

Aus dem Institut für Klinische Radiologie der Ludwig-Maximilians-  
Universität München

Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. M. Reiser FACR FRCR

Langzeitanalyse von Leberparenchymveränderungen  
anhand postmortaler Computertomographien als  
zusätzliches Kriterium zur Todeszeitpunkteinschätzung

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät

der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Julie Tauber

aus

München im Jahre

2014

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: PD Dr. med. Sonja Kirchhoff

Mitberichterstatter: PD Dr. med. Christoph Zech  
PD Dr. med. Bettina Zinka

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: PD Dr. med. Oliver Peschel  
Dr. med. Florian Fischer

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h. c. Maximilian Reiser,  
FACR, FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 16.10.2014

Gewidmet meinem Onkel Patrick

(30.09.1960-01.12.2005)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 GRUNDLAGEN UND EVOLUTION DER COMPUTERTOMOGRAPHIETECHNIK .....	1
1.2 GRUNDLAGEN DER AUTOPSIE.....	2
1.3 ALLGEMEINES ZUR TODESZEITPUNKTBESTIMMUNG.....	3
1.4 ENTWICKLUNG RADIOLOGISCHER DIAGNOSTIK IN DER RECHTSMEDIZIN.....	4
1.4.1 KLINISCHE STUDIEN IN DER LITERATUR .....	4
1.4.2 MÜNCHNER ERFAHRUNGEN IM BEREICH POSTMORTALER COMPUTERTOMOGRAPHIE.....	5
1.5 VERGLEICH DER UNTERSUCHUNGSMETHODEN: POSTMORTALE COMPUTERTOMOGRAPHIE UND AUTOPSIE .....	6
1.5.1 VOR- UND NACHTEILE DER POSTMORTALEN COMPUTERTOMOGRAPHIE.....	6
1.5.2 VOR- UND NACHTEILE DER AUTOPSIE .....	7
<b>2. FRAGESTELLUNG .....</b>	<b>9</b>
<b>3. PATIENTEN UND METHODEN .....</b>	<b>11</b>
3.1 PATIENTEN .....	11
3.2 UNTERSUCHUNGSMETHODEN: COMPUTERTOMOGRAPHIE .....	11
3.2.1 ALLGEMEINE GRUNDPRINZIPIEN DER COMPUTERTOMOGRAPHIE .....	11
3.2.2 DATENVERARBEITUNG DER COMPUTERTOMOGRAPHIE .....	14
3.2.3 AUFNAHMETECHNIK DER COMPUTERTOMOGRAPHIE.....	17
3.2.4 UNTERSUCHUNGSABLAUF DER POSTMORTALEN LANGZEIT-COMPUTERTOMOGRAPHIE .....	19
3.3 UNTERSUCHUNGSMETHODEN: AUTOPSIE .....	21
3.3.1 TODESZEITPUNKTEINSCHÄTZUNG .....	21
3.3.2 DETAILS ZUR GERICHTLICHEN AUTOPSIE .....	27
3.4 AUSWERTUNG.....	30
3.4.1 ALLGEMEINE PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN: DICHTE.....	30
3.4.2 GRUNDLAGEN ZUR BESTIMMUNG DER DICHTEN AUF COMPUTERTOMOGRAPHISCHEN BILDERN .....	30
3.4.3 ALLGEMEINES ZUR DATENANALYSE DER LEBERPARENCHYMVERÄNDERUNGEN .....	32
3.4.4 ALLGEMEINES ZUR AUSWERTUNG DER INTRAHEPATISCHEN DICHTÄNDERUNG BZW. GASVERTEILUNG.....	34
3.4.5 AUTOPSIETECHNIK DER LEBER .....	39
<b>4. ERGEBNISSE.....</b>	<b>40</b>
4.1 UNTERSUCHUNGSKOLLEKTIV .....	40
4.2 INTERPRETATION DER POSTMORTALEN COMPUTERTOMOGRAPHIE-BILDER .....	42
4.2.1 DICHTEMESSUNGEN IN DER LEBER.....	42
4.2.2 GASVERTEILUNG IN DER LEBER .....	52
4.3 AUTOPSIEBEFUNDE.....	59
4.4 ZUSAMMENFASSUNG DER COMPUTERTOMOGRAPHIE- UND AUTOPSIEERGEBNISSE .....	61
<b>5. DISKUSSION.....</b>	<b>67</b>
5.1. STUDIENLAGE IN DER LITERATUR .....	68
5.2 VERGLEICH DER UNTERSUCHUNGSMETHODEN: POSTMORTALE COMPUTERTOMOGRAPHIE VERSUS AUTOPSIE.....	70
5.2.1 VOR-UND NACHTEILE DER POSTMORTALEN COMPUTERTOMOGRAPHIE .....	70
5.2.2 VOR-UND NACHTEILE DER AUTOPSIE.....	73
5.3 ERGEBNISSE.....	75
5.3.1 POSTMORTALE DICHTÄNDERUNGEN DES LEBERPARENCHYMS .....	75

5.3.2	INTRAHEPATISCHE GASVERTEILUNG.....	77
5.3.3	ADDITIVER NUTZEN DER POSTMORTALEN CT BEZÜGLICH DER TODESZEITPUNKTEINSCHÄTZUNG .....	82
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>86</b>
<b>7.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>91</b>
<b>8.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>94</b>
<b>9.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>95</b>
<b>10.</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>96</b>
<b>11.</b>	<b>EIDESSTÄTTLICHE VERSICHERUNG .....</b>	<b>98</b>

# **1. Einleitung**

## **1.1 Grundlagen und Evolution der Computertomographietechnik**

Im Jahr 1895 entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen mit der Darstellung der knöchernen Handstrukturen seiner Frau die Röntgenstrahlung.<sup>1</sup> Mit der Entdeckung der Röntgenstrahlung wurde der Grundbaustein für die Entwicklung der Computertomographie gelegt, die in den 1970er Jahren durch den britischen Ingenieur G. N. Hounsfield und den amerikanischen Arzt A.M. Cormack entwickelt wurde.<sup>2-3</sup> Diese Innovation, die 1979 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet wurde, entspricht einem bildgebenden Verfahren, das den gesamten menschlichen Körper in zweidimensionale Schnittbilder zerlegen und mit einer speziellen Computersoftware dreidimensional rekonstruieren kann.<sup>1, 3</sup> Die Informationen für die mathematisch erstellten Schnittbilder bzw. Bildrekonstruktionen werden durch Detektion der aus der Röntgenröhre emittierten, durch die verschiedenen Körpergewebe geschwächten Strahlung, gewonnen.<sup>2-3</sup> Da die erhaltenen Schichtaufnahmen eine feine Differenzierung geringer Unterschiede der gemessenen Dichtewerte erlauben, verfügt ein computertomographischer Ganzkörperscan über eine hohe Raumauflösung bei gleichzeitig gutem Kontrast.<sup>3-4</sup> Die Computertomographie wurde über die Jahre weiterentwickelt und optimiert, wobei sich die Entwicklungsstufen im Wesentlichen in vier Generationen aufteilen. Diese vier CT-Generationen unterscheiden sich maßgeblich durch die Anordnung der Röntgenröhre und Detektoreinheit bzw. durch den Ablauf der mechanischen Bewegung dieser beiden Systeme. Das eingeschränkte Anwendungsspektrum der ersten beiden CT-Generationen wird durch die nachfolgenden Generationen, die eine höhere Bildauflösung und kürzere Untersuchungszeiten ermöglichen, deutlich erweitert. Die Einzelschicht-CT (=konventionelle Computertomographie), die am Anfang der vierten

Generation steht, bildet das Basisprinzip für die Entwicklung der sogenannten Spiraltechnik in den 90er Jahren.<sup>3</sup> Während bei der konventionellen Computertomographie die Bilderfassung sequenziell, d.h. Schicht für Schicht erfolgt, kann mithilfe der Spiraltechnik durch eine kontinuierliche Röntgenröhrenrotation und einen kontinuierlichen Tischvorschub in einem Scanvorgang ein lückenloser Volumendatensatz registriert werden. Dies ermöglicht in einem Bildnachbearbeitungsverfahren die Rekonstruktion von Schichten beliebiger Dicke bzw. in beliebigem Abstand zueinander.<sup>2, 5-6</sup> Ein entscheidender technologischer Fortschritt gelang im Jahre 1998 mit der Einführung einer neuen CT-Generation, der sogenannten «Mehrzeilen-Computertomographie» (=Multislice-CT). Durch die Anordnung mehrerer Detektorzeilen nebeneinander ermöglicht diese Technik, simultan mehrere Schnittbilder zu erfassen und somit die Untersuchungszeit signifikant zu verkürzen.<sup>1-2</sup>

## **1.2 Grundlagen der Autopsie**

Die Autopsie (autos=selbst, opsomei=ich werde sehen) als Untersuchungsmethode bildet einen grundlegenden Bestandteil in der Weiterentwicklung der modernen Medizin. Ihre Aufgaben und Ziele sind sowohl wegweisend für die Abklärung von Erkrankungen und Todesursachen, für Aus-, Fort- und Weiterbildung von Studenten und Ärzten, für die Qualitätskontrolle der medizinischen Diagnostik und Therapie, als auch für die Erkennung neuer Krankheitsbilder und die Aufdeckung unerkannter forensischer und versicherungsmedizinisch relevanter Gesichtspunkte. Die Autopsie ist von Bedeutung für Angehörige und für die Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen.<sup>7</sup>

Auf bundesgesetzlicher Ebene geregelt sind (gemäß § 87 f. StPO) die strafprozessuale bzw. gerichtliche Leichenöffnung, die bei Seuchenverdacht vom Amtsarzt angeordnete Autopsie

(gemäß § 26 III Infektionsschutzgesetz), die Feuerbestattungssektion vor Kremation einer Leiche (gemäß § 3 Abs. 2 Ziff. 2 Feuerbestattungsgesetz) bei Unstimmigkeiten zwischen den Angaben zu Grundleiden und Todesursache bzw. Befund, ebenso wie die von den Berufsgenossenschaften als Träger der gesetzlichen Unfallversicherungen in Auftrag gegebene sozialversicherungsrechtliche Leichenöffnung (gemäß §§ 103 f. Sozialgesetzbuch VII) zur Klärung der Frage eines ursächlichen Zusammenhangs zwischen Berufskrankheit und Tod und damit zur Abklärung eventueller Ansprüche.<sup>7-8</sup> Nur partiell in der Gesetzgebung verankert sind einerseits die klinisch-wissenschaftliche (in den pathologischen Instituten der Universitätskliniken oder großen Krankenhäuser) bzw. anatomische Autopsie (in den anatomischen Instituten der Universitäten) und andererseits die privatversicherungsrechtlich begründete Autopsie und die Privatsektion (im Auftrag der Sorgeberechtigten der Toten).<sup>7</sup>

### **1.3 Allgemeines zur Todeszeitpunktbestimmung**

Die Todeszeitpunktbestimmung ist von großer zivilrechtlicher bzw. strafrechtlicher Bedeutung, zivilrechtlich z. B. bezüglich der Erbfolge, aus strafrechtlicher Sicht ist sie essentieller Bestandteil für die Rekonstruktion des eventuellen Tatzeitpunktes bei eindeutigen oder fraglichen Tötungsdelikten. Während der Eintritt des Individualtodes nur bei unmittelbar tödlichen Verletzungen, beobachtetem Kreislaufstillstand oder rein rechtlich mit dem Abschluss der Hirntoddiagnostik genau festgehalten werden kann, kann in allen anderen Fällen der Todeszeitpunkt nur durch eine vergleichsweise grobe Schätzung bestimmt werden. Wichtige Faktoren bei der Todeszeitpunkteinschätzung sind zum einen die Auslösbarkeit supravitaler Reaktionen zum anderen der Ausprägungsgrad der

Totenflecken (=Livores) und der Totenstarre (=Rigor mortis) sowie die rektal gemessene postmortale Abnahme der Körperkerntemperatur.<sup>7-9</sup>

## **1.4 Entwicklung radiologischer Diagnostik in der Rechtsmedizin**

### **1.4.1 Klinische Studien in der Literatur**

Nur drei Jahre nach der Entdeckung der Röntgenstrahlung wurde die erste postmortale radiologische Bildgebung im Rahmen einer gerichtsmedizinischen Untersuchung in der Literatur beschrieben.<sup>4</sup> Allerdings bleibt in der folgenden Zeit der Einsatz der klassischen röntgenologischen Diagnostik in der Rechtsmedizin auf einige wenige Fälle, wie z.B. die Projektilsuche bei Schussverletzungen bzw. der Suche nach anderen röntgendichten Fremdkörpern oder die Identifizierung von Knochenbrüchen, begrenzt.<sup>1-2</sup> Das Potential dieser radiologischen Untersuchungsmethode im Bereich der forensischen Medizin ist bis heute noch nicht ausreichend ausgeschöpft.<sup>10</sup>

Seit dem Jahr 2000 beschäftigt sich die Schweizer Arbeitsgruppe um Thali und Jackowski an den rechtsmedizinischen Instituten der Universitäten Bern und Zürich intensiv mit dem «Virtopsy» Projekt.<sup>11</sup> In diesem Projekt geht es um die Anwendung bildgebender radiologischer Verfahren, wie der Mehrzeilen-CT und/oder MRT, im Bereich der forensischen Befundung und Dokumentation.<sup>12</sup> Ihr grundlegender Leitgedanke ist es, den –ihrer Meinung nach- subjektiven Charakter der Befunderhebung in der Autopsie (autos=selbst, opsomei=ich werde sehen) durch den Einsatz bildgebender radiologischer Techniken zur Interpretation und Dokumentation von Körperbefunden zu objektivieren.<sup>10</sup> Der Startschuss für eine schnell wachsende interdisziplinäre Subspezialität, bestehend aus einer Kooperation der Fachbereiche Rechtsmedizin und Radiologie, war somit gefallen.<sup>12</sup> Seitdem befassen sich

viele internationale wissenschaftliche Arbeitsgruppen, u.a. die japanische Arbeitsgruppe um Shiotani bzw. Yamazaki et al., mit dem Thema der postmortalen Bildgebung und ihrer Bewertung bezüglich ihres Potentials im Bereich der Rechtsmedizin im Vergleich zur konventionellen Autopsie als Goldstandard forensischer Befundanalyse und Dokumentation.<sup>1-2, 4, 10, 12-15</sup>

#### **1.4.2 Münchner Erfahrungen im Bereich postmortaler Computertomographie**

Auch in München ist die forensische Radiologie durch eine enge Kooperation zwischen dem Institut für Klinische Radiologie am Campus Innenstadt und dem Institut für Rechtsmedizin der LMU München eine gut etablierte Subspezialität. Der wesentliche Fokus der Münchner Arbeitsgemeinschaft liegt auf der Evaluation eines potenziellen additiven Nutzens der postmortalen Computertomographie (=PMCT) zum bekannten Goldstandard, der Autopsie, bei Fällen mit unklarer oder nicht natürlicher Todesursache. Die primären Zielparameter in den unterschiedlichen Projekten sind -neben der Detektion bzw. Lokalisation von Fremdkörpern und dem Nachweis von Blutungen bzw. Frakturen-, die Analyse von Gasverteilungsmustern im Organparenchym bzw. in Gefäßsystemen und die generelle Korrelation der postmortalen Computertomographiebefunde mit den Befunden der Autopsie.

Im Rahmen der Kooperation zwischen den Instituten der Rechtsmedizin und Radiologie an den Universitätskliniken des Standortes Innenstadt München werden etwa 150 Todesfälle pro Jahr mittels PMCT untersucht. Es handelt sich in der Regel um Todesfälle bei Kindern, Todesfälle bei welchen ein Gewaltverbrechen im Raum steht, sowie Verkehrs- und Arbeitsunfälle. Dieses Vorgehen ist fest in die Routinebildgebung integriert. An dieser Stelle

soll schon auf die hohe Anzahl der Obduktionen (2000-2500), die pro Jahr in der Rechtsmedizin in München stattfinden, und die entsprechend große Erfahrung hingewiesen werden. Daraus ergibt sich ein hoher Erfahrungswert zugunsten des Goldstandards der Obduktion, den andere Institute (z.B. Virtopsy in Bern, Schweiz) nicht erfüllen können.

Zusammengefasst ist das Anwendungsspektrum der postmortalen Computertomographie vielfältig und somit die bis dato gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse weit gefächert, aber das Potential der PMCT noch bei weitem nicht ausgeschöpft.

## **1.5 Vergleich der Untersuchungsmethoden: postmortale Computertomographie und**

### **Autopsie**

#### **1.5.1 Vor- und Nachteile der postmortalen Computertomographie**

Die postmortale Computertomographie bietet einige Vorteile. Zu ihren Stärken zählt neben ihrer Nichtinvasivität die mögliche Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch die Abspeicherung in einem Archivierungssystem. Es ist jedoch zu vermerken, dass hierfür eine große Erfahrung hinsichtlich forensisch-radiologischer Bildgebung für eine adäquate Beurteilung der oft sehr dezenten Befunde unabdingbar ist.<sup>2, 8, 9, 13</sup> Außerdem ist die postmortale Computertomographie ein hervorragendes Verfahren zur Detektion intraparenchymatöser bzw. intravasaler Gasansammlungen.<sup>16</sup> Auch wenn es schon Ansätze gibt, fehlende Informationen in Form einer histologischen bzw. toxikologischen Untersuchung, wie sie in der klassischen Obduktion durch Gewebentnahmen gewonnen werden, mithilfe von interventionellen Erweiterungen der postmortalen CT zu ergänzen, sind diese bis dato noch nicht suffizient erforscht.<sup>17-19</sup> Auch Informationen, die durch die makroskopische Beurteilung der Organe z.B. bezüglich der Farbe und Konsistenz in der

konventionellen Autopsie erhalten werden, können in der postmortalen Computertomographie nicht sichtbar sein.<sup>1, 9</sup>

Die PMCT ist zunächst als Untersuchungsmethode zu sehen, welche es im Vergleich zur Obduktion erlaubt, objektives Bildmaterial zu gewinnen<sup>20</sup>, einen Befund «einzufrieren» und zu archivieren, ohne destruktiv zu wirken oder die Leiche für andere Untersuchungen zu verändern.<sup>21</sup> Die CT-Rohdaten sind zu Anschauungszwecken dreidimensional rekonstruierbar und können deshalb besonders vor Gericht für eine bessere Vorstellung von Tatbeständen eingesetzt werden.<sup>22</sup> So kann eine zweite Meinung jederzeit eingeholt werden. Aufgrund der nicht invasiven Natur der Untersuchung wird sie selten aus moralischen, religiösen oder ästhetischen Gründen abgelehnt.<sup>23</sup> So kann sie wertvolle Erkenntnisse bereithalten, besonders wenn eine Obduktion aus eingangs genannten Gründen abgelehnt wurde.

Darüber hinaus sieht die Arbeitsgruppe um Thali et al. eine Möglichkeit der weiteren Qualitätsverbesserung durch den Einsatz digitaler Archive und wachsende Erfahrung in den nächsten Jahren hinsichtlich der Einsatzmöglichkeit der PMCT.<sup>21</sup>

Jedoch birgt diese neue diagnostische Möglichkeit der Bildgebung auch Schwächen. Die Literatur benennt hierzu in erster Linie die fehlende Erfahrung, welche dazu führt, dass postmortale Veränderungen schwer bzw. oft falsch eingeschätzt werden.<sup>24</sup>

### **1.5.2 Vor- und Nachteile der Autopsie**

Zu den Schwächen der klassischen Autopsie zählt u. a. ihre Zeitintensität.<sup>7-8</sup>

Ebenso entspricht sie einer nicht reproduzierbaren Momentaufnahme der durchführenden Untersucher. Die Befunderhebung ist abhängig von der Erfahrung der obduzierenden Fachärzte und erfolgt rein makroskopisch durch das Auge.<sup>10, 12</sup>

Die Obduktion bietet ebenfalls Vorteile. Sie ist eine alte, seit Jahrhunderten existierende Untersuchungsmethode, die im Laufe ihrer Geschichte durch die Entwicklung standardisierter Techniken und jahrhundertlangem Erfahrungsreichtum eine stetige Qualitätskontrolle bzw. –steigerung durchschritten hat.<sup>9</sup>

In der Autopsie können durch direkte Inspektion bzw. Palpation sowohl äußere Merkmale des Leichnams wie frühe und späte Leichenveränderungen (Totenstarre, Totenflecke, Fäulnis) als auch die inneren Organe präzise beschrieben und untersucht werden.<sup>9</sup>

Im Rahmen der Obduktion werden obligat Asservate für weiterführende diagnostische Untersuchungen (Histologie, Molekularbiologie, Immunologie, Toxikologie) gewonnen.<sup>9</sup>

## **2. Fragestellung**

Die moderne Bildgebung hinsichtlich rechtsmedizinischer Fragestellungen findet heutzutage immer noch wenig Anwendung in der Routine, selbst in spezialisierten Zentren. Obwohl sich in der Literatur einige Studien mit verschiedenen Denkansätzen bezüglich des Potentials dieser bildgebenden Technologie in der Forensik befasst haben, beschäftigen sich nur wenige mit den zentralen Fragestellungen der rechtsmedizinischen Investigation, wie der Abklärung der Todesart, der Tatrekonstruktion, der Todeszeit- bzw. der Liegezeiteinschätzung.<sup>2, 4, 10, 25</sup> Bis dato in der Literatur ebenfalls mangelhaft vertreten sind Studien, die systematisch die grundlegenden Stärken und Schwächen dieser Untersuchungsmethodik analysieren bzw. eine stark fundierte rechtsmedizinische Evaluation der radiologischen Schnittbildbefunde aufweisen.<sup>13-14, 16, 26-28</sup> Doch nur eine gesicherte Datengrundlage kann die Qualitätssicherung der postmortalen Computertomographie in der forensischen Bildgebung gewährleisten.

Dies führt zu der Frage, ob in rechtsmedizinischen Fällen mit unklarer oder nicht natürlicher Todesursache die Durchführung einer computertomographischen Untersuchung vor der Autopsie einen zusätzlichen Informationsgewinn liefern kann, besonders dann, wenn es um die Einschätzung des Todeszeitpunktes geht. Bekanntermaßen gibt es zur Schätzung des Todeszeitpunktes bestimmte Merkmale, anhand derer der Rechtsmediziner im Rahmen der Obduktion den Todeszeitpunkt näher eingrenzen kann. Zu diesen Merkmalen gehört zum einen die Ausprägung der frühen bzw. späten Leichenveränderungen zum anderen die tief rektal gemessene Körperkerntemperatur.<sup>7-9</sup>

Die Leber als großes parenchymatöses Organ ist in der Computertomographie gut für Dichtemessungen geeignet. Physiologisch-anatomisch ist sie im Rückfluss des

sauerstoffarmen Blutes dem rechten Herzen vorgeschaltet und hat Anschluss an die großen Gefäßsysteme des Körpers, wie das Pfortadersystem, die Vena cava inferior bzw. über die A. hepatica/Truncus coeliacus an die Aorta. Über das Gallengangssystem ist die Leber mit dem Gastrointestinaltrakt verbunden. Obwohl Fäulnis aus rechtsmedizinischer Sicht als eine späte Leichenveränderung angesehen wird, beginnt dieser Prozess bereits kurz nach dem Tod auf zellulärer Ebene. Die gasbildenden Bakterien der Darmflora können durch die postmortal ischämisch geschädigte Darmwand in das mesenteriale Gefäß- und Lymphsystem übertreten und somit die Leber erreichen.<sup>16</sup> Diese Gasformationen können mithilfe der postmortal durchgeführten Computertomographie ausgezeichnet detektiert werden.

Daher ist es zum einen das Ziel der vorliegenden Arbeit, die postmortalen CT-Befunde der Leber aus einer 24h Messung unter konstanter Außentemperatur hinsichtlich der postmortalen intraparenchymatösen Dichteänderung bzw. Gasverteilung im zeitlichen Verlauf zu bewerten, um hier mögliche Rückschlüsse auf die Bestimmung des Todeszeitpunktes in Korrelation mit der Autopsie ziehen zu können. Zum anderen sollen die Langzeit (24h) PMCT-Befunde der Leber mit den Ergebnissen der Autopsie als Goldstandard der rechtsmedizinischen Investigation verglichen werden, um die Stärken und Schwächen dieser nicht-invasiven Untersuchungstechnik im forensischen Bereich systematisch aufzuzeigen und ihren additiven Nutzen bezüglich der Todeszeitpunkteinschätzung zu beurteilen.

### **3. Patienten und Methoden**

#### **3.1 Patienten**

Die PMCT-Untersuchungen zur Datenerhebung erfolgten nach Zustimmung der Ethikkommission der Ludwig- Maximilians- Universität München (Ethikvotumnummer 151-08).

In die Datenanalyse wurden prospektiv fünf Leichname im Zeitraum von Januar bis Dezember 2008 eingeschlossen. Diese wurden sowohl im Institut für Klinische Radiologie der Innenstadt als auch im Institut für Rechtsmedizin untersucht.

Bei der Auswahl des Untersuchungskollektivs wurden folgende Einschlusskriterien festgelegt:

- bescheinigte nicht-natürliche bzw. ungeklärte Todesart
- Todeszeitpunkt nicht länger als 48 Stunden zurückliegend
- Unversehrtheit der Körperhülle/kein Trauma.

Die Ausschlusskriterien waren fehlende Einschlusskriterien.

