

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Postmortale Computertomographie

-

Ein notwendiges Instrumentarium bei der rechtsmedizinischen Beurteilung  
von Todesfällen im Zusammenhang mit scharfer Gewalt?

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Frederick Haase

aus: Oldenburg (Oldb)

Datum der Promotion: 25.06.2017

# Inhaltsverzeichnis

	Abkürzungsverzeichnis .....	III
	Tabellenverzeichnis .....	IV
	Abbildungsverzeichnis .....	VI
1	Einleitung .....	5
1.1	Obduktion .....	5
1.2	postmortale Computertomographie .....	7
1.2.1	Grundlagen der Computertomographie .....	7
1.2.2	Einsatz in der Rechtsmedizin.....	11
1.3	Scharfe Gewalt .....	15
1.3.1	Definition scharfer Gewalt.....	15
1.3.2	Relevanz scharfer Gewalt.....	15
1.3.3	Befunderhebung bei scharfer Gewalt .....	16
1.4	Forschungsstand: pmCT bei Opfern scharfer Gewalt.....	21
1.5	Fragestellung der vorliegenden Arbeit.....	22
1.5.1	Ziel der Arbeit .....	22
1.5.2	Betrachtungsumfang der Arbeit .....	22
2	Material und Methoden .....	25
2.1	Studienart .....	25
2.2	Studienpopulation.....	25
2.2.1	Auswahl der Studienfälle .....	25
2.2.2	Beschreibung der Studienpopulation .....	27
2.3	postmortale Computertomographie und Obduktion .....	33
2.3.1	computertomographische Datenerfassung .....	33
2.3.2	Obduktionsverfahren.....	34
2.4	Befunderhebung in vorliegender Studie .....	34
2.4.1	Software zur Auswertung der CT-Datensätze.....	35
2.4.2	Entscheidungskriterien über Vorliegen der Befunde .....	36
2.6	Darstellung und Auswertung der Ergebnisse .....	50
3	Ergebnisse .....	55
3.1	Hämatothorax.....	55
3.1.1	positive und ausgeschlossene Studienfälle .....	55
3.1.2	Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache) .....	56
3.1.3	Vergleich der ermittelten Blutvolumina .....	59
3.2	Hämaskos .....	60
3.2.1	positive und ausgeschlossene Studienfälle .....	60
3.2.2	Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache) .....	61

---

3.3	Hämoperikard.....	63
3.3.1	positive und ausgeschlossene Studienfälle .....	63
3.3.2	Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache) .....	64
3.3.3	Vergleich der ermittelten Blutvolumina .....	67
3.4	Pneumothorax .....	68
3.4.1	positive und ausgeschlossene Studienfälle .....	68
3.4.2	Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache) .....	69
3.5	Gasembolie .....	71
3.5.1	positive und ausgeschlossene Studienfälle .....	71
3.5.2	Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache) .....	72
3.6	Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen.....	76
3.6.1	positive Studienfälle.....	76
3.6.2	Vergleich der Befunderkennung .....	76
4	Diskussion.....	78
4.1	Diskussion der einzelnen Befunde .....	78
4.1.1	Hämatothorax .....	78
4.1.2	Hämaskos.....	81
4.1.3	Hämoperikard .....	83
4.1.4	Pneumothorax .....	85
4.1.5	Gasembolie.....	87
4.1.6	Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen .....	91
4.2	zusammenfassende Betrachtung .....	92
4.2.1	Betrachtung der Befunde .....	92
4.2.2	Betrachtung der Volumenbestimmung.....	94
4.3	Begründung des Betrachtungsumfanges .....	96
4.4	Limitationen der Studie.....	97
4.5	Fazit.....	98
	Literaturverzeichnis .....	101
	Eidesstattliche Versicherung .....	112
	Lebenslauf.....	114
	Publikationsliste .....	115
	Danksagung.....	116

