Gruppe lagen diese Anteile bei 11,5 % für die Befunddetektion ausschließlich durch die KKA und bei 46,2 % ausschließlich durch die postmortale Bildgebung (vgl. Tabelle 15).

Der CT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Einblutung Weichgewebe (12): Galeahämatom, muskuläre Einblutung, Gesichtshämatome
- Flüssigkeit Cavum tympani/Mastoid (17): Mastoidverschattung, Verschattung Cavum tympani, putrides, muköses, seröses Sekret intratympanal
- Flüssigkeit/Schleimhautschwellung in den Nasennebenhöhlen (15): Verschattung, Flüssigkeitsspiegel, Schleimhautschwellung
- Sekret endonasal/enoral (6)
- Weichgewebeläsion: enorale Biss- und Rissverletzung (3)

Die Befunde dieser Gruppe sind in Tabelle 16 dargestellt. Eine gute Korrelation von KKA und CT gab es bei der Detektion von Einblutungen ins Weichgewebe (9/12 - 75,0 %), hierunter zehn Galeahämatome, eine Einblutung in die temporale Muskulatur sowie einen Fall mit ausgeprägten Gesichtshämatomen. Weichgewebeläsionen, davon ein Zungenbiss nach epileptischem Anfall, eine enorale Biss- und Rissverletzung der Mundschleimhaut und eine Läsion des Lippenbändchens, wurden nur in der KKA detektiert. Endonasaless und enorales Sekret konnten in zwei Dritteln der Fälle nur in der KKA verifiziert werden. Verschattungen

von Mastoid und Cavum tympani in der CT (siehe Beispiel in Abbildung 4) korrespondierten in 41,2 % mit Befunden der KKA. In der CT wurde im Mastoid und im Mittelohr Flüssigkeit detektiert, die jedoch nicht in putrides, muköses, oder seröses Sekret differenziert werden. Verschattungen der Nasennebenhöhlen im Sinne von Schleimhautschwellungen in 13 Fällen und Flüssigkeitsspiegeln in zwei Fällen wurden nahezu ausschließlich (93,3 %) durch die CT detektiert.

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichgewebe	3	25,0	0	0,0	9	75,0	12	22,6	2	3,8
Flüssigkeit Cavum tympani/ Mastoid	1	5,9	9	52,9	7	41,2	17	32,1	3	5,7
Flüssigkeit/ SH-Schwellung NNH	0	0,0	14	93,3	1	6,7	15	28,3	0	0,0
Sekret endonasal/ enoral	4	66,7	0	0,0	2	33,3	6	11,3	1	1,9
Weichgewebeläsion	3	100,0	0	0,0	0	0,0	3	5,7	0	0,0
Gesamt n_G	11	20,8	23	43,4	19	35,8	53	100,0	6	11,3

Tabelle 16: Kephale Befunde CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, SH-Schleimhaut, NNH-Nasennebenhöhlen, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektiertes Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

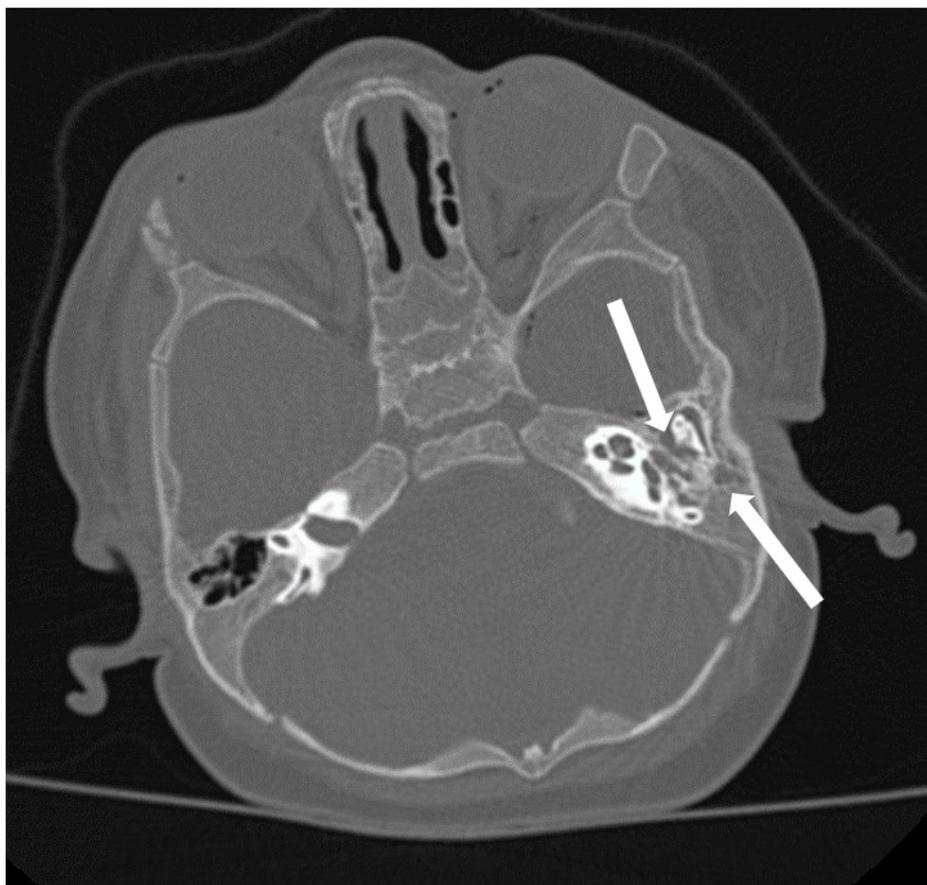


Abbildung 4: Verschattung von Mastoid und Cavum tympani links (Pfeile) in der CT

Folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) wurden der CT/MRT-Gruppe zugeordnet:

- Einblutung Weichgewebe: Galeahämatom, muskuläre Einblutung (5)
- Flüssigkeit Cavum tympani/Mastoid (6): Mastoidverschattung, Verschattung Cavum tympani, putrides, muköses, seröses Sekret intratympanal
- Flüssigkeit/Schleimhautschwellung der Nasennebenhöhlen (8): Verschattung, Flüssigkeitsspiegel, Schleimhautschwellung
- Lufteinschlüsse intraorbital (1)
- Sekret endonasal/enoral (4)
- Weichgewebeläsion (2)

Die Ergebnisse dieser Gruppe sind in Tabelle 15 dargestellt. In keinem Fall wurden die Ziffern 2 bis 5 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) vergeben, daher sind sie hier zur besseren Übersicht in Tabelle 15 in einer Spalte zusammengefasst. Bei der Detektion von Einblutungen ins Weichgewebe, davon einmal in die temporale Muskulatur und vier Galeahämatome und in zwei Fällen von Weichgewebedefekten (Hauteinrisse durch Hitze bzw. Trauma), gab es eine gute Korrelation von KKA und CT bzw. MRT (5/5 – 100 %). Endonasales und enorales Sekret wurde in 75,0 % allein von der KKA detektiert. Wie in der CT-Gruppe wurde seröse Flüssigkeit in den Mastoidzellen nur durch die bildgebenden Verfahren dokumentiert. Ein Fall einer Verschattung des Cavum tympani in der Bildgebung wurde in der KKA als Otitis media deklariert. Schleimhautschwellungen in den Nasennebenhöhlen wurden ausschließlich in der CT/MR-Virtopsie gesehen. Zwei Fälle von Flüssigkeitsansammlungen in den Nasennebenhöhlen beim Tod durch Ertrinken wurden sowohl in der KKA als auch in der PMBG beschrieben (2/8 – 25,0 %).

5.2.3 Zervikale Befunde

Der Gruppe der zervikalen Befunde wurden alle Einzelbefunde zugeordnet, die Trachea, Ösophagus und Kehlkopf sowie die Halsweichteile einschließlich der Lymphknoten, der zervikalen Muskulatur und der zervikalen Haut betrafen. Die Befundkorrelation von KKA und CT lag bei 50,0 % (vgl. Tabelle 17), die von KKA und CT-/MR-Virtopsie bei 45,5 % (vgl. Tabelle 18). In der CT-Gruppe wurden 26,7 % der Befunde nur durch die KKA detektiert und 23,3 % allein durch die CT (vgl. Tabelle 17). Bei der CT/MRT-Gruppe lag der Anteil lediglich durch KKA detektierter Einzelbefunde bei 36,4 %, der Anteil allein in der PMBG gesehener Befunde bei 18,2 % (vgl. Tabelle 18).

Die folgenden Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) wurden der CT-Gruppe zugerechnet:

- Einblutung Weichgewebe: subkutane Einblutung, muskuläre Einblutung (5)
- Laryngitis (2)
- Lymphadenopathie im zervikalen Bereich (9)
- Schwellung des Waldeyer'schen Rachenrings/der Tonsillen (11)
- Strangmarke (2)
- Weichgewebeläsion (1)

Die Ergebnisse dieser Gruppe sind in Tabelle 17 dargestellt. Einblutungen in die zervikalen Weichgewebe wurden im Fall subkutaner Unterblutungen durch KKA und CT beschrieben. Drei Fälle von Einblutungen in die zervikale Muskulatur bei Strangulation konnten nur durch die KKA verifiziert werden, während in der CT lediglich eine ödematöse Schwellung des Gewebes sichtbar war. Von der CT wurden mehr, vor allem in tieferen Gewebsschichten liegende Lymphknoten detektiert (5/9 - 55,6 %). Zwei Strangmarken (2/2 – 100%) und damit korrespondierende zervikale Weichgewebedefekte wurden durch beide Methoden beschrieben. In zwei Fällen wurde histologisch eine Laryngitis nachgewiesen, die sowohl von der MA als auch von der CT unbemerkt blieb. Je zwei Tonsillenschwellungen (2/11 - 18,2 %) wurden nur in der Autopsie bzw. der CT-Virtopsie dokumentiert. In vier Fällen (4/11 - 36,4 %) wurde eine Tonsillenschwellung erst im SL gesehen.

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichgewebe	4	80,0	0	0,0	1	20,0	5	16,7	0	0,0
Laryngitis	2	100,0	0	0,0	0	0,0	2	6,7	0	0,0
Lymphadenopathie	0	0,0	5	55,6	4	44,4	9	30,0	0	0,0
Schwellung Waldeyer-RR/ Tonsillen	2	18,2	2	18,2	7	63,6	11	36,7	4	13,3
Strangmarke	0	0,0	0	0,0	2	100,0	2	6,7	0	0,0
Weichgewebeläsion	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	3,3	0	0,0
Gesamt n_G	8	26,7	7	23,3	15	50,0	30	100,0	4	13,3

Tabelle 17: Zervikale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, RR-Rachenring, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Der CT/MRT-Gruppe wurden fünf Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Einblutung Weichgewebe: subkutane Einblutung, muskuläre Einblutung (5)
- Lymphadenopathie zervikal (3)
- Schwellung Waldeyer-RR/Tonsillen (1)
- Strangmarke (1)
- Weichgewebeläsion (1)

Die Ergebnisse dieser Gruppe sind in Tabelle 18 dargestellt. Zur besseren Übersicht sind die Zahlen 2 bis 5 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) in einer Spalte zusammengefasst, da sie in keinem Fall vergeben wurden. Einblutungen in die zervikale Muskulatur und in die Subkutis konnten allein durch die KKA detektiert werden, während Lymphadenopathien häufiger durch die Bildgebung entdeckt wurden (2/3 - 66,7 %). Auch in dieser Gruppe wurde eine Strangmarke (siehe Abbildung 5) durch KKA und PMBG dokumentiert (1/1 – 100%). Eine Tonsillenschwellung in dieser Gruppe wurde durch die Bildgebung erst im SL beschrieben.

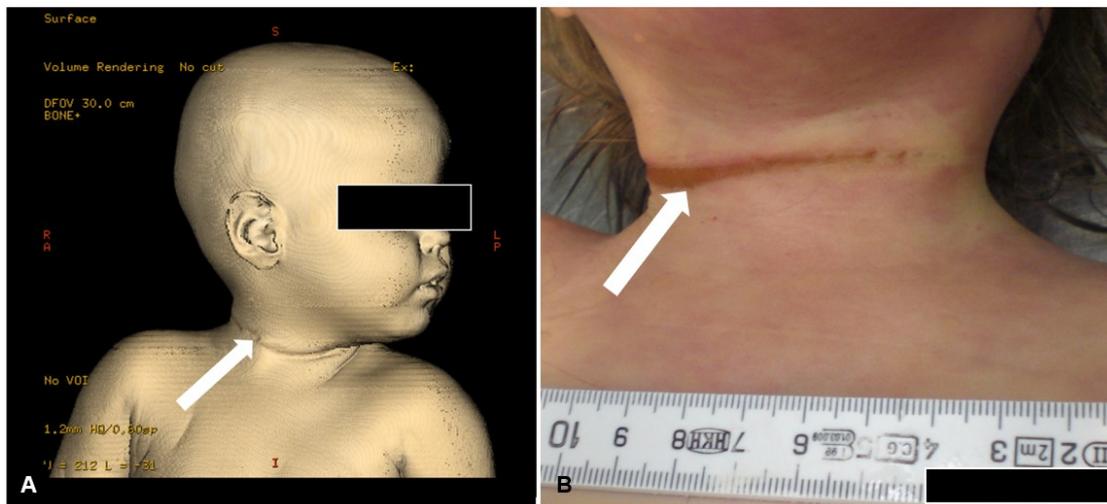


Abbildung 5: Zervikale Strangmarke (Pfeile). Bild A: 3D-Rekonstruktion in der CT. Bild B: Makroskopische Autopsie

5.2.4 Pulmonale Befunde

Dieser Gruppe wurden alle Befunde zugeordnet, die das Lungenparenchym, die Pleura visceralis et parietalis sowie Flüssigkeits- und Luftansammlungen zwischen oder unter diesen Geweben betrafen. Bei allen Patienten fanden sich in der Bildgebung unspezifische postmortale Veränderungen in Form von Milchglasinfiltraten, die am ehesten durch den Blutstau nach Erliegen der Kreislaufzirkulation zustande kamen und die daher nicht in die Auswertung der relevanten prä-mortalen Befunde aufgenommen wurden. Eine Abgrenzung zu „echten“, bereits prä-mortale existierenden Pathologien wurde durch diese Befunde erschwert. Bei den pulmonalen Befunden wurde eine Korrelation von 56,4 % zwischen Ergebnissen der KKA und der CT (vgl. Tabelle 20) und von 60,4 % (vgl. Tabelle 19) zwischen der KKA und der CT/MR-Virtopsie ermittelt. In der CT-Gruppe wurden 29,1 % der Einzelbefunde nur in der KKA dokumentiert und 14,5 % nur in der Virtopsie (vgl. Tabelle 20). In der CT/MRT-Gruppe lagen diese Anteile bei 29,2 % für alleinige Befunddetektion durch die KKA und bei 10,4 % durch die Virtopsie (vgl. Tabelle 19).

Befund/Konkordanz	1-KKA		2 bis 5		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichgewebe	4	80,0	0	0,0	0	0,0	1	20,0	5	45,5	0	0,0
Lymphadenopathie	0	0,0	0	0,0	2	66,7	1	33,3	3	27,3	0	0,0
Schwellung Waldeyer-RR/ Tonsillen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	9,1	1	9,1
Strangmarke	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	9,1	0	0,0
Weichgewebeläsion	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	9,1	0	0,0
Gesamt n_G	4	36,4	0	0,0	2	18,2	5	45,5	11	100,0	1	9,1

Tabelle 18: Zervikale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, RR-Rachenring, 2-CT, 3-Autopsie+CT, 4-MRT, 5-Autopsie+MRT, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Befunde/Konkordanz	1-KKA		2 bis 5		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Aspiration	2	33,3	0	0	1	16,7	3	50,0	6	12,5	0	0,0
Belüftungsstörungen	0	0,0	0	0	0	0,0	10	100,0	10	20,8	1	2,1
Einblutung Lungenparenchym	0	0,0	0	0	0	0,0	2	100,0	2	4,2	0	0,0
Hämatothorax	0	0,0	0	0	1	100,0	0	0,0	1	2,1	0	0,0
Lungenödem	0	0,0	0	0	1	25,0	3	75,0	4	8,3	0	0,0
Pleuraerguss	0	0,0	0	0	1	20,0	4	80,0	5	10,4	0	0,0
Pneumonie/(Tracheo-) Bronchitis	3	50,0	0	0	0	0,0	3	50,0	6	12,5	0	0,0
Pneumothorax/ subpleurale Luft einschüsse	0	0,0	0	0	1	50,0	1	50,0	2	4,2	0	0,0
Verlegung der Luftwege	6	75,0	0	0	0	0,0	2	25,0	8	16,7	0	0,0
Andere Pulmonale Pathologie	3	75,0	0	0	0	0,0	1	25,0	4	8,3	0	0,0
Gesamt n_G	14	29,2	0	0	5	10,4	29	60,4	48	100,0	1	2,1

Tabelle 19: Pulmonale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Den pulmonalen Befunden wurden in der CT-Gruppe die folgenden Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Aspiration (12)
- Belüftungsstörung (28)
- Einblutung in das Lungenparenchym (9)
- Fehlende Lungenbelüftung (3)
- Hämatothorax (1)
- Lungenödem (12)
- Pleuraerguss (8)
- Pneumonie/(Tracheo-) Bronchitis (14)
- Pneumothorax (4)
- Verlegung der Luftwege (26)

Für die o.g. Befunde ergaben sich im Kollektiv die in Tabelle 20 dargestellten Korrelationen. Insgesamt 12,8 % der Befunde wurden in der Bildgebung erst im SL gesehen. Das Vorliegen eines Lungenödems war unter alleiniger Kenntnis der postmortalen CT in drei Fällen (3/12 – 25,0 %) nicht eindeutig von postmortalen Veränderungen zu unterscheiden. Zudem war bei Verlegung der Luftwege eine Detektion durch die Bildgebung nur in den Fällen möglich, in denen die MA „reichlich“ Material beschrieb (8/26 – 30,8 %). Auflagerungen in den Luftwegen wurden durch die CT übersehen. Bei Verlegung der Luftwege war eine Materialunterscheidung in Flüssigkeit, Speisebrei, schaumiges oder muköses Sekret durch die CT auch unter Berücksichtigung der Hounsfield-Einheiten (HE) nicht möglich. Vier Fälle von Aspiration (4/12 - 33,3 %) wurden nur bei der KKA beschrieben, davon zwei (2/12 - 16,7 %) erst in der HA als „gering ausgeprägte“ Aspiration. Hingegen wurde in drei Fällen die Aspiration (3/12 - 25,0 %) nur durch die CT detektiert. Eine gute Korrelation der Befunde von CT und KKA ließ sich für Belüftungsstörungen (21/28 - 75,0 %), Pneumonie bzw. (Tracheo-) Bronchitis (9/14 - 64,3 %), Lungenödeme (8/12 - 66,7 %), Einblutung ins Lungenparenchym (5/9 - 55,6 %) und Pleuraergüsse (6/8 - 75,0 %) zeigen. Eine komplette Übereinstimmung (1/1 - 100 %) ergab sich für die Diagnose Hämatothorax. Auch in drei Fällen einer fehlenden Lungenbelüftung (3/3 – 100 %) als Hinweis auf intrauterinen Fruchttod (siehe Abbildung 6) wurde bei beiden Methoden die richtige Diagnose gestellt. In vier Fällen wies lediglich die CT einen Pneumothorax nach, der in der KKA nicht beschrieben wurde.