#### **3.2 Untersuchungsmethoden: Computertomographie**

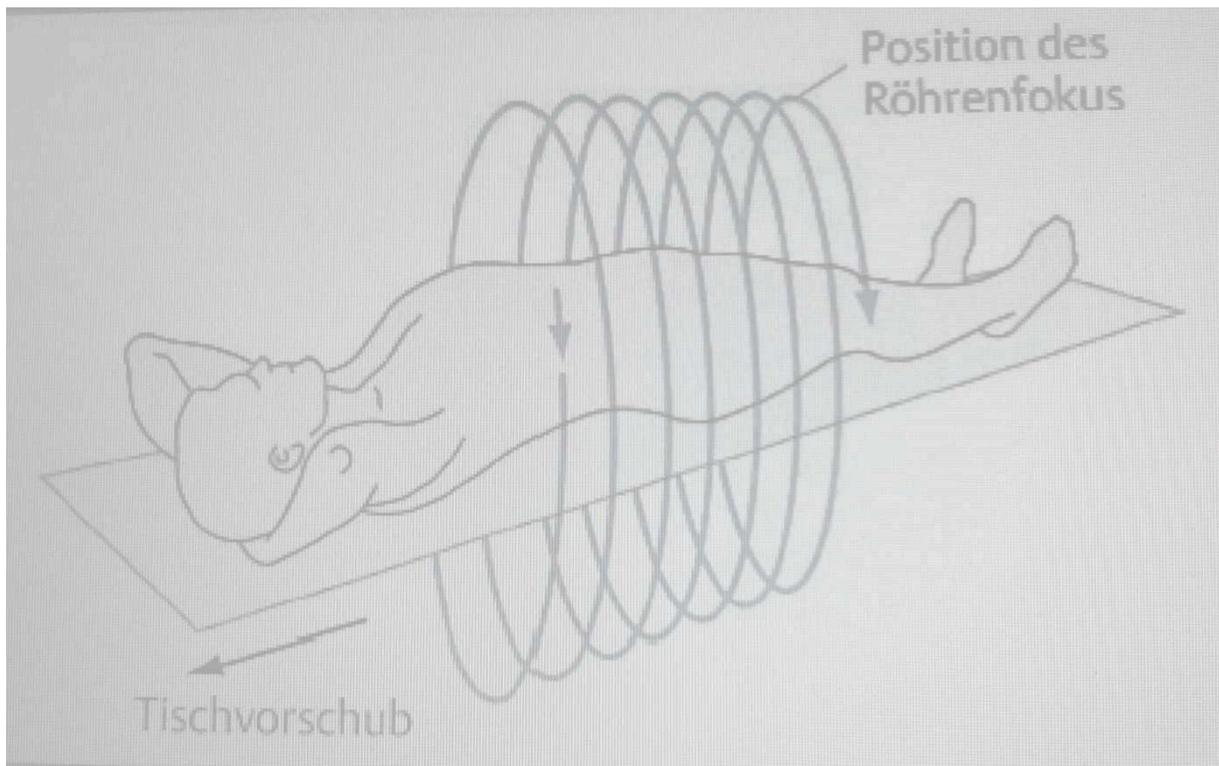
##### **3.2.1 Allgemeine Grundprinzipien der Computertomographie**

Für die Erfassung der dieser Arbeit zugrundeliegenden Bilddaten wurden die CT-Untersuchungen an dem Mehrzeilen-Spiral-Computertomographen des Typs «Philips Brilliance 64» durchgeführt, der zur neuen vierten Generation der CT-Geräte zählt (siehe Abbildung 1).<sup>29</sup>



**Abbildung 1: Computertomograph Typ «Philips Brilliance 64»<sup>29</sup>**

Für eine CT-Untersuchung wird der Patient auf der Untersuchungs- liege in einen kurzen Untersuchungstunnel, die sogenannte «Gantry», bewegt. In dieser Gantry integriert sind eine Röntgenröhre und ein Kranz empfindlicher Strahlendetektoren, die als sogenannte «Strahlendetektoreinheit» ununterbrochen in eine Richtung um den Patienten, d.h. 360°, rotiert. Während der Patient auf der Untersuchungs- liege mit konstanter Geschwindigkeit entlang seiner Längsachse durch die Röntgenstrahlenebene bewegt wird, messen die der Strahleneinheit gegenüberliegenden Detektoren sogenannte «Schwächungsprofile» bzw. «Projektionen». <sup>3, 5, 30-31</sup>



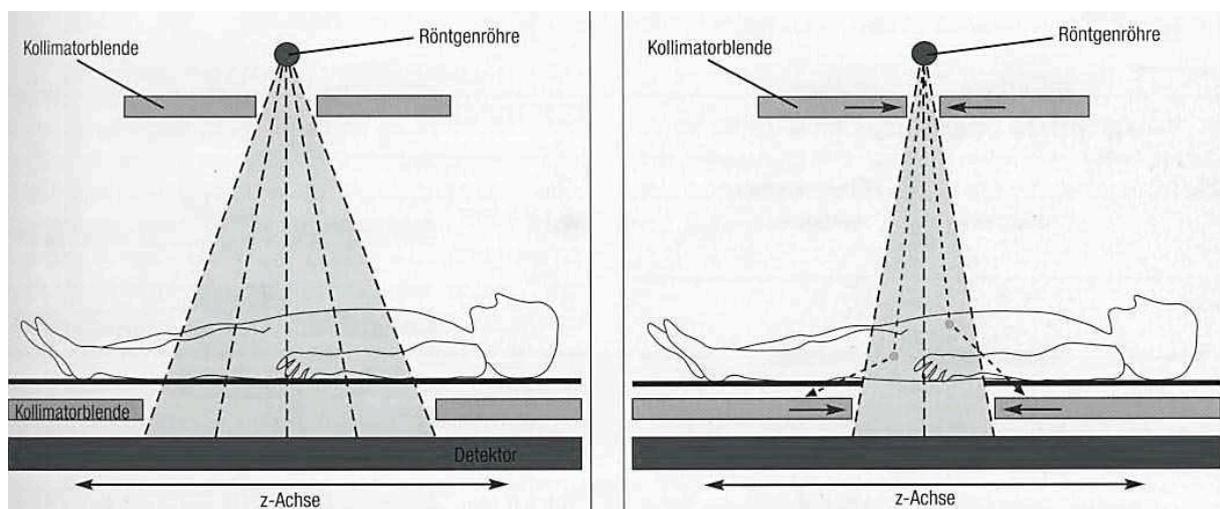
**Abbildung 2: Spiralförmige Abtastbewegung im Spiral-CT<sup>32</sup>**

Diese Schwächungsprofile entsprechen der Schwächung bzw. Absorption der Röntgenstrahlen durch das durchleuchtete Gewebe des Patienten und entsprechen somit der Summation bzw. dem Linienintegral aller Schwächungskoeffizienten längs eines Projektionsstrahls.<sup>5, 30</sup> Dadurch dass während der gesamten Untersuchung sowohl Tischvorschub als auch Strahlenemission und -detektion kontinuierlich ablaufen, wird der Patient spiralförmig vom Röntgenstrahlfächer abgetastet. Somit wird die Erfassung eines einzigen lückenlosen Volumendatensatzes erreicht (siehe Abbildung 2).<sup>3, 5, 31</sup>

Der Ausdehnungswinkel des fächerförmig emittierten Strahlensegments kann durch röntgendichte Kollimationsblenden, die sich sowohl auf Seite der Röntgenröhre als auch auf Seite der gegenüberliegenden Detektoren befinden, eingegrenzt werden (siehe Abbildung 3). Dies hat zur Folge, dass einerseits Streustrahlung abgeschirmt wird und andererseits der

Röntgenstrahl fokussiert aus- bzw. auftrifft. Dadurch kann die räumliche Auflösung in der z-Achse verbessert und die Erstellung dünnerer Schnittbilder ermöglicht werden.<sup>5</sup> Unter dem Begriff der Streustrahlung versteht man die Ablenkung des emittierten Röntgenstrahls aus seiner ursprünglichen Richtung. Dieser emittierte Röntgenstrahl entspricht einem Photonenfluss.<sup>5, 30</sup>

Die Besonderheit dieses Computertomographie-Gerätes liegt darin, dass nicht nur eine Reihe, sondern 64 Reihen von Detektorringen (NanoPanel Flachdetektoren) nebeneinander angeordnet sind.<sup>29</sup> Dies bedeutet, dass pro 360°-Rotation 64 zweidimensionale Schnittbilder simultan aufgezeichnet werden, was zu einer erheblichen Verkürzung der Untersuchungszeit führt.<sup>3, 5, 29</sup>



**Abbildung 3: Eingrenzung der Röntgenstrahlen durch Kollimatoren<sup>33</sup>**

### **3.2.2 Datenverarbeitung der Computertomographie**

Die Computertomographie ist ein sogenanntes Schnittbildverfahren.<sup>5-6</sup>

Während der fächerförmigen Abtastung der Röntgenstrahlen werden pro 360°-Rotation über 1000 Projektionen akquiriert, die den CT-Rohdatensatz bilden.<sup>3, 6</sup> Diese Projektionen

werden von verschiedenen Detektorkammern registriert. Bei Mehrzeilengeräten handelt es sich hierbei um Festkörperdetektoren, die zum einen aus einem Szintillationskristall und zum anderen aus einem photoelektrischen Wandler bestehen. Die Detektorelemente auf den einzelnen Zeilen beruhen auf dem Prinzip des «Adaptive Array-Designs». Dies bedeutet, dass die Detektorkammern vom Zentrum zur Peripherie hin an Breite zunehmen und somit die Einstellung verschiedener Schichtdicken ermöglicht wird.

Durch die eintreffende Röntgenstrahlung entsteht im Detektorsystem ein Photonensignal. Photonen entsprechen energiereichen Teilchen ohne Ladung.<sup>5</sup> Dieses Photonensignal wird durch den photoelektrischen Wandler in elektrische Impulse umgewandelt. Diese Impulse werden anschließend mithilfe eines Analog-Digital-Wandlers und einem sich anschließenden Bildrekonstruktionsprozess in der sogenannten «Workstation» digitalisiert bzw. visualisiert.<sup>3</sup>

<sup>5</sup> Die Workstation entspricht der Basiseinheit der CT-Datenverarbeitung und besteht aus einem Computer bzw. Bildprozessor und einem Bedienpult, die mit dem CT-Gerät verbunden sind.<sup>5-6</sup>

Während die einzelnen Projektionsaufnahmen den Bildprozessor erreichen, werden aus diesem Datensatz zeitgleich zweidimensionale Schnittbilder errechnet und auf dem Monitor des PCs visualisiert.<sup>3, 31</sup> Das Standardverfahren für die Bildberechnung aus den zahlreich gewonnenen Datensätzen ist das Verfahren der gefilterten Rückprojektion. Die Korrektur der Messdaten erfolgt hierbei durch eine mathematische Integraloperation. Auf die ursprünglichen Schwächungsprofile werden Faltungskerne angewendet. Durch dieses Faltungsprinzip erhält man gefilterte Schwächungsprofile, die später eine scharfe bzw. nicht-«verschmierte» Bilddarstellung gewährleisten.

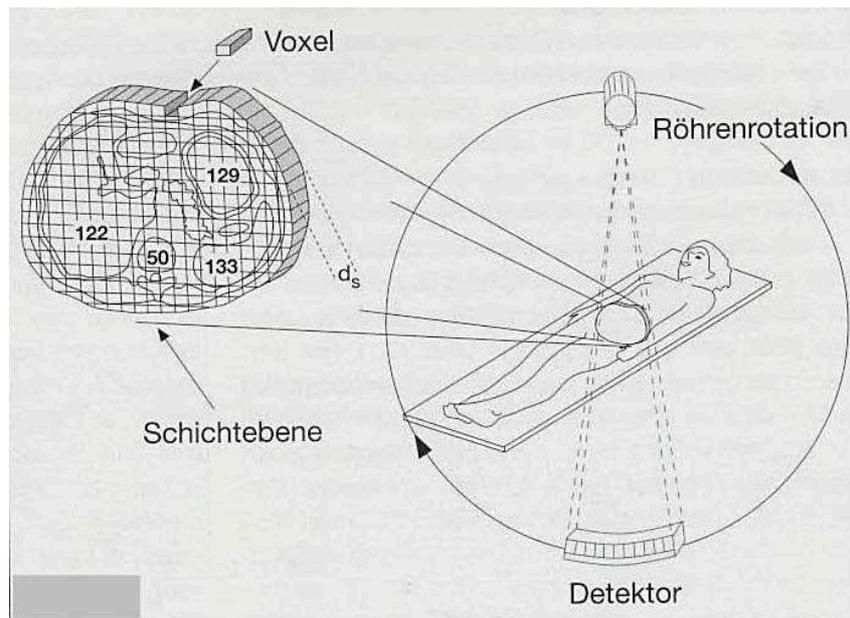
In der Rückprojektion bzw. Interpolation werden die gefalteten Messdaten mithilfe mathematischer Rekonstruktionsalgorithmen transformiert und in eine zweidimensionale Matrix, die einer Patientenschichtebene entspricht, rückübertragen.<sup>3, 5, 30</sup>

Die Technik der Spiral-Computertomographie basiert somit auf der Technik, dreidimensionale Rekonstruktionen auf eine Vielzahl von zweidimensional rekonstruierten Datensätzen zurückzuführen.<sup>3, 5</sup>

Durch dieses Prinzip der Bildrekonstruktion erhält man einen Datensatz aus aneinander anschließenden bzw. überlappenden zweidimensionalen Schnittbildern für jede einzelne Patientenebene. Die Ausrichtung dieser Schichten ist senkrecht zur Körperlängsachse des Patienten orientiert. Man nennt sie deshalb auch Transversalebene bzw. –schnitte (siehe Abbildung 4).<sup>3, 5, 30</sup>

Ein Bildausschnitt aus dieser Transversalebene, ein sogenanntes «field of view» (FOV), unterteilt sich in 1024x1024 Pixel (=Bildelemente), die als Quadrate in der z-Achse und auf dem Monitor als dichte proportionale Graustufen dargestellt werden.<sup>30, 34</sup> Das dreidimensionale Äquivalent des Pixels ist das Voxel (=Volumenelement), dessen Kantenlänge der Schichtdicke des Datensatzes gleichzusetzen ist.<sup>5, 30</sup> Die Gewinnung der Datensätze mittels isotroper Voxel, d.h. Volumenelemente mit identischen Kantenlängen in allen drei Ebenen, ermöglicht qualitativ hochwertige stufenfreie multiplanare Bildrekonstruktionen in beliebigen Raumebenen (axial, sagittal, koronar).<sup>3, 6, 30</sup>

Nach jeder akquirierten CT-Untersuchung werden die gewonnenen Bilddatensätze manuell in einem Archivierungssystem gespeichert, um jederzeit wiederaufgerufen werden zu können.



**Abbildung 4: Entstehung der zweidimensionalen Transversalschnitte<sup>33</sup>**

### **3.2.3 Aufnahmetechnik der Computertomographie**

Entscheidend für die Bildqualität der gespeicherten Daten sind die Parameter bzw. Faktoren, die das Bildrauschen beeinflussen. Hierzu zählen u. a. der Photonenfluss, welcher von der vorgewählten Röhrenspannung abhängt, das Phänomen der Streustrahlung, welches u. a. durch den vorgewählten Röhrenstrom bestimmt wird, und die gewählte Schichtkollimation.<sup>5,</sup>

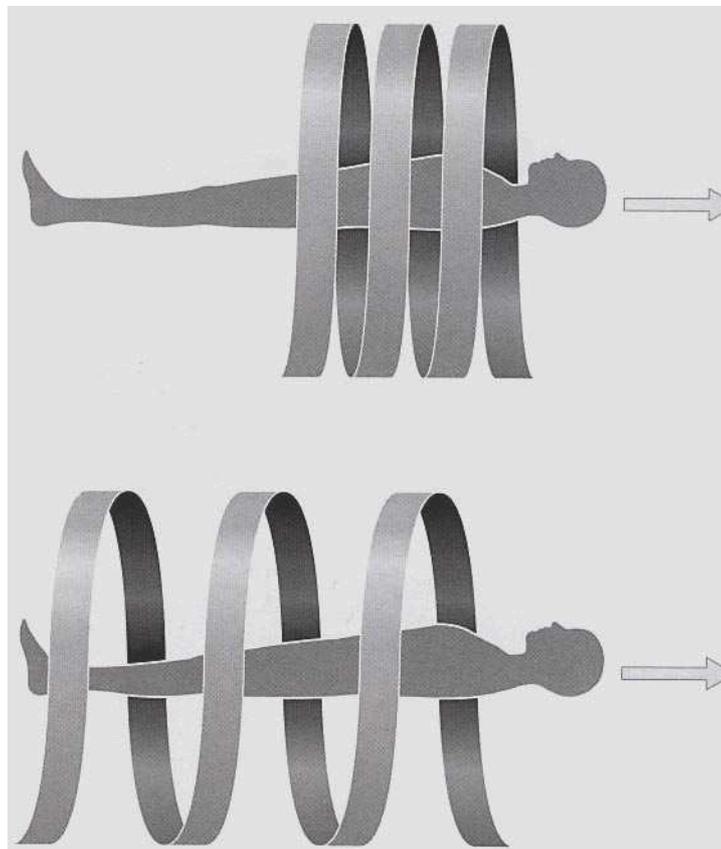
<sup>30</sup> Unter dem Begriff der Schichtkollimation versteht man die Vorwahl der Schichtdicke, in der die Schichtenakquisition entlang der Körperlängsachse des Patienten erfolgen soll.<sup>3</sup>

Durch Erhöhung der Röhrenspannung, die in kV [=kilo-Volt] gemessen wird, wird der emittierte Röntgenstrahl aufgehärtet. Dies verbessert die Durchdringung des Strahls durch das Gewebe und erhöht seine Absorption, wodurch das Auftreten von Streustrahlung deutlich vermindert und eine hochwertige Bildqualität erzielt wird.<sup>33</sup>

Gleiches gilt für den Röhrenstrom, der in mAs [=milli-Amperesekunden] angegeben wird. Um hochqualitative Bilder zu erhalten, muss diese variable Größe v. a. in Körperbereichen mit

hohem Skelettanteil (z. B. Schulter- und Beckengürtel) bzw. großem Durchmesser (wie bei adipösen Patienten) ausreichend hoch gewählt werden, da diese Regionen mehr Strahlung absorbieren bzw. streuen.<sup>33</sup>

Das Phänomen des Bildrauschens ist ebenfalls abhängig vom Systemrauschen im Detektor. Das Systemrauschen wird im Wesentlichen von der Effektivität des Detektors, die an seiner Oberfläche auftreffende Strahlung in Bildsignale umzusetzen, bestimmt.<sup>5, 30</sup>



**Abbildung 5: Pitch-Faktor<sup>34</sup>**

Je kleiner die Schichtkollimation gewählt wird, desto mehr wird die Streustrahlung vermindert und somit auch das Bildrauschen reduziert.<sup>30</sup> Schichtdicke, Umdrehung der Röntgenröhre und Tischvorschub stehen in einem Verhältnis zueinander, welches als der

sogenannte «Pitch-Faktor» definiert ist.<sup>3, 6, 30</sup> Je kleiner diese dimensionslose Größe gewählt wird, z. B. durch Verringerung des Tischvorschubs pro 360°-Drehung, desto enger vollzieht sich die spiralförmige Abtastbewegung des Röntgenstrahls um den Patienten. In dieser Konstellation nehmen zwar auf der einen Seite Strahlungs-dosis und Untersuchungszeit zu, auf der anderen Seite wird die Bildqualität aber deutlich gesteigert. Eine Erhöhung des Pitch-Faktors zieht somit eine Aufspreizung der Abtastspirale auf Kosten der Bildauflösung nach sich (siehe Abbildung 5).<sup>3</sup>

Die in dieser Arbeit vorgenommenen Einstellungen der Messparameter für die Durchführung der computertomographischen Untersuchung sind in folgender Tabelle 1 zusammengefasst.

Messparameter	
Röhrenspannung	120 kV
Röhrenstrom	280 mAs
Schichtkollimation	3 mm
Scanzeit	ca. 22 Sekunden für 480 Bilder
Scanlänge	1599 cm

**Tabelle 1: Messparameter der postmortalen Computertomographie**

### **3.2.4 Untersuchungsablauf der postmortalen Langzeit-Computertomographie**

Die fünf für die Untersuchung ausgewählten Leichname, die die eingangs genannten Kriterien erfüllten, wurden allesamt in Rückenlage am Auffindungsort vorgefunden. Anschließend wurden sie übergangsweise in die Kühlung des rechtsmedizinischen Institutes (Temperatur: 4°C) der LMU München verbracht bis dann vor der Autopsie stündlich eine

native (=ohne Kontrastmittel), standardisierte Ganzkörper-Computertomographie-Untersuchung (Temperatur: 20°C) im Zeitfenster von mindestens 24 Stunden ohne jegliche Manipulation am toten Körper durchgeführt wurde. Die Körperposition der Leichen in Rückenlage wurde bis zur Durchführung der Obduktion zu keinem Zeitpunkt verändert. Der im Folgenden beschriebene Untersuchungsablauf wurde bei allen fünf Leichnamen auf identische Art und Weise durchgeführt.

Die Leichen befanden sich für die native, standardisierte Ganzkörper-Computertomographie-Untersuchung in einem speziellen, durch einen Reißverschluss vollständig verschließbaren Transportsack, in welchem der Leichnam bei Auffinden vor Ort verbracht und erst für die Autopsie herausgenommen wurde. Der Leichnam wurde in Rückenlage in der x-Achse mittig und in der z-Achse am cranialen Ende mit dem Kopf in die dafür vorgesehene Kopfschale der Untersuchungsliege gelagert. Die oberen Extremitäten lagen hierbei jeweils, soweit möglich bzw. durch den Transportsack beurteilbar, lateral dem Körperstamm an. Anschließend wurde die Leiche mithilfe eines in der Röntgenröhre integrierten Laserkreuzes in allen 3 Ebenen zentral, im sogenannten «Isozentrum», positioniert, um eine effektive Durchleuchtung des zu untersuchenden Gewebes durch den Zentralstrahl und eine kollisionsfreie Bewegung der Liege durch die Gantry zu gewährleisten.

Bei einem kontinuierlichen Tischvorschub durch den Untersuchungskanal wurde zu Beginn jeder CT-Untersuchung eine Übersichtsaufnahme, ein sogenanntes «Topogramm», erstellt. Mithilfe dieses Topogramms wurden die weiteren Untersuchungsschritte wie die Vorprogrammierung der gewünschten Röhrenspannung und des Röhrenstroms, die craniocaudale Ausdehnung des Untersuchungsbereichs sowie die Schichtkollimation geplant.

In allen Untersuchungen wurde jeder Scan in der Richtung von cranial nach caudal durchgeführt. Jede einzelne CT-Untersuchung schloss dabei als Ganzkörperscan folgende anatomische Körperregionen mit ein: Schädel, Hals, Thorax, Abdomen und Becken. Die oberen und unteren Extremitäten wurden in die Bewertung nicht miteinbezogen, obgleich auch diese Regionen im Untersuchungsvolumen enthalten waren.