## Abkürzungsverzeichnis

<b>CT</b>	Computertomographie
<b>GE</b>	Gasembolie/n
<b>HE</b>	Hounsfield-Einheit/en
<b>HK</b>	Hämaskos
<b>HP</b>	Hämoperikard/e
<b>HT</b>	Hämatothorax/-ces
<b>KI</b>	Konfidenzintervall/e
<b>MinIP</b>	Minimumintensitätsprojektion
<b>MIP</b>	Maximumintensitätsprojektion
<b>MPR</b>	multiplanare Reformatierung
<b>MRT</b>	Magnetresonanztomographie
<b>NPW</b>	negativ prädiktiver Wert
<b>PACS</b>	Picture Archiving and Communication System
<b>pmCT</b>	postmortale Computertomographie
<b>PPW</b>	positive prädiktiver Wert
<b>PT</b>	Pneumothorax/-ces
<b>R<sup>2</sup></b>	Bestimmtheitsmaß
<b>ROI</b>	Region of Interest
<b>SEN</b>	Sensitivität
<b>SF</b>	Studienfall/-fälle
<b>SG</b>	scharfe Gewalt
<b>SPE</b>	Spezifität
<b>StPO</b>	Strafprozessordnung
<b>TU</b>	Todesursache
<b>VR</b>	Volume Rendering
<b>VWK</b>	Vertrauenswahrscheinlichkeit

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Studienpopulation und Charakteristika .....	32
Tabelle 2 - Studienfälle mit Hämatothorax in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT.....	56
Tabelle 3 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämatothorax mit SG als sichere Ursache .....	57
Tabelle 4 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämatothorax mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT .....	57
Tabelle 5 - Hämatothorax: Kenngrößen .....	58
Tabelle 6 - Hämatothorax: Volumenvergleich.....	59
Tabelle 7 - Hämatothorax: Volumenvergleich: Mittelwert und Abweichung der pmCT.....	59
Tabelle 8 - Studienfälle mit Hämaskos in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT .....	61
Tabelle 9 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämaskos mit SG als sichere Ursache .....	61
Tabelle 10 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämaskos mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT .....	62
Tabelle 11 - Hämaskos: Kenngrößen .....	62
Tabelle 12 - Studienfälle mit Hämoperikard in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT.....	64
Tabelle 13 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämoperikard mit SG als sichere Ursache.....	64
Tabelle 14 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämoperikard mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT.....	65
Tabelle 15 - Hämoperikard: Kenngrößen .....	65
Tabelle 16 - Hämoperikard: Volumenvergleich.....	67

---

Tabelle 17 - Hämoperikard: Volumenvergleich: Mittelwert und Abweichung der pmCT.....	67
Tabelle 18 - Studienfälle mit Pneumothorax in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT.....	69
Tabelle 19 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Pneumothorax mit SG als sichere Ursache.....	70
Tabelle 20 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Pneumothorax mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT.....	70
Tabelle 21 - Pneumothorax: Kenngrößen.....	71
Tabelle 22 - Studienfälle mit Gasembolie in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT.....	72
Tabelle 23 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Gasembolie mit SG als sichere Ursache.....	73
Tabelle 24 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Gasembolie mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT.....	73
Tabelle 25 - Gasembolie: Kenngrößen.....	74
Tabelle 26 - Studienfälle mit detektierten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) in Obduktion und/oder pmCT.....	76

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Computertomographie: 360°-Erfassung .....	8
Abbildung 2: CT-Scanner: Aufbau .....	9
Abbildung 3: scharfe Gewalt: rechtsmedizinisch relevante Fragen .....	17
Abbildung 4: Betrachtungsumfang der Studie .....	24
Abbildung 5: Flussdiagramm: Auswahl der Studienpopulation .....	27
Abbildung 6: Studienpopulation: Altersverteilung .....	28
Abbildung 7: Studienpopulation: Todesursachenverteilung .....	28
Abbildung 8: Studienpopulation: Anteil der Tötungsdelikte.....	29
Abbildung 9: Studienpopulation: Lokalisation der scharfen Gewalt .....	30
Abbildung 10: Studienpopulation: Grad der Fäulnis/Zersetzung.....	31
Abbildung 11: Hämatothorax: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien, Volumenbestimmung.....	37
Abbildung 12: pmCT: Entscheidungskriterien: Hämatothorax, auslösende Ereignisse.....	38
Abbildung 13: pmCT: Volumenbestimmung: Hämatothorax .....	39
Abbildung 14: Hämaskos: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien .....	40
Abbildung 15: pmCT: Entscheidungskriterien: Hämaskos, auslösende Ereignisse .....	41
Abbildung 16: Hämoperikard: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien, Volumenbestimmung.....	42
Abbildung 17: pmCT: Entscheidungskriterien: Hämoperikard, auslösende Ereignisse.....	43
Abbildung 18: pmCT: Volumenbestimmung: Hämoperikard .....	44
Abbildung 19: Pneumothorax: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien .....	45
Abbildung 20: pmCT: Entscheidungskriterien: Pneumothorax, auslösende Ereignisse.....	46