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Aspiration	4	33,3	3	25,0	5	41,7	12	10,3	1	0,9
Belüftungsstörung	3	10,7	4	14,3	21	75,0	28	23,9	2	1,7
Einblutung Lungenparenchym	2	22,2	2	22,2	5	55,6	9	7,7	2	1,7
Fehlende Lungenbelüftung	0	0,0	0	0,0	3	100,0	3	2,6	1	0,9
Hämatothorax	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	0,9	0	0,0
Lungenödem	4	33,3	0	0,0	8	66,7	12	10,3	3	2,6
Pleuraerguss	0	0,0	2	25,0	6	75,0	8	6,8	1	0,9
Pneumonie/(Tracheo-) Bronchitis	3	21,4	2	14,3	9	64,3	14	12,0	3	2,6
Pneumothorax	0	0,0	4	100,0	0	0,0	4	3,4	0	0,0
Verlegung der Luftwege	18	69,2	0	0,0	8	30,8	26	22,2	3	2,6
Gesamt n_G	34	29,1	17	14,5	66	56,4	117	100,0	13	11,1

Tabelle 20: Pulmonale Befunde CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

In der CT/MRT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) beschrieben:

- Aspiration (6)
- Belüftungsstörungen (10)
- Einblutung in das Lungenparenchym (2)
- Hämatothorax (1)
- Lungenödem (4)
- Pleuraerguss (5)
- Pneumonie/(Tracheo-) Bronchitis (6)
- Pneumothorax/subpleurale Lufteinschlüsse (2)
- Verlegung der Luftwege (8)
- Andere pulmonale Pathologie: Bronchopulmonale Dysplasie, pulmonale Verwachsung, Fehlende pulmonale Lobulierung (4)

Die Ergebnisse dieser Gruppe sind in Tabelle 19 dargestellt. Da die Konkordanzschlüssel 2 bis 5 (siehe Tabelle 5) in keinem Fall vergeben wurden, sind sie in einer Spalte zusammengefasst. Insgesamt war in dieser Gruppe von 48 beschriebenen Befunden nur eine Belüftungsstörung (1/48 - 2,1 %) erst unter Kenntnis des Autopsiebefundes zu sehen. Unter andere pulmonale Pathologie wurden neben der bronchopulmonalen Dysplasie als klinischer Diagnose mit radiologischem Korrelat zwei Fälle von Verschwartungen von Lunge und Brustwand und eine Lungenfehlbildung mit fehlender Lobulierung der Lungenflügel zusammengefasst. Die Verschwartung und auch die fehlende Septierung

zwischen den Lungenlappen konnten durch die Virtopsie nicht verifiziert werden. Ein Fall einer klinisch vorbeschriebenen bronchopulmonalen Dysplasie fiel in der postmortalen Bildgebung durch ubiquitäre Bronchiektasien und zystische Veränderungen auf und wurde als chronische Lungengerüstveränderung eingestuft. In der KKA war der klinische Befund bekannt und die pulmonalen Autopsiebefunde wurden als vereinbar mit der klinischen Diagnose beschrieben.

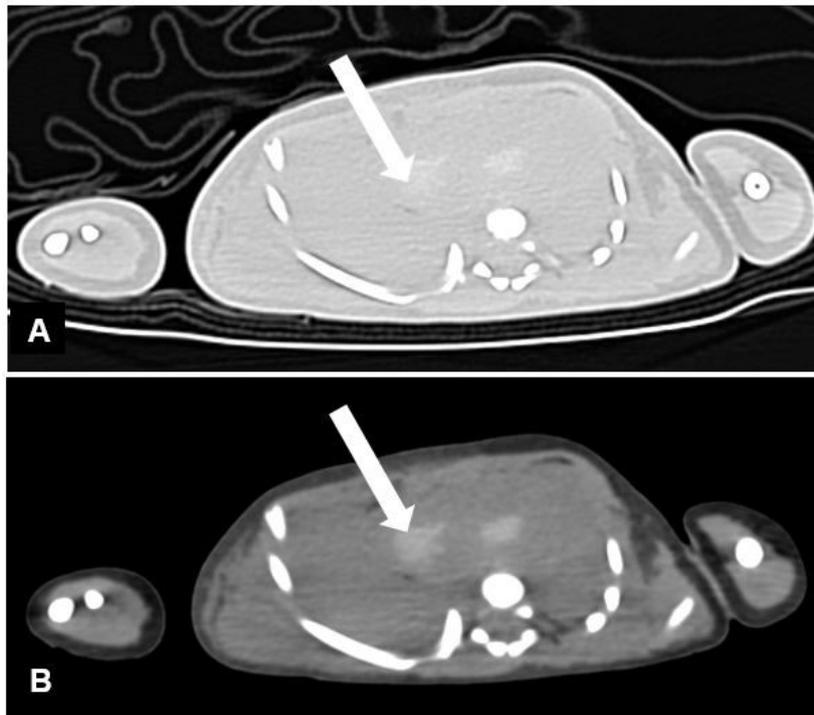


Abbildung 6: Fehlende Lungenbelüftung in der CT (Pfeile), Bild A: Lungenfenster, Bild B: Weichteilfenster

Drei Fälle von Pneumonie/(Tracheo-) Bronchitis (3/6 - 50,0 %) konnten durch die Virtopsie nicht detektiert werden. Ein Hämatothorax (1/1 - 100 %), ein Pleuraerguss (1/5 - 20,0 %) und ein Pneumothorax (1/2 - 50,0 %) wurden von der KKA nicht beschrieben. Bei zwei allein in der KKA dokumentierten Aspirationen (2/6 - 33,3 %) handelte es sich einmal um eine Aspiration von Rußpartikeln und einmal um eine erst histologisch gesicherte „gering ausgeprägte“ Aspiration. Wie auch in der CT-Gruppe wurde eine Verlegung der Luftwege nur bei laut KKA „reichlich“ vorhandenem Inhalt (2/8 - 25,0 %) auch durch die postmortale Bildgebung beschrieben. Eine Differenzierung des Materials war mit der Virtopsie nicht möglich. Eine gute Korrelation von KKA und CT/MR-Virtopsie zeigte sich bei Belüftungsstörungen (10/10 - 100 %), Einblutungen in das Lungengewebe (2/2 - 100 %), Lungenödemen (3/4 - 75,0 %) und Pleuraergüssen (4/5 - 80,0 %).

5.2.5 Kardiale Befunde

Diesem Teil der Auswertung wurden alle Einzelbefunde zugeordnet, die das Perikard einschließlich Perikardergüsse, das Epikard, das Myokard oder das Endokard betrafen sowie Veränderungen der Herzhöhlen oder der herznahen großen Gefäße einschließlich des Ductus arteriosus. Die Korrelation von Befunden der KKA und der CT lag bei 29,4 % (vgl. Tabelle 21), die der KKA und mindestens einer der beiden bildgebenden Verfahren bei 42,1 % (vgl. Tabelle 23) (10,5 % MRT und KKA, 31,6 % KKA, CT und MRT). In der CT-Gruppe wurden je 35,3 % nur durch eine der Methoden KKA oder Virtopsie detektiert (vgl. Tabelle 21). In der CT/MRT-Gruppe wurden 21,2 % der Befunde nur in der KKA nachgewiesen und insgesamt 36,8 % aller Einzelbefunde nur durch die Virtopsie (15,8 % nur CT, 10,5 % nur MRT, 10,5 % CT und MRT) (vgl. Tabelle 23).

Der CT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Erweiterung der Herzhöhlen oder der Ausstrombahn (2)
- Durchblutungsstörung des Myokards (4)
- Myokarditis (2)
- Perikarderguss (2)
- Ventrikelhypertrophie (2)
- Verkalkungen des (ehemaligen) Ductus arteriosus (5)

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Erweiterung Herzhöhlen/ Ausstrombahn	0	0,0	0	0,0	2	100,0	2	11,8	2	11,8
Durchblutungsstörung Myokard	4	100,0	0	0,0	0	0,0	4	23,5	0	0,0
Myokarditis	2	100,0	0	0,0	0	0,0	2	11,8	0	0,0
Perikarderguss	0	0,0	0	0,0	2	100,0	2	11,8	2	11,8
Ventrikelhypertrophie	0	0,0	1	50,0	1	50,0	2	11,8	0	0,0
Verkalkung Ductus arteriosus	0	0,0	5	100,0	0	0,0	5	29,4	0	0,0
Gesamt n_G	6	35,3	6	35,3	5	29,4	17	100,0	4	23,5

Tabelle 21: Kardiale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

In Tabelle 21 sind die Ergebnisse der CT-Gruppe dargestellt. Für Durchblutungsstörungen im Myokard (4/4 – 100 %) und Myokarditis (2/2 – 100 %), jeweils in der HA diagnostiziert (vgl. Abbildung 7), konnte kein Anhalt in der CT gefunden werden. Dagegen wurden

Verkalkungen im ehemaligen Ductus arteriosus (5/5 - 100 %) sowie eine Ventrikelhypertrophie (1/2 - 50 %) allein durch die CT detektiert. In der KKA wurde zweimal eine Flüssigkeitsansammlung im Herzbeutel (2/2 – 100 %) von einmal 10 ml bei einem Neugeborenen und einmal 25 ml bei einem zweijährigen Kind festgestellt, was in der CT im SL als schmaler Flüssigkeitssaum gesehen wurde. Ebenso wurden eine Erweiterung des Truncus pulmonalis und eine Erweiterung des rechten Vorhofs nur unter Kenntnis des Autopsiebefundes detektiert.

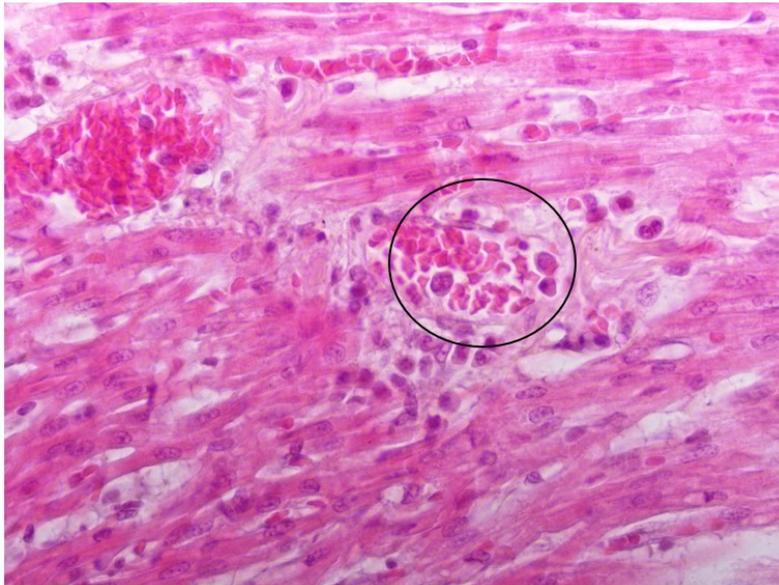


Abbildung 7: Mikroskopische Aufnahme einer Myokarditis mit Lymphozyten im Herzmuskel (Kreis), Hämatoxylin-Eosin-Färbung

Folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) wurden der CT/MRT-Gruppe zugeordnet:

- Erweiterung der Herzhöhlen oder der Ausstrombahn (3)
- Durchblutungsstörung des Myokards (1)
- Faserschäden im Myokard (3)
- Luftembolie (1)
- Perikarderguss (7)
- Ventrikelhypertrophie (1)
- Verkalkung des (ehemaligen) Ductus arteriosus (3)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 23 dargestellt. Auch in dieser Gruppe wurden Durchblutungsstörungen im Myokard allein von der KKA detektiert. Ebenso gab es für histologisch festgestellte Faserschäden im Myokard (3/3 - 100 %) keinen Anhalt in einem der bildgebenden Verfahren. Je zwei Perikardergüsse (2/7 - 28,6 %) wurden allein von der MRT

bzw. KKA und MRT dokumentiert, in der CT jedoch nicht gesehen. Hingegen wurden drei Verkalkungen des ehemaligen Ductus arteriosus (3/3 - 100 %) nur durch die CT verifiziert. Eine Luftembolie (1/1 - 100 %) und eine Erweiterung des rechten Herzens (1/3 - 33,3 %) konnten nur durch die CT/MR-Virtopsie nachgewiesen werden.

5.2.6 Thorakale Befunde

Den thorakalen Befunden wurden alle Einzelbefunde zugeordnet, welche die thorakale Haut, die thorakalen Weichgewebe (die weder pulmonal noch kardial einzuordnen waren), die thorakale Muskulatur, die Brustdrüsen, die Thoraxwand und die Thymusdrüse betrafen. Die Befundkorrelation zwischen KKA und CT lag bei 54,5 % (vgl. Tabelle 22) und zwischen KKA und CT/MR-Virtopsie bei 40,0 % (vgl. Tabelle 24). Insgesamt konnte ein Anteil der Einzelbefunde von 9,1 % in der CT-Gruppe (vgl. Tabelle 22) und 20,0 % in der CT/MRT-Gruppe (vgl. Tabelle 24) allein durch die KKA detektiert werden. Ausschließlich durch die bildgebenden Verfahren wurden in der CT-Gruppe 36,4 % (vgl. Tabelle 22) und in der CT/MRT-Gruppe 40,0 % (vgl. Tabelle 24) der Befunde entdeckt.

Folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) wurden der CT-Gruppe zugeordnet:

- Einblutung Weichgewebe: subkutane Einblutung (4)
- Gynäkomastie (1)
- Lymphadenopathie thorakal: axillär, mediastinal (3)
- Thymusvergrößerung (1)
- Weichgewebeläsion (1)
- Zwerchfellruptur (1)

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichgewebe	1	25,0	0	0,0	3	75,0	4	36,4	0	0,0
Gynäkomastie	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	9,1	0	0,0
Lymphadenopathie	0	0,0	2	66,7	1	33,3	3	27,3	0	0,0
Vergrößerung Thymus	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	9,1	0	0,0
Weichgewebeläsion	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	9,1	0	0,0
Zwerchfellruptur	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	9,1	0	0,0
Gesamt n_G	1	9,1	4	36,4	6	54,5	11	100,0	0	0,0

Tabelle 22: Thorakale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Die Ergebnisse dieser Gruppe finden sich in Tabelle 22. Ein Fall von Gynäkomastie (1/1 – 100 %), eine Thymusvergrößerung (1/1 – 100 %) und zwei Lymphadenopathien axillär und

mediastinal (2/3 – 66,7 %) wurden nur von der CT detektiert, hingegen konnte eine wenige Millimeter große subkutane Einblutung dorsal über der Brustwirbelsäule (1/4 – 25,0 %) von der CT nicht verifiziert werden. Eine gute Korrelation von KKA und CT gab es bei subkutanen Einblutungen (3/4 - 75,0 %), bei einem thorakalen dorsalen Defekt von Kutis und Subkutis (1/1 - 100 %) sowie bei einer Zwerchfellruptur (1/1 - 100 %).

Der CT/MRT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Einblutung Weichteile: subkutane Einblutung, muskuläre Einblutung (2)
- Gynäkomastie (1)
- Lymphadenopathie: axillär (1)
- Pneumomediastinum (1)

Die Ergebnisse der CT/MRT-Gruppe sind in Tabelle 24 dargestellt. Da die Ziffern 2 bis 5 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) in keinem Fall vergeben wurden, sind sie zur besseren Übersicht in einer Spalte zusammengefasst. Wie in der CT-Gruppe konnte eine Gynäkomastie (1/1 - 100 %) allein durch die CT/MR-Virtopsie detektiert werden. Ein Pneumomediastinum (1/1 – 100 %) (siehe Abbildung 8) wurde von der KKA nicht verifiziert. Eine subkutane Einblutung (1/2 – 50,0 %) wurde von KKA und bildgebenden Verfahren beschrieben, eine Einblutung in den Musculus pectoralis minor wurde jedoch nicht von der Bildgebung erkannt (1/2 – 50,0 %). Bei einer einseitigen axillären Lymphadenopathie (1/1 – 100 %) korrelierten Befunde von KKA und PMBG gut.



Abbildung 8: Pneumomediastinum (Pfeile) im CT-Lungenfenster, Ausbreitung entlang des bronchovaskulären Bündels bds.

Befunde/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA+CT		4-MRT		5-KKA+MRT		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %						
Erweiterung Herzhöhlen/ Ausstrombahn	0	0,0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0,0	1	33,3	2	66,7	3	15,8	0	0,0
Durchblutungsstörung Myokard	1	100,0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	5,3	0	0,0
Faserschäden Myokard	3	100,0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	15,8	0	0,0
Luftembolie	0	0,0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	5,3	0	0,0
Perikarderguss	0	0,0	0	0,0	0	0	2	28,6	2	28,6	0	0,0	3	42,9	7	36,8	0	0,0
Ventrikelhypertrophie	0	0,0	0	0,0	0	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	5,3	0	0,0
Verkalkung Ductus arteriosus	0	0,0	3	100,0	0	0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	3	15,8	0	0,0
Gesamt n_G	4	21,1	3	15,8	0	0	2	10,5	2	10,5	2	10,5	6	31,6	19	100,0	0	0,0

Tabelle 23: Kardiale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Befunde/Konkordanz	1-KKA		2 bis 5		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichteile	1	50,0	0	0,0	0	0,0	1	50,0	2	40,0	0	0,0
Gynäkomastie	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	20,0	0	0,0
Lymphadenopathie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	20,0	0	0,0
Pneumomediastinum	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	20,0	0	0,0
Gesamt n_G	1	20,0	0	0,0	2	40,0	2	40,0	5	100,0	0	0,0

Tabelle 24: Thorakale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

5.2.7 Abdominale und retroperitoneale Befunde

Den abdominalen und retroperitonealen Befunden wurden alle Einzelbefunde zugeordnet, welche die Haut des Abdomens, die Weichteile einschließlich der abdominalen Lymphknoten und der Muskulatur, die Leber, die Milz, die Nieren, den Gastrointestinaltrakt, das Pankreas, die Gallenblase und die großen abdominalen Gefäße betrafen. Die Korrelation von Befunden der KKA und der CT lag bei 35,0 % (vgl. Tabelle 25) und bei 39,1 % zwischen KKA und beiden bildgebenden Modalitäten (4,3 % KKA und CT, 34,8 % KKA, CT und MRT) (vgl. Tabelle 26). 16,7 % der abdominalen Einzelbefunde in der CT-Gruppe wurden allein durch die KKA dokumentiert, 48,3 % allein durch die CT (vgl. Tabelle 25). In der CT/MRT-Gruppe wurden 4,3 % der Befunde nur in der KKA beschrieben, 56,5 % nur in der CT/MR-Virtopsie (vgl. Tabelle 26).