### **3.3 Untersuchungsmethoden: Autopsie**

#### **3.3.1 Todeszeitpunkteinschätzung**

Die Todeszeitpunkteinschätzung ist von großer zivilrechtlicher bzw. strafrechtlicher Bedeutung. Die Todeszeitpunkteinschätzung ist aus strafrechtlicher Sicht essentieller Bestandteil für die Rekonstruktion des Tatzeitpunktes bei eindeutigen oder fraglichen Tötungsdelikten. Während der Eintritt des Individualtodes nur bei unmittelbar tödlichen Verletzungen, persönlicher Beobachtung des Kreislaufstillstandes oder rein rechtlich mit dem Abschluss der Hirntoddiagnostik genau festgehalten werden kann, kann in allen anderen Fällen der Todeszeitpunkt nur durch eine Schätzung bestimmt werden. Wichtige Faktoren bei der Todeszeitpunkteinschätzung akut Verstorbener sind sowohl die Auslösbarkeit supravitaler Reaktionen als auch der Ausprägungsgrad der frühen und späten Leichenveränderungen sowie die postmortale Abnahme der Körperkerntemperatur. Die Totenflecke, die Totenstarre und die Fäulnis werden als sichere Todeszeichen zusammengefasst.<sup>8-9</sup>

Supravitale Reaktionen sind definiert als postmortal, d. h. nach dem Individualtod, in einem bestimmten zeitlichen Fenster durch definierte Reize auslösbare Gewebereaktionen. Ihre Grundlage bilden die nach dem Tod ablaufenden Stoffwechselprozesse, allen voran die

anaerobe Glykolyse. Zu diesen vitalen Reaktionen auf zellulärer Ebene zählen u. a. neben der pharmakologischen Erregbarkeit der Pupille mit einer postmortalen Reagibilität von bis zu über 40 Stunden bei Adrenalinapplikation, die mechanische und elektrische Erregbarkeit der Skelettmuskulatur bis zu 20 Stunden postmortal. Die durch mechanische Reizung wie z. B. durch Beklopfen des suprapatellären unteren Oberschenkelmittels hervorgerufene fortgeleitete muskuläre Erregung bzw. Kontraktion, imponiert in der frühen Phase als sogenanntes Zsako'sches Muskelphänomen (ca. 1 bis 2 Stunden postmortal), dann als typischer kräftiger reversibler idiomuskulärer Wulst (ca. 4 bis 5 Stunden postmortal) und in der späteren Phase nur mehr als schwacher idiomuskulärer Wulst (ca. 8 bis 12 Stunden postmortal). Die elektrisch durch Reizgeräte mit definierten Reizimpulsen provozierte Erregbarkeit der Skelettmuskulatur wird, z. B. am Augenoberlid, anhand des Reizerfolgs hinsichtlich der Ausbreitung auf elektrodenferne Bereiche beurteilt bzw. zeitlich eingeordnet. Die Prüfung der supravitalen elektrischen Stimulierung der Skelettmuskulatur ist eine für die forensische Investigation wichtige, aber nicht obligate Untersuchungsmethode zur Schätzung der Liegezeit des Leichnams.<sup>7</sup>

Zu den frühen Leichenveränderungen zählen die Totenflecke (=Livores), die Ausprägung der Totenstarre (=Rigor mortis) ebenso wie die postmortale Abnahme der Körperkerntemperatur. Zeichen später Leichenveränderungen sind u. a. die Autolyse und Leichenfäulnis bzw. Verwesung. Während man unter Autolyse die Zersetzungserscheinungen der inneren Organe durch die körpereigenen Enzyme versteht, wird unter dem Begriff der Fäulnis die Zersetzung des Körpers durch die sogenannte «Fäulnisflora» verstanden. Die Fäulnisflora setzt sich vor allem aus der körpereigenen mikrobiellen Normalflora der Haut, der Mundhöhle, des Respirations- bzw. Intestinaltraktes und der Vagina zusammen. Die bei

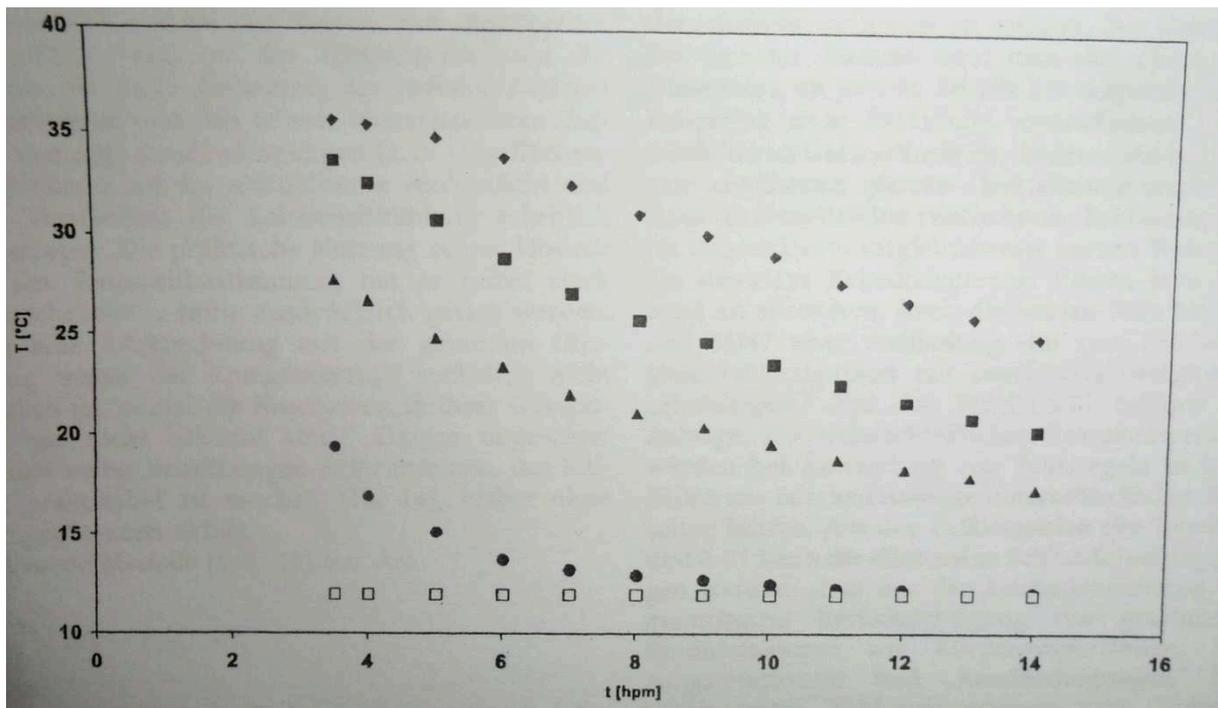
der Verwesung gebildeten Fäulnisgase führen zu einer Aufblähung der Leiche.<sup>8-9</sup> Es sei hierbei angemerkt, dass die Ausprägung der Leichenerscheinungen im zeitlichen Verlauf stark temperaturabhängig ist. Hohe Temperaturen führen zu einer schnelleren Ausbildung derselben während niedrigere Temperaturen die dynamische Entwicklung der Leichenerscheinungen verlangsamen.<sup>8-9</sup>

Folgende Kriterien sind hinsichtlich der Livores von diagnostischer und forensischer Relevanz: zum einen ihre Farbe bzw. ihre Verteilung und zum anderen ihre Verlagerbarkeit und Wegdrückbarkeit. Bedeutungsvoll für die Schätzung des Todeszeitpunktes sind v. a. die Verlagerbar- bzw. Wegdrückbarkeit der Totenflecke, da diese beiden Phänomene einer Zeitdynamik unterliegen und somit eine grobe Einschätzung des abgelaufenen postmortalen Intervalls (=Zeitraum nach dem Todeszeitpunkt) erlauben.

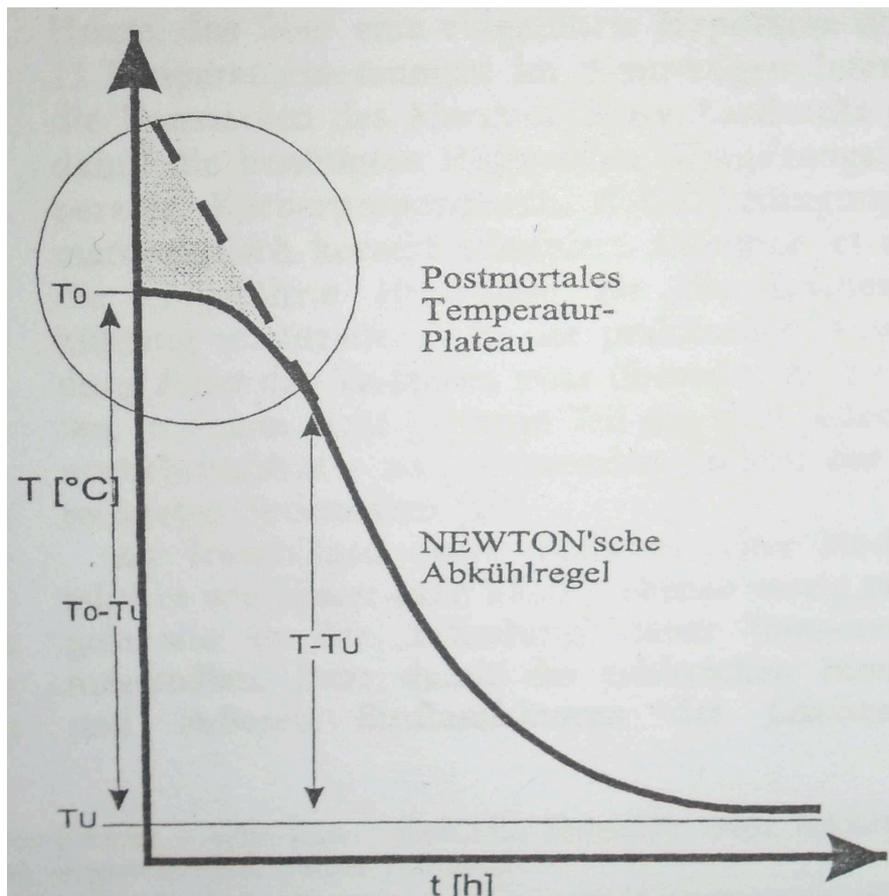
Nach dem Tod kommt es durch den Abfall der ATP-Konzentration nach und nach zu einer stabilen Verbindung der Muskelfilamente Aktin und Myosin und die Muskulatur erstarrt. Bricht man diese Muskelsteife gewaltsam, werden die Filamente zerstört und sie können nicht mehr erstarren. Der Wiedereintritt der Rigor mortis ist nur dann möglich, wenn vorher noch nicht alle Muskelfasern erstarrt waren. Die natürliche vollständige Lösung der Muskelsteife erfolgt mit fortgeschrittenem postmortalem Intervall durch die ablaufende Proteolyse (=Eiweißabbau), die stark temperaturabhängig ist. Somit unterliegt auch dieses postmortale Phänomen einer Zeitdynamik und ermöglicht Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt.

Die größte Bedeutung bei der Todeszeiteinschätzung kommt jedoch der rektal bestimmten Körperkerntemperatur der Leiche zu. Diese wird mit einer geeichten Messsonde ermittelt, die ohne forcierte Manipulationen soweit wie möglich rektal eingeführt wird.<sup>9</sup> Postmortal

kommt es durch die folgenden Mechanismen zur Angleichung der Körperkerntemperatur an die Umgebungstemperatur: Wärmestrahlung, Konduktion, Konvektion und Wasserverdunstung, wobei der Wasserverdunstung nur eine geringe Bedeutung zukommt. Nach dem Eintritt des Todes fällt die Wärmeproduktion des Körpers mit Vorgängen wie der anaeroben Glykolyse bzw. autolytisch oder bakteriell bedingten Gewebedestruktionsprozessen eher gering aus. Zudem fällt nach Sistieren des Körperkreislaufs der konvektive Wärmetransport weg. Der Wärmeaustausch erfolgt dann v. a. durch Konduktion. Dies bedeutet, dass der Wärmefluss in Richtung des Temperaturgefälles verläuft. Dadurch kommt es sowohl zwischen der Umgebung und der Körperoberfläche als auch zwischen der Körperoberfläche und dem Körperkern durch Wärmeabgabe bzw. Wärmeaufnahme zu einer Angleichung der Temperaturdifferenzen. Der Wärmetransport erfolgt dabei grundsätzlich radial, d. h. entweder vom axialen Zentrum zur Umgebung oder vice versa. Da sich dieses Temperaturgefälle erst nach und nach von der Körperoberfläche bis in das axiale Zentrum des Körpers aufbauen kann, fällt die rektal gemessene Temperatur postmortal nicht unmittelbar ab, sondern hält sich für eine Dauer von bis zu 2h als postmortales Temperaturplateau. An das postmortale Temperaturplateau schließt sich eine Abkühlung in Exponentialfunktion nach dem Abkühlgesetz nach Newton an, sodass der Temperaturverlauf nach dem Tod als sigmoidal bezeichnet wird. Die exponentielle Abkühlregel nach Newton (siehe Abbildungen 6 und 7: Vergleich der Newtonschen Abkühlregel mit Abkühlkurven zentraler Messstellen am Körper einer Leiche) wurde experimentell ermittelt. Sie gilt nur für thermisch dünne Körper (aus Material hoher Wärmeleitfähigkeit) und kann somit auf die menschliche Leiche nicht übertragen werden.<sup>9</sup>



**Abbildung 6 : Abkühlkurven zentraler Messstellen von Rektum, Oberschenkel, Oberarm, Daumenballen (von oben nach unten) einer Leiche von 66.5kg in 12°C Umgebungstemperatur; Abszisse: Zeit in hpm; Ordinate: Temperatur in °C (gemessen von Henßge C. Methoden zur Bestimmung der Todeszeit-Leichenabkühlung und Todeszeitbestimmung. Habilitationsschrift, Humboldt-Universität Berlin, 1982)<sup>30</sup>**



**Abbildung 7: Sigmoidale Abkühlkurve und Zweiexponentenmodell, Abszisse: Zeit in h, Ordinate: Temperatur in  $^{\circ}\text{C}$ <sup>30</sup>**

Die Abkühlgeschwindigkeit wird von etlichen individuellen Faktoren, wie u. a. Körperproportionen, Körperfettgehalt, Körperhaltung, Lagerungsmedium, Windverhältnissen oder aber auch der Durchfeuchtung der Bekleidung beeinflusst. Mithilfe des auf Basis experimenteller Untersuchungen entwickelten Nomogramms ist es möglich, mit der einmaligen Messung der aktuellen Rektal- und Umgebungstemperatur bei Auffinden des Leichnams und der Kenntnis des Körpergewichts die Liegezeit eines Leichnams zu schätzen. Das Nomogramm, das zunächst für den Standardfall einer unbedeckten auf einer thermisch indifferenten Fläche in ruhender Luft befindlichen Leiche entwickelt wurde, kann durch empirisch ermittelte Korrekturfaktoren korrigiert werden.<sup>7-9</sup>

Fall	Postmortales Intervall in h mit Lagerung der Leiche in Rückenlage bei 4 °C  (Kühlung rechtsmedizinisches Institut)	Postmortales Intervall in h mit Lagerung der Leiche in Rückenlage bei 20 °C  (CT-Raum)	Mittelwerte der Außentemperatur in °C
1	1-8	8-55	17.7
2	1-4	4-27	17.6
3	1-23	23-47	12.1
4	1-25	25-51	12.2
5	1-18	18-43	13.3

**Tabelle 2: Zeitspanne der Leichenaufbewahrungsorte bzw. Mittelwerte der Außentemperatur**

Die Leichen der vorgestellten Arbeit wurden nach ihrem Auffinden in Rückenlage in der durchschnittlichen Zeit von einer Stunde (entspricht der postmortalen Stunde 0-1h) in die Kühlung des rechtsmedizinischen Institutes der LMU München (Temperatur 4 °C) verbracht ohne die Körperposition zu verändern. In jeder der fünf computertomographischen Untersuchungsserien betrug die durchschnittliche Außentemperatur des Raumes 20°C. Auch dabei fand zu keinem Zeitpunkt eine Veränderung der Körperposition (= Rückenlage) der Leichen statt. In Anbetracht der o. g. Zeitintervalle in o. g. Verwahrungs- bzw. Untersuchungsbereichen ergeben sich die folgenden Mittelwerte bezüglich der Außentemperatur (siehe Tabelle 2).

Es wurde in allen fünf Fällen auf eine Messung der rektalen Temperatur verzichtet.

### **3.3.2 Details zur gerichtlichen Autopsie**

Die gerichtliche Autopsie ist nach § 87 f. StPO geregelt.<sup>7</sup> Diese wird auf Antrag des Staatsanwalts vom Richter angeordnet und ist somit auch „gegen eindeutige religiöse Vorschriften erzwingbar“<sup>8</sup>. Sie dient sowohl der Abklärung der Todesart als auch der

Tatrekonstruktion bzw. Todeszeitpunkteinschätzung. Die Durchführung der gerichtlichen Leichenöffnung muss gemäß § 87 II StPO von zwei Ärzten vollzogen werden, von denen mindestens einer die gesetzlich geforderte Mindestqualifikation, d. h. Gerichtsarzt oder Leiter einer öffentlichen rechtsmedizinischen oder pathologischen Institution, erfüllt. Gesetzlich vorgeschrieben (§ 89 StPO) ist die Eröffnung aller drei Körperhöhlen, d. h. Kopf-, Brust- und Bauchhöhle. Das bei der Obduktion erstellte Protokoll, in dem sämtliche bedeutende Befunde detailliert beschrieben werden, ist dreiteilig aufgebaut und besteht aus einer äußeren und inneren Besichtigung sowie einem vorläufigen Gutachten.<sup>7-8</sup>

Bereits Rudolf Virchow postulierte vor über 100 Jahren die Einhaltung standardisierter Techniken bei der Autopsie als Grundvoraussetzung für die Vollständigkeit der Befunderhebung.<sup>9</sup>

Die äußere Besichtigung beginnt mit der allgemeinen Inspektion des Leichnams, in der neben Alter, Geschlecht, Konstitutionstyp, Körpergröße bzw. -gewicht, ethnischer Herkunft, Ernährungs- bzw. Pflegezustand auch besondere Merkmale wie Tätowierungen festgestellt bzw. Haut- und Weichteilverhältnisse hinsichtlich Verletzungen beurteilt und dokumentiert werden. Für die Einschätzung des Todeszeitpunktes bzw. der Liegezeit der Leiche ist die Begutachtung der frühen und späten Leichenveränderungen von zentraler Bedeutung.<sup>9</sup> Die einzelnen Körperregionen werden systematisch in folgender festgelegter Reihenfolge inspiziert und die erhobenen Befunde sorgfältig dokumentiert: Kopf, Hals, Rumpf, obere bzw. untere Gliedmaßen und Rücken.<sup>9</sup>

In der anschließenden inneren Besichtigung werden die drei Körperhöhlen eröffnet, eingehend untersucht und eventuelle Pathologien präzise beschrieben. Es werden u. a. das

Vorhandensein von Fremdinhalten, die Beschaffenheit der Innenauskleidungen, die Intaktheit anatomischer Grenzen sowie die inneren Organe beurteilt.

Nach dem Eröffnen bzw. der Untersuchung der Kopf- und der Brusthöhle folgt das Eröffnen der Bauchhöhle. Dabei werden die Organe des Ober- bzw. Mittelbauchs und des kleinen Beckens zunächst in-situ begutachtet und erst anschließend entnommen. Nach der Organentnahme werden die großen parenchymatösen Organe wie die Leber gewogen und Proben für eventuell notwendige Zusatzuntersuchungen aufbewahrt (=asserviert). Sie werden außerdem sowohl bezüglich ihrer Oberfläche, Schnittfläche, Blutgehalt, Struktur als auch bezüglich ihrer Lagebeziehungen, Größe, Gestalt und Pathologien beurteilt.

Die Basisasservierung umfasst nicht nur Organproben für feingewebliche Untersuchungen und Blutproben aus peripheren Gefäßen, wie Oberschenkelvenenblut, für die Alkohol-, Drogenbestimmung, sondern auch die Aufbewahrung und Untersuchung von Urin und Mageninhalt. Kann nach der Obduktion die Todesursache nicht klar ermittelt werden, sind Organproben u. a. aus der Leber und der Niere bzw. Proben aus Körperflüssigkeiten, wie Galle und Urin, für die toxikologisch-chemische Diagnostik notwendig.<sup>9</sup>

Das vorläufige Gutachten setzt sich zusammen aus der Vorgeschichte, dem Autopsiesergebnis, der Angabe zur Todesursache bzw. -art, der Auflistung der Asservate und angeforderten weiterführenden Untersuchungen.<sup>7, 9</sup> Der Bericht einer gerichtlichen Leichenöffnung ist in einer für Nichtmediziner verständlichen Sprache verfasst.<sup>9</sup>

### **3.4 Auswertung**

#### **3.4.1 Allgemeine physikalische Grundlagen: Dichte**

Die Dichte wird physikalisch durch die Masse und das Volumen eines Körpers bestimmt und ist durch folgende Formel definiert:  $\text{Dichte} = \frac{\text{Masse eines Körpers}}{\text{Volumen eines Körpers}}$  (mit der Einheit  $\text{kg/m}^3$ ). Organe wie die Leber werden als inhomogen bezeichnet, da die Dichte nicht überall innerhalb dieses Volumenelements gleich ausgeprägt ist. Man spricht in diesem Fall von mittlerer Dichte.<sup>35</sup>

Grundsätzlich dehnen sich Körper bei Temperaturerhöhung nach allen Richtungen gleich aus.<sup>36</sup> Dabei ist der Volumenausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten ca. 100fach größer als der von Festkörpern. Allerdings ist hier anzumerken, dass der Ausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten erheblich stärker mit der Temperatur als der von Festkörpern variiert und daher das Volumen von Flüssigkeiten nicht streng linear mit der Temperatur zunimmt. Wasser nimmt bei den Flüssigkeiten eine Sonderstellung ein. Bei einer Erwärmung von 0 auf bis zu  $3,98^\circ\text{C}$  hat Wasser einen negativen Ausdehnungskoeffizienten, d. h. es zieht sich zusammen. Erst oberhalb dieser Temperaturgrenze werden diese Werte positiv. Daher ist bei  $3,98^\circ\text{C}$  die Dichte von reinem luftfreiem Wasser am größten bzw. ober- und unterhalb stets kleiner. Dies wird als Dichteanomalie des Wassers bezeichnet. Die Dichte von festen Körpern und von Flüssigkeiten nimmt in der Regel mit wachsender Temperatur ab und im Umkehrschluss mit fallender Temperatur zu.<sup>37</sup>

#### **3.4.2 Grundlagen zur Bestimmung der Dichte auf computertomographischen Bildern**

Das Monitorbild, welches aus den registrierten Schwächungsprofilen resultiert, repräsentiert die gemittelten Dichtewerte, sogenannte «CT-Werte», jedes einzelnen Volumenelements

definierter Schichtdicke auf der Bildelementmatrix. Jeder CT-Wert entspricht somit dem Durchschnitt aller Schwächungswerte innerhalb eines Voxels, der vom Rechnersystem ermittelt wird, und stellt sich auf dem Bildschirm als eine einheitliche Graustufe dar.<sup>3, 5, 31</sup> Diese CT-Dichtewerte der verschiedenen Gewebe werden nach Sir Godfrey Hounsfield in «Hounsfield-Einheiten» (=HE) angegeben.<sup>30</sup> Zentraler Orientierungsparameter auf der Hounsfield-Skala ist Wasser mit einem Schwächungswert von 0 HE, welcher willkürlich festgelegt wurde. Die CT-Werte beziehen sich auf eine Spannweite von über 2000 HE, wobei Luft mit -1000 HE (=schwarz) den unteren Orientierungswert und Knochen bzw. Metall mit bis zu +1000 HE (=weiss) den oberen Orientierungswert auf der Skala bilden.<sup>3, 5, 30</sup>

Da das menschliche Auge nicht 4096 verschiedene Grauwerte, die von modernen CT-Geräten erfasst werden können, differenzieren kann, wird nach dem Einlesen der Daten eine sogenannte «Fensterung» durchgeführt. Dies bedeutet, dass ein kleiner Ausschnitt aus dem breitem Gesamtspektrum der HE-Skala gewählt und dem vorherrschenden Dichtebereich des zu untersuchenden Gewebes angepasst wird, um dem Betrachter eine einwandfreie Bildinterpretation zu ermöglichen.<sup>3, 5, 30</sup> Die CT-Werte für das Lebergewebe einer nativ durchgeführten CT-Untersuchung liegen in einem Wertebereich zwischen 40 und 90 HE. Mit einer Fenstermitte bzw. -lage von ca. 50 HE werden somit die Dichtewerte von +40 HE bis +90 HE in Graustufen auf dem Monitor abgebildet. Alle Dichtewerte, die unter oder über diesem Bereich liegen, stellen sich als nicht mehr differenzierbar schwarz (< +40 HE) oder weiss (> +90 HE) dar. Für jedes Fenster können Fensterlage und -breite unabhängig voneinander an der Bedienkonsole gewählt werden. Die Fensterbreite ist hierbei die variable Größe für den Bildkontrast.<sup>31</sup> Je enger diese eingestellt wird, desto kleiner fällt der Dichtebereich aus, in dem sich die 20 bis 50 verschiedenen Grautöne, die vom menschlichen

Auge wahrgenommen werden können, verteilen. Somit kann der Kontrast des Bildes verstärkt werden.<sup>3, 5, 30-31</sup>

### **3.4.3 Allgemeines zur Datenanalyse der Leberparenchymveränderungen**

Für die Datenanalyse der Dichtemessungen im Leberparenchym werden die aufgearbeiteten CT-Bilder jeder Untersuchung mit dem «Syngo-Imaging-Programm» auf einem PC mit hochauflösendem Monitor, der speziell für die radiologische Befundung zugelassen ist, geöffnet. Es wird die Bildeinstellung gewählt, mit der man sich manuell mit der Computermaus durch die einzelnen Transversalschnitte des Ganzkörperscans von oben nach unten hindurchbewegen kann. Bezüglich der Orientierung in jeder Schnittebene ist zu beachten, dass die Betrachtungsweise immer von caudal erfolgt. Dies bedeutet, dass sich Organe bzw. Prozesse, die sich in der rechten Körperhälfte befinden, auf der linken Bildschirmhälfte manifestieren und vice versa für Organe bzw. Prozesse in der linken Körperhälfte. Am oberen Bildrand kommen die ventralen und am unteren Bildrand die dorsalen Körperteile zur Darstellung.

In die zu untersuchenden Geweberegionen werden Messkreise, sogenannte «Regions of Interest» (ROI), manuell eingezeichnet, um deren Dichte zu bestimmen. Als sinnvoll erweist sich, eine ROI so zu positionieren, dass sie mehrere Voxel umfasst, da die punktförmige Messung eines einzelnen Voxels statistischen Schwankungen unterliegt und so das Ergebnis verfälscht. Das Rechnersystem mittelt die Dichtewerte aller Volumenelemente und gibt sowohl deren Mittelwert als auch deren Streubreite in Form einer Standardabweichung an.<sup>30</sup>

Um genaue Messergebnisse zu erhalten, ist bei der Dichtebestimmung ebenso auf das Phänomen der Artefakte zu achten. Sie entsprechen Störfaktoren auf der Bildaufnahme. Diese können durch Strahlenaufhärtung in Form dunkler Streifen hinter Objekten hoher Dichte, wie z. B. metallischem Gelenkersatz oder anderer Körperteile (in diesem Fall die dem Körperstamm anliegenden Arme), imponieren oder als Teilanschnittphänomene, sogenannte «Partialvolumeneffekte».<sup>3, 30</sup> Unter dem Begriff der Strahlenaufhärtung versteht man den Durchgang des breiten Spektrums von Quantenenergien der Röntgenstrahlung durch das Gewebe, wobei der niederenergetische Teil viel stärker absorbiert wird als der hochenergetische, der letztendlich übrig bleibt.<sup>30</sup>

Damit die Dichte einer Struktur wie der Leber korrekt bestimmt werden kann, muss sie die gesamte Schichtdicke ausfüllen. Trifft dies nicht zu, ist die zu untersuchende Struktur nur teilangeschnitten und die Dichte des benachbarten Gewebes wird mitgemessen. Um dieses Phänomen des Partialvolumeneffektes zu vermeiden, muss eine entsprechende Schichtdicke vorgewählt sein und oder es müssen überlappende Schichten rekonstruiert werden.<sup>3, 5, 30</sup>

Es ist ebenso darauf zu achten, dass die Messkreise im Leberparenchym nicht an Stellen gesetzt werden, an denen sich Gaseinschließungen befinden, da dies den eigentlichen Dichtewert des Gewebes herabsetzt.