---

Abbildung 21: Gasembolie: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien .....	47
Abbildung 22: pmCT: Entscheidungskriterien: Gasembolie, auslösende Ereignisse .....	48
Abbildung 23: Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente): Entscheidungskriterien .....	49
Abbildung 24: pmCT: Entscheidungskriterien: Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) .....	50
Abbildung 25: Darstellung der Ergebnisse: Kontingenztafel .....	51
Abbildung 26: Beurteilung des Klassifikators: Kenngrößen .....	52
Abbildung 27: SF 6: pmCT: Hämatothorax ohne sichtbares ursächliches Ereignis .....	58
Abbildung 28: Hämatothorax: Vergleich der Volumenmessungen in pmCT und Obduktion .....	60
Abbildung 29: SF6: pmCT: Hämaskos ohne sichtbares ursächliches Ereignis .....	63
Abbildung 30: SF 38: pmCT: Hämoperikard .....	66
Abbildung 31: Hämoperikard: Vergleich der Volumenmessungen in pmCT und Obduktion .....	68
Abbildung 32: SF 11, 32: pmCT: kein Pneumothorax (links) .....	71
Abbildung 33: SF 28, 37, 38 (exemplarisch): pmCT: Gasembolien durch scharfe Gewalt .....	75
Abbildung 34: SF11, 32: pmCT: Waffendetektion und -visualisierung .....	77
Abbildung 35: SF 38: pmCT: Hämatothorax (links) .....	80
Abbildung 36: SF 2: pmCT: Stichkanal: Dokumentation .....	82
Abbildung 37: SF 5, 31: pmCT: Hämoperikard: Morphologie .....	83
Abbildung 38: SF 36, 37: pmCT: Gasembolie: MinIP- und 3D-Rekonstruktionsdarstellungen .....	88
Abbildung 39: SF 1: pmCT: Gasembolie .....	90

# Zusammenfassung

## Zusammenfassung in deutscher Sprache

### *Einleitung*

Bildgebende Diagnoseverfahren werden zunehmend für die postmortale Befunderhebung in der Rechtsmedizin genutzt und stellen eine vielversprechende Ergänzung und ggf. auch Alternative zur etablierten Obduktion dar. Für die Validierung dieser Verfahren als standardisierte Methoden der postmortalen Befunderhebung im rechtsmedizinischen Praxisgebrauch ist umfassende Forschungsarbeit notwendig. Die vorliegende Studie untersucht den Wert der postmortalen Computertomographie (pmCT) für die Befunderhebung und Begutachtung bei Opfern scharfer Gewalt.

### *Material und Methoden*

Die pmCT wird im Vergleich zum bisherigen Goldstandard der postmortalen Befunderhebung, der Obduktion, betrachtet. Die Obduktionsprotokolle und pmCT-Ganzkörperdatensätze von Opfern scharfer Gewalt wurden retrospektiv ausgewertet. Der Betrachtungsumfang umfasst die Beurteilung der durch scharfe Gewalt häufig verursachten Befunde (Hämatothorax, Hämaskos, Hämoperikard, Pneumothorax, Gasembolie) sowie der sie auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt. Für die Befunde Hämoperikard und Hämatothorax erfolgte ein Vergleich der Volumenmessungen. Darüber hinaus wurde die Detektion von Stich-/Schnittwaffen(-fragmenten) im Körpergewebe untersucht. In die Studie gingen 38 Studienfälle ein.

### *Ergebnisse*

Die pmCT ist der Obduktion in der Beurteilung von Hämatothoraces und größeren Hämaskos ebenbürtig, in der Beurteilung von Hämoperikarden, Pneumothoraces und Gasembolien überlegen. Schwächen zeigt die pmCT in der Detektion der auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt. Die pmCT ist geeignet, Hämatothoraces und Hämoperikarde volumetrisch hinreichend korrekt zu erfassen. In der Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen ist in die pmCT der Obduktion sicher ebenbürtig, wahrscheinlich sogar überlegen.