Der CT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Cholezystolithiasis (1)
- Durchblutungsstörung Organ: Leber, Niere (3)
- Dystopie: Organverlagerung, Nabelhernie, Volvulus (6)
- Freie Flüssigkeit: blutiger Aszites, nicht blutiger Aszites (13)
- Freie Luft: intraabdominal (1)
- Lymphadenopathie: mesenterial, inguinal (5)
- Organomegalie: Hepatomegalie, Splenomegalie (22)
- Peritonitis/Darmnekrosen (1)
- Ruptur: Pankreasruptur, Milzruptur, Leberruptur (3)
- Verkalkungen mesenterial (4)
- Z.n. Darmteilresektion (1)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 25 dargestellt. Eine gute Korrelation von KKA und CT zeigte sich bei freier Flüssigkeit (10/13 - 76,9 %), sowohl blutig als auch nicht blutig, und Organdystopie (5/6 - 83,3 %). Auch eine begleitende Peritonitis bei Volvulus (1/1 - 100 %) konnte durch KKA und CT verifiziert werden. Durchblutungsstörungen von Leber und Nieren (3/3 - 100 %) wurden nur durch die KKA detektiert. Freie intraabdominelle Luft als Hinweis auf eine Hohlorganperforation (1/1 - 100 %), ein Fall einer Cholezystolithiasis (1/1 - 100 %) (siehe Abbildung 9) und mesenteriale Verkalkungen (4/4 - 100 %) wurden allein in der CT dokumentiert. Mesenteriale Lymphadenopathien wurden in zwei Fällen (2/5 - 40,0 %) allein in der KKA beschrieben und in einem Fall durch KKA und CT (1/5 - 20,0 %), während zwei Fälle von inguinaler Lymphadenopathie (2/5 - 40,0 %) nur in der CT auffielen. In 16 Fällen

(16/22 - 72,7 %) wurde in der CT eine Hepato- und/oder eine Splenomegalie gemessen, während die Organgröße durch die Autopsie als normal eingeschätzt wurde. Während eine Pankreasruptur (1/3 - 33,3 %) sowohl von der CT als auch von der KKA als solche vermerkt wurde, interpretierten die Methoden eine Milz- und eine Leberläsion unterschiedlich. Die CT bezeichnete die Befunde als Organlazeration, die konventionelle Autopsie dokumentierte lediglich eine Unterblutung der Organkapsel (siehe Abbildung 10).

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n	n/n _G %	n _G	n _G /n _G %	n	n/n _G %
Cholezystolithiasis	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	1,7	0	0,0
Durchblutungsstörung Organ	3	100,0	0	0,0	0	0,0	3	5,0	0	0,0
Dystopie	0	0,0	1	16,7	5	83,3	6	10,0	0	0,0
Freie Flüssigkeit	1	7,7	2	15,4	10	76,9	13	21,7	2	3,3
Freie Luft	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	1,7	0	0,0
Lymphadenopathie	2	40,0	2	40,0	1	20,0	5	8,3	0	0,0
Organomegalie	3	13,6	16	72,7	3	13,6	22	36,7	0	0,0
Peritonitis/ Darmnekrosen	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	1,7	0	0,0
Ruptur	0	0,0	2	66,7	1	33,3	3	5,0	0	0,0
Verkalkungen mesenterial	0	0,0	4	100,0	0	0,0	4	6,7	0	0,0
Z.n. Darmteilresektion	1	100,0	0	0,0	0	0,0	1	1,7	0	0,0
Gesamt n_G	10	16,7	29	48,3	21	35,0	60	100,0	2	3,3

Tabelle 25: Abdominale und retroperitoneale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)



Abbildung 9: Cholezystolithiasis (Pfeil) im CT-Weichteilfenster, nicht beschrieben in der Makroskopischen Autopsie

Der CT/MRT-Gruppe wurden in diesem Bereich die folgenden Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Dystopie (3): Volvulus
- Freie Flüssigkeit (3): nicht blutiger Aszites
- Freie Luft intraabdominal (1)
- Lymphadenopathie: mesenterial, inguinal, retroperitoneal (6)
- Organomegalie: Hepatomegalie, Splenomegalie (11)
- Peritonitis/Darmnekrosen (1)

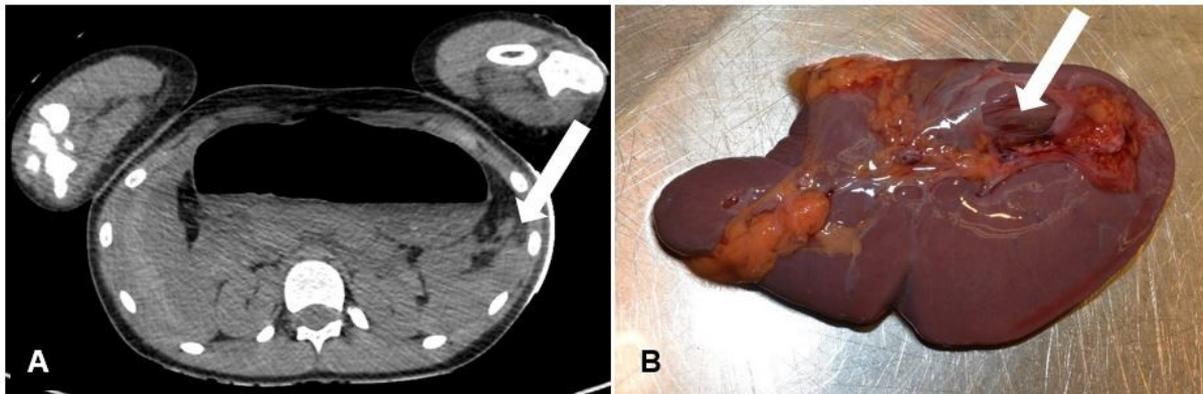


Abbildung 10: Verschiedene Interpretation des gleichen Befundes. Bild A: Milzläsion in der CT (Pfeil). Bild B: Milzkapselunterblutung in der Makroskopischen Autopsie (Pfeil)

Alle Ergebnisse finden sich in Tabelle 26. Zur besseren Übersicht sind die Ziffern 2, 4 und 5 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) in einer Spalte zusammengefasst, da diese in keinem Fall vergeben wurden. Eine gute Korrelation von KKA und postmortalen Bildgebung zeigte sich bei freier Flüssigkeit (2/3 - 66,7 %), Organdystopie (3/3 - 100 %) und einer begleitenden Peritonitis mit Darmnekrosen (1/1 - 100 %), letztere erst detektiert im SL. Freie intraabdominale Luft als Hinweis auf eine Perforation eines Hohlorgans war lediglich in der CT zu sehen. Inguinale und retroperitoneale Lymphadenopathien konnten in 4 Fällen (4/6 - 66,7 %) allein durch die CT/MR-Virtopsy verifiziert werden, zwei Fälle von mesenterialer Lymphadenopathie (2/6 - 33,3 %) wurden in KKA, CT und MRT dokumentiert. In acht Fällen (8/11 - 72,7 %) wurde durch die Bildgebung eine Hepato- und/oder Splenomegalie angegeben bei gleichzeitig unauffälliger Organgröße in der KKA.

5.2.8 Skelettale Befunde

Den skelettalen Befunden wurden alle Einzelbefunde zugeordnet, welche die knöchernen Strukturen betrafen. Die Befundkorrelation von KKA und CT lag hier bei 55,0 % (vgl. Tabelle 27), die von KKA und postmortalen CT und/oder MRT bei 70,0 % (10,0 % KKA und CT, 60,0 % KKA, CT und MRT) (vgl. Tabelle 28). In der CT-Gruppe wurden 5,0 % der Befunde nur durch die KKA detektiert, in der CT/MRT-Gruppe kein Einzelbefund. Dagegen

wurden 40,0 % der Einzelbefunde in der CT-Gruppe und 30,0 % in der CT/MRT-Gruppe nur durch eine oder beide Formen der Virtopsie beschrieben (10,0 % nur MRT, 10,0 % CT und MRT) (vgl. Tabelle 27 und Tabelle 28).

Fünf verschiedene Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) wurden in die Gruppe der skelettalen CT-Befunde eingeordnet:

- Fraktur (11): Schädel (1), Sternum (1), Rippen (3), Skapula (1), Wirbelkörper (1), Unterarm (2), Becken (1), Femur (1)
- Hüftdysplasie (1)
- Pseudarthrose: Ulna (1)
- Schädeldeformierung (6): Brachycephalus (2), Plagiocephalus (2), verschobene Fontanellen (2)
- Skoliose der Wirbelsäule (1)

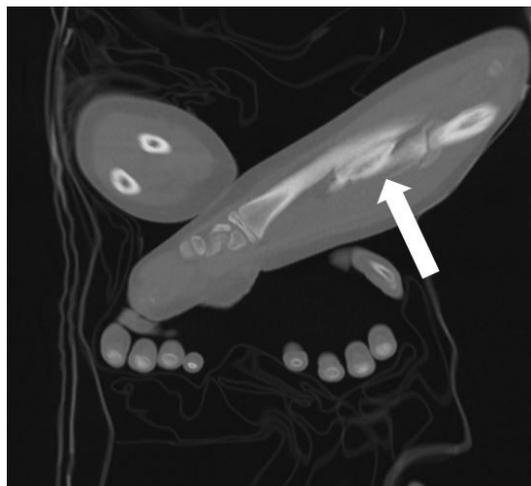


Abbildung 11: Pseudarthrose der linken Ulna in der CT (Pfeil), in der kumulativen konventionellen Autopsie als frische Ulnafraktur gewertet

Die Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt. Eine gute Korrelation von KKA und CT zeigte sich bei Frakturen (8/11 - 72,7 %), bei Skoliose (1/1 - 100 %) und bei Hüftdysplasie (1/1 - 100 %). Unter „Schädeldeformierung“ wurden zwei Fälle eines Plagiocephalus, zwei Fälle eines Brachycephalus und zwei Fälle gegeneinander verschobener Fontanellen beim intrauterinen Fruchttod zusammengefasst. Lediglich eine Fontanellenverschiebung (1/6 - 16,7 %) wurde auch in der KKA beschrieben. Die übrigen Deformierungen (5/6 – 83,3 %) wurden allein durch die CT verifiziert. Unter den Frakturen wurden eine Skapulafraktur und eine Femurfraktur (2/11 – 18,2 %) nur in der CT nachgewiesen. Eine in der CT beschriebene Pseudarthrose der linken Ulna (siehe Abbildung 11) wurde in der Autopsie als frische Ulnafraktur interpretiert.

Befunde/Konkordanz	1-KKA		2, 4 und 5		3-KKA+CT		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n _g	n _g /n _G %	n	n/n _G %
Dystopie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	4,3	0	0,0
Freie Flüssigkeit	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	33,3	2	66,7	3	13,0	0	0,0
Freie Luft	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	0	0,0	1	4,3	0	0,0
Lymphadenopathie	0	0,0	0	0,0	0	0,0	4	66,7	2	33,3	6	26,1	0	0,0
Organomegalie	1	9,1	0	0,0	0	0,0	8	72,7	2	18,2	11	47,8	0	0,0
Peritonitis/ Darmnekrosen	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	4,3	1	4,3
Gesamt n_G	1	4,3	0	0,0	1	4,3	13	56,5	8	34,8	23	100,0	1	4,3

Tabelle 26: Abdominale und retroperitoneale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n_g-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n _g	n _g /n _G %	n	n/n _G %
Fraktur	1	9,1	2	18,2	8	72,7	11	55,0	0	0,0
Hüftdysplasie	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	5,0	0	0,0
Pseudarthrose	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	5,0	0	0,0
Schädeldeformierung	0	0,0	5	83,3	1	16,7	6	30,0	0	0,0
Skoliose	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	5,0	0	0,0
Gesamt n_G	1	5,0	8	40,0	11	55,0	20	100,0	0	0,0

Tabelle 27: Skelettale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_g-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

In der CT/MRT-Gruppe wurden den skelettalen Befunden die folgenden Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) zugeordnet:

- Fraktur (7): Schädel (4), Rippen (2), Wirbelkörper (1)
- Knochenveränderung (1): unregelmäßiger Rippenverlauf
- Schädeldeformierung (1): Brachycephalus
- Z.n. Trepanation (1)

Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 28. Da die Ziffern 1, 2 und 5 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) in keinem Fall vergeben wurden, sind sie in einer Spalte zusammengefasst. Bei einem unregelmäßigen Rippenverlauf (1/1 – 100 %) sowie bei einem Z.n. Trepanation (1/1 – 100 %) stimmten die Befunde von KKA und postmortaler Bildgebung überein, bei erstgenannter Knochenveränderung allerdings erst im SL. Ein Brachycephalus (1/1 – 100 %) wurde allein durch die Bildgebung beschrieben. Bei den Frakturen gab es eine Korrelation von 71,4 % (5/7) von KKA und CT/MR-Virtopsie (1/7 - 14,3 % KKA und CT, 4/7 - 57,1 % KKA, CT und MRT). Eine Wirbelkörperfraktur (1/7 – 14,3 %) konnte nur durch die MRT aufgrund eines Knochenmarködems verifiziert werden und eine Rippenfraktur (1/7 – 14,3 %) wurde nur durch KKA und CT detektiert. In einem Fall wurde das Mittelgesicht in der KKA als „fraglich widernatürlich beweglich“ beschrieben, die korrespondierende Mittelgesichtsfraktur jedoch nur durch CT und MRT erfasst (1/7 – 14,3 %)

5.2.9 Sonstige Befunde

Den sonstigen Befunden wurden alle Einzelbefunde zugeordnet, die keine der Strukturen betrafen, die in oben genannten Gruppen erfasst wurden. Zudem sind in dieser Gruppe alle Petechien von Augenlidern, Bindehäuten, Haut, Schleimhäuten und serösen Häuten aller Körperabschnitte zusammengefasst. Die Befundkorrelation von KKA und CT betrug 27,2 % (vgl. Tabelle 30), die von KKA und CT/MR-Virtopsie 19,5 % (vgl. Tabelle 29). In der CT-Gruppe wurden 72,8 % aller Einzelbefunde nur durch die KKA verifiziert, in der CT/MRT-Gruppe lag dieser Anteil bei 80,6 %. In dieser Untergruppe wurde kein Befund allein durch die CT und/oder MRT beschrieben. (vgl. Tabelle 29 und Tabelle 30).

Befunde/Konkordanz	1, 2 und 5		3-KKA+CT		4-MRT		6-CT+MRT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n _g	n _g /n _G %	n	n/n _G %
Fraktur	0	0,0	1	14,3	1	14,3	1	14,3	4	57,1	7	70,0	0	0,0
Knochenveränderung	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	10,0	1	10,0
Schädeldeformierung	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	10,0	0	0,0
Z.n. Trepanation	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	10,0	0	0,0
Gesamt n_G	0	0,0	1	10,0	1	10,0	2	20,0	6	60,0	10	100,0	1	10,0

Tabelle 28: Skelettale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, Z.n.-Zustand nach, 1-KKA, 2-CT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n_g-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Befunde/Konkordanz	1-KKA		2, 4 bis 6		3-KKA+CT		7-KKA+CT+MRT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n _g	n _g /n _G %	n	n/n _G %
Fehlbildung Extremität	0	0,0	0	0,0	1	100,0	0	0,0	1	2,8	1	2,8
Fremdmaterial	0	0,0	0	0,0	0	0,0	5	100,0	5	13,9	0	0,0
Petechien	29	100,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	29	80,6	0	0,0
Weichgewebeläsion	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	2,8	0	0,0
Gesamt n_G	29	80,6	0	0	1	2,8	6	16,7	36	100,0	1	2,8

Tabelle 29: Sonstige Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, 6-CT+MRT, n-Anzahl, n_g-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Folgende acht Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) wurden der CT-Gruppe zugeordnet:

- Einblutung Weichgewebe (3): subkutan
- Fremdmaterial (8): ZVK, peripherer intravenöser Zugang, Beatmungstubus, Tracheostoma, PEG, BVK
- Maldescensus testis (4)
- Mazeration der Haut/ödematöse Haut (4)
- Muskelatrophie (1): Muskelatrophie spinal sowie der Extremitäten
- Nabelschnurdystopie (1): Nabelschnur um den Hals geschlungen
- Petechien (56): Augenlider/Bindehäute (9), äußere Haut und Schleimhäute (7), seröse Häute von Herz, Lunge und Thymus (40)
- Weichgewebeläsion (4): Defekte von Kutis und Subkutis (1), Hymenläsion (1), After (1), Genital (1)

Befund/Konkordanz	1-KKA		2-CT		3-KKA + CT		Gesamt		Anteil SL	
	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n	n/n _g %	n _g	n _g /n _G %	n	n/n _G %
Einblutung Weichgewebe	1	33,3	0	0,0	2	66,7	3	3,7	0	0,0
Fremdmaterial	0	0,0	0	0,0	8	100,0	8	9,9	0	0,0
Maldescensus testis	0	0,0	0	0,0	4	100,0	4	4,9	2	2,5
Mazeration der Haut/ ödematöse Haut	0	0,0	0	0,0	4	100,0	4	4,9	1	1,2
Muskelatrophie	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	1,2	0	0,0
Nabelschnurdystopie	0	0,0	0	0,0	1	100,0	1	1,2	0	0,0
Petechien	56	100,0	0	0,0	0	0,0	56	69,1	0	0,0
Weichgewebeläsion	2	50,0	0	0,0	2	50,0	4	4,9	0	0,0
Gesamt n_G	59	72,8	0	0,0	22	27,2	81	100,0	3	3,7

Tabelle 30: Sonstige Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_g-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)

Die Ergebnisse sind in Tabelle 30 dargestellt. Es zeigte sich eine gute Korrelation von KKA und CT bei der Detektion von medizinisch eingebrachtem Fremdmaterial (8/8 - 100 %), beim Maldescensus testis (4/4 - 100 %), bei mazerierter bzw. ödematöser Haut (4/4 - 100 %), bei einer Muskelatrophie (1/1 - 100 %), bei einer um den Hals geschlungenen Nabelschnur (1/1 - 100 %) sowie bei subkutanen Einblutungen an den Extremitäten (2/3 - 66,7 %). Auch die Fehllage eines Beatmungstubus in einem Fall wurde von KKA und CT beschrieben. Eine gering ausgeprägte subkutane Einblutung am Gesäß (1/3 – 33,3 %) konnte durch die CT nicht verifiziert werden. Petechien der Augenlider und Bindehäute (vgl. Abbildung 12), von Haut und Schleimhaut sowie der serösen Häute (hierzu zählen subpleurale und subepikardiale

Petechien sowie Petechien unter der Thymuskapsel) wurden in allen Fällen (56/56 – 100 %) allein in der KKA beschrieben. Während ausgeprägte genitale Weichgewebedefekte sowie Defekte von Kutis und Subkutis nach einem Trauma (2/4 – 50 %) in KKA und CT dokumentiert wurden, konnten eine Hymenläsion und eine Läsion der Afteröffnung (2/4 – 50 %) nur in der KKA verifiziert werden.