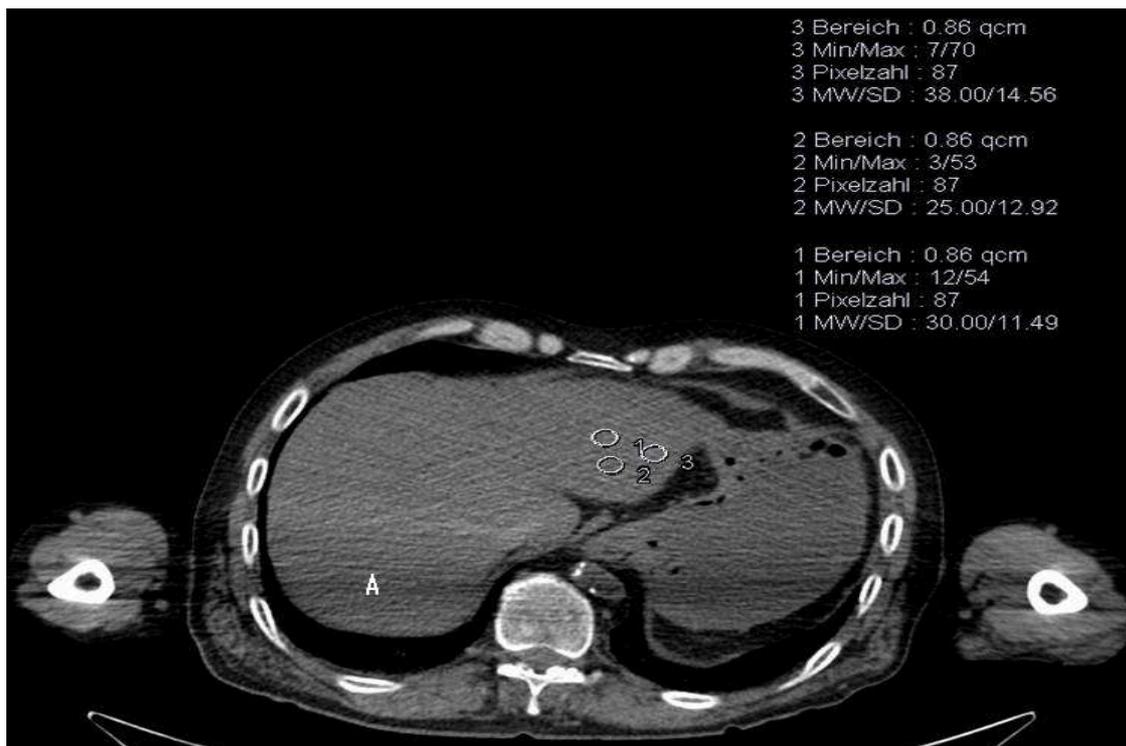
Der erste Ganzkörperscan in jeder der fünf Untersuchungsreihen wird als Stunde 0 definiert.

Es werden die Leberparenchymveränderungen in jeder der 145 akquirierten CT-Untersuchungen ausgewertet.

### 3.4.4 Allgemeines zur Auswertung der intrahepatischen Dichteänderung bzw.

#### Gasverteilung

Für die Auswertung der der Dichteänderungen bzw. der Gasverteilung im Leberparenchym bzw. im Gefäßsystem in jeder einzelnen CT-Untersuchung wurde diejenige Transversalebene gewählt, die am effizientesten den rechten und linken Leberlappen abbildet. Einerseits wird der rechte Leberlappen in einen anterioren (=vorderen) und einen posterioren (=hinteren) Teil und andererseits der linke Leberlappen in einen medialen (=mittigen) und einen lateralen (=seitlichen) Teil unterteilt.



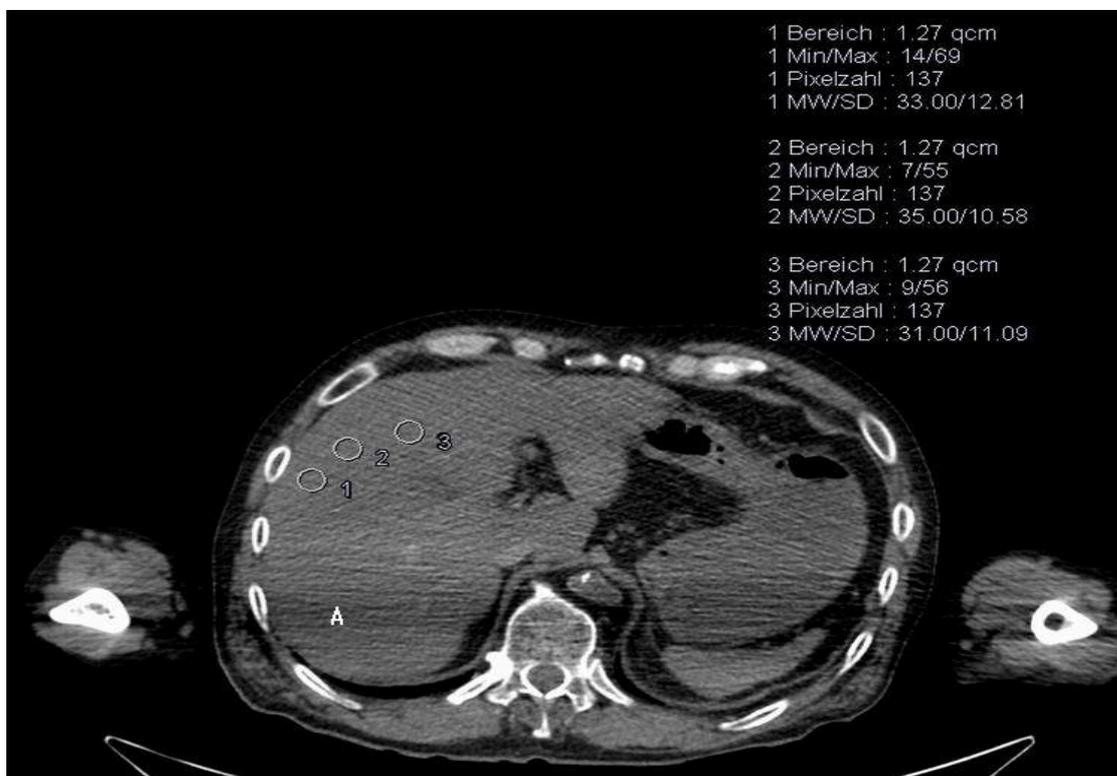
**Abbildung 8: ROI-Messkreise im Bereich des linken lateralen Leberlappens, A=Artefakte**

Um die Dichtewerte des Leberparenchyms zu ermitteln, werden im Folgenden manuell mit der PC-Maus in jedem dieser vier Teilbereiche der Leber jeweils drei, im rechten Lobus ca. 2 mm<sup>2</sup> und im linken Lobus ca. 0,8 mm<sup>2</sup> große Messkreise eingezeichnet. Die ROI-Messkreise

des rechten Leberlappens sind im Vergleich zu denen des linken Leberlappens größer gewählt, da zum einen der rechte Leberlappen größer als der linke ist und zum anderen Messfehler durch Artefakte vermieden werden sollen. Diesbezüglich wurde beim Setzen der ROI-Messkreise darauf geachtet, dass diese in den Parenchymbereichen platziert werden, in denen sich wenig Artefakte, wie Gasansammlungen und Strahlenaufhärtungsphänomene durch die dem Körperstamm anliegenden Arme befinden (siehe Abbildung 8-10: A=Artefakte), um valide Messergebnisse zu erzielen.



**Abbildung 9: ROI-Messkreise im Bereich des rechten posterioren Leberlappens, A=Artefakte**



**Abbildung 10: ROI-Messkreise im Bereich des rechten anterioren Leberlappens, A=Artefakte**

Die bestimmten Dichtewerte wurden in Hounsfield-Einheiten angegeben und anschließend in einer Excel-Tabelle (Programm Microsoft Excel) dokumentiert. Im Anschluss an die Dichtebestimmung des Leberparenchyms wurde die Bewertung der Gasansammlungen in diesen vier Leberteilbereichen nach den Kriterien in der folgenden Tabelle 3 durchgeführt und die Ergebnisse ebenfalls mithilfe des Excel-Programms (siehe Tabelle 4) festgehalten.

Gasverteilung		
1		keine Gasansammlung
2		einzelne Gasbläschen
3		konfluierende Gasbläschen
	a	Wenige
	b	Einige
4		komplette Ausfüllung mit Gasansammlungen

**Tabelle 3: Klassifikation der Gasverteilung**

Die Doktorandin wurde von einer im Bereich der forensischen Bildgebung erfahrenen Radiologin als Supervisor über einen Zeitraum von sechs Monaten im Hinblick auf die Auswertung der postmortalen CT-Untersuchungen, wie oben ausführlich beschrieben, trainiert. Sämtliche Untersuchungen sowie die gesamte Datenanalyse erfolgten durch die Doktorandin. Die Ergebnisse wurden in definierten Intervallen von sechs Wochen durch den Supervisor überprüft.

Zeit punkt	Leberlappen links medial	Leberlappen links lateral	Leberlappen rechts anterior	Leberlappen rechts posterior	Pfortader extrahepatisch
0.h	2	3a	2	1	1
1.h	3a	3a	3a	1	1
2.h	3a	3a	3a	1	1
3.h	3a	3b	3b	2	1
4.h	3a	3b	3b	2	1
5.h	3a	3b	3b	2	1
6.h	3a	3b	3b	3a	1
7.h	3a	3b	3b	3a	1
8.h	3a	3b	3b	3a	1
9.h	3a	3b	3b	3a	1
10.h	3a	3b	3b	3a	1
11.h	3a	3b	3b	3a	1
12.h	3a	3b	3b	3a	1
13.h	3a	3b	3b	3b	1
14.h	3b	3b	3b	3b	1
15.h	3b	3b	3b	3b	1
16.h	3b	3b	3b	3b	1
17.h	3b	3b	3b	3b	1
18.h	3b	3b	3b	3b	1
19.h	3b	3b	3b	3b	1
20.h	3b	3b	3b	3b	1
21.h	3b	3b	3b	3b	1
22.h	3b	3b	3b	3b	1
23.h	3b	3b	3b	3b	1

**Tabelle 4: Beispiel zur Tabellendarstellung der Daten bezüglich der Gasverteilung anhand von Fall 2**

### **3.4.5 Autopsietechnik der Leber**

Nach dem Eröffnen der Bauchhöhle wird die Stärke bzw. Dicke des Unterhautfettgewebes auf Nabelhöhe gemessen. Die Leber wird nach in-situ-Inspektion unter Beachtung der vorliegenden Anatomie und eventuellen Pathologien aus der Bauchhöhle entnommen. Nachdem ihr Gewicht ermittelt worden ist, folgt die Beurteilung der Oberfläche, der Schnittflächen, der Läppchenzeichnung und der Farbe. Es werden Gewebeproben für weiterführende Untersuchungen – u. a. histologische und toxikologische - asserviert.<sup>9</sup>

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Untersuchungskollektiv**

Es wurden insgesamt fünf männliche Leichen mit einem Alter zwischen 24 und 73 Jahren eingeschlossen. Diese wurden im Zeitraum von Januar bis Dezember 2008 im Institut für Klinische Radiologie der Innenstadt computertomographisch und anschließend im Institut für Rechtsmedizin in der standardisierten Autopsie untersucht (siehe Tabelle 5).

Die Leichen wurden nach folgenden festgelegten Kriterien ausgewählt:

- bescheinigte nicht-natürliche bzw. ungeklärte Todesart
- Todeszeitpunkt nicht länger als 48 Stunden zurückliegend
- Unversehrtheit der Körperhülle/kein Trauma.

Das Alter, das Geschlecht bzw. die Konstitution spielten bei der Selektion der Leichen keine Rolle.

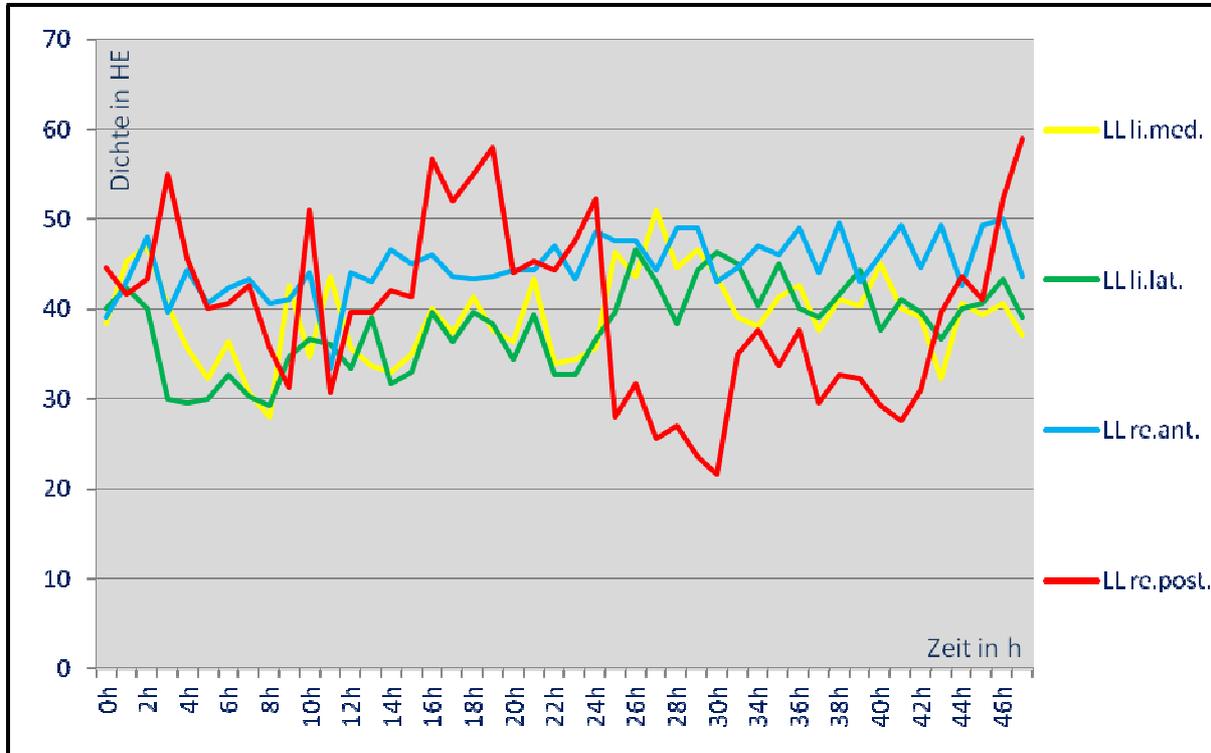
Die Leber wurde auf den CT-Bildern nicht nur hinsichtlich der Parenchymveränderungen und Gasansammlungen untersucht, sondern ebenso auf allgemeine Pathologien wie u. a. das Vorhandensein von Aszites und die Beurteilung der Gallenblase bezüglich Konkrementen. In Korrelation der Befunde der postmortalen Computertomographie zu denen der Autopsie als Goldstandard konnte keine dieser Pathologien identifiziert werden.

Leiche	Alter [in Jahren]	Geschlecht	Körpergröße [in cm]	Körpergewicht [in kg]
1	44	männlich	195	106.1
2	36	männlich	177	98.0
3	73	männlich	190	95.0
4	24	männlich	181	73.0
5	64	männlich	174	70.0

**Tabelle 5: Informationen zu den eingeschlossenen Leichen**

## 4.2 Interpretation der postmortalen Computertomographie-Bilder

### 4.2.1 Dichtemessungen in der Leber



**Abbildung 11: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 1**

**Abzisse: Zeit in h, Ordinate: Dichte in HE**

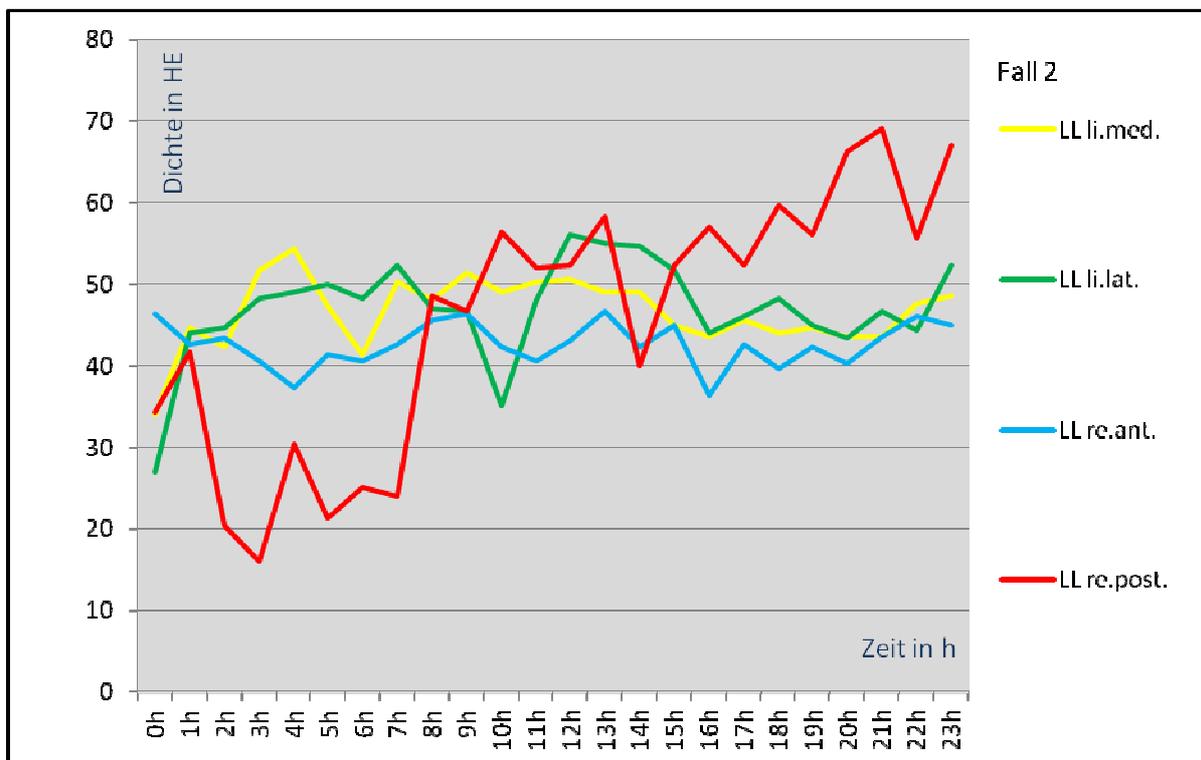
Die erste Leiche wurde ca. acht Stunden nach Todeseintritt (=postmortal) über einen Zeitraum von 47 Stunden stündlich mittels CT untersucht. Es wurden die Dichteänderungen im Bereich der vier Leberlappen für das frühe postmortale Intervall von 8 bis 55 Stunden ausgewertet. Im linken medialen Leberlappen lag der Mittelwert bei 39.1 HE bzw. die Standardabweichung bei 4.8 HE. Schwankungsbreite (=Range) der gemessenen Dichtewerte lag zwischen 28 HE (als Minimum) und 51 HE (als Maximum). Im linken lateralen Leberlappen betrug der Mittelwert der gemessenen Dichtewerte 38.0 HE mit einer Standardabweichung von 4.7 HE. Die Range der Messdaten lag im Minimum bei 29.3 HE und im Maximum bei 46.6 HE. Der Mittelwert der Messdaten im Bereich des rechten anterioren Leberlappens war 44.8 HE. Die Standardabweichung betrug 3.3 HE.

Fall 1	Leberlappen links medial LL li.med.	Leberlappen links lateral LL li.lat.	Leberlappen rechts anterior LL re.ant.	Leberlappen rechts posterior LL re.post.
0h	38,3	40	39	44,6
1h	45,3	42,3	43	41,6
2h	47	40	48	43,3
3h	40,3	30	39,6	55
4h	35,6	29,6	44,3	45,6
5h	32,3	30	40,6	40
6h	36,3	32,6	42,3	40,6
7h	30,6	30,3	43,3	42,6
8h	28	29,3	40,6	35,6
9h	42,6	34,6	41	31,3
10h	34,6	36,6	44	51
11h	43,6	36	33,3	30,6
12h	35,6	33,3	44	39,6
13h	33,6	39	43	39,6
14h	33	31,6	46,6	42
15h	35	33	45	41,3
16h	40	39,6	46	56,6
17h	37,3	36,3	43,6	52
18h	41,3	39,6	43,3	55
19h	37,6	38,3	43,6	58
20h	36,3	34,3	44,3	44
21h	43,3	39,3	44,3	45,3
22h	34	32,6	47	44,3
23h	34,3	32,6	43,3	47,6
24h	35,6	36,6	48,6	52,3
25h	46,3	39,6	47,6	28
26h	43,6	46,6	47,6	31,6
27h	51	43	44,3	25,6
28h	44,6	38,3	49	27
29h	46,6	44,3	49	23,6
30h	43,6	46,3	43	21,6
33h	39	45	44,6	35
34h	38	40,3	47	37,6
35h	41,3	45	46	33,6
36h	42,6	40	49	37,6
37h	37,6	39	44	29,6
38h	41	41,6	49,6	32,6
39h	40,3	44,3	43	32,3
40h	45	37,6	46	29,3
41h	40	41	49,3	27,6
42h	39	39,6	44,6	31
43h	32,3	36,6	49,3	39,6
44h	40,6	40	42,6	43,6
45h	39,3	40,6	49,3	41
46h	40,6	43,3	50	52,3
47h	37	39	43,6	59
<b>Mittelwert</b>	39,1456522	38,0086957	44,7826087	39,9673913
<b>Standard-abweichung</b>	4,8274542	4,72387911	3,3404793	9,68669315

**Tabelle 6: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 1**

Die Verteilung der gemessenen Werte lag zwischen 33.3 HE (=Minimum) und 50 HE (=Maximum).

Im rechten posterioren Leberlappen lag der Mittelwert der Messdaten bei 39.9 HE mit einer Standardabweichung von 9.7 HE. Die gemessenen Dichtewerte für diesen Leberteilbereich lagen zwischen 21.6 HE und 59 HE (siehe Abbildung 11 und Tabelle 6).



**Abbildung 12: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 2**  
**Abzisse: Zeit in h, Ordinate: Dichte in HE**

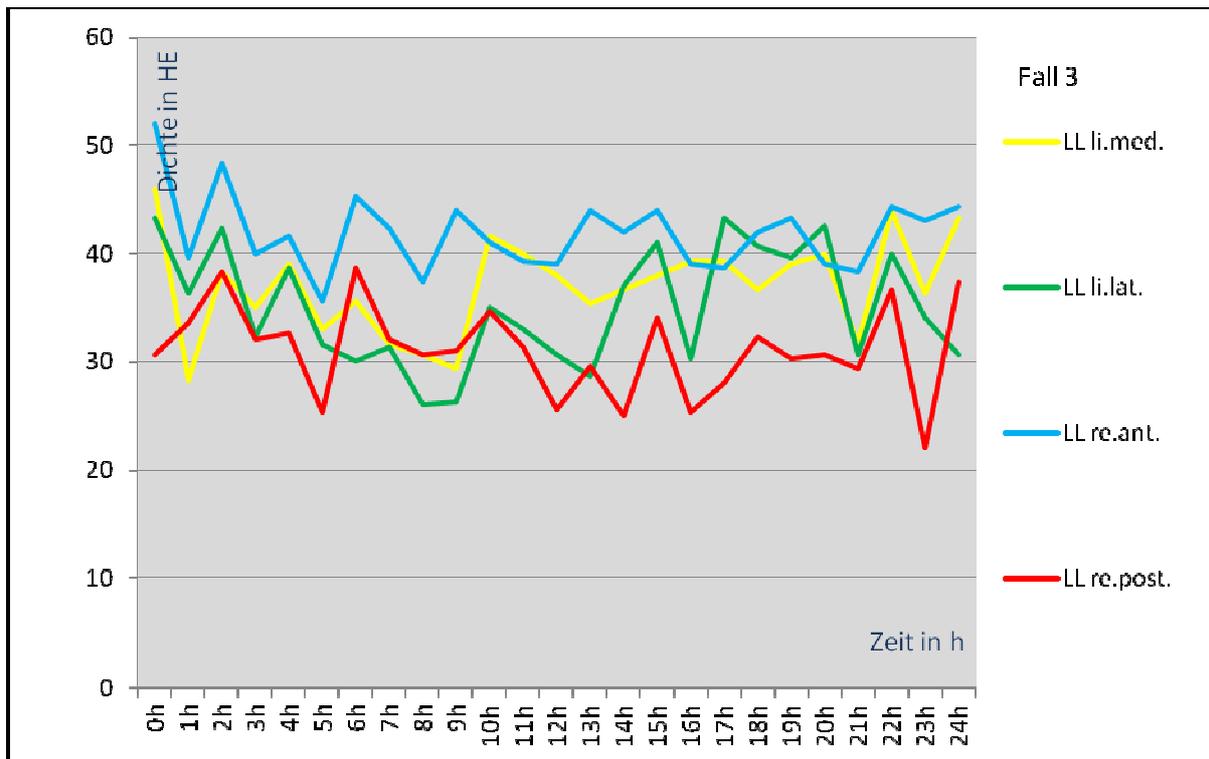
Die Messungen der zweiten Leiche erfolgten ab der vierten postmortalen Stunde über einen Zeitraum von 23 Stunden. Es wurden die Dichtewerte im Bereich der vier Leberteilebereiche für den frühen postmortalen Zeitraum von 4 bis 27 Stunden ermittelt. Im linken medialen Leberlappen betrug der Mittelwert 46.6 HE bzw. die Standardabweichung 4.3 HE. Die gemessenen Dichtewerte lagen zwischen 34 HE und 54.3 HE. Im linken lateralen Leberlappen lag der Mittelwert der gemessenen Dichtewerte bei 46.9 HE mit einer Standardabweichung

von 6.2 HE. Die Schwankungsbreite der Messdaten lag zwischen 27 HE und 54.3 HE. Der Mittelwert der Messdaten im Bereich des rechten anterioren Leberlappens war 42.6 HE. Die Standardabweichung betrug 2.7 HE. Die Range der Messdaten lag im Minimum bei 36.3 HE und im Maximum bei 46.6. HE.