### *Schlussfolgerungen*

Aufgrund der forensischen Relevanz besteht in der Rechtsmedizin die Notwendigkeit, die postmortale Befunderhebung mit größtmöglicher Genauigkeit durchzuführen. Da die pmCT der Obduktion in mehreren Aspekten überlegen ist, stellt sie für die postmortale Befunderhebung von Opfern scharfer Gewalt eine notwendige Ergänzung zur Obduktion dar und sollte routinemäßig implementiert werden. Als alleinige Methoden der postmortalen Befunderhebung haben sowohl die pmCT als auch die Obduktion Nachteile.

## Abstract (english)

### *Introduction*

Diagnostic imaging methods are used increasingly in post-mortem examinations in forensic medicine and seem to be a promising addition and possible alternative to the traditional autopsy. Extensive research will be required to validate this process as a standard forensic post-mortem examination method. This study investigates the value of post-mortem computer tomography (pmCT) in the examination of sharp force injury victims.

### *Material and Methods*

pmCT is evaluated against autopsy, the current gold standard of post-mortem examination. Autopsy reports and whole body pmCT scan results of sharp force injury victims were evaluated retrospectively. The evaluation includes analysis of the causative events and the injuries commonly seen as a result of sharp force (haemothorax, haemoperitoneum, haemopericardium, pneumothorax, air embolism). In cases of haemopericardium and haemothorax, volume measurements were compared. In addition, the detection of the presence of a stabbing or cutting weapon (fragments) within body tissues was investigated. A total of 38 cases were included in the study.

### *Results*

pmCT is equal to autopsy in assessing haemothoraces and larger haemoperitoneums. It is superior in the assessment of haemopericardiums, pneumothoraces and air embolisms. pmCT shows weaknesses in detecting the causative events of sharp force injuries. pmCT is a suitable method for a sufficiently accurate volumetric measurement of haemothoraces and haemopericardiums. In detecting the presence of stabbing or cutting weapons pmCT is certainly as reliable as autopsy, presumably even superior to autopsy.

### *Take home points*

It is essential that post-mortem examinations in forensic medicine are carried out with the highest possible accuracy due to their forensic relevance. Since pmCT is superior to autopsy in several aspects, it is a necessary addition to autopsy as a post-mortem examination method in sharp force injury victims and should be employed routinely. Both

pmCT and autopsy have disadvantages when used as the only method of post-mortem examination.

# 1 Einleitung

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist die Evaluation des Einsatzes postmortalen Computertomographie (pmCT) in der rechtsmedizinischen Begutachtung von Todesfällen, die in Zusammenhang mit scharfer Gewalt (Stich- und/oder Schnittverletzungen) stehen. Die pmCT wird vergleichend zur traditionellen Methode der Befunderhebung, der Obduktion, betrachtet.

In den vergangenen 10 bis 15 Jahren wurden klinisch-etablierte, bildgebende Diagnoseverfahren zunehmend auch für rechtsmedizinische, insbesondere auch postmortale, Fragestellungen eingesetzt [1-4]. Vergleichende Untersuchungen beider Methoden sind jedoch bisher nur vereinzelt durchgeführt worden [4,5].

## 1.1 Obduktion

In der Bundesrepublik Deutschland erfolgt die gerichtliche Obduktion gemäß §§87ff. der Strafprozessordnung (StPO) in Verbindung mit §152 Abs. 2 StPO auf Antrag der Staatsanwaltschaft und wird vom Amtsrichter angeordnet [6]. Voraussetzung ist nach RiStBV Abs. 4 das Vorliegen zureichender tatsächlicher Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Straftat. Die gerichtliche Obduktion dient der objektiven Klärung von Todesart und Todesursache als Tatsachengrundlage zur Beantwortung von Rechtsfragen [7]. Aktuell stellt die Obduktion den allseits anerkannten Goldstandard der postmortalen Befunderhebung dar, auch weil eine abschließende Validierung anderer diagnostischer Verfahren als potentielle Alternativen zur Obduktion noch aussteht [7,8].

### *Obduktionsablauf*

Die Obduktion ist gemäß §87 der StPO von zwei Ärzten durchzuführen. Einer der Ärzte muss Gerichtsarzt oder Leiter eines öffentlichen gerichtsmedizinischen oder pathologischen Instituts oder ein von diesem beauftragter Arzt des Instituts mit gerichtsmedizinischen Fachkenntnissen sein [6]. Nach RiStBV Abs. 4 ist die Obduktion mit größter Beschleunigung herbeizuführen, weil die ärztlichen Feststellungen über die Todesursache auch durch geringe Verzögerungen an Zuverlässigkeit verlieren können [9].