In die CT/MRT-Gruppe wurden folgende Einzelbefunde (Anzahl im Kollektiv) eingeordnet:

- Fehlbildung Extremität (1): dysmorphe Daumen, Synostosen
- Fremdmaterial (5): peripherer intravenöser Zugang, intraossärer Zugang, PEG, Beatmungstubus
- Petechien (29): Augenlider/Bindehäute (3), äußere Haut und Schleimhäute (2), seröse Häute von Herz, Lunge und Thymus (24)
- Weichgewebeläsion (1): Hitzeeinrisse/Verbrennungsschäden der Extremitäten

Die Ergebnisse sind in Tabelle 29 dargestellt. Die Ziffern 2 und 4 bis 6 des Konkordanzschlüssels (siehe Tabelle 5) wurden in keinem Fall vergeben und sind daher in einer Spalte zusammengefasst. Wie in der CT-Gruppe gab es eine gute Korrelation von KKA und CT/MR-Virtopsie bei der Detektion von medizinischem Fremdmaterial (5/5 - 100 %) und bei Hitzeeinrisen und Verbrennungsschäden an den Extremitäten (1/1 - 100 %). In einem Fall dysmorpher Daumen und Synostosen der Hände beidseits (1/1 – 100 %) wurden diese in KKA und CT sofort gesehen, in der MRT erst im SL. Petechien von Augenlidern und Bindehäuten, Haut und Schleimhaut sowie von serösen Häuten konnten wie in der CT-Gruppe nur durch die KKA verifiziert werden (29/29 – 100 %).



Abbildung 12: Petechien des linken Augenlids und periorbital links in der Makroskopischen Autopsie

6 Diskussion

In diesem Teil werden die Fragestellungen der Arbeit im Kontext der aktuellen Studienlage diskutiert und eingeordnet. Es wird auf die Limitationen eingegangen sowie ein Ausblick über die potenzielle juristische Wertigkeit und künftige Entwicklungen der Virtopsie gegeben.

6.1 Kann durch eine ergänzende Bildgebung ein Mehrgewinn an Information gegenüber der Autopsie erzielt werden?

Die Stärken der postmortalen Computertomographie liegen in der Beurteilung von knöchernen Strukturen, in der Darstellung von Fremdkörpern und in der Detektion von Gasansammlungen (Fischer und Heinemann 2016). Diese Einschätzung bestätigt sich in der vorliegenden Arbeit nicht nur für die CT, sondern auch für die MRT. Im direkten Vergleich ist die CT der MRT bei diesen Fragestellungen überlegen. Zudem ist die postmortale Bildgebung gemäß der aktuellen Studienlage der Autopsie in der Detektion knöcherner Läsionen bei Kindern (Krentz et al. 2016) und intrakranieller Pathologien bei Erwachsenen, z.B. einer Apoplexie, überlegen (Roberts et al. 2012). Im untersuchten Kollektiv werden zusätzliche Befunde unter anderem bei intrakranieller Ventrikulomegalie, bei Frakturen und pathologischen Luftansammlungen, aber auch bei Lymphadenopathien in zervikalen, thorakalen und abdominalen Körperregionen durch die bildgebenden Verfahren erfasst.

Durch die postmortale Bildgebung wird die Beurteilung spezifischer anatomischer Regionen möglich, die in der konventionellen Autopsie nicht regelhaft untersucht werden (Cirielli et al. 2018). Hierzu zählen das Splanchnocranium (Gesichtsschädel), die Halswirbelsäule, das Becken und die Extremitäten (Cirielli et al. 2018), aber auch klinisch-anatomisch schwer zugängliche Regionen wie das Rückenmark (Bolliger und Thali 2015) oder die pneumatisierten Höhlen des Schädels (Roberts et al. 2012). Auch im vorliegenden Kollektiv werden das Cavum tympani, die Cellulae mastoideae und die Sinus paranasales im Rahmen der Autopsie nur in wenigen Fällen beurteilt und Pathologien in diesen Regionen dementsprechend nahezu ausschließlich durch die postmortale Bildgebung nachgewiesen. Im Bereich der Extremitätenknochen, die in der Autopsie ebenfalls nicht regelhaft detailliert betrachtet werden, ist neben der Detektion zusätzlicher Frakturen auch die Unterscheidung einer Pseudarthrose der Ulna (siehe Abbildung 11) von einer frischen Fraktur erst durch die postmortale Bildgebung möglich gewesen.

Eine andere Studie zeigt, dass durch eine postmortale CT nicht nur prämortale Diagnosen bestätigt werden, sondern auch klinisch nicht erfasste neue Befunde, z.B. Aortendissektion, Lungenembolie und zerebrale Pathologien, diagnostiziert werden (Wichmann et al. 2014).

Um ein detailliertes Gesamtbild zu liefern, sind Virtopsie und konventionelle Autopsie daher gut als sich ergänzende Methoden geeignet. Dabei sind Aussagekraft und Nutzen der Virtopsie von der konkreten Fragestellung und der zu untersuchenden Körperregion abhängig.

6.2 Kann eine ergänzende postmortale Bildgebung zur Aufklärung der Todesursache beitragen?

Absolut bleiben nach der postmortalen Bildgebung mehr Todesursachen ungeklärt als nach der Autopsie.

Bei der Analyse der Todesursache „*Infektion*“ lässt sich eine wegweisende Funktion der Virtopsie zeigen. In einer Studie von Burton und Underwood ist die makroskopische Autopsie vor allem bei der Detektion von Bronchopneumonien ungenau (Burton und Underwood 2007). Weitere vorhergehende Arbeiten stellen heraus, dass über 20 % von klinisch unerwarteten Ergebnissen einer Autopsie durch eine zusätzliche histologische Untersuchung festgestellt werden; hiervon 5 % relevant für die Hauptdiagnose (Roulson et al. 2005). Dieses Erkenntnis bestätigt sich auch in der vorliegenden Arbeit. Durch die histologische Untersuchung werden im untersuchten Kollektiv neun Fälle einer (Broncho-) Pneumonie verifiziert, die in sieben von diesen Fällen in der postmortalen Bildgebung sicher diagnostiziert werden können. Sonnemans et al. beschreiben hingegen, dass die Pneumonie die häufigste infektionsassoziierte Todesursache ist, die in der postmortalen Bildgebung übersehen wird (Sonnemans et al. 2018). In zwei Fällen ohne histologische Untersuchung bleibt die Todesursache nach erfolgter makroskopischer Autopsie „*Ungeklärt*“, während die Virtopsie in dieser Kasuistik eine pulmonale Infektion als todesursächlich dokumentiert. Das Aufklärungspotenzial der Virtopsie ist also vor allem in den Fällen zu sehen, in denen keine Histologie durchgeführt wird. Allerdings kann bislang keine radiologische Technik die histologische Untersuchung an sich ersetzen (La Russa et al. 2019).

Die Ergebnisse dieser Arbeit lassen zudem vermuten, dass die Virtopsie durch Zusatzbefunde v.a. im knöchernen Bereich und in spezifischen anatomischen Regionen zu einem ausführlichen Gesamtbefund und zur fokussierten Autopsie beitragen kann und damit letztendlich auch zur Bestimmung der Todesursache.

6.3 Welche Unterschiede gibt es in der Detektion pathologischer Einzelbefunde der einzelnen Körperregionen und Organsysteme?

Differenzen zwischen den Ergebnissen von Autopsie und postmortaler Bildgebung, v.a. im kardiovaskulären und pulmonalen Bereich wie sie von anderen Autoren beschrieben werden (Wichmann et al. 2018) ergeben sich z.T. auch in dieser Arbeit. Myokardiale Durchblutungsstörungen werden allein von der Autopsie detektiert, während Verkalkungen des ehemaligen Ductus arteriosus allein in der postmortalen Bildgebung nachgewiesen werden. Dieser häufig zu beobachtende Befund hat allerdings keine pathophysiologische Bedeutung im Sinne der Fragestellung für die Virtopsie. Bei den Diagnosen Pleuraerguss bzw. Hämatothorax gibt es eine gute Korrelation beider Verfahren, während die Diagnose Pneumothorax ausschließlich durch die Virtopsie gestellt wird. Kleinere Einblutungen und Flüssigkeitsfilme auf den Luftwegen können nur in der Autopsie verifiziert werden. Wichmann et al. publizieren zudem eine Studie, in der sich die Autopsie als überlegene Methode in der Detektion von Erkrankungen des Respirationstrakts und von Hämorrhagien zeigt. Die postmortale CT erweist sich hingegen präziser in der Beurteilung traumatischer Verletzungen und Pathologien im Zusammenhang mit medizinischem Fremdmaterial (ZVK, Thoraxdrainage, etc.) (Wichmann et al. 2014).

In zahlreichen Studien wird die Überlegenheit der Autopsie gegenüber der Virtopsie im Bereich kardiovaskulärer Pathologien (z.B. zur Beurteilung von Stenosen der Koronararterien) bei Erwachsenen beschrieben (La Russa et al. 2019, Morgan et al. 2013). Dies kann sich mit einer häufigeren Verwendung einer postmortalen CT-Angiographie (PMCTA) ändern, da hier eine deutlich gesteigerte diagnostische Genauigkeit verglichen mit der alleinigen CT nachgewiesen wird (Heinemann et al. 2015, Takei et al. 2018). Ein Standardprotokoll zur Durchführung einer Ganzkörper-PMCTA zur Beurteilung des vaskulären Systems mittels Luft und Kontrastmittel wird 2011 von Grabherr et al. vorgestellt (Grabherr et al. 2011). Grabherr et al. geben für eine Kombination von Autopsie und PMCTA an, dass mehr Läsionen detektiert werden können als durch die jeweiligen Einzelmethoden (Grabherr et al. 2018).

Thayyil et al. beschreiben eine niedrige Konkordanz der Ergebnisse von Autopsie und Virtopsie bei Kindern aufgrund von übersehenen Fälle von Pneumonie und/oder Myokarditis in der Virtopsie (Thayyil et al. 2013). Diese Erkenntnis trifft im vorliegenden Kollektiv nur für zwei Fälle von Myokarditis zu, die beide von der Bildgebung unentdeckt bleiben. Für die

Diagnose Pneumonie gibt es im Kollektiv dieser Studie vielmehr eine gute Korrelation von Autopsie bzw. Histologie und postmortalen Bildgebung.

In einer anderen Studie zeigt sich die Bildgebung als zuverlässige Methode bei abdominalen Organverletzungen (Carballeira Álvarez et al. 2018). In der vorliegenden Arbeit gibt es bei Organrupturen Differenzen zwischen den Methoden. In einem Fall werden von der Virtopsie eine Pankreasruptur, eine Leber- und eine Milzruptur beschrieben. Im gleichen Fall dokumentiert die Autopsie zwar ebenfalls die Pankreasruptur, jedoch lediglich eine Organkapselunterblutung von Leber und Milz. Ein ähnlicher Fall wird in einer Arbeit von Sonnemans et al beschrieben. Hier wird bei einem traumatischen Todesfall radiologisch eine Milzruptur detektiert, in der Autopsie hingegen eine Ruptur von Leber und Niere (Sonnemans et al. 2018). Ursachen dieser Fehlinterpretation im Rahmen der postmortalen Bildgebung sollten Gegenstand weiterer Studien sein.

Auffällig ist in der vorliegenden Arbeit die große Differenz von Virtopsie und konventioneller Autopsie bei der Einschätzung von Organgrößen. Grund hierfür sind wahrscheinlich unterschiedliche Messorte und -verfahren sowie die damit verbundenen methodenabhängigen verschiedenen Normwerte für Organe. Bislang fehlen zudem Standards für Messungen in der postmortalen Bildgebung. Während im Rahmen der vorliegenden Studie für die Bildgebung der Organdurchmesser an einer standardisierten anatomischen Stelle ermittelt wird, erfolgt die Einschätzung in der Autopsie vor allem über das Organgewicht und das gesamte Erscheinungsbild des Organs. Um die Ergebnisse von Autopsie und Virtopsie in diesem Bereich besser vergleichen zu können, wäre die Ermittlung des Organvolumens mit beiden Methoden denkbar. Prinzipiell sind Volumenerfassungen mit Hilfe der Schnittbildverfahren möglich und unter Verwendung entsprechender Computertomogramme nicht allzu zeitintensiv in der Durchführung.

Durch den Second look (SL) der Virtopsie-Untersuchungen werden für die einzelnen Organbefunde bis zu maximal 4 % an Diagnoseerweiterungen bzw. neuen Diagnosen erhoben. Diese geringe Zahl spricht für die hohe Qualität der primären geblindeten Befundung der Bildgebung. An dieser Stelle ist nochmals zu erwähnen, dass die Autopsie meist in Kenntnis der Fallgeschichte und Bildgebung erfolgt und hier somit ein großes Maß an Vorabinformationen vorhanden ist, die das Ergebnis der Autopsie deutlich beeinflussen. Durch den SL werden insbesondere Detailbefunde wie kleine Einblutungen oder umschriebene Schwellungen detektiert, die in der Primäranalyse der Aufnahmen übersehen worden sind. Im Bereich der pulmonalen Pathologien kann man sich beim SL in Kenntnis des

Autopsiebefundes dann sicher festlegen, während bei der primären Befundung mehr Differentialdiagnosen angegeben werden. Es ist anzunehmen, dass mit weiter fortschreitender Expertise und gezielter Fragestellung diese Befunde bereits in der ersten Analyse erkannt werden können.

Insgesamt variiert die Übereinstimmung der Virtopsie und der konventionellen Autopsie in Abhängigkeit vom untersuchten Organsystem bzw. Körperabschnitt. Die beste Korrelation gibt es bei zerebralen, zervikalen, pulmonalen, thorakalen und skelettalen Befunden. Limitierend sind bei der Virtopsie die beobachteten klassischen postmortalen Veränderungen wie z.B. pulmonale Milchglasinfiltrate, die eine Wertung der erhobenen Befunde der postmortalen Bildgebung erschweren (Roberts et al. 2012, Cartocci et al. 2019, Filograna und Thali 2017).

Äußere Befunde, z.B. oberflächliche Hautläsionen, werden in der vorliegenden Arbeit nicht mit in die Betrachtung einbezogen, da sie in der postmortalen Bildgebung generell nicht darstellbar sind. Diese Befunde sind der Autopsie vorbehalten.

6.4 Welche Unterschiede können zwischen den Modalitäten CT und MRT im postmortalen Setting festgestellt werden?

In der vorliegenden Arbeit lässt sich außer bei wenigen Einzelbefunden kein wesentlicher Unterschied in der Beurteilung zwischen den beiden Modalitäten nachweisen. In der Feststellung der Todesursache sind CT und MRT im untersuchten Kollektiv gleichwertig.

In der CT/MRT-Gruppe von 17 Patienten werden mittels CT ein Fall freier intraabdominaler Luft, eine Gewebeverkalkung und eine Rippenfraktur detektiert, die von der MRT nicht beschrieben werden. Hingegen weist die MRT in einem Fall eine Polymikrogyrie, in vier Fällen Perikardergüsse und in einem Fall eine Wirbelkörperläsion aufgrund eines Knochenmarködems (Bone bruise) nach, die in der CT-Auswertung nicht dokumentiert sind. Es fällt auf, dass der Anteil im SL gesehener Befunde in der CT/MRT-Gruppe geringer ausgeprägt ist. Ob dies allein an der kleineren Gruppe mit einer niedrigeren Befundanzahl liegt oder die doppelte Bildgebung tatsächlich einen Vorteil erbringt, ist nicht mit letzter Bestimmtheit festzustellen.

Zu diskutieren ist, welches bildgebende Verfahren im klinischen Alltag das geeignetere bzw. empfehlenswerte ist. Die CT ist im Vergleich zur MRT breiter verfügbar, kostengünstiger und zudem schneller durchzuführen (Arthurs et al. 2016). Aufgrund ihrer ausgezeichneten Beurteilung von knöchernen Strukturen und Verkalkungen hat sich die postmortale CT

einschließlich der postmortalen CT-Angiographie (PMCTA) zur Beurteilung vaskulärer Pathologien als Standard in der Untersuchung bei Erwachsenen etabliert (Arthurs et al. 2016).

In früheren Studien zeigt sich die postmortale CT verglichen mit der postmortalen MRT präziser in der Bestimmung der Todesursache (Roberts et al. 2012). Es wird nachgewiesen, dass die Abweichungen zwischen Ergebnissen von Autopsie und postmortaler MRT signifikant größer sind als die Abweichungen zwischen Ergebnissen von Autopsie und postmortaler CT (Roberts et al. 2012). Auch in der Detektion von Pneumothoraces und von Verkalkungen, insbesondere der Koronararterien bei Erwachsenen, wird eine Überlegenheit der CT festgestellt (Weustink et al. 2009, Roberts et al. 2012). Wird die postmortale CT um eine Ganzkörper-Angiographie ergänzt, kann die Korrelation von Autopsie und postmortaler Bildgebung im Fall kardiovaskulärer Todesursachen von 70 % auf 80 % gesteigert werden (Westphal et al. 2014). Zur Beurteilung von Weichgeweben und vaskulären Strukturen ist die alleinige CT im postmortalen Bereich unterlegen (La Russa et al. 2019).

Aufgrund der höheren Genauigkeit in der Beurteilung von Weichgeweben stufen andere Autoren die postmortale MRT als Methode der Wahl bei der Untersuchung verstorbener Kinder ein (Arthurs et al. 2016). Zudem erweist sich die postmortale MRT als valide Alternative zur Autopsie in der Detektion angeborener Fehlbildungen und der Feststellung der Todesursache bei Feten und Kindern vor dem zwölften Lebensmonat (Thayyil et al. 2013). Zum Nachweis von Hirnfehlbildungen, Lungenembolien sowie Myokardinfarkten wird ebenfalls eine Überlegenheit der postmortalen MRT gegenüber der postmortalen CT gezeigt (Roberts et al. 2012, Weustink et al. 2009).

Welche Form der Bildgebung verwendet werden sollte, ist somit abhängig von der Fragestellung, vom Körperabschnitt oder Organsystem, welches im Fokus der Untersuchung liegt, und nicht zuletzt auch vom Alter des Patienten. Ebenso spielen die Verfügbarkeit der Modalitäten und die Expertise des befundenden Radiologen eine Rolle und sollten bei der Auswahl berücksichtigt werden.