Im rechten posterioren Leberlappen betrug der Mittelwert der Messdaten 45.9 HE mit einer Standardabweichung von 15.9 HE. Die gemessenen Dichtewerte für diesen Leberteilebereich verteilten sich zwischen 16 HE und 69 HE. (siehe Abbildung 12 und Tabelle 7).

Fall 2	Leberlappen links medial LL li.med.	Leberlappen links lateral LL li.lat.	Leberlappen rechts anterior LL re.ant.	Leberlappen rechts posterior LL re.post.
0h	34	27	46,3	34,3
1h	44,6	44	42,6	41,6
2h	42,3	44,6	43,3	20,3
3h	51,6	48,3	40,6	16
4h	54,3	49	37,3	30,3
5h	47,3	50	41,3	21,3
6h	41,3	48,3	40,6	25
7h	50,3	52,3	42,6	24
8h	48	47	45,6	48,6
9h	51,3	46,6	46,3	46,6
10h	49	35	42,3	56,3
11h	50,3	48	40,6	52
12h	50,6	56	43	52,3
13h	49	55	46,6	58,3
14h	49	54,6	42,3	40
15h	45	51,6	45	52,3
16h	43,6	44	36,3	57
17h	45,6	46	42,6	52,3
18h	44	48,3	39,6	59,6
19h	44,6	45	42,3	56
20h	43,6	43,3	40,3	66,3
21h	43,6	46,6	43,6	69
22h	47,6	44,3	46	55,6
23h	48,6	52,3	45	67
<b>Mittelwert</b>	46,6291667	46,9625	42,5833333	45,9166667
<b>Standardabweichung</b>	4,29929005	6,2317429	2,74363559	15,9263704

**Tabelle 7: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 2**



**Abbildung 13: Dichteänderungen der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 3**

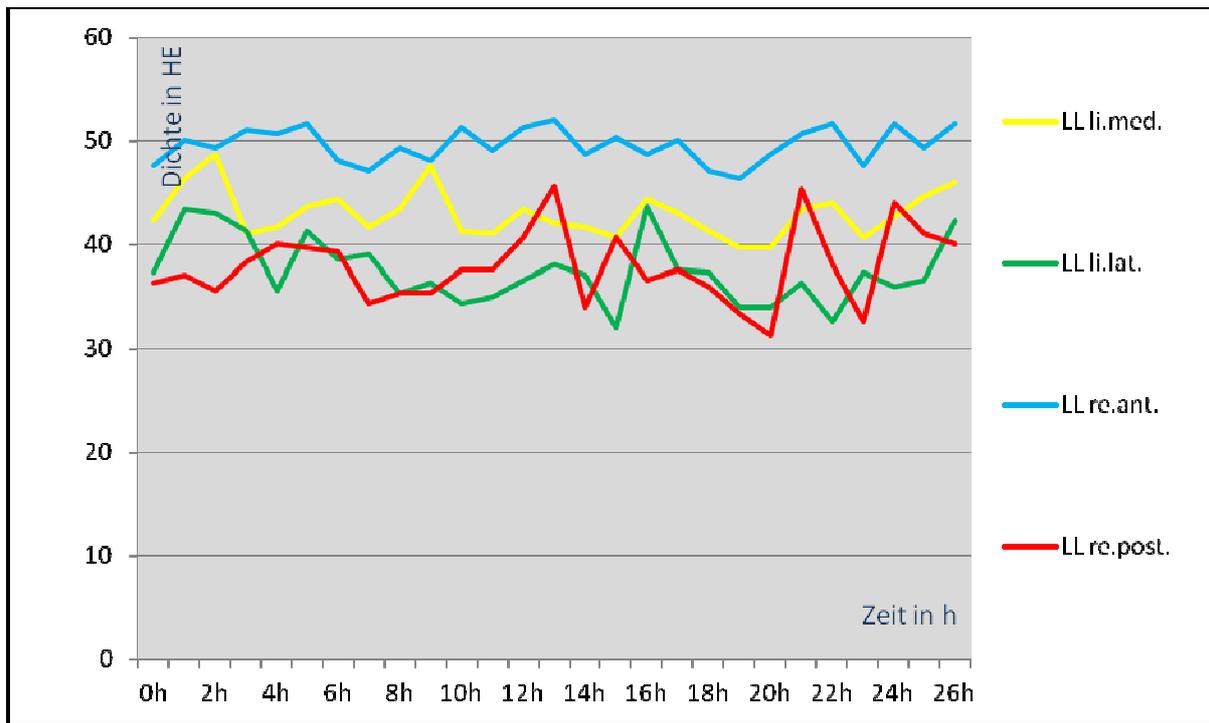
**Abzisse: Zeit in h, Ordinate: Dichte in HE**

Im dritten Fall fanden die stündlichen CT-Messungen ca. 23 Stunden nach dem angegebenen Todeszeitpunkt über eine Dauer von 24 Stunden statt. Es wurden die Dichtemesswerte in den vier Leberteilbereichen für das frühe postmortale Intervall von 23 bis 47h ermittelt. Im linken medialen Leberlappen lag der Mittelwert der gemessenen Daten bei 37.0 HE bzw. die Standardabweichung betrug 4.5 HE. Die gemessenen Dichtewerte lagen zwischen 28.3 HE und 46 HE. Im linken lateralen Leberlappen betrug der Mittelwert der gemessenen Dichtewerte 34.9 HE und die Standardabweichung 5.5 HE. Die Schwankungsbreite der gemessenen Daten lag im Minimum bei 26 HE und im Maximum bei 43.3 HE. Der Mittelwert der Dichtewerte im Bereich des rechten anterioren Leberlappens betrug 41.9 HE und die Standardabweichung 3.6 HE. Die Range der Messdaten in diesem Bereich lag zwischen 35.6 HE und 52 HE.

Im rechten posterioren Leberlappen lag der Mittelwert der Messdaten bei 31.0 HE mit einer Standardabweichung von 4.3 HE. Die gemessenen Dichtewerte für diesen Leberteilbereich verteilten sich zwischen 22 HE und 38.6 HE. (siehe Abbildung 13 und Tabelle 8).

Fall 3	Leberlappen links medial LL li.med.	Leberlappen links lateral LL li.lat.	Leberlappen rechts anterior LL re.ant.	Leberlappen rechts posterior LL re.post.
0h	46	43,3	52	30,6
1h	28,3	36,3	39,6	33,6
2h	38,3	42,3	48,3	38,3
3h	35	32,3	40	32
4h	39	38,6	41,6	32,6
5h	33	31,6	35,6	25,3
6h	35,6	30	45,3	38,6
7h	31,6	31,3	42,3	32
8h	30,6	26	37,3	30,6
9h	29,3	26,3	44	31
10h	41,6	35	41	34,6
11h	40	33	39,3	31,3
12h	38	30,6	39	25,6
13h	35,3	28,6	44	29,6
14h	36,6	37	42	25
15h	38	41	44	34
16h	39,3	30,3	39	25,3
17h	39,3	43,3	38,6	28
18h	36,6	40,6	42	32,3
19h	39	39,6	43,3	30,3
20h	40	42,6	39	30,6
21h	31,6	30,6	38,3	29,3
22h	44	40	44,3	36,6
23h	36,3	34	43	22
24h	43,3	30,6	44,3	37,3
<b>Mittelwert</b>	37,024	34,992	41,884	31,056
<b>Standardabweichung</b>	4,52320683	5,48238999	3,58883454	4,29651797

**Tabelle 8: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 3**



**Abbildung 14: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 4**

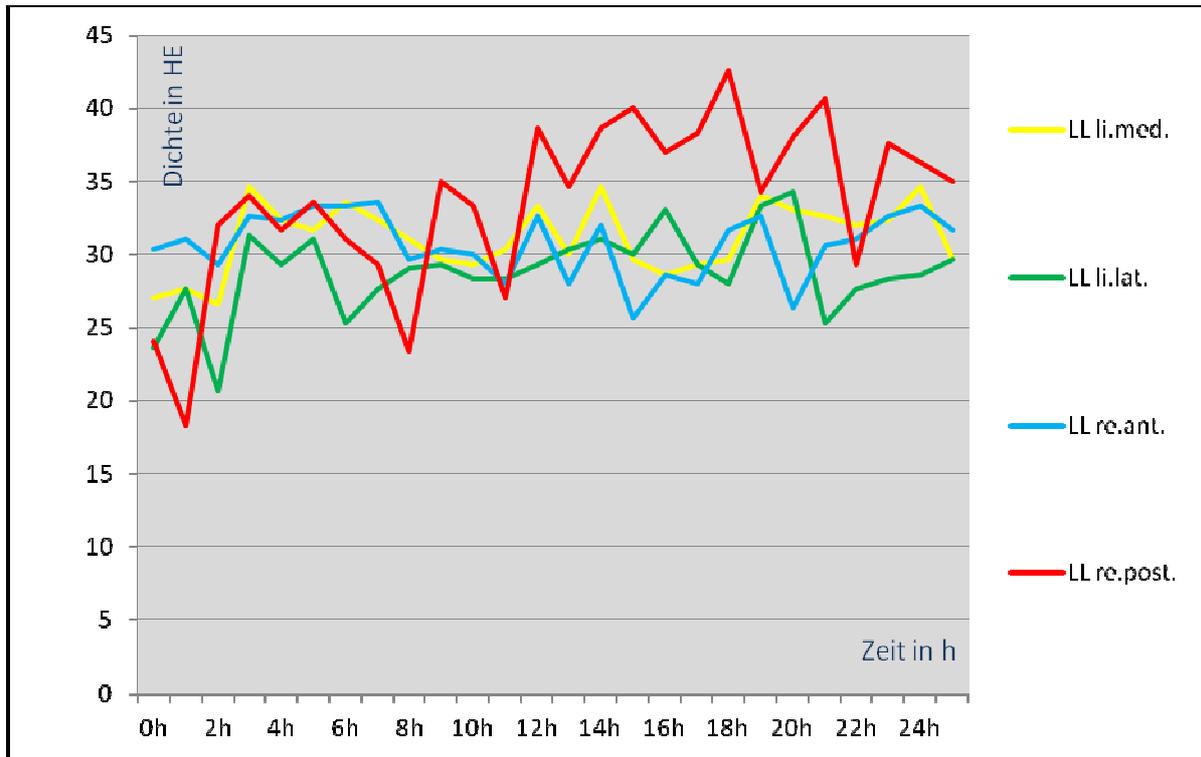
**Abzisse: Zeit in h, Ordinate: Dichte in HE**

Die erste CT-Messung der vierten Leiche fand ca. 25 Stunden nach dem Todeseintritt statt. Es folgten über einen Zeitraum von 26 Stunden stündliche computertomographische Untersuchungen und die Dichtewerte im Bereich der vier Leberlappen wurden bestimmt. Im linken medialen Leberlappen betrug der Mittelwert der gemessenen Daten 42.9 HE bzw. die Standardabweichung 2.3 HE. Die gemessenen Dichtewerte lagen zwischen 39.6 HE und 48.6 HE. Im linken lateralen Leberlappen betrug der Mittelwert der gemessenen Dichtewerte 37.5 HE und die Standardabweichung 3.2 HE. Die Schwankungsbreite der Messdaten lag im Minimum bei 32 HE und im Maximum bei 43.6 HE. Der Mittelwert der Messdaten im Bereich des rechten anterioren Leberlappens betrug 49.5 HE und die Standardabweichung 1.7 HE. Die Range der Messdaten lag zwischen 46.3 HE und 52 HE.

<b>Fall 4</b>	<b>Leberlappen links medial LL li.med.</b>	<b>Leberlappen links lateral LL li.lat.</b>	<b>Leberlappen rechts anterior LL re.ant.</b>	<b>Leberlappen rechts posterior LL re.post.</b>
0h	42,3	37,3	47,6	36,3
1h	46,3	43,3	50	37
2h	48,6	43	49,3	35,6
3h	41	41,3	51	38,3
4h	41,6	35,6	50,6	40
5h	43,6	41,3	51,6	39,6
6h	44,3	38,6	48	39,3
7h	41,6	39	47	34,3
8h	43,3	35,3	49,3	35,3
9h	47,6	36,3	48	35,3
10h	41,3	34,3	51,3	37,6
11h	41	35	49	37,6
12h	43,3	36,6	51,3	40,6
13h	42	38	52	45,6
14h	41,6	37	48,6	34
15h	40,6	32	50,3	40,6
16h	44,3	43,6	48,6	36,6
17h	43	37,6	50	37,6
18h	41,3	37,3	47	36
19h	39,6	34	46,3	33,3
20h	39,6	34	48,6	31,3
21h	43,3	36,3	50,6	45,3
22h	44	32,6	51,6	38
23h	40,6	37,3	47,6	32,6
24h	42,6	36	51,6	44
25h	44,6	36,6	49,3	41
26h	46	42,3	51,6	40
<b>Mittelwert</b>	42,9222222	37,462963	49,5444444	37,8777778
<b>Standardabweichung</b>	2,2851247	3,20770085	1,68004884	3,60558683

**Tabelle 9: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 4**

Im rechten posterioren Leberlappen lag der Mittelwert der Messdaten bei 37.9 HE. Die Standardabweichung betrug 3.6 HE. Die gemessenen Dichtewerte für diesen Leberteilbereich lagen zwischen 31.3 HE und 45.6 HE (siehe Abbildung 14 und Tabelle 9).



**Abbildung 15: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 5**

**Abzisse: Zeit in h, Ordinate: Dichte in HE**

In der letzten Untersuchungsreihe wurde die Leiche 18 Stunden nach Eintritt des Todes erstmals und anschließend jede Stunde über ein Zeitfenster von 25 Stunden computertomographisch untersucht. Es wurden die Dichtewerte im Bereich der vier Leberteilbereiche für diesen frühen postmortalen Zeitraum ermittelt. Im linken medialen Leberlappen betrug der Mittelwert der gemessenen Daten 31.1 HE und die Standardabweichung 2.4 HE. Die gemessenen Dichtewerte lagen zwischen 27 HE und 34.6 HE. Im linken lateralen Leberlappen lag der Mittelwert der gemessenen Dichtewerte bei 28.8 HE. Die Standardabweichung betrug 2.9 HE. Die Schwankungsbreite der Messdaten lag im Minimum bei 20.6 HE und im Maximum bei 34.3 HE. Der Mittelwert der Messdaten im Bereich des rechten anterioren Leberlappens betrug 30.7 HE und die Standardabweichung 2.2 HE. Die Range der Messdaten in diesem Bereich lag zwischen 25.6 HE und 33.6 HE.

Fall 5	Leberlappen links medial LL li.med.	Leberlappen links lateral LL li.lat.	Leberlappen rechts anterior LL re.ant.	Leberlappen rechts posterior LL re.post.
0h	27	23,6	30,3	24
1h	27,6	27,6	31	18,3
2h	26,6	20,6	29,3	32
3h	34,6	31,3	32,6	34
4h	32,3	29,3	32,3	31,6
5h	31,6	31	33,3	33,6
6h	33,6	25,3	33,3	31
7h	32,3	27,6	33,6	29,3
8h	31	29	29,6	23,3
9h	29,6	29,3	30,3	35
10h	29,3	28,3	30	33,3
11h	30,3	28,3	28	27
12h	33,3	29,3	32,6	38,6
13h	30	30,3	28	34,6
14h	34,6	31	32	38,6
15h	29,6	30	25,6	40
16h	28,6	33	28,6	37
17h	29,3	29,3	28	38,3
18h	29,6	28	31,6	42,6
19h	34	33,3	32,6	34,3
20h	33	34,3	26,3	38
21h	32,6	25,3	30,6	40,6
22h	32	27,6	31	29,3
23h	32,3	28,3	32,6	37,6
24h	34,6	28,6	33,3	36,3
25h	29,6	29,6	31,6	35
<b>Mittelwert</b>	31,1115385	28,8115385	30,6923077	33,5846154
<b>Standardabweichung</b>	2,36969651	2,92551902	2,23444366	5,75886741

**Tabelle 10: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 5**

Im rechten posterioren Leberlappen lag der Mittelwert der Messdaten bei 33.6 HE. Die Standardabweichung betrug 5.6 HE. Die gemessenen Dichtewerte für diesen Leberteilbereich verteilten sich zwischen 18.3 HE und 42.6 HE (siehe Abbildung 15 und Tabelle 10).

#### **4.2.2 Gasverteilung in der Leber**

Bei der Auswertung der Gasverteilung im Bereich der Leber der **ersten untersuchten Leiche** zeigten sich acht Stunden postmortal in der computertomographischen Darstellung im gesamten linken Leberlappen und im rechten anterioren Leberlappen bereits wenige konfluierende Gasbläschen, gemäß der angewandten Klassifikation einem Grad 3a entsprechend. Diese Gasansammlungen blieben in den genannten Bereichen über die ersten Messungen, d. h. maximal bis zur dritten Messung (entspricht der 11. postmortalen Stunde) im linken lateralen Leberlappen, konstant. In den sich anschließenden Untersuchungen nahm die Gasmenge auf einige konfluierende Gasbläschen, gemäß der Klassifikation dem Grad 3b entsprechend, zu und blieb bis zu der letzten durchgeführten Messung nach 47 Stunden unverändert. Die geringsten Gasveränderungen zeigten sich im rechten posterioren Leberlappenbereich. Bis zur 17. postmortalen Stunde befanden sich dort nur wenige Gaseinschlüsse dem Klassifikationsgrad 2 entsprechend, die sich bis zur letzten CT-Messung nur zu wenigen konfluierenden Gaseinschlüssen entsprechend dem Klassifikationsgrad 3a hin veränderten. Die Pfortader zeigte sich zu jedem Zeitpunkt ohne Gaseinschlüsse (siehe Tabelle 11).

Zeit punkt	Leberlappen links medial	Leberlappen links lateral	Leberlappen rechts anterior	Leberlappen rechts posterior	Pfortader extrahepatisch
0.h	3a	3a	3a	3a	1
1.h	3b	3a	3b	2	1
2.h	3b	3a	3b	2	1
3.h	3b	3b	3b	2	1
4.h	3b	3b	3b	2	1
5.h	3b	3b	3b	2	1
6.h	3b	3b	3b	2	1
7.h	3b	3b	3b	2	1
8.h	3b	3b	3b	2	1
9.h	3b	3b	3b	2	1
10.h	3b	3b	3b	3a	1
11.h	3b	3b	3b	3a	1
12.h	3b	3b	3b	3a	1
13.h	3b	3b	3b	3a	1
14.h	3b	3b	3b	3a	1
15.h	3b	3b	3b	3a	1
16.h	3b	3b	3b	3a	1
17.h	3b	3b	3b	3a	1
18.h	3b	3b	3b	3a	1
19.h	3b	3b	3b	3a	1
20.h	3b	3b	3b	3a	1
21.h	3b	3b	3b	3a	1
22.h	3b	3b	3b	3a	1
23.h	3b	3b	3b	3a	1
24.h	3b	3b	3b	3a	1
25.h	3b	3b	3b	3a	1
26.h	3b	3b	3b	3a	1
27.h	3b	3b	3b	3a	1
28.h	3b	3b	3b	3a	1
29.h	3b	3b	3b	3a	1
30.h	3b	3b	3b	3a	1
31.h	3b	3b	3b	3a	1
32.h	3b	3b	3b	3a	1
33.h	3b	3b	3b	3a	1
34.h	3b	3b	3b	3a	1
35.h	3b	3b	3b	3a	1
36.h	3b	3b	3b	3a	1
37.h	3b	3b	3b	3a	1
38.h	3b	3b	3b	3a	1
39.h	3b	3b	3b	3a	1
40.h	3b	3b	3b	3a	1
41.h	3b	3b	3b	3a	1
42.h	3b	3b	3b	3a	1
43.h	3b	3b	3b	3a	1
44.h	3b	3b	3b	3a	1
45.h	3b	3b	3b	3a	1
46.h	3b	3b	3b	3a	1
47.h	3b	3b	3b	3a	1

**Tabelle 11: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 1**

In der CT-Untersuchungsserie der hepatischen Gasverteilung der **zweiten untersuchten Leiche** waren vier Stunden nach dem angegebenen Todeszeitpunkt einzelne Gasbläschen gemäß der angewandten Klassifikation dem Grad 2 entsprechend im linken medialen und im rechten anterioren Leberbereich sichtbar, während sich im linken lateralen Bereich schon wenige konfluierende Gasansammlungen - dem Klassifikationsgrad 3a entsprechend - fanden. Die weitere Entwicklung der Gasakkumulation in diesen drei Leberabschnitten erreichte mit der Klassifikationsstufe 3b (=einige konfluierende Gaseinschlüsse) auf der einen Seite im linken lateralen und rechten anterioren Teil ab der dritten Messung (entspricht der 7. postmortalen Stunde) und auf der anderen Seite im linken medialen Teil ab der 14. Messung (entspricht der 18. postmortalen Stunde), ihr Maximum.

Zeit punkt	Leberlappen links medial	Leberlappen links lateral	Leberlappen rechts anterior	Leberlappen rechts posterior	Pfortader extrahepatisch
0.h	2	3a	2	1	1
1.h	3a	3a	3a	1	1
2.h	3a	3a	3a	1	1
3.h	3a	3b	3b	2	1
4.h	3a	3b	3b	2	1
5.h	3a	3b	3b	2	1
6.h	3a	3b	3b	3a	1
7.h	3a	3b	3b	3a	1
8.h	3a	3b	3b	3a	1
9.h	3a	3b	3b	3a	1
10.h	3a	3b	3b	3a	1
11.h	3a	3b	3b	3a	1
12.h	3a	3b	3b	3a	1
13.h	3a	3b	3b	3b	1
14.h	3b	3b	3b	3b	1
15.h	3b	3b	3b	3b	1
16.h	3b	3b	3b	3b	1
17.h	3b	3b	3b	3b	1
18.h	3b	3b	3b	3b	1
19.h	3b	3b	3b	3b	1
20.h	3b	3b	3b	3b	1
21.h	3b	3b	3b	3b	1
22.h	3b	3b	3b	3b	1
23.h	3b	3b	3b	3b	1

**Tabelle 12: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 2**

Analog der ersten Fallbeschreibung zeigten sich im rechten posterioren Leberabschnitt die geringsten Veränderungen. Es waren hier ab der ersten Messung ca. vier Stunden

postmortal bis zur letzten CT-Messung 27 Stunden postmortal keine Gasansammlungen, gemäß der angewandten Klassifikation dem Grad 1 entsprechend, festzustellen. Auch in diesem Fall war in der Pfortader kein Gas abgrenzbar (siehe Tabelle 12).

Im Falle des **dritten untersuchten Leichnams** befanden sich 23 Stunden nach der angegebenen Todeszeit im gesamten linken und rechten anterioren Leberlappen nur wenige, einzelne Gasbläschen gemäß der Klassifikationsgrad 2. Dieser Zustand blieb über

Zeit punkt	Leberlappen links medial	Leberlappen links lateral	Leberlappen rechts anterior	Leberlappen rechts posterior	Pfortader extrahepatisch
0.h	2	2	2	1	1
1.h	2	2	2	1	1
2.h	2	2	2	1	1
2.h	2	2	2	1	1
3.h	2	2	2	1	1
4.h	2	2	2	1	1
5.h	3a	3a	3a	1	1
6.h	3a	3a	3a	1	1
7.h	3a	3a	3a	1	1
8.h	3a	3a	3a	1	1
9.h	3a	3a	3a	1	1
10.h	3a	3a	3a	1	1
11.h	3a	3a	3a	1	1
12.h	3a	3a	3a	1	1
13.h	3a	3a	3a	1	1
14.h	3a	3a	3a	1	1
15.h	3a	3a	3a	1	1
16.h	3a	3a	3a	1	1
17.h	3a	3a	3a	1	1
18.h	3a	3a	3a	1	1
19.h	3a	3a	3a	1	1
20.h	3a	3a	3a	1	1
21.h	3a	3a	3a	1	1
22.h	3a	3a	3a	1	1
23.h	3a	3a	3a	1	1
24.h	3a	3a	3a	1	1

**Tabelle 13: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 3**

das sich anschließende vierstündige Untersuchungsintervall stabil und stagnierte ab der fünften Messung mit wenigen konfluierenden Gasbläschen dem Klassifikationsgrad 3a entsprechend. Analog dem vorangehenden zweiten Fall waren bis zur letzten CT-Messung keine Gasansammlungen im rechten posterioren Leberlappenbereich über das gesamte

postmortale Intervall von 47 Stunden zu verzeichnen. Dies wurde ebenfalls nach der angewandten Klassifikation mit dem Grad 1 bewertet. Analog den vorangehenden Fällen waren über das genannte Intervall keine Gasansammlungen im Bereich der Pfortader erkennbar (siehe Tabelle 13 und Abbildung 16).

Die **vierte untersuchte Leiche** zeigte 25 Stunden nach dem angegebenen Todeseintritt in allen vier Teilbereichen der Leber wenige vereinzelte Gaseinschlüsse, gemäß der Klassifikation dem Grad 2 entsprechend, die über den gesamten Untersuchungszeitraum von 26 Stunden stabil blieben. Die Pfortader war ebenfalls zu jedem Zeitpunkt frei von Gas (siehe Tabelle 14).