Die Obduktion beginnt mit der äußeren Besichtigung der Leiche, zunächst im bekleideten, dann im entkleideten Zustand [10]. Um den Körper von jeglichen Seiten betrachten

zu können, wird im Verlauf eine Umlagerung des Körpers notwendig. Im Anschluss erfolgt die innere Besichtigung. Der Gesetzgeber sieht hierfür gemäß §89 StPO mindestens eine Öffnung von Kopf-, Brust- und Bauchhöhle vor [6]. Eine Erweiterung auf das Skelettsystem sowie die Extremitäten ist möglich. Die Organe werden dem Körper entnommen, seziiert und untersucht. In den Körperhöhlen befindliche Flüssigkeiten werden dem Körper entnommen, untersucht und volumetrisch erfasst. Je nach Fall werden in unterschiedlichem Umfang Gewebeproben asserviert und ggf. toxikologisch-chemischen oder feingeweblichen Untersuchungen zugeführt [10]. Nach Abschluss der Obduktion kann die staatsanwaltschaftliche Genehmigung der Bestattung gemäß §159 StPO erfolgen [6].

### *Dokumentation der Obduktion*

Die Ergebnisse der Obduktion werden im Obduktionsprotokoll möglichst umfassend und exakt in Schriftform festgehalten. Ergänzend werden während der Obduktion erstellte Photographien und Skizzen beigefügt. Es folgt ein zusammenfassender Obduktionsbefund. Auf der Basis der Obduktionsergebnisse und unter Einbezug der Kenntnisse vom Auffindungsort, der Vorgeschichte sowie von toxikologischen Befunden erfolgt dann die Erstellung eines vorläufigen Gutachtens, in dem auch Todesart und -ursache präzise zu formulieren sind [10].

### *Probleme der Obduktion*

Die Methode der Obduktion weist durch ihre Art, ihren Ablauf und gesetzliche Vorgaben gleich mehrere Problembereiche auf.

Sie erweist sich als zeit- und personalintensiv, da sie oft mehrere Stunden in Anspruch nimmt und da sie stets zwei Ärzte erfordert, von denen mindestens einer fundierte rechtsmedizinische Fachkenntnisse aufweisen muss [6]. Vor der Notwendigkeit einer gesetzlich mit größter Beschleunigung herbeizuführenden Obduktion können sich so zeit- und personalbedingte Engpässe ergeben, insbesondere bei zeitgleichem Auftreten mehrerer Obduktionsfälle [9].

Darüber hinaus ist der Vorgang der Obduktion einmalig und nicht reproduzierbar. Die Öffnung der Körperhöhlen und die Präparation der einzelnen Organe bedingen eine irreversible Destruktion der Strukturen [10]. Das Obduktionsprotokoll sowie die erstellten Skizzen und Photographien stellen die später einzig verbleibenden Informationsquellen dar. Im Obduktionsprotokoll nicht genannte oder unzureichend beschriebene Befun-

de können nachträglich nicht mehr reproduziert werden [11,12]. Dies ist besonders problematisch vor dem Hintergrund, dass gerichtliche Obduktionen in der Regel bereits zu Beginn der kriminalpolizeilichen Ermittlungsarbeit durchgeführt werden, wenn die Erkenntnisse über die Geschehensabläufe und Todesumstände oft noch nicht hinreichend geklärt sind [9]. Weitere Ermittlungsergebnisse führen häufig zu neuen rechtsmedizinischen Fragestellungen bzw. können im Verlauf der Ermittlungen oder im Strafprozess rechtsmedizinische Einschätzungen in neuem Licht erscheinen lassen. Für eine erneute Befunderhebung oder -überprüfung im Rahmen von Exhumierungen und Nachsektionen besteht infolge der Zerstörung des Leichnams durch die erste Obduktion und Fortschreiten der Leichenveränderungen keine stabile Basis.

Eine weitere Problematik der Obduktion liegt darin, dass ihr Ablauf und ihre Art, bspw. die Umlagerung des Leichnams während der äußeren Besichtigung oder die Art der Leichenpräparation, die letztlich ebenfalls aus dem postmortalen Zufügen scharfer Gewalt besteht, eine genaue Befunderhebung erschweren können [12]. Ggf. sind sogar Fehlinterpretationen möglich.