Alle Befunde werden in der vorliegenden Arbeit allein unter dem Aspekt der Quantität, nicht aber der Qualität untersucht. Beispielsweise sind Knochen- und Lungenbefunde besser in den CT-Aufnahmen zu beurteilen, Hirnblutungen und Weichteildefekte besser in den MRT-Untersuchungen. Im Vergleich zwischen konventioneller Autopsie und Virtopsie wird allerdings nur berücksichtigt, ob ein Befund gesehen oder nicht gesehen wird. Es erfolgt keine qualitative Abstufung innerhalb der postmortalen Bildgebung. Ein Qualitätsvergleich

zwischen MRT und CT findet somit nicht statt und ist in weiteren Studien zu untersuchen. Zudem entspricht die Stichprobe der mittels MRT untersuchten Patienten mit einer Fallzahl von 17 nur 32,7 % der mittels CT untersuchten gesamten Gruppe. Die Aussagefähigkeit über die Ergebnisse der MRT unterliegt daher der Aussagefähigkeit über die Ergebnisse der CT.

6.5 Stellt die Virtopsie eine angemessene Alternative zur konventionellen Autopsie dar und wenn ja, in welchen Fällen?

Die Wertigkeit und Aussagekraft der Virtopsie hängen unter anderem auch von der Todesursache (Sonnemans et al. 2018) sowie von Todesumständen und Fragestellung ab. Vor allem bei traumatischer Todesursache zeigt sich die postmortale CT als gleichwertig zur konventionellen Autopsie (Le Blanc-Louvry et al. 2013). Auch in der vorliegenden Arbeit werden fünf von fünf Fälle mit traumatischer Todesursache sowohl durch CT als auch MRT korrekt beurteilt. Gleiches gilt für die Todesursachen Strangulation (3/3 Fälle) und Volvulus (4/4 Fälle). Beim intrauterinen Fruchttod wird im untersuchten Kollektiv in drei von drei Fällen eine fehlende Lungenbelüftung in der postmortalen Bildgebung nachgewiesen, auch wenn in einem Fall aufgrund eingeschränkter Beurteilbarkeit bei ausgeprägter Mazeration von Haut und Weichgeweben die endgültige Diagnose radiologisch nicht gestellt werden kann. In einer italienischen Studie, in der 15 totgeborene Föten mittels postmortaler MRT und konventioneller Autopsie einschließlich Histologie untersucht werden, zeigt sich eine gute Korrelation der Methoden in der Detektion pathologischer Befunde (Vullo et al. 2016). Die Kombination aus postmortaler Bildgebung und Autopsie könnte dazu beitragen, einerseits gezielt Ursachen für den intrauterinen Fruchttod aufzuklären (Vullo et al. 2016), andererseits durch die Beurteilung der Lungenbelüftung von anderen Todesursachen, z.B. Kindstötung, zu unterscheiden.

Bei den Todesursachen „Ertrinken“ und „Ersticken“ ist die Autopsie der postmortalen Bildgebung in der vorliegenden Arbeit deutlich überlegen. Grund hierfür ist vor allem, dass petechiale Einblutungen als wegweisender Befund in der äußeren Besichtigung in keinem Fall durch die Bildgebung detektiert worden sind. Andere Hinweise auf diese Todesursachen, z.B. eine Flüssigkeitsaspiration (vgl. Abbildung 13) beim Ertrinken oder Zeichen der akuten Rechtsherzbelastung beim Ertrinken und Ersticken, können hingegen in der Virtopsie verifiziert werden. In anderen Studien führt das begleitende Lungenödem beim Tod durch Ertrinken zu falschen Ergebnissen in der postmortalen Bildgebung und eine Autopsie ist notwendig, um diese Todesursache zu diagnostizieren (Cirielli et al. 2018).

Kardiovaskuläre Ereignisse sind die insgesamt häufigsten Todesursachen, die in der Autopsie festgestellt werden (Winters et al. 2012). Gerade Todesfälle aufgrund koronarer Gefäßkrankheit können in der Virtopsie allerdings kaum nachgewiesen werden und eine Autopsie bleibt notwendig, um die endgültige Todesursache zu klären (Bolliger et al. 2008, Roberts et al. 2003, Cirielli et al. 2018). Auch in aktuellen Studien bleibt die konventionelle Autopsie der Goldstandard beim plötzlichen Herztod aufgrund einer koronaren Herzkrankheit, trotz Fortschritten in der Verwendung von Techniken wie der PMCTA (La Russa et al. 2019).

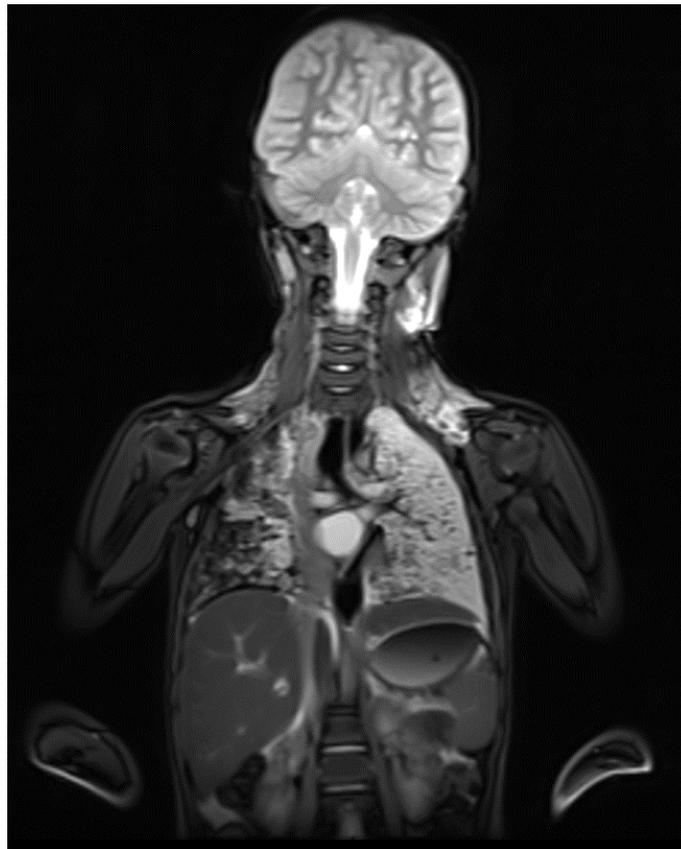


Abbildung 13: Flüssigkeitsaspiration bds., links > rechts beim Tod durch Ertrinken in der T2-Wichtung in der MRT

Trotz kontinuierlicher Fortschritte in der prä-mortalen Diagnostik deckt die Autopsie weiterhin Fehldiagnosen in ca. 25 – 30 % der klinisch festgestellten Todesursachen auf und erhöht somit die Vollständigkeit und Zuverlässigkeit von Todesursachenstatistiken (Bolliger und Thali 2015, Kuijpers et al. 2014). Die Gefahr der aktuell niedrigen und stetig weiter sinkenden klinischen Autopsieraten besteht darin, dass nicht mehr von einer zuverlässigen Todesursachenstatistik ausgegangen werden kann (Brinkmann et al. 2002). Eine korrekte Todesursachenstatistik ist jedoch die Grundlage einer guten Gesundheitsversorgung. Dies unterstreicht die Notwendigkeit der Durchführung von Autopsien (Wagensveld et al. 2018).

Studien belegen, dass die Rate an Fehldiagnosen bei radiologisch festgestellter Todesursache nicht höher liegt als die bei allein klinisch festgestellter Todesursache (Roberts et al. 2012). Sogar wesentliche neue Diagnosen, z.B. eine Aortendissektion, können durch die postmortale Bildgebung detektiert werden (Wichmann et al. 2014). Allerdings ist anzunehmen, dass diese ebenfalls durch eine Autopsie verifiziert werden.

Die CT-Virtopsie erweist sich in früheren Studien vor allem dann als wertvoll, wenn keine Autopsie durchgeführt wird, auch wenn bestimmte Todesursachen, z.B. Erhängen, Intoxikation, biochemische Prozesse oder Asphyxie durch die Bildgebung übersehen werden (Willlaume et al. 2018, Roberts et al. 2012). Selbst wenn nach durchgeführter postmortaler Bildgebung die eigentliche Todesursache unklar bleibt, kann sie trotzdem zu einer gezielten Eingrenzung des Untersuchungsbereichs bzw. zum Ausschluss von Differentialdiagnosen beitragen (Sonnemans et al. 2018). Von Inai et al. wird zudem gezeigt, dass die Todesursachenbestimmung mittels postmortaler CT (ca. 66,6 % korrekte Todesursache) der alleinigen klinischen Diagnose (ca. 40,0 % korrekte Todesursache) überlegen ist (Inai et al. 2016). Eine weitere Publikation untersucht die Bestimmung essentieller Befunde zur Feststellung der Todesursache bei Kindern und findet keinen signifikanten Unterschied zwischen postmortaler CT und Autopsie (Krentz et al. 2016).

Vor allem bei Ablehnung einer (klinischen) Autopsie könnte die postmortale Bildgebung zukünftig zur Aufklärung von Todesursachen und damit auch zur Qualitätssicherung und Verbesserung der Gesundheitsversorgung beitragen.

Es ist anzumerken, dass die staatsanwaltliche Anordnung einer Autopsie in den meisten Fällen zur Klärung einer Fremdeinwirkung oder Gewalteinwirkung durch Dritte dient. Von höchster Relevanz sind hier v.a. äußere Befunde wie Petechien, Hämatome, oberflächliche Hautverletzungen, Anordnung von Wunden etc. Solche Befunde können von der postmortalen Bildgebung allein häufig nicht gesichert werden, was auch die vorliegende Arbeit bestätigt.

6.6 Sollte generell vor jeder Autopsie eine Bildgebung durchgeführt werden, um essenziell wichtige Informationen zur Aufklärung eines Todesfalls nicht zu übersehen?

Durch die Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin wird die Empfehlung zu einer postmortalen CT vor jeder Obduktion gegeben, um einen „schnellen und umfassenden Überblick über den gesamten Leichnam“ zu erhalten (DGRM 2019). Kann in einer postmortalen Bildgebung ein Hinweis auf Fremdeinwirkung detektiert werden, wird die

Indikationsstellung zur Durchführung einer Autopsie zudem untermauert (Bolliger et al. 2008).

Denkbar ist auch folgende Vorgehensweise, wie sie von Bolliger und Thali diskutiert wird: Nach einer standardmäßigen postmortalen Bildgebung würde, abhängig vom Untersuchungsergebnis, eine Entscheidung für oder gegen eine Obduktion gefällt werden (Bolliger und Thali 2015). Roberts et al. können 2012 zeigen, dass durch eine zusätzliche Autopsie kaum relevante Zusatzbefunde erhoben werden, wenn eine Todesursache in der postmortalen Bildgebung als eindeutig eingestuft wird (Roberts et al. 2012). Dieses Potenzial der Bildgebung wird auch von anderen Autoren erkannt (Lundström et al. 2012). Eine standardmäßige Virtopsie vor einer Autopsie könnte somit die Anzahl nicht notwendiger Autopsien vermindern und zusätzlich die Qualität und Vollständigkeit der durchgeführten Obduktionen erhöhen (Roberts et al. 2012, Westphal et al. 2014). Kritisch zu betrachten sind dabei jedoch immer die Grenzen der postmortalen Bildgebung. Geht es nicht nur um die reine Todesursache, sondern um juristische Fragestellungen, ist die Autopsie die bislang genaueste Methode zur Erfassung der hierfür wesentlichen, meist oberflächlichen Befunde (Cirielli et al. 2018)

Beide oben beschriebenen Einsatzmöglichkeiten der postmortalen Bildgebung können zur Verbesserung der Autopsie selbst sowie zur Qualitätssicherung der medizinischen Versorgung beitragen.

6.7 Ist die postmortale Bildgebung allein bzw. in Kombination mit einer äußeren Leichenschau und gezielter Probeentnahme in der Lage, unter Zusammenschau aller Erhebungen die Todesursache festzustellen?

Im Vergleich mit der alleinigen Leichenschau zeigt sich in einer anderen Studie die postmortale CT-Untersuchung als erkenntnisreicher und zielführender (Willaume et al. 2018). Die detaillierte äußere Leichenschau stellt die einzige Methode zur Erkennung und Charakterisierung von äußeren Verletzungen anhand von Farbe, Form, genauer Größe und Lokalisation in Bezug zu anatomischen Landmarken dar, einschließlich Hautdefekten wie Kontusionen, Ablösungen und anderen Wunden (Cirielli et al. 2018). In der vorliegenden Arbeit fällt auf, dass vor allem petechiale Einblutungen, z.B. von Augenlidern und Bindehäuten, als wegweisender Befund für einen Erstickungstod durch die postmortale Bildgebung nicht verifiziert werden können. Andere ausschlaggebende Befunde, z.B. Infektionen, werden in Fällen, in denen die Bildgebung keine eindeutige Todesursache eruieren kann, vorwiegend in der Histologie festgestellt. In einem Fall wird in der Bildgebung

ein Verbrennungstod vermutet, die letztendlich todesursächliche CO-Intoxikation kann jedoch nur durch gezielte Untersuchung einer Blutprobe in der Autopsie nachgewiesen werden. In solchen Fällen wären gezielte Probeentnahmen denkbar, die zur Aufklärung der Todesursache beitragen können.

Andere Autoren beschreiben, dass eine minimal-invasive Autopsie (MIA), bestehend aus Virtopsie, äußerer Leichenschau und gezielter Probeentnahme für die Bestimmung der Todesursache vergleichbar mit der konventionellen Autopsie ist (Thayyil et al. 2013, Blokker et al. 2016). So stellen bei Thayyil et al. in 89,3 % der untersuchten Fälle MIA und konventionelle Autopsie die gleiche Todesursache fest (Thayyil et al. 2013). Die Übereinstimmung liegt bei Kindern im Alter von weniger als zwölf Monaten in der gleichen Studie sogar noch höher (Thayyil et al. 2013). Die gezielt entnommenen Proben sind bei Thayyil et al. ausschließlich durch Punktion gewonnene Blutproben. Auf die Entnahme von Gewebeproben zur histologischen Untersuchung wird verzichtet (Thayyil et al. 2013). Vor allem zur Diagnostik von Pneumonie und Sepsis zeigt sich eine MIA in anderen Studien als gut geeignete Alternative zur Autopsie, ist der Autopsie jedoch bei Todesursachen wie Myokardinfarkt und Endokarditis unterlegen (Weustink et al. 2009). Der postmortalen bildgestützten Probeentnahme wird zudem eine entscheidende Funktion in der Aufklärung der Todesursache nach akutem Thoraxschmerz zugesprochen (Ross et al. 2012). Wird die MIA zusätzlich um eine PMCTA erweitert, erhöht sich auch die Anzahl nachgewiesener todesursächlicher Koronarstenosen, deren Detektion bislang einen der Schwachpunkte der postmortalen Bildgebung darstellt (Ross et al. 2012, Morgan et al. 2013).

Auch wenn bislang keine der untersuchten alternativen Methoden zur konventionellen Autopsie die Aussagekraft der Autopsie selbst erreicht, wird nachgewiesen, dass eine minimal-invasive Autopsie (MIA), v.a. mit gezielter Probeentnahme zur histologischen Untersuchung von Geweben, den nicht-invasiven Methoden überlegen ist (Blokker et al. 2016). Eine solche MIA ist jedoch sehr aufwendig und damit kaum flächendeckend realisierbar.

Die postmortale Bildgebung bietet daher v.a. in Kombination mit einer histologischen Untersuchung das Potenzial, Todesursachen in Form einer minimal-invasiven Autopsie nachzuweisen, obgleich die Genauigkeit einer konventionellen Autopsie nicht erreicht werden kann.

6.8 Können die Virtopsie und die konventionelle Autopsie als gleichwertige Methoden betrachtet werden?

Es ist mittlerweile weithin anerkannter Fachkonsens, dass die Virtopsie einen maßgeblichen Beitrag zur rechtsmedizinischen Untersuchung leisten kann, weshalb auch die Einbindung in die forensische Praxis fortwährend ansteigt (Grabherr et al. 2014, La Russa et al. 2019, Norberti et al. 2019).

In diversen Studien wird bereits gezeigt, dass eine postmortale Bildgebung unter bestimmten Voraussetzungen, hier sind v.a. zusätzliche histologische Untersuchungen und die Darstellung des vaskulären Systems mittels PMCTA zu nennen, eine valide Alternative zur konventionellen Autopsie darstellen kann (Thayyil et al. 2013, Wichmann et al. 2014, Blokker et al. 2016, Inai et al. 2016). Dies gilt insbesondere für die Feststellung der Todesursache (Sonnemans et al. 2018, Inai et al. 2016, Le Blanc-Louvry et al. 2013, Krentz et al. 2016), was jedoch nur einen Teilaspekt der gerichtlich angeordneten Autopsie darstellt.

Bestimmte Bereiche, wie z.B. das kardiovaskuläre System, auf das laut WHO europaweit ca. 50 % der Todesfälle zurückgehen (WHO 2012), sind bislang allerdings durch die postmortale Bildgebung nicht mit der gleichen Präzision zu beurteilen wie durch die konventionelle Autopsie (La Russa et al. 2019).

Der Standard, den die Autopsie für die postmortale Untersuchung, Diagnostik und Auswertung bietet, wird bislang durch die postmortale Bildgebung auch in Form einer MIA nicht erreicht (Blokker et al. 2016, La Russa et al. 2019, Wagenveld et al. 2018). Dieser Sachverhalt wird auch in der vorliegenden Arbeit bestätigt.

6.9 Könnte in Zukunft nach einer stattgefundenen postmortalen Bildgebung völlig auf eine Autopsie verzichtet werden?

Roberts et al. zeigen, dass eine zusätzliche Autopsie keine wesentlichen neuen Befunde in den Fällen erbringt, in denen in der postmortalen Bildgebung eine eindeutige Todesursache festgestellt werden konnte (Roberts et al. 2012). Allerdings ist, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, die Aussagefähigkeit der konventionellen Autopsie bislang nicht erreichbar (Blokker et al. 2016). So zeigt auch die vorliegende Arbeit, dass sich relevante Befunde für die Beurteilung und Rekonstruktion eines Falls dem radiologischen Nachweis entziehen können. Des Weiteren kann es zu Fehlinterpretationen radiologischer Befunde kommen, welche erst durch die konventionelle Autopsie abgeklärt werden können.

In Fällen, in denen eine Autopsie aus verschiedenen Gründen nicht erwünscht oder durchführbar ist, bietet die postmortale Bildgebung allerdings eine valide Alternative bzw.

einen annehmbaren Kompromiss (Bolliger et al. 2008, Wichmann et al. 2014). Dies gilt jedoch wiederum nicht für die gerichtlich angeordnete Autopsie. Auch bezüglich der Kosten sind MIA und konventionelle Autopsie vergleichbar (Weustink et al. 2009).