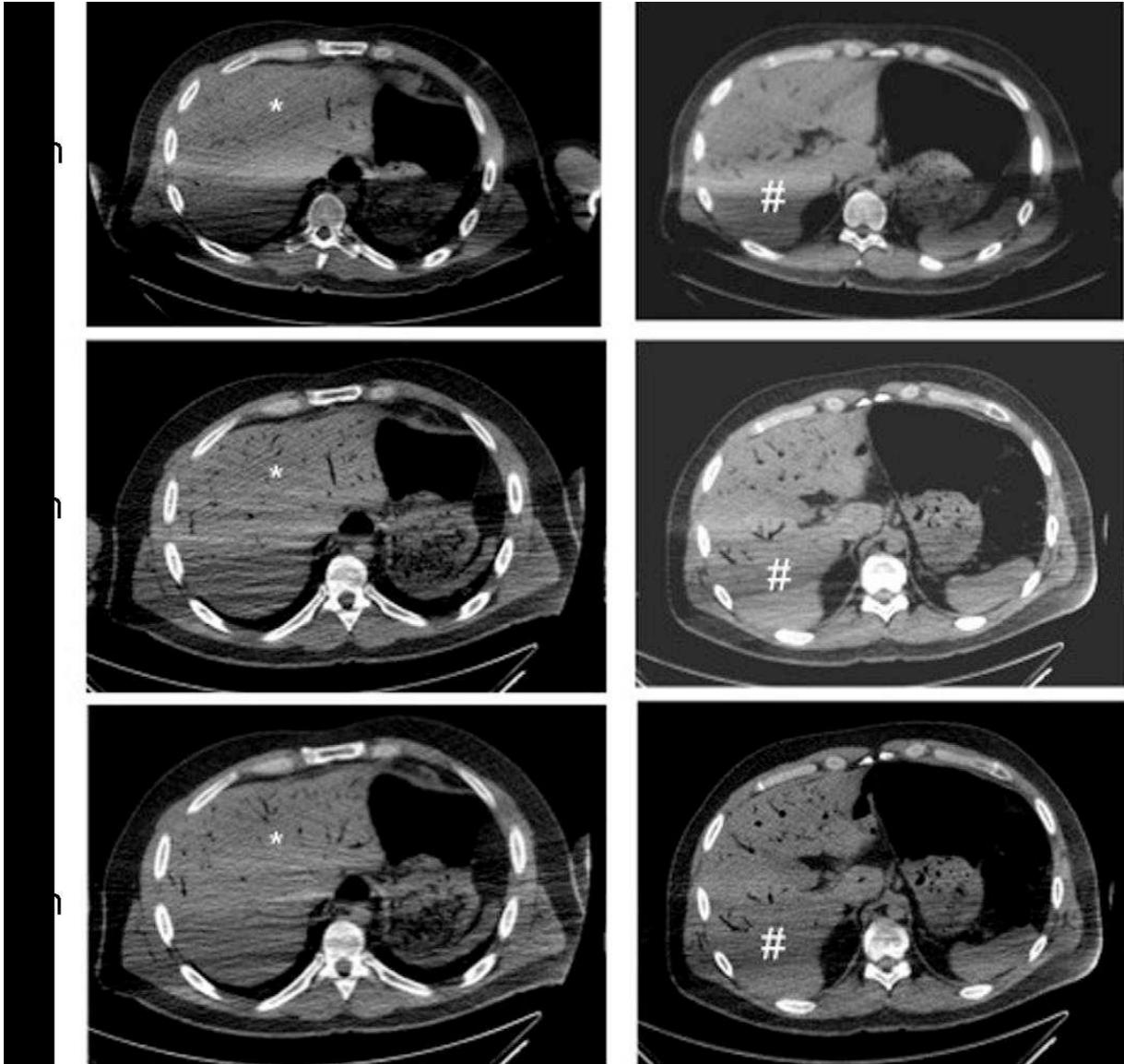
Zeitpunkt	Leberlappen links medial	Leberlappen links lateral	Leberlappen rechts anterior	Leberlappen rechts posterior	Pfortader extrahepatisch
0.h	2	2	2	2	1
1.h	2	2	2	2	1
2.h	2	2	2	2	1
3.h	2	2	2	2	1
4.h	2	2	2	2	1
5.h	2	2	2	2	1
6.h	2	2	2	2	1
7.h	2	2	2	2	1
8.h	2	2	2	2	1
9.h	2	2	2	2	1
10.h	2	2	2	2	1
11.h	2	2	2	2	1
12.h	2	2	2	2	1
13.h	2	2	2	2	1
14.h	2	2	2	2	1
15.h	2	2	2	2	1
16.h	2	2	2	2	1
17.h	2	2	2	2	1
18.h	2	2	2	2	1
19.h	2	2	2	2	1
20.h	2	2	2	2	1
21.h	2	2	2	2	1
22.h	2	2	2	2	1
23.h	2	2	2	2	1
24.h	2	2	2	2	1
25.h	2	2	2	2	1
26.h	2	2	2	2	1

**Tabelle 14: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 4**

In der CT-Untersuchungsserie der **letzten Leiche** waren 18 Stunden postmortal keine Gasansammlungen auf den computertomographischen Bildern sichtbar. Auch hier blieb der Zustand, analog der vorangehenden vierten Fallbeschreibung, über das Zeitfenster der CT-Messungen über 25 Stunden ohne jegliche Veränderung und wurde gemäß der angewandten Klassifikation mit dem Grad 1 bewertet. Auch in diesem Fall waren in der Pfortader nie Gaseinschlüsse erkennbar (siehe Tabelle 15).

Zeitpunkt	Leberlappen links medial	Leberlappen links lateral	Leberlappen rechts anterior	Leberlappen rechts posterior	Pfortader extrahepatisch
0.h	1	1	1	1	1
1.h	1	1	1	1	1
2.h	1	1	1	1	1
3.h	1	1	1	1	1
4.h	1	1	1	1	1
5.h	1	1	1	1	1
6.h	1	1	1	1	1
7.h	1	1	1	1	1
8.h	1	1	1	1	1
9.h	1	1	1	1	1
10.h	1	1	1	1	1
11.h	1	1	1	1	1
12.h	1	1	1	1	1
13.h	1	1	1	1	1
14.h	1	1	1	1	1
15.h	1	1	1	1	1
16.h	1	1	1	1	1
17.h	1	1	1	1	1
18.h	1	1	1	1	1
19.h	1	1	1	1	1
20.h	1	1	1	1	1
21.h	1	1	1	1	1
22.h	1	1	1	1	1
23.h	1	1	1	1	1
24.h	1	1	1	1	1
25.h	1	1	1	1	1

**Tabelle 15: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 5**



**Abbildung 16: Intrahepatische Gasverteilung anhand des Beispiels von Fall 3 nach 0h, 6h und 12h postmortal (von oben nach unten)**

**\*= linker Leberlappen bzw. rechts anteriorer Leberlappen, #= rechts posteriorer Leberlappen**

### **4.3 Autopsiebefunde**

Die Obduktion der ersten Leiche fand 80 Stunden nach dem geschätzten Todeszeitpunkt statt.

Nach der Eröffnung der Bauchdecke gelangte man durch ein bis zu 5 cm starkes gelbes Fettgewebe auf die mäßig geblähten Darmschlingen, die von einem fetthaltigen Netz (=Omentum majus) vollständig bedeckt waren. Bei der Darmpräparation wurde im Zwölffinger-(=Duodenum) und Dünndarm (=Jejunum) ein gelblich-grüner, schleimig-sämiger Inhalt und im Dickdarm (=Colon) ein grünbrauner, salbenartiger Stuhl, sichtbar. Die Leber wies ein Gewicht von 2423 g auf. Ihre Oberfläche war von braunroter Farbe, die Kapsel imponierte glatt-glänzend und der Unterrand war unscharf. Beim Schnitt durch das Lebergewebe stellte sich dieses mit einer schmutzig, braunroten Koloration und verwaschener Läppchenzeichnung dar. Die Gallenwege, Lebervenen und das Pfortadersystem waren frei durchgängig und die Gallenblase erwies sich als konkrementfrei. Die Fäulnis als postmortaler Befund, wurde bei diesem Leichnam als beginnend eingestuft. Ebenso wurde vermerkt, dass bei dieser Leiche ärztliche Wiederbelebungsmaßnahmen durchgeführt worden waren.

Im Falle der zweiten Leiche umfasste der Zeitraum zwischen dem geschätzten Todeszeitpunkt und der Autopsie ca. 72 Stunden. Bei der Untersuchung der Bauchhöhle fanden sich unter einer bis zu 3 cm starken Bauchdeckenfettschicht mäßig geblähte Darmschlingen, die unvollständig von einem fetthaltigen Netz bedeckt waren. Im Duodenum bzw. Jejunum waren ein gelbbrauner-schleimig-sämiger Inhalt und im Colon grünbrauner-salbenartiger Stuhl zu sehen. Das Lebergewicht belief sich auf 2150 g. Die Leberkapsel war von durchscheinendem glänzendem Aussehen, während sich der Leberrand beginnend

abgerundet darstellte. Beim Schnitt durch das Leberparenchym erwies sich dieses als unauffällig blutreich, etwas verfettet und nicht verfestigt. Die Gallenwege, Lebervenen und das Pfortadersystem wiesen freie Durchgängigkeit auf und die mit flüssiger Galle gefüllte Gallenblase war steinfrei. Die Leichenfäulnis war deutlich ausgeprägt. Auch in diesem Fall waren ärztliche Reanimationsmaßnahmen vorausgegangen.

Bei der dritten Leiche wurde von staatsanwaltlicher Seite keine Obduktion angeordnet und somit auch keine durchgeführt.

Die vierte Leiche wurde ca. 74 Stunden nach dem geschätzten Todeszeitpunkt obduziert. Nach der Eröffnung der Bauchhöhle wurden unter dem bis maximal 2 cm starken Bauchdeckenfett die Darmschlingen sichtbar. Nach der Präparation dieser Darmschlingen, zeigte sich im Zwölffingerdarm und im oberen Abschnitt des Dünndarms ein teilweise mit Schlieren durchsetzter Darminhalt. In den mittleren bzw. unteren Dünndarmpartien befand sich ein grünbraun-sämiger Inhalt und im Dickdarm ein grünbrauner, knolliger Stuhl. Die Leber wog 1686 g. Ihre Kapsel war unverletzt und der untere Leberrand scharf. Beim Schnitt durch das Gewebe erwies sich dieses als sehr blutreich und mit einer regulären Läppchenzeichnung. Die abführenden Gallenwege, die Lebervenen und das Pfortadersystem waren frei durchgängig. Die Gallenblase war ausschließlich mit Flüssigkeit gefüllt. Auch bei dieser Leiche waren notärztliche Versorgungsmaßnahmen im Sinne von Reanimationsmaßnahmen unternommen worden.

Die Obduktion der fünften Leiche erfolgte nach standardisiertem Procedere ca. 71 Stunden nach dem geschätzten Todeszeitpunkt. Nach der Eröffnung der Bauchdecke kamen unter einer bis zu 5 cm starken, gelben Fettgewebsschicht die nahezu vollständig mit fetthaltigem Netz bedeckten Darmschlingen zum Vorschein. Beim Präparieren des Darmes zeigte sich im

Duodenum und im übrigen Dünndarm ein grau-rötlich schleimig durchsetzter Inhalt in mäßiger Menge, während sich im Dickdarm ein grünbrauner salbenartiger Stuhl in geringer Menge befand. Im S-förmigen Darm (=Sigma) wurde neben zwei gestielten Polypen ein im Durchmesser ca. 1,5 cm schüsselförmiger ulzerierender Defekt sichtbar, der möglicherweise durch einen bösartigen Tumor bedingt war. Das Lebergewicht belief sich auf 1704 g. Das Organ zeigte deutliche Zeichen einer Verfettung. Die Leberkapsel stellte sich glatt-glänzend und der Lebervorderrand abgerundet dar. Die Schnittfläche des Leberparenchyms war von hellgelber Farbe und erheblich teigiger Konsistenz. Die Läppchenzeichnung war noch gut erkennbar. Die Gallenblase wies eine unauffällige Schleimhaut auf und enthielt hellgelbe flüssige Galle in reichlicher Menge.

#### **4.4 Zusammenfassung der Computertomographie- und Autopsieergebnisse**

Die gemessenen Daten zeigten im zeitlichen postmortalen Verlauf von 4 bis 55 Stunden in den Fällen 1 bis 4, in allen vier Leberteilbereichen nahezu vital physiologische Dichtewerte zwischen 30 und 50 HE ohne signifikante Veränderungen im zeitlichen Verlauf. In Fall 5 lagen die gemessenen Dichtewerte etwas unterhalb der nahezu physiologischen Dichtewerte der Leber zwischen 25 HE und 35 HE und zeigten im gesamten zeitlichen Verlauf ebenfalls keine signifikante Veränderung. In den Fällen 1, 2 und 5 lagen gegen Ende des Untersuchungsintervalls im rechten posterioren Leberlappen vereinzelt Dichtewerte deutlich oberhalb des Mittelwertes. Diese entsprechen «Ausreißern».

Ebenso ist festzustellen, dass im Untersuchungszeitraum von bis zu 55 Stunden post mortem das Vorhandensein bzw. die Verteilung der Gaseinschlüsse in den Untersuchungen in den vier Leberbereichen unterschiedlich stark ausgeprägt war. Die postmortalen

Gasansammlungen zeigten sich v. a. in der gesamten linken bzw. in der rechten anterioren Leberregion. Sie nahmen im obengenannten Untersuchungsintervall von vereinzelt Gasbläschen auf einige konfluierende Gasbläschen zu. Ebenso war die Gasverteilung im zeitlichen Verlauf der Untersuchungen auf der ventralen Seite dominanter ausgeprägt als auf der dorsalen Seite. Im rechten posterioren Leberbereich waren über das gesamte Zeitfenster keine bis nur wenige Gaseinschlüsse zu beobachten.

Das durchschnittliche Lebergewicht der vier obduzierten Fälle betrug 1990 g. Die Lappchenzeichnung war mit Ausnahme von Fall 1 regelrecht. In den Fällen 2 und 5 wurde in der Obduktion eine Fettleber diagnostiziert. Die Gallenwege, Lebervenen und das Pfortadersystem zeigten sich in den vier obduzierten Fällen frei durchgängig. In den Fällen 1 und 2 bestanden zum Zeitpunkt der Autopsie Zeichen der Leichenfäulnis. In den Fällen 1, 2 und 4 waren ärztliche Reanimationsmaßnahmen durchgeführt worden (siehe Tabellen 16-19).

Fall 1	Computertomographie	Autopsie
Postmortales Intervall [h]	8-55	80
Hauptbefund		Überschreiten des kritischen Herzgewichts: 562 g
Anamnese	postmyokarditische Kardiomegalie	
Bauchdeckenfett [cm]	5	
Leber		
	Gewicht [g]	2423
	Dichte	LL li.+re. konstant zw. 30 und 50 HE
	Oberfläche/Kapsel	braunrot, glattglänzend
	Gasverteilung	-LL li.+re.ant. 3a bis 3b -LL re.post. 2 bis 3a
	Rand	unscharf
	Parenchym	schmutzig, braunrot verwaschene Lappchenzeichnung
Gallenwege/Lebervenen/Pfortadersystem		frei durchgängig
Gallenblase		konkrementfrei
Bemerkung	Z.n. ärztlichen Reanimationsmaßnahmen beginnende Leichefäulnis	

**Tabelle 16: Ergebnisse in Fall 1**

Fall 2	Computertomographie	Autopsie
Postmortales Intervall [h]	4-27	72
Hauptbefund	Flüssigkeits- und Blutvermehrung in den Lungen	
Anamnese	linksseitige Temporallappenepilepsie, Schlafapnoesyndrom	
Bauchdeckenfett [cm]	3	
Leber		
	Gewicht [g]	2150
	Dichte	LL li.+re. konstant zw. ca. 40 und 50 HE
	Oberfläche/Kapsel	durchscheinend, glänzend
	Gasverteilung	-LL li.+re.ant. 2 bis 3b -LL re.post. 1
	Rand	beginnend abgerundet
	Parenchym	unauffällig blutreich, etwas verfettet, nicht verfestigt
Gallenwege/Lebervenen/Pfortadersystem		frei durchgängig
Gallenblase		konkrementfrei
Bemerkung	Z.n. ärztlichen Reanimationsmaßnahmen Fettleber merkbarer Leichenfäulnis	

**Tabelle 17: Ergebnisse in Fall 2**

Fall 4	Computertomographie	Autopsie
Postmortales Intervall [h]	25-51	74
Hauptbefund	hämorrhagisches Lungenödem, Hirndruck, prall gefüllte Harnblase	
Anamnese	Depression, Alkoholismus, Herzrhythmusstörungen	
Bauchdeckenfett [cm]	2	
Leber		
	Gewicht [g]	1685
	Dichte	LL li.+re. konstant zw. 30 bis 50 HE
	Oberfläche/Kapsel	unverletzt
	Gasverteilung	LL li.+re. 2
	Rand	spitz
	Parenchym	sehr blutreich, reguläre Läppchenzeichnung
Gallenwege/Lebervenen/Pfortadersystem		frei durchgängig
Gallenblase		konkrementfrei
Bemerkung	Z.n. ärztlichen Reanimationsmaßnahmen	

**Tabelle 18: Ergebnisse in Fall 4**

Fall 5	Computertomographie	Autopsie
Postmortales Intervall [h]	18-43	71
Hauptbefund		Einblutung in linke Kleinhirnhemisphäre mit Einbruch ins Ventrikelsystem
Anamnese	Alkoholabusus	
Bauchdeckenfett [cm]	5	
Leber		
	Gewicht [g]	1704
	Dichte	LL li.+re. konstant zw. 25 und 35 HE
	Oberfläche/Kapsel	glatt-glänzend
	Gasverteilung	LL li.+re. 1
	Rand	abgerundet
	Parenchym	hellgelb, teigige Konsistenz, Läppchenzeichnung noch erhalten
Gallenwege/Lebervenen/Pfortadersystem		
Gallenblase		konkrementfrei
Bemerkung	Z.n. ärztlichen Reanimationsmaßnahmen ulzerierender 1,5cm großer Defekt im Sigmoid Fettleber	

**Tabelle 19: Ergebnisse in Fall 5**

## **5. Diskussion**

Die nicht-invasive Mehrzeilencomputertomographie als Basisinstrument der Kooperation zwischen Rechtsmedizin und Radiologie stellt eine moderne Untersuchungsmodalität dar. Die in der Literatur diskutierten Denkansätze unterschiedlicher Arbeitsgruppen zu diesem Thema sind vielfältig, aber bislang beschäftigen sich nur wenige Forschungsgruppen mit der rechtsmedizinischen Bewertung der postmortalen radiologischen Schnittbilder bezüglich charakteristischer postmortaler Organbefunde, wie der Dichteänderung bzw. der Gasverteilung in den unterschiedlichen Körpergeweben bzw. Organen.<sup>13-14, 16, 26-28</sup> Einige Denkansätze basieren nur auf einzelnen Fallbeschreibungen und stellen somit keinen repräsentativen Ausschnitt dar.<sup>2, 4, 25</sup>

Wenige der in der Literatur beschriebenen Studien korrelieren die Befunde der postmortalen Computertomographie systematisch mit den Befunden der klassischen Autopsie bzw. analysieren die frühen und späten radiologisch identifizierbaren Leichenveränderungen.<sup>1, 4, 10, 14-15, 28</sup> In der gängigen Literatur existiert bisher noch keine wissenschaftliche Arbeit, die sich mit dem Thema der Todeszeitpunkteinschätzung mithilfe der postmortalen computertomographischen Diagnostik auseinandersetzt.

In der vorliegenden Arbeit wurden fünf Leichname über einen Mindestzeitraum von 24 Stunden post mortem stündlich einer Ganzkörper-CT-Untersuchung unterzogen. Bei allen fünf Leichen lag der Todeszeitpunkt nicht länger als 48 Stunden zurück. Trauma als Todesursache war als Ausschlusskriterium definiert worden. Trauma mit Durchdringung der cutanen Körperhülle schafft eine unphysiologische Verbindung zwischen der Raumluft und den Körperhöhlen, wie zum Beispiel bei einer Stichverletzung im Bereich des rechten Oberbauches. Dadurch kann nicht mehr zwischen einer physiologischen postmortalen

Gasansammlung bzw. -verteilung im Lebergewebe und einer Gasakkumulation, die durch das Trauma verursacht ist, unterschieden werden. Zudem würde eine Blutung bzw. Hämatom, welches durch die Verletzung bedingt wurde, die physiologische postmortale Densität des Leberparenchyms verändern, da Blut eine höhere Dichte aufweist als das physiologische Leberparenchym.

Im zeitlichen Verlauf wurden die Dichtänderungen bzw. Gasverteilung der Leber beurteilt und die daraus gewonnenen Informationen bezüglich ihres additiven Nutzens zur Todeszeitpunkteinschätzung analysiert. Anschließend wurde in vier der fünf Fälle eine von der Staatsanwaltschaft angeordnete Obduktion durchgeführt und die Ergebnisse mit denen der postmortalen Computertomographie verglichen.

### **5.1. Studienlage in der Literatur**

In Ländern, die nur über wenige rechtsmedizinische Institute verfügen, wie beispielsweise Japan, könnte die postmortale Computertomographie in Zukunft ein alternatives Explorationsverfahren zur klassischen Autopsie darstellen.<sup>27, 38</sup> Um das Potential der postmortalen Diagnostik zu evaluieren, vertiefte die Berner Arbeitsgruppe verschiedene Aspekte und korrelierte diese mit den Befunden der klassischen Autopsie.<sup>2, 4, 10, 12, 25</sup> Sie untersuchten u. a. Fälle, in denen die klassische Obduktion an ihre Begutachtungsgrenzen stößt. So konnten sie durch postmortale Bildgebung mittels MS-CT bzw. MRT bei einer Brandleiche und stark fäulnisalterierten Leiche zusätzliche Informationen zur Abschätzung der Todesursache gewinnen. Zu diesen Informationen zählten u. a. die Detektion von Fremdkörpern als auch der Nachweis forensisch relevanter vitaler Reaktionen, wie Luftembolie oder Blutaspilation.<sup>4, 25</sup> Ebenso machten sie sich diese Technologie und ihre

dreidimensionalen Rekonstruktionsmöglichkeiten zunutze, um den Schusskanal einer Leiche darzustellen.<sup>2</sup> In der Weiterentwicklung dieses alternativen Untersuchungsverfahrens gab es Ansätze, um den Erkenntnisgewinn dieser Methode zu erweitern. Die Gruppe um Jackowski und Thali explorierte die Möglichkeit durch die postmortale MS-CT/MRT auf nichtinvasive Art und Weise das Gewicht der inneren Organe abzuschätzen.<sup>15</sup> Aghayev et al. versuchten im Sinne einer minimalinvasiven postmortalen Bildgebung diese Gewichtsabschätzung mithilfe CT-gesteuerter Biopsie zu ergänzen.<sup>17</sup> Ebenfalls wurde durch die Schweizer Arbeitsgruppe um Grabherr und Ross die postmortale Anwendung der CT-Angiographie zur postmortalen Darstellung des Gefäßsystems erforscht. Mithilfe dieser bildgebenden Methode kann die Lokalisation von Blutungen, z. B. bedingt durch Stich- bzw. Schusswunden, ebenso wie intraparenchymatöse Organläsionen trotz fehlenden Kreislaufes weiter evaluiert werden.<sup>18-</sup>

<sup>19</sup> Ebenfalls von großer Bedeutung in der postmortalen Radiologie sind gute Kenntnisse über die postmortalen radiologischen Leichenveränderungen, um die gewonnenen Befunde korrekt interpretieren zu können. Neben der Beschreibung der postmortalen Blutveränderungen<sup>39</sup> sind in der Literatur auch charakteristische postmortale Organbefunde vermerkt.<sup>13, 16, 26-28</sup> Shiotani et al. untersuchte bzw. analysierte neben der postmortalen Dilatation des Herzens die postmortal auftretenden Lungenbefunde, um diese von traumatisch bedingten Todesursachen im Thoraxbereich unterscheiden zu können.<sup>27-28</sup> Ein häufiger postmortaler Organbefund ist u. a. das Auftreten von intrahepatischen Gasansammlungen, die erstmals von dem Japaner Yamazaki et al. beschrieben wurden. Diese gelten in der klinischen Diagnostik, wenn sie in den Gallenwege lokalisiert sind, als vital bedrohlich.<sup>14</sup> Diese Erkenntnis führte dazu, dass sich verschiedene Arbeitsgruppen mit der Untersuchung der Ursache und der Bedeutung dieses postmortalen Befundes

beschäftigten.<sup>13, 16</sup> Jackowski et al. hielt das Schädel-Hirn-Trauma bzw. stumpfe Gewalteinwirkungen für die häufigste Ursache für intrahepatische Gasansammlungen, aufgrund einer durch das Trauma hervorgerufenen systemischen Gasembolisation.<sup>13</sup> Shiotani et al. setzte das Auftreten von intrahepatischen Gasansammlungen mit der postmortal zunehmenden Darmaufblähung in Korrelation. Er hielt bei nicht-traumatisch verstorbenen Patienten die ausgeprägte Darmaufblähung bedingt durch Überdruckbeatmung im Rahmen von prä mortal durchgeführten Reanimationsmaßnahmen als wesentlichen Faktor für das Auftreten von postmortalen intrahepatischen Gasansammlungen.<sup>16</sup>

## **5.2 Vergleich der Untersuchungsmethoden: postmortale Computertomographie versus**

### **Autopsie**

#### **5.2.1 Vor- und Nachteile der postmortalen Computertomographie**

Die native postmortale Computertomographie bietet signifikante Vorteile. Die postmortale CT ermöglicht die Dokumentation der Befunde in situ bzw. zu einem bestimmten Zeitpunkt und hält diese durch die Abspeicherung in einem Archivierungssystem fest, sodass sie jederzeit, auch zu einem späteren Zeitpunkt als Beweis in einem gerichtlichen Verfahren, wieder abgerufen, und eventuell unter anderen Gesichtspunkten neu evaluiert bzw. visualisiert werden können.<sup>12, 25</sup>

Die postmortale Computertomographie bietet eine hohe Raumauflösung. Die nicht-invasiv akquirierten, millimeterdünnen Schichten können durch verschiedene Nachbearbeitungsprogramme in beliebigen Ebenen bzw. dreidimensionalen Rekonstruktionen dargestellt werden, wodurch verschiedene Aspekte und Details

retrospektiv bzw. auch gegebenenfalls durch weitere Begutachter analysiert werden können. Somit wird eine objektive Befundbeurteilung gerade auch im Vergleich zur Obduktion gewährleistet.<sup>10, 12</sup> Auch die quantitative Erfassung von Dichtewerten in Körpergeweben, wie der Leber, tragen zur Objektivität der Befundinterpretation bei, da sie keiner «subjektiven», durch die Erfahrung des Untersuchers abhängigen Einschätzung unterliegen.<sup>10</sup>

Die postmortale Computertomographie ist ebenso ein ausgezeichnetes Untersuchungsverfahren, um Gasansammlungen im Organparenchym, wie der Leber, bzw. im Gefäßsystem und deren Entwicklung im zeitlichen Verlauf zu detektieren. Durch die Anwendung eines definierten Quantifizierungsschemas der Gasansammlungen ist es möglich diese mengenmäßig zu erfassen bzw. zu graduieren.