Der gegenwärtige Goldstandard der postmortalen Befunderhebung stellt somit eine Momentaufnahme dar, deren Qualität abhängig ist von der Expertise, Wahrnehmung, und Gründlichkeit des ausführenden Rechtsmediziners sowie von seiner manuellen Fähigkeit der Leichenpräparation [11]. Eine spätere Überprüfung der Obduktionsergebnisse ist nur in sehr eingeschränktem Ausmaß möglich.

Darüber hinaus stellt die Obduktion eine sozio-kulturell und religiös nicht unumstrittene Methode der Befunderhebung dar, die z.T. auf Ablehnung innerhalb der Bevölkerung stößt [13].

## 1.2 postmortale Computertomographie

### 1.2.1 Grundlagen der Computertomographie

Die nicht-invasive, bildgebende Methode der Computertomographie (CT) wurde von Allan M. Cormack und Godfrey N. Hounsfield entwickelt und Anfang der 1970er Jahre in die klinische Praxis eingeführt [14,15]. Seitdem zeigte sich ein rasche und stete Weiterentwicklung der CT, die immer breitere Anwendung findet [16].

### Grundprinzip der Computertomographie

Die CT beruht auf der Durchleuchtung eines Objektes mit Röntgenstrahlen. Bei Durchtritt durch die Materie verringert sich die Intensität der Röntgenstrahlung, wobei das Ausmaß der Abschwächung wesentlich von der physikalischen Dichte des Objektes abhängig ist [17]. Die geschwächte Röntgenstrahlung wird als Intensitätsprofil bzw. Schwächungsprofil des Objektes auf der Seite, welche der Röntgenquelle gegenüberliegt, von einem Detektor registriert. Da bei der CT sowohl Röntgenröhre wie auch Detektorsystem um das Untersuchungsobjekt rotieren, kann das Untersuchungsobjekt aus unterschiedlichen Projektionswinkeln abgetastet werden (Abbildung 1).

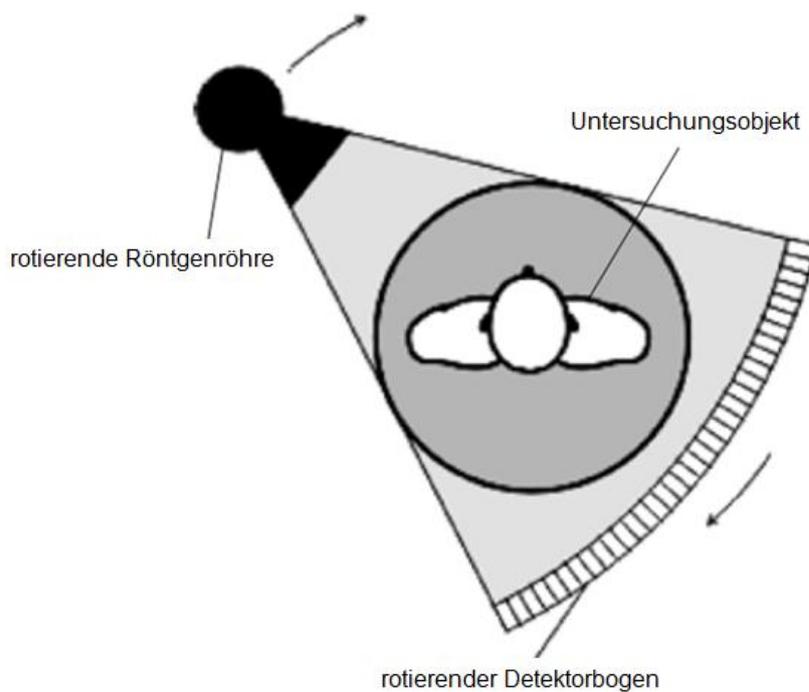


Abbildung 1: Computertomographie: 360°-Erfassung (modifiziert nach [16])

Aus der Vielzahl der Projektionen rekonstruiert ein Computer durch einen mathematischen Algorithmus der Rückprojektion an jedem Punkt in der Untersuchungsschicht die lokale Röntgenschwächung. Diese lokalen Werte der Röntgenschwächung können in sog. CT-Werte umgerechnet, in Graustufen kodiert und als Bild dargestellt werden [18]. Somit lassen sich digitale, überlagerungsfreie Schnittbilder des untersuchten Objektes rekonstruieren [16,19].