Unbestreitbar ist der Nutzen für die Autopsie, den eine vorangestellte zusätzliche Virtopsie bietet. Es werden nicht nur wegweisende Zusatzbefunde erhoben (Wichmann et al. 2014), sondern auch die Vollständigkeit und Qualität der Autopsie verbessert (Roberts et al. 2012, Westphal et al. 2014, Norberti et al. 2019).

Die konventionelle Autopsie als bisheriger Goldstandard, könnte durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit abgelöst werden. So ist der multidisziplinäre Konsens von Klinikärzten, Pathologen bzw. Rechtsmedizinern und Radiologen als neuer Goldstandard denkbar (Sonnemans et al. 2018, Norberti et al. 2019). Ein vollständiger Verzicht auf die Autopsie erscheint indes nicht vorstellbar.

6.10 Limitationen der Arbeit

6.10.1 Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse für den Zeitraum von 2010 bis 2015. Daraus ergeben sich die folgenden Kritikpunkte:

Keine Verblindung der Obduzenten

Die nicht erfolgte Verblindung der Obduzenten bezüglich der Ergebnisse der Bildgebung ist besonders kritisch für den Vergleich zwischen Virtopsie und Autopsie zu werten. Bei einigen Befunden ist es fraglich, ob diese ohne Kenntnis der radiologischen Beurteilung entdeckt worden wären. Beispielhaft zu nennen ist eine Rippenfraktur im dorsalen Bereich ohne Fehlstellung der Rippe (siehe Abbildung 14). Bestimmte Körperpartien werden in der Autopsie nicht standardmäßig präpariert (siehe 2.2.2 Aufbau eines Autopsieprotokolls). Den ausgewerteten Autopsieprotokollen ist nicht immer zu entnehmen, ob die genauere Untersuchung solcher Regionen aufgrund rechtsmedizinischer oder radiologischer Anhaltspunkte für pathologische Veränderungen durchgeführt wurde. Möglicherweise werden die Ergebnisse der Autopsie in dieser Arbeit daher überschätzt. Dieser methodische Fehler könnte in zukünftigen prospektiven Studienansätzen durch eine Verblindung von Obduzenten und Radiologen vermieden werden.

Gleiches gilt für die nicht erfolgte Verblindung der Obduzenten bezüglich der Vorgeschichte des Falls, einschließlich Anamnese und Vordiagnosen. Im untersuchten Kollektiv wird in

einem Fall eine in der Autopsie letztendlich als todesursächlich gewertete Pneumonie zwar auch in der Virtopsie erkannt, ein schwerer Hirnschaden jedoch als Todesursache angenommen. Dieser Hirnschaden bestand allerdings bereits seit der Geburt des Kindes, was den Obduzenten bekannt war, der Fachärztin für Radiologie zum Zeitpunkt der Auswertung nicht. Der entsprechende pulmonale Befund wäre unter diesem Gesichtspunkt radiologisch möglicherweise anders interpretiert worden.



Abbildung 14: Nicht-dislozierte Fraktur der 11. Rippe rechts dorsal (Pfeil) in der CT

Beteiligung einer großen Anzahl von Obduzenten unterschiedlicher Expertise und Arbeitsweise bezogen auf das relativ kleine Patientenkollektiv

An den untersuchten 52 Autopsien sind insgesamt 13 verschiedene Fach- und Assistenzärzte der Rechtsmedizin, ein Facharzt für Radiologie und eine weitere Ärztin ohne genaue Bezeichnung von Fachrichtung und Ausbildungsstand im Autopsieprotokoll beteiligt gewesen. Die Expertise des ersten Obduzenten reicht vom langjährig erfahrenen Facharzt bis zum erfahrenen Arzt in Weiterbildung mit Facharztstandard. Durch diese verhältnismäßig hohe Zahl verschiedener Ärzte kommt es zum einen zu einer uneinheitlichen Nomenklatur gleichartiger Befunde. Als Beispiel genannt sei hier das Lungenödem, welches mit den Bezeichnungen „Lungenödem“, „Lunge(n) wasserreich“, „Lunge(n) flüssigkeitsreich“ oder „Lunge(n) von wasserkissenartiger Konsistenz“ beschrieben worden ist. Retrospektiv ist es nur eingeschränkt möglich, diese Begrifflichkeiten zu sortieren und zusammenzufassen. Zum anderen unterliegt die Bewertung bestimmter Konsistenzen einer stark subjektiven Komponente. Ob ein Sekret bspw. eher als „wässrig“, „flüssig“, „schaumig“, „schleimig“, „schleimig-wässrig“, „serös“, „mukös“ oder anders bezeichnet wird, variiert stark innerhalb

der verschiedenen Autopsieprotokolle. Eine Reduktion der Anzahl einbezogener Obduzenten sollte in zukünftigen Studien angestrebt werden, um diese hohe Varianz und Subjektivität bestimmter Befunde zu vermeiden.

Radiologische Befundung nicht unter wahren Bedingungen einer Virtopsie, Auswertung der CT- und MRT-Bilder ohne Zeitdruck des klinischen Alltags

Die radiologische Auswertung der CT- und MR-Virtopsie im Rahmen dieser retrospektiven Studie erfolgt geblendet und nicht im direkten zeitlichen Zusammenhang mit der Autopsie. Zum Zeitpunkt der Auswertung liegen zwar bereits primäre Virtopsiebefunde und Autopsieprotokolle vor, diese sind der untersuchenden Radiologin allerdings nicht bekannt. Die Beurteilung der Bildgebung erfolgt nicht direkt vor der Autopsie, wie es normalerweise der Fall wäre. Der Bildauswertung kommt daher nicht die Funktion einer ersten Voruntersuchung und Falleinschätzung unter zeitlichem Druck zu. Der Bildanalyse kann mehr Zeit gewidmet werden, als es im klinischen Alltag der Fall ist. Ausgewertet wird der komplette Status jedes Kindes ohne konkrete Anamnese, Kenntnis der Auffindesituation oder spezielle Fragestellungen. Dadurch ist die Qualität der radiologischen Befunde als sehr hoch einzuschätzen und der Fallbericht besonders ausführlich. Bei Einbindung der Virtopsie in die klinische Routine wäre die Reproduzierbarkeit dieser Ergebnisse noch zu überprüfen.

Radiologische Befundung durch eine andere Radiologin als zum Zeitpunkt der eigentlichen Autopsie und damit möglicherweise Unterschiede in den interdisziplinär kommunizierten Befunden

Wie im vorangegangenen Abschnitt beschrieben, ist die Auswertung der Virtopsie immer durch dieselbe Fachärztin für Radiologie erfolgt. Die radiologische Untersuchung und Befundung im Vorfeld der Autopsie ist von anderen Radiologen durchgeführt worden. Auch wenn alle diese Ärzte eine langjährige klinische Erfahrung aufweisen, kommt es damit möglicherweise zu Unterschieden in den jeweiligen Untersuchungsergebnissen. Gerade die einbezogenen Virtopsien aus den ersten Jahren des analysierten Zeitraumes finden zu einem Zeitpunkt statt, zu dem diese Methode noch verhältnismäßig neu und die Erfahrung damit noch eher gering ist. Die untersuchende Radiologin kann hingegen eine bereits mehrjährige Expertise in der Beurteilung postmortalen Bildgebung vorweisen. Dies wird auch in der sehr homogenen Weise der Auswertung aller 52 Fälle deutlich. Es ist anzunehmen, dass es Unterschiede in der Qualität einerseits der übermittelten radiologischen Angaben an die Rechtsmedizin innerhalb des untersuchten Zeitraums und andererseits zwischen der

Beurteilung von CT und MRT zum Zeitpunkt der Autopsie und zum Zeitpunkt der eigentlichen Datenerhebung gibt. Diese Annahme belegen auch die Arbeiten anderer Autoren, in denen verschiedene Radiologen innerhalb des gleichen Falls in einem Viertel der Fälle unterschiedliche Todesursachen vermuten (Roberts et al. 2012).

Da die Erfahrung mit der postmortalen Bildgebung mit jeder Virtopsie zunimmt, kann die Vermutung geäußert werden, dass die Beurteilung zum jetzigen Zeitpunkt wesentlich besser sein würde, als es bei den ersten eingeschlossenen Fällen aus dem Jahr 2010 der Fall gewesen ist. Eine standardisierte schematisierte Befundung ist künftig anzustreben und sollte – ebenso wie die Untersuchungstechnik der Virtopsie – bestimmten Regeln einer Leitlinie folgen.

6.10.2 Terminologie und interdisziplinäre Zusammenarbeit

Die Befunde der Fachgebiete Rechtsmedizin und Radiologie werden in einem grundsätzlich verschiedenen Kontext erhoben. So werden radiologische Befunde zumeist von anderen medizinischen Fachrichtungen in Auftrag gegeben und richten sich an medizinisches Fachpersonal. Rechtsmedizinische Befunde müssen dagegen größtenteils für medizinische Laien und in entsprechender Sprache erhoben und beschrieben werden. Dieser Sachverhalt schlägt sich sowohl in den verwendeten Techniken als auch in der Sprache beider Disziplinen nieder. Unter diesem Aspekt sind die folgenden Punkte zu diskutieren:

Uneinheitliche Terminologie der Fachdisziplinen

Eine große Hürde für die Auswertung ist die unterschiedliche Terminologie von Rechtsmedizin und Radiologie. Bereits von anderen Autoren wird dieses Problem erkannt und eine einheitliche Bezeichnung von Befunden gefordert (Rutty et al. 2013). Die Rechtsmedizin verwendet vorwiegend deutschsprachige Begriffe, z.B. die Bezeichnung „Brieseldrüse“ für den Thymus und Umschreibungen für pathologische Befunde, z.B. „Lunge(n) wasserreich“ bei einem Lungenödem. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass gerichtsmedizinische Autopsieprotokolle im Ermittlungsverfahren und auch im Gerichtssaal für medizinische Laien verständlich sein müssen. Die Radiologie hingegen als relativ junges, methodisch orientiertes Fachgebiet der Medizin bedient sich der klinisch üblichen Terminologie, verwendet aber auch fachspezifische Bezeichnungen, z.B. „Infiltrat“ oder „Verschattung“. Eine einheitliche und eindeutige Zuordnung radiologischer und rechtsmedizinischer bzw. pathologischer Begriffe und Befunde sollte daher angestrebt werden.

Verbesserungspotenzial in interdisziplinärer Kommunikation und Zusammenarbeit

Die unterschiedliche Interpretation gleicher Befunde durch die beiden verschiedenen Fachrichtungen (z.B. Abbildung 10) verdeutlicht die Wichtigkeit des interdisziplinären Dialogs. Während beim Lebenden die Kommunikation zwischen Ärzten verschiedener Disziplinen in Form konsiliarischer Fallvorstellungen oder gemeinsamer Therapieentscheidungen und Falldiskussionen, z.B. in Form eines Tumorboards, zum klinischen Alltag gehören, ist eine solche Art der Besprechung von Todesfällen eher die Ausnahme. Allerdings gibt es bereits Bestrebungen, diese Situation zu ändern. So ist bspw. von der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin (DGRM) die Arbeitsgemeinschaft „Forensische Bildgebung“ gegründet worden, die eine stärkere Einbindung bildgebender Verfahren in die postmortale Untersuchung anstrebt. Vor allem die Vorteile einer CT-Virtopsie als ergänzende Methode zur konventionellen Autopsie werden betont. So gestattet die empfohlene postmortale CT-Untersuchung vor der Autopsie einen Überblick über den gesamten Leichnam und somit eine fokussierte, spezifisch vorbereitete Untersuchung (Fischer und Heinemann 2016). Vor der Autopsie sind die Virtopsie-Aufnahmen zu beurteilen und ggf. mit dem Radiologen Rücksprache zu halten (Fischer und Heinemann 2016).

Generell ist ein einheitliches Konzept für die Untersuchungsbedingungen, die Kostenübernahme und die Organisation von Virtopsie, Autopsie und Fallbesprechung sowie die Sicherung von Daten anzustreben (Fischer und Heinemann 2016, Ruder et al. 2013).

6.10.3 Untersuchtes Patientenkollektiv und statistische Auswertung

Das in dieser Arbeit untersuchte Kollektiv ist mit 52 Patienten verhältnismäßig klein. Somit ist lediglich eine primär deskriptive statistische Auswertung möglich. Die Festlegung des Goldstandards als Endergebnis nach Abschluss aller rechtsmedizinischen Untersuchungen muss bei uneinheitlicher Verwendung von Zusatzuntersuchungen wie der Histologie näher beleuchtet werden. Daher müssen bei der Beurteilung der Ergebnisse die folgenden Aspekte kritisch betrachtet werden:

Keine statistische Signifikanz der Ergebnisse bei kleinem Kollektiv und Heterogenität der Einzelbefunde

Signifikante Aussagen sind mit der vorliegenden Kollektivgröße nicht zu treffen, aber verschiedene Tendenzen können herausgearbeitet werden. Für eine Verifizierung dieser Tendenzen sind Studien mit größeren Fallzahlen erforderlich. Das untersuchte Kollektiv ist sehr heterogen, da alle Todesursachen eingeschlossen wurden. Daraus ergeben sich viele

Untergruppen mit geringer Fallzahl, z.B. lediglich zwei Patienten in der Untergruppe „Ertrinken“. Aussagen zu diesen Untergruppen sind somit kritisch zu betrachten. Ebenso verhält es sich mit Einzelbefunden, bei denen die Detektionsrate möglicherweise durch eine zufällige Verteilung bedingt ist.

Überschneidungen von Goldstandard und MA als Basis für die ermittelte Sensitivität und Spezifität der MA und der PMBG bei der Todesursache Infektion

Die Infektionen als wesentliche Todesursache werden als größte Gruppe genauer betrachtet und statistisch analysiert. Dabei kann gezeigt werden, dass sich die in der PMBG und die in der KKA (entspricht dem Goldstandard) festgestellten Ergebnisse signifikant voneinander unterscheiden. Allerdings lässt sich damit keine abschließende Aussage darüber treffen, ob eine der Methoden der anderen überlegen ist bzw. welche die bessere Methode ist, sondern lediglich ein Unterschied nachweisen.

Die Überprüfung von Sensitivität und Spezifität im Vergleich zu einem Goldstandard führt zu einer vergleichbaren Spezifität von makroskopischer Autopsie und postmortalen Bildgebung, die Sensitivität der postmortalen Bildgebung liegt dagegen höher. Als Goldstandard wird das Endergebnis nach Abschluss aller rechtsmedizinischen Untersuchungen festgelegt. Allerdings ist zu beachten, dass in nur 30 Fällen (57,7 %) eine zusätzliche Histologie durchgeführt worden ist. Somit wird das Ergebnis der makroskopischen Autopsie z.T. mit sich selbst verglichen. Das Resultat ist eine Verfälschung der bestimmten Sensitivität und Spezifität. Diese Zahlen sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

6.11 Ausblick: Wertigkeit der Virtopsie im Rahmen von Ermittlungs- und Gerichtsverfahren

Die konventionelle Autopsie ist im Rahmen von Ermittlungs- und Gerichtsverfahren weiterhin die Methode der Wahl (Bolliger und Thali 2015). Dies könnte sich mit fortschreitender Expertise auf dem Gebiet der Virtopsie ändern. Die Bildgebung ist mit der Möglichkeit einer 3D-Rekonstruktion auch vor Gericht anschaulicher als die schriftliche Dokumentation der rechtsmedizinischen Befunde. Zudem sind CT- und MRT-Bilder für medizinische Laien weniger abstoßend als die Fotodokumentation der Autopsie (Zimmermann 2013). Ein Tathergang, z.B. der Durchschuss eines Schädels, kann leichter mit dem entsprechenden 3D-Bild veranschaulicht werden und auch die Zuordnung eines Tatwerkzeugs, z.B. zu einer Impression im Knochen, ist damit möglicherweise leichter zu verdeutlichen.

In einer Studie an Brandopfern kann die postmortale CT wesentlich zur Identifikation von Leichen mit starken Brandschäden und zur Aufklärung des Tat- bzw. Unfallhergangs beitragen (Coty et al. 2018). Mittels CT-Virtopsie kann zwischen dem Brand als eigentlicher Todesursache, der Vertuschung eines Tötungsdelikts mithilfe eines Brandes oder dem Verbrennen von aus anderer Ursache Verstorbenen unterschieden werden (Coty et al. 2018). Der Nachweis einer CO-Intoxikation selbst ist mit der postmortalen Bildgebung allerdings nicht möglich.

Die Fähigkeit der postmortalen Bildgebung zur Identifizierung eines Leichnams wird bereits in verschiedenen Studien beschrieben (Coty et al. 2018, Bolliger und Thali 2015, Lundström et al. 2012). In dieser Arbeit erweist sich die Virtopsie als qualifiziert, ein Trauma, eine Strangulation oder einen intrauterinen Fruchttod zu diagnostizieren. Die Strangulationen sind insofern kritisch zu betrachten, als dass nur durch die Autopsie festgestellt werden kann, ob dies auch die letztendliche Todesursache war, z.B. durch die Detektion von Petechien.

Die postmortale Bildgebung bietet prinzipiell das Potenzial der Feststellung einer Todesursache durch Fremdeinwirkung mit Ausnahme des Erstickungstodes, was vor Gericht von großer Bedeutung ist. Zudem wird auch gezeigt, dass mittels des Befundes einer fehlenden Lungenbelüftung festgestellt werden kann, ob ein Neugeborenes lebend oder tot geboren worden ist. Allerdings sind weitergehende Rekonstruktionen des Geschehens allein anhand der Virtopsie in der Regel nicht möglich. Dennoch sollte das forensische Potenzial der Virtopsie in Ermittlungs- und Gerichtsverfahren stärker eingebunden werden.

7 Schlussfolgerungen

Bei aktuell weltweit sinkendem Anteil klinischer Autopsien und konstant niedriger Anzahl gerichtsmedizinischer Obduktionen kann die Virtopsie eine hochwertige Ergänzung zur Autopsie darstellen. Bestimmte Todesursachen wie Traumafolgen oder ein Volvulus können von der Bildgebung sicher festgestellt werden. In Fällen von Ertrinken oder Erstickten stellt die konventionelle Autopsie weiter die überlegene Methode dar. Auch bei der Detektion äußerer Verletzungsbefunde, welche für die (gerichtliche) Beurteilung des Falls von großer Relevanz sein können, ist die Autopsie der Virtopsie überlegen. Allerdings erbringt die äußere Leichenschau gemeinsam mit einer postmortalen Bildgebung und gezielten Probeentnahmen aus Körperorganen bessere Ergebnisse als die Leichenschau allein. Auch bei fehlender histologischer Untersuchung bietet die Bildgebung eine wertvolle Ergänzung. Wird also lediglich eine makroskopische Autopsie durchgeführt oder eine Autopsie vollständig abgelehnt, so ist eine Virtopsie in jedem Fall empfehlenswert. Dies kann zudem bei zunehmender Akzeptanz einer postmortalen Bildgebung zur Aufklärung der Todesursache und damit auch zur Qualitätssicherung und Verbesserung der medizinischen Versorgung durch eine zuverlässigere Todesursachenstatistik beitragen. Denkbar wäre auch die Indikationsstellung zur Autopsie abhängig vom Ergebnis einer vorangestellten Virtopsie, wobei dies insbesondere bei Gewaltdelikten und juristischen Fragestellungen sehr kritisch gesehen werden muss.