Außerdem ist nicht außer Acht zu lassen, dass bei unbekanntem infektiösen Krankheitsstatus der Leiche das Infektionsrisiko bei der Durchführung einer postmortalen Computertomographie erheblich geringer, wenn nicht vernachlässigbar, ist im Vergleich zur klassischen Autopsie.<sup>17</sup>

Ein limitierender Faktor auf dem Gebiet der forensischen Radiologie ist die begrenzte Verfügbarkeit computertomographischer Geräte in rechtmedizinischen Instituten bzw. die begrenzte Untersuchungskapazität in benachbarten radiologischen Instituten im Rahmen der täglichen klinischen Routine. Desweiteren setzt die Interpretation postmortaler CT-Bilder eine große Erfahrung hinsichtlich der radiologisch-forensischen Bildgebung voraus, da die Befunde oftmals nur sehr dezent ausgeprägt sind bzw. im Vergleich zur klinischen Bildgebung komplett anders gewertet werden. Intrahepatisches Gas ist z. B. bei lebenden Patienten als hochgradige Pathologie zu werten, beim Leichnam hingegen als postmortale Veränderung ohne pathologische Bedeutung zu betrachten.

Die postmortale Computertomographie erfasst die Dichteunterschiede der verschiedenen Körperstrukturen anhand ihrer Röntgenstrahlendurchlässigkeit und ermöglicht auf diese Weise eine Differenzierung. Es ist jedoch zu vermerken, dass bestimmte (pathologische) Organbefunde, wie eine Leberzirrhose, in einem fortgeschrittenen Stadium vorhanden sein müssen, um in der CT nachgewiesen werden zu können.<sup>1</sup> Dies zeigte sich auch in den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit, in denen in zwei Fällen (Fall 2 und 5) makroskopisch in der Autopsie eine Fettleber festgestellt wurde, jedoch computertomographisch nur in einem Fall (Fall 5) durch eine verminderte Parenchymdichte sichtbar war. Auch wenn es in der Literatur schon Ansätze gibt, um dieses Defizit durch CT-gesteuerte minimalinvasive Feinnadelbiopsie zu umgehen, fehlen in der reinen nicht-invasiven postmortalen CT-Diagnostik die zellulären Gewebeanforderungen aus den weiterführenden histologischen bzw. chemisch-toxikologischen Untersuchungen, die für die Sicherung der Diagnose im rechtsmedizinischen Gutachten essentiell sind.<sup>17</sup>

Ebenso von forensischem Interesse zur genaueren Beurteilung organspezifischer Gefäß- bzw. Gewebeveränderungen bedingt durch eine nicht-natürliche Ursache, wie z. B. die Lokalisation einer Blutung durch eine Stich- bzw. Schussverletzung, ist die postmortale CT-Angiographie. Dieses bildgebende Verfahren steht allerdings in seiner Entwicklung noch am Anfang. Auch wenn in der Literatur mehrere Ansätze zur Durchführung dieses Untersuchungsverfahrens beschrieben sind, fehlt bislang ein standardisiertes reproduzierbares Vorgehen bezüglich dem angewendeten Kontrastmittel, dem benötigten artifiziellen Perfusionsdruck, der Injektionstechnik bzw. -zeitpunktes oder der Notwendigkeit präinterventionell vorhandene postmortale Thromben aufzulösen.<sup>18-19, 40</sup>

Die postmortale Computertomographie stellt ein schnelles Explorationsverfahren dar, da sich die Untersuchungszeit zur Erfassung des gesamten Körpers auf weniger als eine Minute beläuft.<sup>2, 25</sup> Allerdings sollte hier nicht außer Acht gelassen werden, dass für die anschließende Befundinterpretation durch einen forensisch versierten Radiologen zusätzlich Zeit benötigt wird.

### **5.2.2 Vor-und Nachteile der Autopsie**

Die Autopsie ist eine zeitintensive Untersuchungsmethode. Dadurch, dass gesetzlich (§ 89 StPO) die Eröffnung aller drei Körperhöhlen (Kopf-, Brust- und Bauchhöhle) mit äußerer und innerer Besichtigung des Leichnams vorgeschrieben ist, beträgt die Untersuchungszeit im Durchschnitt zwischen 30 und 60 Minuten.<sup>7-8</sup>

Die Obduktion entspricht einer nicht reproduzierbaren Momentaufnahme der durchführenden Untersucher, in der die Begutachtung rein makroskopisch durch das Auge erfolgt und maßgeblich durch die Erfahrung der Untersucher, die Lagerung der Leiche und dem sukzessiven, destruktiven Prozedere der Autopsie bestimmt wird.<sup>10, 12</sup>

Der postmortale Befund intraparenchymatöser bzw. intravasaler Gasansammlungen kann mit diesem klassischen Explorationsverfahren auch erkannt werden. Allerdings können die Mengen nur semiquantitativ abgeschätzt und ihre Verteilung kaum beurteilt werden.<sup>16</sup>

Die Autopsie ist eine seit Jahrhunderten existierende Untersuchungsmethode, die im Laufe ihrer Geschichte durch die Entwicklung standardisierter Techniken als Grundlage vollständiger Befunderhebung und der langen Erfahrung eine stetige Qualitätskontrolle bzw. –steigerung durchschritten hat.<sup>9</sup>

Im Rahmen der äußeren Besichtigung können in der Autopsie durch direkte Inspektion des Leichnams neben Alter, Geschlecht, Konstitutionstyp, Körpergröße bzw. -gewicht, ethnische Herkunft, Ernährungs- bzw. Pflegezustand, auch besondere Merkmale wie Tätowierungen festgestellt bzw. Haut- und Weichteilverhältnisse beurteilt werden. Ebenso können in der Inspektion die frühen und späten Leichenveränderungen (Totenflecke, Totenstarre, Fäulnis) begutachtet werden.<sup>9</sup>

In der inneren Besichtigung der drei Körperhöhlen können eventuelle Pathologien direkt inspektorisch bzw. palpatorisch präzise beschrieben werden, ebenso das Vorhandensein von Fremdinhalten, die Beschaffenheit der Innenauskleidungen, die Intaktheit anatomischer Grenzen sowie die inneren Organe.

Nach der Organentnahme im Rahmen der Obduktion können die großen parenchymatösen Organe, wie die Leber, gewogen und Proben für eventuell notwendige Zusatzuntersuchungen aufbewahrt (=asserviert) werden. Außerdem können die einzelnen Organe sowohl bezüglich Oberfläche, Schnittfläche, Blutgehalt, Struktur als auch bezüglich Lagebeziehungen, Größe, Gestalt und Pathologien genau beurteilt werden.

In der klassischen Autopsie können zum einen gezielt Organproben für feingewebliche Untersuchungen, Blutproben aus peripheren Gefäßen, wie Oberschenkelvenenblut für die Alkohol- und Drogenbestimmung, zum anderen Proben aus Körperflüssigkeiten, wie Galle und Urin, gewonnen werden, die durch weiterführende toxikologisch-chemische Diagnostik die Ergebnisse der Autopsie komplettieren.<sup>9</sup>

## **5.3 Ergebnisse**

Um eine Interpretation der postmortalen CT-Befunde zu ermöglichen, war es u. a. das Ziel der vorgestellten Arbeit, die allgemeinen spezifischen postmortalen CT-Befunde, wie die Dichteänderung und Gasverteilung im Leberparenchym bzw. Gefäßsystem, im frühen postmortalen Intervall von 4 bis 55 Stunden zu analysieren.

### **5.3.1 Postmortale Dichteänderungen des Leberparenchyms**

Nach dem Tod kommt es zu einer Veränderung der vitalen physiologischen Konzentrations- und Druckgradienten des Körpers. Durch den Blutflussstopp nach eingetretenem Kreislaufstillstand unterliegen Blut und einzelne Körpergewebe dem Einfluss der Schwerkraft. Dieser Prozess wird als Hypostase bezeichnet. Die infolge der Schwerkraft einsetzenden Sedimentationsprozesse haben ein charakteristisches Erscheinungsbild. Die Kenntnis solcher Phänomene ist wichtig, um physiologische postmortale Befunde von pathologischen Organveränderungen unterscheiden zu können.

Das Plasma und die zellulären Komponenten des Blutes sinken postmortal ab und setzen sich im Gefäßsystem ab. Durch diese Art der Hämokonzentration entstehen die sogenannten Totenflecken der Haut (=Livores) bzw. der inneren Organe (=innere Livores), so auch im Kapillarsystem bzw. Parenchym der Leber. Kurz nach dem Tod fällt der durchschnittliche Druck im Gefäßsystem ab und gleicht mit 7 mmHg dem vitalen venösen Blutdruck. Somit übersteigt er zu Beginn nicht den kolloidosmotischen Druck des Plasmas.<sup>28 39</sup>

Dadurch, dass postmortal aber der Energiemangel sukzessive immer größer wird, kommt es im weiteren Verlauf zu einem Zusammenbrechen des vital osmotischen bzw. kolloidosmotischen Drucks im Gefäßsystem und Serum bzw. Elektrolyte diffundieren nach

und nach aus dem Gefäßlumen in das Interstitium. Infolgedessen steigt in den tiefgelegenen Körperregionen bzw. Organanteilen der Hämatokrit erheblich an. Auf diese Weise entstehen die sogenannten Totenflecken. Später diffundieren auch Makromoleküle aus dem Serum oder aus den Körperzellen wie der hämolytisch aus den Erythrozyten freigesetzte eisenhaltige rote Blutfarbstoff (=Hämoglobin) durch die autolysebedingt brüchigen Gefäßwände und intensivieren die Totenflecke im Gewebe.<sup>8, 39</sup>

Die Verdichtungseffekte durch die postmortalen Blutverschiebungen in den Gefäßsystemen bzw. im Parenchym der inneren Organe treten somit im frühen postmortalen Intervall in fast jeder Leiche auf.<sup>1, 4</sup> Somit könnte man annehmen, dass im fortgeschrittenen postmortalen Intervall bei in Rückenlage positioniertem Patienten die hinteren Leberanteile durch die Ausbildung eisenhaltiger (=röntgendichter) innerer Livores an Dichte zunehmen.<sup>35, 39</sup> Dies konnte in den Ergebnissen dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Die Dichtewerte, die in den Fällen 1, 2 und 5 gegen Ende des Untersuchungsintervalls im rechten posterioren Leberlappen signifikant oberhalb des Mittelwertes liegen, entsprechen «Ausreißern».

Das Leberparenchym enthält unter vitalen physiologischen Bedingungen einen hohen Wasseranteil. Daher bewegt es sich bei einer nativen, d. h. ohne i. v. KM (=intravenösem Kontrastmittel) durchgeführten CT-Untersuchung, hinsichtlich der Dichte auf der Hounsfield-Skala zwischen +40 und +60 HE.<sup>5, 15</sup> Postmortal kommt es durch die beschriebenen Mechanismen im hepatischen Kapillarbett zu einer Abfilterung des Blutplasmas und infolgedessen zu einer Zunahme des Flüssigkeitsanteils des Lebergewebes.<sup>39, 28</sup>

Die im anschließenden zeitlichen Verlauf einsetzenden Fäulnisprozesse können nicht nur zu einer zunehmenden Gasausbreitung im Gewebe führen, sondern auch zu einem zunehmenden Flüssigkeitsverlust und somit zu einer Verfestigung des Lebergewebes.<sup>9</sup>

Die vorgestellte Arbeit zeigte, dass die gemessenen Daten, im zeitlichen postmortalen Verlauf von 4 bis 55 Stunden in den Fällen 1 bis 4 in allen vier Leberteilbereichen nahezu vital physiologische Dichtewerte zwischen 30 und 50 HE ohne signifikante Veränderungen aufwiesen. Im fünften Fall lagen die gemessenen Dichtewerte zwischen 25 HE und 35 HE und zeigten im gesamten zeitlichen Verlauf ebenfalls keine signifikante Veränderung.

Der pathologische Befund einer Fettleber kann die Dichte des Leberparenchyms in der CT vermindern, da Fett in der Computertomographie grundsätzlich eine geringere Densität als Wasser aufweist.<sup>5, 15</sup> Dies ließ sich in den Ergebnissen der vorgestellten Arbeit auf den Fall 5 übertragen. In diesem Fall war in der Autopsie eine Fettleber festgestellt worden und die zuvor ermittelten Dichtewerte fielen ab der 1. Messung mit 25 bis höchstens 35 HE deutlich geringer aus als in den übrigen Fällen (1, 3 und 4), in denen in der Obduktion keine Fettleber diagnostiziert worden war. Allerdings muss hier ebenfalls angemerkt werden, dass nicht jede Fettleber in der Computertomographie detektierbar ist, wie im Fall 2 der Ergebnisse beschrieben. Im Fall 2 war in der Autopsie eine Fettleber festgestellt worden, die gemessenen Dichtewerte glichen im Mittel bzw. in ihrer Schwankungsbreite denen in den Fällen 1, 3 und 4 ohne diagnostizierte Fettleber.

### **5.3.2 Intrahepatische Gasverteilung**

Der charakteristische postmortale CT-Befund intrahepatischer Gasansammlungen, der erstmals von Yamazaki et al. und Shiotani et al. beschrieben wurde, konnte für das frühe postmortale Intervall (4-55 Stunden postmortal) ebenfalls in vier der fünf untersuchten Fälle nachgewiesen werden.<sup>13</sup> Da die Ätiologie der intrahepatischen Gasansammlungen noch

nicht ausreichend wissenschaftlich belegt ist, existieren in der Literatur unterschiedliche Hypothesen, um diesen postmortalen Befund zu erklären.

Nach Jackowski et al.<sup>26</sup>, ist erst eine Gasbildung durch Bakterien als relevantes Zeichen der Fäulnis zu betrachten, wenn sichere makroskopische Zeichen der Fäulnis, wie Grünverfärbung im rechten Unterbauch, bestehen. Die postmortale bakterielle Fäulnisgasbildung ist stark temperaturabhängig. Bei sehr hohen Temperaturen um die 40 °C oder höher (prämortale Sepsis, Sauna als Auffindungsort) kann sich diese innerhalb weniger Stunden entwickeln, bei moderaten Temperaturen innerhalb von Tagen und bei sehr niedrigen Temperaturen (unter dem Gefrierpunkt) auch erst nach Jahren.<sup>8-9, 13, 26</sup> Somit lässt sich die Theorie, dass intrahepatische Gasansammlungen durch natürliche Fäulnisprozesse hervorgerufen werden können, auf die Untersuchungsergebnisse im frühen postmortalen Intervall in den Fällen 1-4 übertragen. Alle vier Fälle wiesen 24 Stunden postmortal mit einer Durchschnittstemperatur von ca. 14 °C intrahepatische Gaseinschlüsse auf.

Dabei war das Vorhandensein bzw. die Verteilung der Gaseinschlüsse in den vier Leberbereichen unterschiedlich stark ausgeprägt. Die postmortalen Gasansammlungen zeigten sich in den vorliegenden Untersuchungen v. a. in der gesamten linken bzw. in der rechten anterioren Leberregion. Sebastia et al. machte in seiner Studie die gleiche Beobachtung. Auch er fand intrahepatische Gasansammlungen vorwiegend im linken Leberlappen und dem vorderen Teil des rechten Leberlappens.<sup>16</sup> Ebenso war die Gasverteilung im zeitlichen Verlauf der vorliegenden Untersuchungen auf der ventralen Seite dominanter ausgeprägt als auf der dorsalen Seite. Im rechten posterioren Leberbereich waren über das gesamte Zeitfenster keine bis nur wenige Gaseinschlüsse zu beobachten. Aufgrund dessen kann man sich der Hypothese Shiotanis et al. anschließen, dass die

unterschiedliche Gasverteilung in den einzelnen Leberteilbereichen bei einer sich in Rückenlage befindlichen Leiche auf den anatomischen Verlauf der Pfortader und die wirkende Schwerkraft zurückzuführen ist. Der umbilikale Anteil der Pfortader ist nach ventral ausgerichtet, während der querverlaufende Anteil nach dorsal verläuft. Der Ast des posterioren Leberbereichs ist dem posterioren Leberrand gegenübergestellt. Somit verteilt sich Gas unter dem Einfluss der Schwerkraft v. a. im linken und rechten anterioren Leberbereich.<sup>16</sup>

Infolge des Sauerstoff- bzw. Energiemangels kurz nach dem Tod kommen sämtliche Schutzmechanismen zum Erliegen und es beginnt die irreversible Selbstaflösung der Gewebe durch die körpereigenen Enzyme. Die durch diesen Prozess der Autolyse herbeigeführte Schleimhautschädigung ermöglicht der physiologischen Darmflora, die nun als Fäulnisflora bezeichnet wird, den Übertritt in das Gefäß-/Lymphsystem und weiter in die Körpergewebe. Die anaeroben Bakterien der Fäulnisflora, wie Proteus-/Coli-Spezies bzw. Bacillus subtilis, führen dort durch ihren Proteinkatabolismus zur Gasbildung. Auf diese Weise kann Gas zum einen über das Kapillarnetz des Darmes bzw. die Vena mesenterica superior, die Pfortader und somit das Leberparenchym<sup>16</sup>, zum anderen über die Lymphbahnen, den linken Venenwinkel/ linke V. brachiocephalica, rechten Herzvorhof über die V. cava inferior die Lebervenen erreichen.<sup>41</sup>

Heimesaat et al. konnte in einer biotechnologischen Studie zeigen, dass der signifikanteste Anstieg des Bakterienwachstums im Bereich der Leber ab der 12. postmortalen Stunde und sein Maximum bei 72 Stunden postmortem lag. Er beimpfte hierfür Mäuse mit menschlicher Darmflora und hielt sie zu Lebzeiten bei 21 °C Raumtemperatur. Postmortal entnahm er u. a. die Leber und die mesenterischen Lymphknoten und inkubierte diese bei einer Temperatur

von 37 °C für maximal 7 Tage.<sup>41</sup> In Anbetracht der Tatsache, dass während des gesamten Untersuchungszeitraumes der postmortalen CT-Langzeitanalyse die Abnahme der Körperkerntemperatur bzw. deren Angleich an die Außentemperatur durch stündliche Messung der rektalen Temperatur nicht erfasst wurde und die durchschnittliche Außentemperatur im postmortalen Zeitraum 14.6 °C betrug, lassen sich die Ergebnisse der biotechnologischen Studie nur eingeschränkt auf die Untersuchungsergebnisse der vorgestellten Arbeit übertragen. Um die 12. postmortale Stunde fand sich in den Fällen 1 und 2 eine Zunahme der Gasansammlungen (Fall 1: Klassifizierungsgrad 3a zu 3b und Fall 2: Klassifizierungsgrad 2 zu 3a), die im weiteren Verlauf konstant blieb (Fall 1) bzw. geringgradig weiter zunahm (Fall 2: Klassifizierungsgrad 3a zu 3b). Im Fall 3 war ab der 23. postmortalen Stunde eine geringfügige Zunahme der Gasakkumulationen zu verzeichnen (Klassifizierungsgrad 2 zu 3a), wohingegen die Gasansammlungen im Fall 4 ab der 25. postmortalen Stunde konstant blieben (Klassifizierungsgrad 2). Folglich lässt sich in den Fällen 1-4 ein Peak der intrahepatischen Gasverteilung erkennen. Nach Erreichen dieses Peaks bleibt die Ausprägung der intrahepatischen Gasansammlungen über das übrige Untersuchungsintervall konstant. Somit ist eine Korrelation des progredienten postmortalen Bakterienwachstums und des Gasverteilungsmusters im Bereich der Leber im frühen postmortalen Intervall möglich. Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage treffen zu können, müsste neben der Außentemperatur die Abnahme der Körperkerntemperatur bzw. deren Angleich an die Außentemperatur miterfasst werden, da das Bakterienwachstum temperaturabhängig ist.

Heimesaat et al. stellten ebenfalls fest, dass drei Stunden nach dem Tod bereits alle mesenterialen Lymphknoten-Kulturen positiv auf die physiologischen menschlichen

Darmkeime (Enterococcen, Lactobacillus, Bacteroides spp., ect.) waren.<sup>41</sup> Dies lässt sich auf die vorliegenden Untersuchungsergebnisse übertragen, da sich in den Fällen 1-4 hauptsächlich die Gasansammlungen im Bereich der Lebervenen zeigten (siehe S. 79).

Eine weitere Hypothese assoziiert das Auftreten von intrahepatischem Gas mit dem postmortal durch fortschreitende Gasentwicklung entstehenden Fäulnisgasemphysem im Gastrointestinaltrakt.

Die kurz nach dem Tod einsetzende Ischämie des Darmes induziert (wie oben beschrieben) Schleimhautdefekte, die die Permeabilität der Darmwand erhöhen. Dadurch kann Gas aus dem Darmlumen in das Gefäßlumen bzw. in die Lymphbahnen übertreten und über das Pfortadersystem bzw. die Lebervenen die Leber erreichen. Shiotani et al. konnten in ihrer Arbeit bei der Analyse 190 nichttraumatischer Todesfälle, zwei Stunden postmortal, einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Ausprägungsgrad der Darmaufblähung und dem Vorkommen von Pfortadergas belegen.<sup>16</sup> Auch wenn die Arbeitsgruppe um Jackowski diese signifikante Korrelation nicht bestätigen konnte, fand auch sie Gasansammlungen im Gefäßsystem im Bereich der Lebervenen in dem Teil ihres Patientenkollektivs, welcher nicht durch ein Trauma verstorben war. Somit erachtet sie ebenfalls die Theorie für möglich, dass postmortal durch den Auftrieb passiv ein retrograder Gastransport in die Lebervenen stattfindet, wenn die Leiche sich in Rückenlage befindet.<sup>13</sup> Auch diese Theorie deckt sich mit den vorliegenden Ergebnissen in den Fällen 1-3, die im frühen postmortalen Intervall möglicherweise im Zuge der zunehmenden Darmaufblähung ebenfalls eine geringfügige Zunahme der Gaseinschlüsse in den Lebervenen zeigten.

Da die postmortale gastrointestinale Aufblähung ebenso als wesentliche Komplikation ärztlicher Wiederbelebungsmaßnahmen gewertet wird, muss die Analyse des

Zusammenhangs zwischen einer durchgeführten Reanimation und dem Auftreten intrahepatischer Gaseinschlüsse ebenfalls in die Diskussion dieses postmortalen Phänomens mit einbezogen werden. Durch die künstliche Beatmung mittels Überdrucks gelangt nicht nur Luft durch die Luftröhre in die Bronchien, sondern auch in beträchtlicher Menge durch die Speiseröhre in den gesamten Verdauungstrakt, der dadurch für eine gewisse Zeitspanne künstlich aufgebläht wird. Für Jackowski schien in einigen Fällen von natürlichem Tod die ärztliche Wiederbelebung sogar der einzig erkennbare Mechanismus für den Gasübertritt in das Gefäßsystem zu sein.<sup>13, 16</sup> Da in drei der fünf untersuchten Fälle (Fall 1, 2 und 4) ärztliche Wiederbelebungsmaßnahmen vorausgegangen waren und diese Fälle ebenfalls ab der 1. Messung intrahepatische Gasansammlungen auf den postmortalen CT-Bildern aufwiesen, kann auch dieser Hypothese zugestimmt werden.

Die Theorie, dass Gas vom Duodenum durch die postmortale Erschlaffung des Schließmuskels der Papilla Vateri über die extrahepatischen Gallenwege die Leber erreicht, konnte in den vorliegenden Untersuchungen für das frühe postmortale Intervall nicht belegt werden, da sich die Gallenwege im gesamten zeitlichen Verlauf auf den CT-Bildern frei von Gas zeigten. Dies stellten Jackowski et al. in ihren Untersuchungen ebenfalls fest.<sup>13</sup>

### **5.3.3 Additiver Nutzen der postmortalen CT bezüglich der Todeszeitpunkteinschätzung**

Die Grundlage der Todeszeiteinschätzung bilden Körperbefunde, die im postmortalen Verlauf einer charakteristischen Entwicklung bzw. Zeitdynamik unterliegen. Dazu zählen in der rechtsmedizinischen klinischen Routine u. a. die Ausprägung der frühen bzw. späten Leichenveränderungen und die Körperkerntemperatur.<sup>7-9</sup>

Eine zentrale Frage der vorgestellten Arbeit war es, zu analysieren, ob es möglich ist, spezifische postmortale CT-Befunde, wie Dichteveränderungen bzw. Gasansammlungen im Lebergewebe, in einem bestimmten zeitlichen Fenster zu definieren, um daraus Rückschlüsse auf den Todeszeitpunkt ziehen zu können.