In der vorliegenden Arbeit wird deutlich, dass vor allem bei Lufteinschlüssen, Frakturen, Lymphknotenpathologien und pulmonalen Infektionen die postmortale Bildgebung zusätzliche Befunde liefern kann. Bei einer Infektion als Todesursache kann die Virtopsie perspektivisch richtungsweisend sein. Eine zur Autopsie gleichwertige Methode stellt die Virtopsie zum jetzigen Zeitpunkt nicht dar. Sie ist aber als eine wertvolle ergänzende Methode anzusehen und bietet vor allem die Möglichkeit einer gut vorbereiteten, fokussierten Autopsie.

Sowohl der interdisziplinäre Dialog als auch die enge Zusammenarbeit zwischen dem Radiologen und dem späteren Obduzenten sollten in der klinischen Routine stärker in den Fokus gerückt werden. So könnten die Stärken beider Fachbereiche verbunden und maximal ausgeschöpft werden. Um dies zu gewährleisten und um Unterschiede in der Interpretation gleicher Befunde zukünftig zu vermeiden, ist eine Besprechung zur Planung der Autopsie und einer gemeinsamen Analyse der Ergebnisse beider Disziplinen in einem postmortalen Konsil vorstellbar und empfehlenswert.

Die Fragen der Zielstellung sind also folgendermaßen zu beantworten: Obgleich ein vollständiger Ersatz der konventionellen Autopsie nicht gewährleistet werden kann, so wird durch eine zusätzliche Virtopsie trotzdem ein Mehrgewinn an Information erreicht, vor allem dann, wenn keine Histologie durchgeführt wird. Dabei zeigt sich deutlich, dass die Stärken der verschiedenen Methoden in unterschiedlichen Bereichen liegen und somit eine komplementäre Verwendung beider Methoden zu einem detaillierteren Gesamtbild führt. Welche Form der postmortalen Bildgebung verwendet werden sollte, hängt vor allem von der Fragestellung ab. Auch die Verfügbarkeit der entsprechenden Technologie und die vorhandene Expertise für die jeweilige Modalität müssen berücksichtigt werden. Wird aus verschiedensten Gründen keine Autopsie durchgeführt, so bietet die Virtopsie zusammen mit einer äußeren Leichenschau und ggf. gezielter Entnahme von Gewebeproben eine Alternative zur konventionellen Autopsie. Eine Ausnahme bilden Tötungs- oder Gewaltdelikte, bei denen neben der Todesursache auch rekonstruktionsrelevante Befunde erhoben werden müssen.

Um die Qualität der postmortalen Untersuchung weiter zu optimieren, ist der multidisziplinäre Konsens von Klinikärzten, Pathologen bzw. Rechtsmedizinern und Radiologen als neuer Goldstandard denkbar.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- Addison S, Arthurs OJ, Thayyil S. 2014. Post-mortem MRI as an alternative to non-forensic autopsy in fetuses and children: from research into clinical practice. *The British Journal of Radiology*, 87 (1036):20130621.
- Alkadhi H, Leschka S, Stolzmann P, Scheffel H. 2011. *Wie funktioniert CT? Eine Einführung in Physik, Funktionsweise und klinische Anwendungen der Computertomographie*. Springer-Verlag GmbH.
- Altman DG, Bland JM. 1994. Diagnostic tests. 1: Sensitivity and specificity. *Bmj*, 308 (6943):1552.
- Arthurs OJ, Guy A, Thayyil S, Wade A, Jones R, Norman W, Scott RJ, Robertson NJ, Jacques TS, Chong WK, Gunny RS, Saunders DE, Olsen OE, Owens CM, Offiah AC, Chitty LS, Taylor AM, Sebire NJ. 2016. Comparison of diagnostic performance for perinatal and paediatric post-mortem imaging: CT versus MRI. *European Radiology*, 26 (7):2327-2336.
- AWMF AdWMF. 2017. Die rechtsmedizinische Leichenöffnung
- Bender R, Lange S. 2007. [The 2 by 2 table]. *Dtsch Med Wochenschr*, 132 Suppl 1:e12-14.
- Blokker BM, Wagenveld IM, Weustink AC, Oosterhuis JW, Hunink MGM. 2016. Non-invasive or minimally invasive autopsy compared to conventional autopsy of suspected natural deaths in adults: a systematic review. *European Radiology*, 26 (4):1159-1179.
- Bolliger SA, Thali MJ. 2015. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370 (1674).
- Bolliger SA, Thali MJ, Ross S, Buck U, Naether S, Vock P. 2008. Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. *Eur Radiol*, 18 (2):273-282.
- Brinkmann B, Du Chesne A, Vennemann B. 2002. Aktuelle Daten zur Obduktionsfrequenz in Deutschland. *Dtsch med Wochenschr*, 127 (15):791-795.
- Burton JL, Underwood J. 2007. Clinical, educational, and epidemiological value of autopsy. *The Lancet*, 369 (9571):1471-1480.
- Buzug TM. 2004. *Einführung in die Computertomographie*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Carballeira Álvarez A, Mancini J, Tuchtan-Torrents L, Gach P, Bartoli C, Desfeux J, Piercecchi MD, Gorincour G. 2018. Diagnostic value of unenhanced postmortem computed tomography in the detection of traumatic abdominal injuries. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 99 (6):397-402.
- Cardoso MP, Bourguignon DC, Gomes MM, Saldiva PH, Pereira CR, Troster EJ. 2006. Comparison between clinical diagnoses and autopsy findings in a pediatric intensive care unit in Sao Paulo, Brazil. *Pediatr Crit Care Med*, 7 (5):423-427.
- Cartocci G, Santurro A, Neri M, Zaccagna F, Catalano C, La Russa R, Turillazzi E, Panebianco V, Frati P, Fineschi V. 2019. Post-mortem computed tomography (PMCT) radiological findings and assessment in advanced decomposed bodies. *Radiol Med*, 124 (10):1018-1027.
- Cirielli V, Cima L, Bortolotti F, Narayanasamy M, Scarpelli MP, Danzi O, Brunelli M, Eccher A, Vanzo F, Ambrosetti MC, El-Dalati G, Vanezis P, De Leo D, Tagliaro F. 2018. Virtual Autopsy as a Screening Test Before Traditional Autopsy: The Verona Experience on 25 Cases. *J Pathol Inform*, 9:28.
- Coty J-B, Nedelcu C, Yahya S, Dupont V, Rougé-Maillart C, Verschoore M, Ridereau Zins C, Aubé C. 2018. Burned bodies: post-mortem computed tomography, an essential tool for modern forensic medicine. *Insights into Imaging*.
- Deistung A, Mentzel HJ, Rauscher A, Witoszynskij S, Kaiser WA, Reichenbach JR. 2006. Demonstration of paramagnetic and diamagnetic cerebral lesions by using susceptibility weighted phase imaging (SWI). *Z Med Phys*, 16 (4):261-267.
- DGRM (Prof. Dr. Silke GRABHERR Centre Universitaire Romand de Médecine Légale (CURML) Chemin de la Vulliette 4, 1000 Lausanne 25). 2019. 18.06. Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung <https://www.dgrm.de/arbeitsgemeinschaften/forensische-bildgebung/>.
- Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P, Potter K, Thali MJ. 2006. VIRTOPSY: Minimally Invasive, Imaging-guided Virtual Autopsy. *RadioGraphics*, 26 (5):1305-1333.
- El Shafie RA, Paul A, Bernhardt D, Lang K, Welzel T, Sprave T, Hommertgen A, Krisam J, Schmitt D, Klüter S, Schubert K, Klose C, Kieser M, Debus J, Rieken S. 2018. Robotic Radiosurgery for Brain Metastases Diagnosed With Either SPACE or MPRAGE Sequence (CYBER-SPACE)—A Single-Center Prospective Randomized Trial. *Neurosurgery*:nyy026-nyy026.

- Erlmeier F, Weichert W, Knüchel R, Andruszkow J. 2017. Erwachsenenobduktionen im letzten Jahrzehnt in Deutschland. *Der Pathologe*, 38 (5):430-437.
- Euler SA, Kastenberger T, Attal R, Rieger M, Blauth M, Petri M. 2017. Do we still need autopsy in times of modern multislice computed tomography?—Missed diagnoses in the emergency room. *Arch Orthop Trauma Surg*, 137 (1):43-47.
- Filigrana L, Thali MJ. 2017. Post-mortem CT imaging of the lungs: pathological versus non-pathological findings. *Radiol Med*, 122 (12):902-908.
- Finkbeiner WE, Ursell PC, Davis RL. 2009. *Autopsy Pathology A Manual and Atlas*. Philadelphia: Saunders Elsevier.
- Fischer H, Heinemann A. 2016. Arbeitsgemeinschaft Forensische Bildgebung der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin, Grundlagen der postmortalen Computertomographie (PMCT) für forensisch-radiologische Anwendungen - Empfehlungen und Indikationskatalog Heidelberg: Springer-Verlag.
- Goldman L, Sayson R, Robbins S, Cohn LH, Bettmann M, Weisberg M. 1983. The Value of the Autopsy in Three Medical Eras. *New England Journal of Medicine*, 308 (17):1000-1005.
- Grabherr S, Grimm J, Dominguez A, Vanhaebost J, Mangin P. 2014. Advances in post-mortem CT-angiography. *Br J Radiol*, 87 (1036):20130488.
- Grabherr S, Doenz F, Steger B, Dirnhofer R, Dominguez A, Sollberger B, Gyax E, Rizzo E, Chevallier C, Meuli R, Mangin P. 2011. Multi-phase post-mortem CT angiography: development of a standardized protocol. *International Journal of Legal Medicine*, 125 (6):791-802.
- Grabherr S, Heinemann A, Vogel H, Rütty G, Morgan B, Wozniak K, Dedouit F, Fischer F, Lochner S, Wittig H, Guglielmi G, Eplinius F, Michaud K, Palmiere C, Chevallier C, Mangin P, Grimm JM. 2018. Postmortem CT Angiography Compared with Autopsy: A Forensic Multicenter Study. *Radiology*, 288 (1):270-276.
- Heinemann A, Vogel H, Heller M, Tzikas A, Puschel K. 2015. Investigation of medical intervention with fatal outcome: the impact of post-mortem CT and CT angiography. *Radiol Med*, 120 (9):835-845.
- Hoppe J-D, Scriba PC. 2005. Bekanntmachungen: Der Vorstand der Bundesärztekammer hat in seiner Sitzung vom 26. August 2005 auf Empfehlung des Wissenschaftlichen Beirats folgendes beschlossen: Stellungnahme zur „Autopsie“ – Kurzfassung –. *Dtsch Arztebl International*, 102 (50):A-3537.
- Inai K, Noriki S, Kinoshita K, Sakai T, Kimura H, Nishijima A, Iwasaki H, Naiki H. 2016. Postmortem CT is more accurate than clinical diagnosis for identifying the immediate cause of death in hospitalized patients: a prospective autopsy-based study. *Virchows Archiv*, 469 (1):101-109.
- Joseph TI, Girish KL, Sathyan P, Kiran MS, Vidya S. 2017. Virtopsy: An integration of forensic science and imageology. *Journal of Forensic Dental Sciences*, 9 (3):111-114.
- Jütte R, Crusius A, Dietel M, Eisenmenger W, Groß D, Kolkmann F-W, Kretzschmar HA, Scriba PC, Tag B, Schomburg G, Zscheschang P. 2007. Stellungnahme zur Autopsie Berlin: Bundesärztekammer.
- Krentz BV, Alamo L, Grimm J, Dedouit F, Bruguier C, Chevallier C, Egger C, Da Silva LFF, Grabherr S. 2016. Performance of post-mortem CT compared to autopsy in children. *Int J Legal Med*, 130 (4):1089-1099.
- Kuijpers CCHJ, Fronczek J, van de Goot FRW, Niessen HWM, van Diest PJ, Jiwa M. 2014. The value of autopsies in the era of high-tech medicine: discrepant findings persist. *Journal of Clinical Pathology*, 67 (6):512-519.
- La Russa R, Catalano C, Di Sanzo M, Scopetti M, Gatto V, Santurro A, Viola RV, Panebianco V, Frati P, Fineschi V. 2019. Postmortem computed tomography angiography (PMCTA) and traditional autopsy in cases of sudden cardiac death due to coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis. *Radiol Med*, 124 (2):109-117.
- Le Blanc-Louvry I, Thureau S, Duval C, Papin-Lefebvre F, Thiebot J, Dacher JN, Gricourt C, Toure E, Proust B. 2013. Post-mortem computed tomography compared to forensic autopsy findings: a French experience. *Eur Radiol*, 23 (7):1829-1835.
- Lundström C, Persson A, Ross S, Ljung P, Lindholm S, Gyllensvärd F, Ynnerman A. 2012. State-of-the-art of visualization in post-mortem imaging. *APMIS*, 120 (4):316-326.
- Luo S, Yang L, Luo Y. 2018. Susceptibility-weighted imaging predicts infarct size and early-stage clinical prognosis in acute ischemic stroke. *Neurological Sciences*.
- Madea B. 2003. *Praxis Rechtsmedizin Befunderhebung Rekonstruktion Begutachtung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Madea B. 2014. *Die ärztliche Leichenschau*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- McNemar Q. 1947. Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. *Psychometrika*, 12 (2):153-157.

- Morgan B, Biggs MJ, Barber J, Raj V, Amoroso J, Hollingbury FE, Robinson C, Rutty GN. 2013. Accuracy of targeted post-mortem computed tomography coronary angiography compared to assessment of serial histological sections. *Int J Legal Med*, 127 (4):809-817.
- Norberty N, Tonelli P, Giaconi C, Nardi C, Focardi M, Nesi G, Miele V, Colagrande S. 2019. State of the art in post-mortem computed tomography: a review of current literature. *Virchows Arch*, 475 (2):139-150.
- Ogura T, Yanagimoto T. 2016. Improving and extending the McNemar test using the Bayesian method. *Stat Med*, 35 (14):2455-2466.
- Reiser M, Kuhn F-P, Debus J. 2011. *Duale Reihe Radiologie*. Stuttgart, Germany: Georg Thieme Verlag KG.
- Rinck PA. 2019. *Magnetic Resonance in Medicine A Critical Introduction*. Books on Demand GmbH Elsevier.
- Roberts IS, Benbow EW, Bisset R, Jenkins JP, Lee SH, Reid H, Jackson A. 2003. Accuracy of magnetic resonance imaging in determining cause of sudden death in adults: comparison with conventional autopsy. *Histopathology*, 42 (5):424-430.
- Roberts ISD, Benamore RE, Benbow EW, Lee SH, Harris JN, Jackson A, Mallett S, Patankar T, Peebles C, Roobottom C, Traill ZC. 2012. Post-mortem imaging as an alternative to autopsy in the diagnosis of adult deaths: a validation study. *The Lancet*, 379 (9811):136-142.
- Rodewald AK, Bode P, Cathomas G, Moch H. 2017. *Klinische Obduktionen in der Schweiz*. *Der Pathologe*, 38 (5):416-421.
- Ross SG, Thali MJ, Bolliger S, Germerott T, Ruder TD, Flach PM. 2012. Sudden death after chest pain: feasibility of virtual autopsy with postmortem CT angiography and biopsy. *Radiology*, 264 (1):250-259.
- Roulson J, Benbow EW, Hasleton PS. 2005. Discrepancies between clinical and autopsy diagnosis and the value of post mortem histology; a meta-analysis and review. *Histopathology*, 47 (6):551-559.
- Ruder TD, Flach PM, Thali MJ. 2013. Virtual autopsy. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*, 9 (3):435-436.
- Rutty GN, Brogdon G, Dedouit F, Grabherr S, Hatch GM, Jackowski C, Leth P, Persson A, Ruder TD, Shiotani S, Takahashi N, Thali MJ, Woźniak K, Yen K, Morgan B. 2013. Terminology used in publications for post-mortem cross-sectional imaging. *International Journal of Legal Medicine*, 127 (2):465-466.
- Sakuma A, Ishii M, Yamamoto S, Shimofusa R, Kobayashi K, Motani H, Hayakawa M, Yajima D, Takeichi H, Iwase H. 2010. Application of Postmortem 3D-CT Facial Reconstruction for Personal Identification*. *Journal of Forensic Sciences*, 55 (6):1624-1629.
- Schwarzenberg L-RdVU. 1997. *Lexikon Medizin München*: Urban & Schwarzenberg Verlag München - Wien - Baltimore.
- Sonnemans LJP, Kubat B, Prokop M, Klein WM. 2018. Can virtual autopsy with postmortem CT improve clinical diagnosis of cause of death? A retrospective observational cohort study in a Dutch tertiary referral centre. *BMJ Open*, 8 (3):e018834.
- Takayasu T, Yamasaki F, Akiyama Y, Ohtaki M, Saito T, Nosaka R, Takano M, Sugiyama K, Kurisu K. 2018. Advantages of high b-value diffusion-weighted imaging for preoperative differential diagnosis between embryonal and ependymal tumors at 3T MRI. *European Journal of Radiology*, 101:136-143.
- Takei H, Sano R, Takahashi Y, Takahashi K, Kominato Y, Tokue H, Shimada T, Awata S, Hirasawa S, Ohta N. 2018. Usefulness of coronary postmortem computed tomography angiography to detect lesions in the coronary artery and myocardium in cases of sudden death. *Leg Med (Tokyo)*, 30:46-51.
- Tal S, Berkovitz N, Gottlieb P, Zaitsev K. 2015. Acceptance of forensic imaging in Israel. *Isr Med Assoc J*, 17 (3):141-144.
- Tandon A, Kanchan T, Atreya A, Tandon A. 2019. Perceptions of medical students towards autopsy teaching and its significance. *Medicine, Science and the Law*, 0 (0):0025802419855448.
- Thali MJ, Braun M, Buck U, Aghayev E, Jackowski C, Vock P, Sonnenschein M, Dirnhofer R. 2005. VIRTopsy--scientific documentation, reconstruction and animation in forensic: individual and real 3D data based geo-metric approach including optical body/object surface and radiological CT/MRI scanning. *J Forensic Sci*, 50 (2):428-442.
- Thayyil S, Sebire NJ, Chitty LS, Wade A, Chong WK, Olsen O, Gunny RS, Offiah AC, Owens CM, Saunders DE, Scott RJ, Jones R, Norman W, Addison S, Bainbridge A, Cady EB, Vita ED,

- Robertson NJ, Taylor AM. 2013. Post-mortem MRI versus conventional autopsy in fetuses and children: a prospective validation study. *The Lancet*, 382 (9888):223-233.
- Underwood J. 2012. Post-mortem imaging and autopsy: rivals or allies? *Lancet*, 379 (9811):100-102.
- Vogl TJ, Reith W, Rummeny EJ. 2011. *Diagnostische und interventionelle Radiologie*. Berlin Heidelberg, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Vullo A, Panebianco V, Cannavale G, Aromatario M, Cipolloni L, Frati P, Santurro A, Vullo F, Catalano C, Fineschi V. 2016. Post-mortem magnetic resonance foetal imaging: a study of morphological correlation with conventional autopsy and histopathological findings. *Radiol Med*, 121 (11):847-856.
- Wagensveld IM, Blokker BM, Pezzato A, Wielopolski PA, Renken NS, von der Thüsen JH, Krestin GP, Hunink MGM, Oosterhuis JW, Weustink AC. 2018. Diagnostic accuracy of postmortem computed tomography, magnetic resonance imaging, and computed tomography-guided biopsies for the detection of ischaemic heart disease in a hospital setting. *European Heart Journal - Cardiovascular Imaging*:jey015-jey015.
- Weishaupt D, Köchli VD, Marincek B. 2009. *Wie funktioniert MRI? Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung*. Heidelberg: Springer-Verlag Heidelberg.
- Westphal SE, Apitzsch JC, Penzkofer T, Kuhl CK, Mahnken AH, Knuchel R. 2014. Contrast-enhanced postmortem computed tomography in clinical pathology: enhanced value of 20 clinical autopsies. *Hum Pathol*, 45 (9):1813-1823.
- Weustink AC, Hunink MGM, van Dijke CF, Renken NS, Krestin GP, Oosterhuis JW. 2009. Minimally Invasive Autopsy: An Alternative to Conventional Autopsy? *Radiology*, 250 (3):897-904.
- WHO 2019. 28.06. 11.06 Uhr. Häufigste Todesursachen in Europa: Faktenblatt http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/185312/Leading-causes-of-death-in-Europe-Fact-Sheet-Ger.pdf?ua=1.
- Wichmann D, Heinemann A, Zähler S, Vogel H, Höpker W, Püschel K, Kluge S. 2018. Prospective study of device-related complications in intensive care unit detected by virtual autopsy. *British Journal of Anaesthesia*, 120 (6):1229-1236.
- Wichmann D, Heinemann A, Weinberg C, Vogel H, Hoepker WW, Grabherr S, Püschel K, Kluge S. 2014. Virtual Autopsy With Multiphase Postmortem Computed Tomographic Angiography Versus Traditional Medical Autopsy to Investigate Unexpected Deaths of Hospitalized Patients: A Cohort Study. *Annals of Internal Medicine*, 160 (8):534-541.
- Willaume T, Farrugia A, Kieffer E-M, Charton J, Geraut A, Berthelon L, Bierry G, Raul J-S. 2018. The benefits and pitfalls of post-mortem computed tomography in forensic external examination: A retrospective study of 145 cases. *Forensic Science International*, 286:70-80.
- Winters B, Custer J, Galvagno SM, Jr., Colantuoni E, Kapoor SG, Lee H, Goode V, Robinson K, Nakhasi A, Pronovost P, Newman-Toker D. 2012. Diagnostic errors in the intensive care unit: a systematic review of autopsy studies. *BMJ Qual Saf*, 21 (11):894-902.
- Wullenweber R, Schneider V, Grumme T. 1977. A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds (author's transl). *Z Rechtsmed*, 80 (3):227-246.
- Zimmermann DA. 2013. *Virtopsy und damit verbundene rechtliche Rahmenbedingungen und Auswirkungen*. Berlin: Driesen Verlag.

9 Anhang

9.1 Danksagung

Mein Dank gilt allen Personen, die zum Gelingen dieser Doktorarbeit beigetragen haben. An erster Stelle möchte ich vor allem meinen Betreuern Frau Prof. Dr. Diane Miriam Renz und Herrn Prof. Dr. Hans-Joachim Mentzel für ihre große Geduld und das stetige Vorantreiben der Arbeit danken sowie auch die gebotenen Möglichkeiten, die Thematik auf verschiedenen Kongressen zu präsentieren. Ich danke insbesondere meiner radiologischen Betreuerin Frau Prof. Dr. Diane Miriam Renz für die zeitaufwendige Auswertung des Bildmaterials, die vielen Anregungen zu Aufbau und Struktur der Arbeit und die Beantwortung meiner zahlreichen Rückfragen. Für die geleistete Vorarbeit und damit das Legen des Grundsteins für diese Arbeit möchte ich Herrn Dr. Martin Stenzel herzlich danken. Ein besonderer Dank gilt auch meinen Betreuern und Ansprechpartnern im Institut für Rechtsmedizin Jena: Frau Prof. Dr. Gita Mall für die Bereitstellung der Autopsie- und Histologieprotokolle und das Ermöglichen einer unkomplizierten Zusammenarbeit, Frau Dr. Stefanie Sauer für ihre großartige Unterstützung bei der Zusammenfassung und Diskussion von Befunden und für das von ihr zur Verfügung gestellte Material sowie ihre ausführlichen Erklärungen über die Abläufe in der Rechtsmedizin, Herrn Dr. Holger Muggenthaler und Herrn Dr. Michael Hubig für die zahlreichen produktiven Gespräche und die unendliche Hartnäckigkeit beim Kampf mit der statistischen Auswertung.

Danken möchte ich außerdem meiner, von Beginn an mitfiebernden Familie sowie Sabrina Freitag und Wibke Janhsen für die tatkräftige Unterstützung und den selbstlosen Einsatz bei der zeitintensiven Korrektur. Und nicht zuletzt danke ich auch meinem Freund Till Rudloff, der einerseits ebenfalls an der Korrektur beteiligt war und andererseits alle Höhen und Tiefen im Entstehungsprozess dieser Arbeit geduldig ertragen und gemeinsam mit mir durchgestanden hat.

9.2 Zusatzmaterial

9.2.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: In der kumulativen konventionellen Autopsie (KKA) festgestellte Todesursachen (Sonstige-Überhitzung, Intoxikation, neuronale Heterotopie, plötzlicher Kindstod)	36
Abbildung 2 In der postmortalen Bildgebung (PMBG) festgestellte Todesursachen (Sonstige-Verbrennungstod, hypoxischer Hirnschaden)	36
Abbildung 3: Brandhämatom in der kumulativen konventionellen Autopsie, interpretiert als frontales Subduralhämatom (Pfeile) in MRT (Bild A) und CT (Bild B).....	44
Abbildung 4: Verschattung von Mastoid und Cavum tympani links (Pfeile) in der CT.....	47
Abbildung 5: Zervikale Strangmarke (Pfeile). Bild A: 3D-Rekonstruktion in der CT. Bild B: Makroskopische Autopsie	50
Abbildung 6: Fehlende Lungenbelüftung in der CT (Pfeile), Bild A: Lungenfenster, Bild B: Weichteilfenster	54
Abbildung 7: Mikroskopische Aufnahme einer Myokarditis mit Lymphozyten im Herzmuskel (Kreis), Hämatoxylin-Eosin-Färbung	56
Abbildung 8: Pneumomediastinum (Pfeile) im CT-Lungenfenster, Ausbreitung entlang des bronchovaskulären Bündels bds.	58
Abbildung 9: Cholezystolithiasis (Pfeil) im CT-Weichteilfenster, nicht beschrieben in der Makroskopischen Autopsie	61
Abbildung 10: Verschiedene Interpretation des gleichen Befundes. Bild A: Milzlazeration in der CT (Pfeil). Bild B: Milzkapselunterblutung in der Makroskopischen Autopsie (Pfeil) ...	62
Abbildung 11: Pseudarthrose der linken Ulna in der CT (Pfeil), in der kumulativen konventionellen Autopsie als frische Ulnafraktur gewertet	63
Abbildung 12: Petechien des linken Augenlids und periorbital links in der Makroskopischen Autopsie.....	68
Abbildung 13: Flüssigkeitsaspiration bds., links > rechts beim Tod durch Ertrinken in der T2-Wichtung in der MRT.....	76
Abbildung 14: Nicht-dislozierte Fraktur der 11. Rippe rechts dorsal (Pfeil) in der CT.....	82

9.2.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gesamtzahl aller Todesfälle in Thüringen für die Jahre 2010, 2013, 2014 und 2015 (Quelle: Thüringer Landesamt für Statistik), Anzahl der durchgeführten Obduktionen am

Institut für Rechtsmedizin des Universitätsklinikum Jena (Quelle: Institut für Rechtsmedizin Jena) und der Anteil der Obduktionen an allen Todesfällen in Thüringen in Prozent.....	20
Tabelle 2: Technische Parameter der Computertomographie (cCT-kraniale Computertomographie, mA-Milliampere, kVp-kilovoltage peak (Röhrenspannung), FOV-Field of view, mm-Millimeter)	28
Tabelle 3: Technische Parameter der cMRT (DWI-diffusionsgewichtete Bildgebung mit b-Werten von 0 und 1000s/mm ² , FLAIR-Fluid-Attenuated-Inversion-Recovery-Sequenz mit Inversionszeit TI von 2500ms, SWI-suszeptibilitätsgewichtete Bildgebung, mm-Millimeter, ms-Millisekunden)	29
Tabelle 4: Technische Parameter der Ganzkörper-MRT (SPACE-Sampling perfection with application optimized contrasts using different flip angle evolution, mm-Millimeter, ms-Millisekunden).....	29
Tabelle 5: Konkordanzschlüssel (In den Spalten 1 bis 3: 0-nicht vorhanden, 1-vorhanden; KKA-kumulative konventionelle Autopsie, CT-Computertomographie, MRT-Magnetresonanztomographie).....	31
Tabelle 6: Vergleich der festgestellten Todesursachen von makroskopischer Autopsie (MA) und postmortaler Bildgebung (PMBG) (grüne Felder – Übereinstimmung beider Methoden)	38
Tabelle 7: Vergleich der festgestellten Todesursachen von histologischer Autopsie (HA) und postmortaler Bildgebung (PMBG) (grüne Felder – Übereinstimmung beider Methoden)	38
Tabelle 8: Vergleich der festgestellten Todesursachen von kumulativer konventioneller Autopsie (KKA) und postmortaler Bildgebung (PMBG) (grüne Felder – Übereinstimmung beider Methoden)	39
Tabelle 9: Todesursache Infektion in makroskopischer Autopsie (MA), histologischer Autopsie (HA), postmortaler Bildgebung (PMBG) und kumulativer konventioneller Autopsie (KKA) (grüne Felder – vermutete oder endgültige Todesursache ist eine Infektion)	39
Tabelle 10: Vergleich von makroskopischer Autopsie (MA) und Goldstandard (entspricht der kumulativen konventionellen Autopsie) für die Todesursache „Infektion“ (blau-Spezifität, grün-Sensitivität)	41
Tabelle 11: Vergleich von postmortaler Bildgebung (PMBG) und Goldstandard (entspricht der kumulativen konventionellen Autopsie) für die Todesursache „Infektion“ (blau-Spezifität, grün-Sensitivität)	41

Tabelle 12: McNemar-Test für die Todesursache „Infektion“, Nullhypothese H0: Unterschiede in den Ergebnissen der Methoden sind zufällig, Ablehnung von H0 wegen $p < 0,05$	42
Tabelle 13: Zerebrale Befunde CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL- Second look, n-Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	43
Tabelle 14: Zerebrale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, n-Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	45
Tabelle 15: Kephale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, SH-Schleimhaut, NNH- Nasennebenhöhlen, n-Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	45
Tabelle 16: Kephale Befunde CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL- Second look, SH-Schleimhaut, NNH-Nasennebenhöhlen, n-Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	47
Tabelle 17: Zervikale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, RR-Rachenring, n-Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G - Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	49
Tabelle 18: Zervikale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, RR-Rachenring, 2-CT, 3-Autopsie+CT, 4-MRT, 5-Autopsie+MRT, n- Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	51
Tabelle 19: Pulmonale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n_g - Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	51
Tabelle 20: Pulmonale Befunde CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL- Second look, n-Anzahl, n_g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	53

Tabelle 21: Kardiale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	55
Tabelle 22: Thorakale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	57
Tabelle 23: Kardiale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	59
Tabelle 24: Thorakale Befunde CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 3-KKA+CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels).....	59
Tabelle 25: Abdominale und retroperitoneale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	61
Tabelle 26: Abdominale und retroperitoneale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	64
Tabelle 27: Skelettale Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	64
Tabelle 28: Skelettale Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, Z.n.-Zustand nach, 1-KKA, 2-CT, 5-KKA+MRT, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	66
Tabelle 29: Sonstige Befunde der CT/MRT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, 2-CT, 4-MRT, 5-KKA+MRT, 6-CT+MRT, n-Anzahl, n _g -Gesamtanzahl einzelner Befunde, n _G -Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels)	66

Tabelle 30: Sonstige Befunde der CT-Gruppe (KKA-kumulative konventionelle Autopsie, SL-Second look, n-Anzahl, n_G-Gesamtanzahl einzelner Befunde, n_G-Gesamtanzahl detektierter Befunde einzelner Methode(n) entsprechend des Konkordanzschlüssels) 67

9.2.3 Tabelle nicht aufgenommener Befunde

Bereich	Befund	
Äußere Besichtigung	Sichere Todeszeichen (Totenflecke, Totenstarre)	
	Kopfhaar (Länge, Farbe)	
	Bekleidung	
	Körpermaße (Gewicht, Größe, Länge)	
	Oberflächliche Hautveränderungen (Kratzer, Abschürfungen, Verfärbungen, Punktionsstellen, reizlose Narben, Blässe, Vertrocknungen, Verschorfung, Rötung, Naevi, Hämangiome)	
	Antragungen von Schmutz, Kot, Blut, Salben etc.	
	Filmartige Sekretantragungen in Nasen- und Mundhöhle	
	Augenfarbe, Pupillen, Vertrocknungen Augapfel	
	Nagelveränderungen	
	Hämatome ohne korrespondierende subkutane Einblutung	
	Lanugobehaarung	
	Anhängende Nabelschnur	
	Innere Besichtigung	Suturen/Fontanellen altersentsprechend offen
		Blutstau innerer Organe
Wenige Milliliter Flüssigkeit in Herzbeutel, Brust- oder Bauchhöhle		
Foramen ovale/Ductus Botalli offen		
Physiologischer Inhalt in Magen, Gallenblase, Harnblase, Darm		
Erhaltene kindliche Furchung der Nieren		
Milchglasinfiltrate, am ehesten postmortal		
Nebennilz		
Herdbefund Leber (6mm große Verfettung)		

9.2.4 Auszüge aus GOÄ, Vereinbarung UV/Pathologie und JVEG

a) GOÄ Stand 01.04.2019

Nummer	Leistung	Kosten in EUR
5700	Magnetresonanztomographie im Bereich des Kopfes - gegebenfalls einschließlich des Halses, in zwei Projektionen, davon mindestens eine Projektion unter Einschluss T2- gewichteter Aufnahmen	225,26
5715	Magnetresonanztomographie im Bereich des Thorax - gegebenfalls einschließlich des Halses -, der Thoraxorgane und/oder der Aorta in ihrer gesamten Länge	220,14
5720	Magnetresonanztomographie im Bereich des Abdomens und/oder des Beckens	225,26
5730	Magnetresonanztomographie einer oder mehrerer Extremität(en) mit Darstellung von mindestens zwei großen Gelenken einer Extremität	204,79
5732	Zuschlag zu den Leistungen nach den Nummern 5700 bis 5730 für Positionswechsel und/oder Spulenwechsel	51,17
5735	Höchstwert für Leistungen nach den Nummern 5700 bis 5730	307,14
5369	Höchstwert für Leistungen nach den Nummern 5370 bis 5374	153,62
5370	Computergesteuerte Tomographie im Kopfbereich - gegebenfalls einschließlich des kraniozervikalen Übergangs	102,34
5371	Computergesteuerte Tomographie im Hals- und/oder Thoraxbereich	117,69
5372	Computergesteuerte Tomographie im Abdominalbereich	133,05
5373	Computergesteuerte Tomographie des Skeletts (Wirbelsäule, Extremitäten oder Gelenke bzw. Gelenkpaare)	97,22
5377	Zuschlag für computergesteuerte Analyse - einschließlich speziell nachfolgender 3DRekonstruktion -	40,93

b) Vereinbarung UV/Pathologie – Stand 01.07.2017

Leistungen	Kosten in EUR
Leichenöffnung, die das gewöhnliche Maß nicht übersteigt * (Öffnung der drei Körperhöhlen)	510,00
Besonders schwierige und zeitraubende Leichenöffnung* Als Kriterium gilt je: <ul style="list-style-type: none"> - die Eröffnung des Rückenmarkkanals - ausgedehnte Untersuchung des Knochensystems - Untersuchung des peripheren Gefäßsystems mit Präparierung - Untersuchung des peripheren Nervensystems mit Präparierung - Untersuchung von Organen bei fortgeschrittener Zersetzung mit bereits wesentlichen Fäulniserscheinungen 	663,00
Öffnung einer schon beerdigten Leiche* ohne Rücksicht auf Schwierigkeit und Dauer	918,00

* Die Gebühren für Leichenöffnungen und damit im Zusammenhang stehende Untersuchungen decken jeweils das Autopsieprotokoll und etwaige ärztliche Assistenz sowie einen Protokollanten mit ab.

c) JVEG Auszug aus Anlage 2 zu § 10 Absatz 2 – Stand 11.10.2016

Honorarnummer	Leistung	Kosten in EUR
100	Besichtigung einer Leiche, von Teilen einer Leiche, eines Embryos oder eines Fetus oder Mitwirkung bei einer richterlichen Leichenschau	60,00 – 140,00
101	Fertigung eines Berichts, der schriftlich zu erstatten oder nachträglich zur Niederschrift zu geben ist	30,00
102	Obduktion	380,00
103	Obduktion unter besonders ungünstigen äußeren Bedingungen	500,00
104	Obduktion unter anderen besonders ungünstigen Bedingungen (Zustand der Leiche etc.)	670,00
200	Ausstellung eines Befundscheins oder Erteilung einer schriftlichen Auskunft ohne nähere gutachtliche Äußerung	21,00 – 44,00
302	Mikroskopische, physikalische, chemische, toxikologische, bakteriologische, serologische Untersuchung, wenn das Untersuchungsmaterial von Menschen oder Tieren stammt:	5,00 – 60,00
307	Blutentnahme	9,00
400	Erstellung des Gutachtens	140,00

9.4 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena bekannt ist, ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind, mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Diane Miriam Renz, Stefanie Sauer, Holger Muggenthaler, Michael Hubig, Gita Mall, Hans-Joachim Mentzel, die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Weimar, 28.06.2021

Unterschrift des Verfassers