Die gemessenen Daten der Dichtewerte im Leberparenchym wiesen im zeitlichen postmortalen Verlauf von 4 bis 55 Stunden in den Fällen 1 bis 4 in allen vier Leberteilbereichen nahezu vital physiologische Dichtewerte zwischen 30 und 50 HE ohne signifikante Veränderungen auf. Im Fall 5 lagen die gemessenen Dichtewerte zwischen 25 HE und 35 HE und zeigten im gesamten zeitlichen Verlauf ebenfalls keine signifikante Veränderung.

Durch weiterführende Untersuchungen des fortgeschrittenen postmortalen Intervalls (>55h) könnte verifiziert werden, ob bei einer in Rückenlage positionierten Leiche die hinteren Leberanteile durch die Ausbildung eisenhaltiger (=röntgendichter) innerer Livores im weiteren Verlauf signifikant an Dichte zunehmen.<sup>35, 39</sup> Auf diese Weise könnte man das frühe und fortgeschrittene postmortale Zeitfenster computertomographisch deutlicher definieren bzw. eingrenzen. Dies konnte in den vorliegenden Ergebnissen für das postmortale Intervall von 4 bis 55h nicht nachgewiesen werden. Die Dichtewerte, die in den Fällen 1, 2 und 5 gegen Ende des Untersuchungsintervalls im rechten posterioren Leberlappen signifikant oberhalb des Mittelwertes lagen, entsprechen am ehesten «Ausreissern».

Ebenso von Interesse für die Einschätzung des Todeszeitpunktes kann der charakteristische postmortale CT-Befund intrahepatischer Gasansammlungen, wie er in vier der fünf untersuchten Fälle zu finden war, bzw. seine Verteilung und Ausbreitung im frühen postmortalen Intervall sein. In dem Zeitfenster von 4 bis 55 Stunden konnte beobachtet

werden, dass die Ausprägung bzw. Verteilung der intrahepatischen Gasansammlungen im gesamten linken und anterioren rechten Leberteilbereich geringfügig zunahm, während im rechten posterioren Bereich keine bis nur sehr wenige Gaseinschlüsse zu sehen waren. Unter der Annahme, dass die ventrale Dominanz der Gasverteilung in diesem frühen postmortalen Intervall bei einem sich in Rückenlage befindlichen Leichnam auf den anatomischen Verlauf der Pfortader bzw. die Schwerkraft zurückzuführen ist, ist es ebenfalls möglich, dass es im weiteren zeitlichen Verlauf auch im hinteren rechten Leberteilbereich zu einer Vermehrung der Gaseinschlüsse kommt.<sup>16</sup> Somit könnte man das Fehlen von Gaseinschlüssen im rechten posterioren Leberbereich bzw. deren geringe Ausprägung in Relation zu den übrigen Teilbereichen einem bestimmten abgelaufenen postmortalen Zeitfenster zuordnen und könnte einen zusätzlichen Aspekt in Bezug auf die grobe Einschätzung des Todeszeitpunktes liefern.

Von essentieller Bedeutung zum Verständnis des Phänomens (früher/später) postmortaler Gasansammlungen - bzw. deren Nutzen hinsichtlich der Todeszeitpunkteinschätzung - sind die Identifikation bzw. Kenntnis ihrer Herkunft, Ausbreitungswege und Dynamik.

Insgesamt kann man sagen, dass sich mithilfe der modernen Technologie der postmortalen Computertomographie in der rechtsmedizinischen klinischen Routine erste additive Informationen bezüglich der groben Einschätzung der Todeszeit gewinnen lassen. Es müssen jedoch noch weitere Untersuchungen bezüglich der ersten Stunden postmortal bzw. des späten postmortalen Intervalls erfolgen, um die computertomographischen postmortalen Leichenveränderungen (Dichteveränderungen und Gasverteilungsmuster) präzise zu charakterisieren und zeitlich zu definieren.

Zudem ist ein limitierender Faktor der Arbeit das gewählte «Patientenkollektiv». Dieses setzt sich zum einen nur aus einer geringen Fallzahl zusammen und beinhaltet zum anderen ausschließlich männliche Leichen. Statistisch gesehen wirkt sich ein größerer Stichprobenumfang positiv auf die Repräsentativität aus, da sich nach dem Gesetz der großen Zahlen die Genauigkeit einer Erhebung mit der Zahl der Elemente in einer Stichprobe erhöht.<sup>42-44</sup> Somit ist der Stichprobenumfang der vorgestellten Arbeit mit einer Fallzahl von fünf zu gering, um eindeutige repräsentative bzw. statistisch auswertbare Ergebnisse zu erzielen. Dadurch, dass nur Daten männlicher Leichen in die Auswertung mit einfließen, fehlen darüber hinaus Informationen über eventuelle intergeschlechtliche Unterschiede. Somit sollte in weiterführenden Untersuchungen das «Patientenkollektiv» sowohl numerisch als auch genderspezifisch erweitert werden. Aufgrund des enormen Untersuchungsaufwandes (Kosten, Personal, Verfügbarkeit des CT-Gerätes), wurden in dieser Arbeit nur fünf Fälle untersucht.

## **6. Zusammenfassung**

In der vorgestellten klinisch prospektiven Arbeit wurden fünf männliche Leichen, die innerhalb der letzten 48 Stunden durch eine nicht-natürliche bzw. ungeklärte nicht-traumatisch bedingte Todesursache verstorben waren, an einem 64-Zeilen Computertomographen im zeitlichen Verlauf von mindestens 24 Stunden untersucht. Während eines Zeitraums von mindestens 24 Stunden wurden stündlich native Ganzkörper-CT-Scans an jeder Leiche durchgeführt, die anschließend in der klassischen Autopsie standardmäßig zum Vergleich untersucht wurden. Ein besonderes Augenmerk wurde in dieser Arbeit auf die Dichteänderungen bzw. die Gasverteilung im Lebergewebe innerhalb des untersuchten frühen postmortalen Intervalls von 4 bis 55 Stunden gelegt, um den möglichen Einfluss dieser beiden Variablen im Hinblick auf die Eingrenzung des Todeszeitpunktes zu untersuchen.

Zu den Stärken dieser nichtinvasiven Untersuchungsmethode zählen neben dem geringeren Infektionsrisiko für den Rechtsmediziner die Möglichkeit der Datenabsicherung bzw. ihrer Reproduzierbarkeit und die Objektivität der Befundbeurteilung. Außerdem stellt sie ein ausgezeichnetes Werkzeug zur Detektion von Gaseinschlüssen in Organgeweben oder Gefäßsystemen dar.

Defizite dieses Explorationsverfahrens im forensischen Bereich sind zum einen die noch begrenzte Verfügbarkeit von computertomographischen Geräten an den rechtsmedizinischen Instituten, die nötige Erfahrung hinsichtlich der radiologisch-forensischen Bildinterpretation bei oftmals nur dezent angedeuteten Befunden und zum anderen der insuffiziente Nachweis von Befunden, wie z. B. einer Leberzirrhose, die oft unterhalb einer bestimmten Nachweisgrenze liegen. Desweiteren fehlt der nicht-invasiven

Computertomographie die Möglichkeit einer Gewinnung zellulärer Gewebeeinformation für die weiterführenden histologischen bzw. chemisch-toxikologischen Untersuchungen bzw. die Beurteilung der Farbe und Konsistenz des Organparenchyms, um die rechtsmedizinische Diagnose abzusichern. Auch wenn es in der Literatur schon Ansätze gibt, durch CT-gesteuerte minimal-invasive Feinnadelbiopsie oder postmortale Angiographie, Informationsdefizite der nativen postmortalen Computertomographie zu überwinden, stehen diese Verfahren noch am Anfang ihrer Entwicklung bzw. kann zum Teil der wirkliche Einsatz in der Routine kritisch hinterfragt werden.

Anhand der vorgelegten Studienergebnisse kann festgestellt werden, dass die Dichte des Leberparenchyms im zeitlichen postmortalen Verlauf von 4 bis 55 Stunden in allen fünf Fällen in allen vier Leberteilbereichen keine signifikanten Veränderungen zeigte. Die Fälle 1 bis 4 zeigten in den Leberregionen im gemessenen Zeitfenster nahezu vital physiologische Dichtewerte zwischen 30 und 60 HE. Im fünften Fall fielen die ermittelten Dichtewerte ab der ersten Messung mit 25 bis höchstens 35 HE deutlich geringer aus. Dies kann am ehesten mit dem in der Autopsie festgestellten Befund einer Fettleber erklärt werden.

Eine Dichtezunahme im fortgeschrittenen postmortalen Intervall im Bereich der hinteren Leberanteile bei in Rückenlage positioniertem Patienten im Sinne der Ausbildung eisenhaltiger (=röntgendichter) innerer Livores konnte in den Ergebnissen der vorgestellten Arbeit nicht nachgewiesen werden.<sup>35, 39</sup> Die Dichtewerte, die in den Fällen 1, 2 und 5 gegen Ende des Untersuchungsintervalls im rechten posterioren Leberlappen signifikant oberhalb des Mittelwertes lagen, entsprechen «Ausreißern».

Das Vorhandensein bzw. die Verteilung der Gaseinschlüsse war in den Untersuchungen in den vier Leberbereichen unterschiedlich stark ausgeprägt. Die postmortalen

Gasansammlungen zeigten sich v. a. in der gesamten linken bzw. in der rechten anterioren Leberregion. Sie nahmen im obengenannten Untersuchungsintervall von vereinzelt Gasbläschen auf einige konfluierende Gasbläschen zu. Ebenso war die Gasverteilung im zeitlichen Verlauf der Untersuchungen auf der ventralen Seite dominanter ausgeprägt als auf der dorsalen Seite. Im rechten posterioren Leberbereich waren über das gesamte Zeitfenster keine bis nur wenige Gaseinschlüsse zu beobachten. Diese Ergebnisse der intrahepatischen Gasverteilung können auf den anatomischen Verlauf der Pfortader bzw. die Schwerkraft bei Position der Leiche in Rückenlage zurückgeführt werden.<sup>16</sup> Die Theorie des postmortalen passiven retrograden Gastransports in die Lebevenen durch das progrediente Fäulnisgasemphysem im Gastrointestinaltrakt<sup>13</sup>, bedingt durch die postmortal einsetzenden bakteriellen Fäulnisprozesse (Fall 1-3) bzw. die Folge vorausgegangener ärztlicher Wiederbelebungsmaßnahmen (Fall 1, 2, 4) mittels Überdruck<sup>13, 16</sup>, kann durch die Ergebnisse der vorgestellten Arbeit bestätigt werden. In diesen Fällen zeigten sich ab der ersten CT-Untersuchung intrahepatische Gasansammlungen, die v. a. in den Lebervenen zu finden waren. Die Theorie, dass Gas vom Duodenum durch die postmortale Erschlaffung des Schließmuskels der Papilla Vateri über die extrahepatischen Gallenwege die Leber erreicht, konnte in den Untersuchungen für das frühe postmortale Intervall nicht belegt werden, da sich die Gallenwege im gesamten zeitlichen Verlauf auf den CT-Bildern frei von Gas zeigten. Eine Korrelation des progredienten postmortalen Bakterienwachstums<sup>41</sup> und des Gasverteilungsmusters im Bereich der Leber im frühen postmortalen Intervall ist möglich. Um eine wissenschaftlich fundierte Aussage diesbezüglich treffen zu können, müsste allerdings in weiterführenden Untersuchungen neben der Außentemperatur die Abnahme

der Körperkerntemperatur bzw. deren Angleich an die Außentemperatur miterfasst werden, da das Bakterienwachstum temperaturabhängig ist.

Die gemessenen Daten der Dichtewerte im Leberparenchym der vorgestellten Arbeit wiesen im zeitlichen postmortalen Verlauf von 4 bis 55 Stunden (Fällen 1-4) in allen vier Leberteilbereichen nahezu vital physiologische Dichtewerte zwischen 30 und 50 HE ohne signifikante Veränderungen auf. Im Fall 5 lagen die gemessenen Dichtewerte zwischen 25 HE und 35 HE, dies am ehesten durch eine Fettleber bedingt. Auch in diesem Fall zeigte sich im gesamten zeitlichen Verlauf ebenfalls keine signifikante Veränderung. Durch weiterführende Untersuchungen des fortgeschrittenen postmortalen Intervalls (>55h) könnte verifiziert werden, ob bei in Rückenlage positioniertem Patienten die hinteren Leberanteile durch die Ausbildung eisenhaltiger (=röntgendichter) innerer Livores im weiteren Verlauf signifikant an Dichte zunehmen.<sup>35, 39</sup> Auf diese Weise könnte das frühe und fortgeschrittene postmortale Zeitfenster computertomographisch deutlicher definiert bzw. eingrenzt werden.

Insgesamt können mithilfe der modernen Technologie der postmortalen Computertomographie in der rechtsmedizinischen klinischen Routine additive Informationen bezüglich der groben Einschätzung der Todeszeit gewonnen werden. Es müssen jedoch noch weitere Untersuchungen bezüglich des unmittelbar nach dem Tod eintretenden Zeitraumes bzw. des späten postmortalen Intervalls erfolgen, um die computertomographischen postmortalen Leichenveränderungen (Dichteveränderungen und Gasverteilungsmuster) präzise zu charakterisieren und zeitlich definieren zu können. Es ist nicht zu erwarten, dass in naher oder ferner Zukunft bezüglich der Einschätzung des Todeszeitpunktes auf eine entsprechende forensische Evaluation verzichtet werden kann, auch wenn mithilfe der PMCT neben dem Aspekt der Eingrenzung des Todeszeitpunktes weiterführende, für den

Rechtsmediziner wertvolle allgemeine Informationen wie z. B. Fremdkörperdetektion o. ä. gewonnen werden können.

## **7. Literaturverzeichnis**

1. Poulsen K, Simonsen J. Computed tomography as routine in connection with medico-legal autopsies. *Forensic Sci Int* 2007;171:190-7.
2. Thali M, Schweitzer W, Yen K. New horizons in forensic radiology: the 60-second digital autopsy-full-body examination of a gunshot victim by multislice computed tomography. *Am J Forensic Med Pathol* 2003;24:22-7.
3. Schmidt T, ed. *Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenschutz*. Berlin, Heidelberg, New York; 2001; 84-101.
4. Thali M, Yen K. Charred Body: Virtual Autopsy with Multi-slice Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging. *J Forensic Sci* 2002;47:1326-31.
5. Reiser M, Debus J, ed. *Radiologie*. Stuttgart; 2006; 2-24, 79-83.
6. Reiser M, Modic M, Bruening R, ed. *Multislice-CT*. Berlin, Heidelberg, New York; 2001; 1-20.
7. Madea B, ed. *Praxis Rechtsmedizin*. Heidelberg; 2007; 9-13, 65-69.
8. Penning R, ed. *Rechtsmedizin systematisch*. Bremen; 2006; .25-30, 37-45.
9. Brinkmann B, ed. *Handbuch gerichtliche Medizin*. Berlin, Heidelberg, New York; 2004; 27-36; 56-65.
10. Thali M, Yen K, Schweitzer W. Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI)--a feasibility study. *J Forensic Sci* 2003;48:386-403.
11. Sidler M, Jackowski C, Dirnhofer R. Use of multislice computed tomography in disaster victim identification--advantages and limitations. *Forensic Sci Int* 2007;169:118-28.
12. Thali M, Jackowski C, Oesterhelweg L. VIRTOPSY - the Swiss virtual autopsy approach. *Leg Med (Tokyo)* 2007;9:100-4.
13. Jackowski C, Sonnenschein M, Thali M. Intrahepatic gas at postmortem computed tomography: forensic experience as a potential guide for in vivo trauma imaging. *J Trauma* 2007;62:979-88.
14. Yamazaki K, Shiotani S, Ohashi N. Comparison between computed tomography (CT) and autopsy findings in cases of abdominal injury and disease. *Forensic Sci Int* 2006;162:163-6.
15. Jackowski C, Thali M, Buck U. Noninvasive estimation of organ weights by postmortem magnetic resonance imaging and multislice computed tomography. *Invest Radiol* 2006;41:572-8.
16. Shiotani S, Kohno M, Ohashi N. Postmortem computed tomographic (PMCT) demonstration of the relation between gastrointestinal (GI) distension and hepatic portal venous gas (HPVG). *Radiat Med* 2004;22:25-9.

17. Aghayev E, Thali MJ, Sonnenschein M, Jackowski C, Dirnhofer R, Vock P. Post-mortem tissue sampling using computed tomography guidance. *Forensic Sci Int* 2007;166:199-203.
18. Grabherr S. Postmortem Angiography: Review of Former and Current Methods. *American Journal of Roentgenology* 2007;188:832-8.
19. Ross S. Postmortem Whole-Body CT Angiography: Evaluation of Two Contrast Media Solutions. *American Journal of Roentgenology* 2008;190:1380-9.
20. Sochor MR, Trowbridge MJ, Boscak A, Maino JC, Maio RF. Postmortem computed tomography as an adjunct to autopsy for analyzing fatal motor vehicle crash injuries: results of a pilot study. *J Trauma* 2008;65:659-65.
21. Thali M, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross SG, Dirnhofer R. VIRTOPSY - the Swiss virtual autopsy approach. *Leg Med (Tokyo)* 2007;9:100-4.
22. Yen K . Postmortem forensic neuroimaging correlation of MSCT and MRI findings with autopsy results. *Forensic Sci Int* 2007;173:21-35.
23. Donchin Y. Utility of postmortem computed tomography in trauma victims. *J Trauma* 1994;37:552-6.
24. Scholing M. The value of postmortem CT as an alternative for autopsy in trauma victims a systemic review. *Eur Radiol* 2009;19:2333-41.
25. Thali M. Into the decomposed body-forensic digital autopsy using multislice-computed tomography. *Forensic Sci Int* 2003:109-14.
26. Jackowski C, Schweitzer W, Thali M. Virtopsy: postmortem imaging of the human heart in situ using MSCT and MRI. *Forensic Sci Int* 2005;149:11-23.
27. Shiotani S, Kohno M, Ohashi N. Dilatation of the heart on postmortem computed tomography (PMCT): comparison with live CT. *Radiat Med* 2003;21:29-35.
28. Shiotani S, Kohno M, Ohashi N. Non-traumatic postmortem computed tomographic (PMCT) findings of the lung. *Forensic Sci Int* 2004;139:39-48.
29. Electronics KP. homepage ©2004-2010 Koninklijke Philips Electronics N.V. All rights reserved.
30. Haaga JR, ed. *Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of the whole body*. 3. ed. St. Louis, Missouri; 1994; 3-25.
31. Kauffmann GW, Sauer R, ed. *Radiologie*. München, Jena; 2006; 103-108.
32. Reiser M, Kuhn F, Debus J, eds. *Radiologie*. Stuttgart; 2006; 2-24, 79-83.
33. Hofer M, ed. *CT-Kursbuch*; 2008; 6-17.
34. Jackson SA RMT, ed. *CT, MRT, Ultraschall auf einen Blick*; 2009; 3-16.
35. Seibt W, ed. *Physik für Mediziner*. Stuttgart; 2009; 52.
36. Stroppe H, ed. *Physik für Studierende des Natur- und Ingenieurwesens*. Leipzig,München; 2008; 138-141.

37. Haas U, ed. Physik für Pharmazeuten und Mediziner. Stuttgart; 2002; 162-165, 172-173.
38. Oyake Y, Aoki T, Shiotani S. Postmortem computed tomography for detecting causes of sudden death in infants and children: retrospective review of cases. Radiat Med 2006;24:493-502.
39. Jackowski C, Thali M, Aghayev E. Postmortem imaging of blood and its characteristics using MSCT and MRI. Int J Legal Med 2006;120:233-40.
40. Bollinger S. Postmortem Imaging-Guided Biopsy as an Adjuvant to Minimally Invasive Autopsy With CT and Postmortem Angiography: A Feasibility Study. American Journal of Roentgenology 2010;195:1051-6.
41. Heimesaat M. Comprehensive Postmortem Analyses of Intestinal Microbiota Changes and Bacterial Translocation in Human Flora Associated Mice. Plos one 2012;7:S. 1-18.
42. Weiß C, ed. Basiswissen Medizinische Statistik. Heidelberg; 2008; 157-159.
43. Trampisch H, Windeler J, eds. Medizinische Statistik. Heidelberg; 1997; 25-28.
44. Sachs L, Hedderich J, eds. Angewandte Statistik. Heidelberg; 2006; 241-243.

## **8. Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Messparameter der postmortalen Computertomographie.....	19
Tabelle 2: Zeitspanne der Leichenaufbewahrungsorte bzw. Mittelwerte der Außentemperatur.....	27
Tabelle 3: Klassifikation der Gasverteilung .....	37
Tabelle 4: Beispiel zur Tabellendarstellung der Daten bezüglich der Gasverteilung anhand von Fall 2 .....	38
Tabelle 5: Informationen zu den eingeschlossenen Leichen .....	41
Tabelle 6: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 1.....	43
Tabelle 7: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 2.....	45
Tabelle 8: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 3.....	47
Tabelle 9: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 4.....	49
Tabelle 10: Dichtemesswerte in HE der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 5.....	51
Tabelle 11: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 1 .....	53
Tabelle 12: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 2 .....	54
Tabelle 13: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 3 .....	55
Tabelle 14: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 4 .....	56
Tabelle 15: Wertetabelle zur Gasverteilung in Fall 5 .....	57
Tabelle 16: Ergebnisse in Fall 1 .....	63
Tabelle 17: Ergebnisse in Fall 2 .....	64
Tabelle 18: Ergebnisse in Fall 4 .....	65
Tabelle 19: Ergebnisse in Fall 5 .....	66

## **9. Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Computertomograph Typ «Philips Brilliance 64» <sup>29</sup> .....	12
Abbildung 2: Spiralförmige Abtastbewegung im Spiral-CT <sup>32</sup> .....	13
Abbildung 3: Eingrenzung der Röntgenstrahlen durch Kollimatoren <sup>33</sup> .....	14
Abbildung 4: Entstehung der zweidimensionalen Transversalschnitte <sup>33</sup> .....	17
Abbildung 5: Pitch-Faktor <sup>34</sup> .....	18
Abbildung 6 : Abkühlkurven zentraler Messstellen von Rektum, Oberschenkel, Oberarm, Daumenballen (von oben nach unten) einer Leiche von 66.5kg in 12°C Umgebungstemperatur; Abszisse: Zeit in hpm; Ordinate: Temperatur in °C <sup>30</sup> .....	25
Abbildung 7: Sigmoidale Abkühlkurve und Zweixponentenmodell, Abszisse: Zeit in h, Ordinate: Temperatur in °C <sup>30</sup> .....	26
Abbildung 8: ROI-Messkreise im Bereich des linken lateralen Leberlappens, A=Artefakte ....	34
Abbildung 9: ROI-Messkreise im Bereich des rechten posterioren Leberlappens, A=Artefakte .....	36
Abbildung 10: ROI-Messkreise im Bereich des rechten anterioren Leberlappens, A=Artefakte .....	36
Abbildung 11: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 1 .....	42
Abbildung 12: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 2 .....	44
Abbildung 13: Dichteänderungen der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 3 .....	46
Abbildung 14: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 4 .....	48
Abbildung 15: Dichtemesswerte der Leber im zeitlichen Verlauf in Fall 5 .....	50
Abbildung 16: Intrahepatische Gasverteilung anhand des Beispiels von Fall 3 nach 0h, 6h und 12h postmortal (von oben nach unten) .....	58

## **10. Danksagung**

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Betreuerin PD Dr. med. S. Kirchhoff bedanken, Fachärztin am Institut für Klinische Radiologie der LMU München, die mir jederzeit mit konstruktiver Kritik bzw. Rat und Tat bei der Verwirklichung dieser Arbeit zur Seite stand.

Ebenso möchte ich mich bei meinem Betreuer PD Dr. med. O. Peschel, Oberarzt am Institut für Rechtsmedizin der LMU München, bzw. bei meinem promovierten Betreuer Dr. med. F. Fischer, Arzt am Institut für Rechtsmedizin der LMU München, für ihre konstruktive Kritik bzw. Unterstützung während der CT-Untersuchungen bedanken.

Mein Dank geht an Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, Direktor des Instituts für klinische Radiologie, ebenso wie an Prof. Dr. med. Graw, Leiter des rechtsmedizinischen Instituts der LMU München, an deren Instituten diese Arbeit entstanden ist.

Weiterer Dank gilt allen Mitarbeitern der radiologischen CT-Abteilung Ziemsenstraße Campus Innenstadt ebenso wie des rechtsmedizinischen Institutes der LMU München, die mit ihrer helfenden Hand einen nicht unerheblichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Dank gilt auch meiner Kommilitonin Cornelia Simbeck, die bei der Durchführung der Messungen und Auswertungen für diese Arbeit erheblich beigetragen hat.

An dieser Stelle möchte ich es auch nicht versäumen mich bei meinen Freunden Alessandra T., Leni E. und Flo M. für ihre unendliche Geduld und konstruktive Kritik zu bedanken ebenso wie bei K. A. für die fortlaufende Motivation.

Und der größte Dank gilt euch...

Meinen Eltern Jacqy und Wolfgang und meinem Bruder Laurent

Ghazaleh, 143

Meiner Liebe Roman

Marco

Anja

## **11. Eidesstattliche Versicherung**

**Name, Vorname:** Tauber, Julie

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

« Langzeitanalyse von Leberparenchymveränderungen anhand postmortaler Computertomographien als zusätzliches Kriterium zur Todeszeitpunkteinschätzung» selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

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

**München, den 16.10.2014**

**Ort, Datum**

**Unterschrift Doktorandin**