### Aufbau und Entwicklung heutiger CT-Geräte

Heute verwendete Spiral-CT-Scanner setzen sich aus verschiedenen Elementen zusammen (Abbildung 2): Ein elektromotorisch beweglicher Tisch, der als Auflagefläche für den zu untersuchenden Körper dient, wird während der computertomographischen Untersuchung in Längsrichtung durch einen Ringtunnel, die sog. Gantry, bewegt [16]. Im Inneren der Gantry rotieren die Röntgenröhre sowie der ihr gegenüberliegende Detektorbogen. Computer zur Datenberechnung und -bearbeitung sind an die Gantry angeschlossen. Die CT-Untersuchung wird von einer separat in einem Extraraum stehenden Bedienkonsole aus gesteuert, die oft über eine erste reduzierte Funktion zur Bildauswertung verfügt. Die CT-Bilddaten können in einem Bildarchivierungssystem, wie bspw. dem in der Medizin gängigen *Picture Archiving and Communication System* (PACS), gesichert werden und von dort von einem ggf. separat stehenden Computer mit entsprechender Software zur komplexen CT-Bilddarstellung, einer sog. Workstation, abgerufen werden.

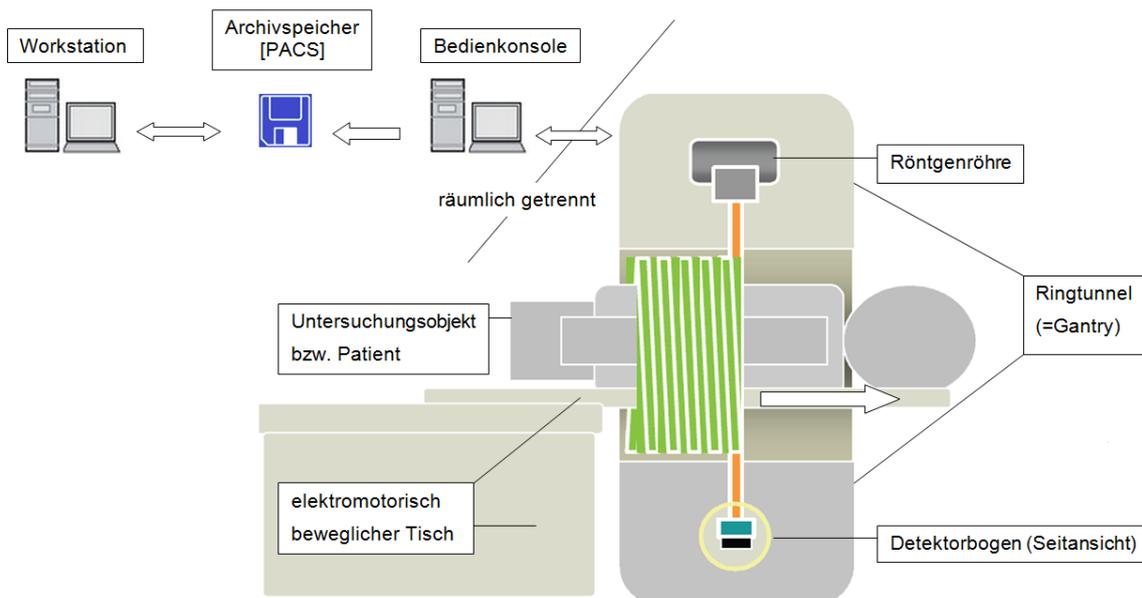


Abbildung 2: CT-Scanner: Aufbau (modifiziert nach [20])

Bei den heute etablierten CT-Geräten der 3. Generation rotieren die Röntgenröhre und der Detektorbogen dauerhaft und synchron um den Untersuchungsgegenstand. Dabei deckt der Detektorbogen die gesamte Breite des zu einem Fächer geformten Röntgen-

strahls ab, wodurch eine komplette Projektion des Untersuchungsgegenstandes erzeugt werden kann (Abbildung 1) [16,18]. Neben der Einführung der kontinuierlich rotierenden und aufzeichnenden CT-Geräte trug die Einführung der Spiraltechnik sowie der Mehrzeilen-CT-Geräte zu einer starken Reduktion der CT-Untersuchungszeit bei [16]. Seit Einführung der Spiraltechnik wird der Untersuchungsgegenstand mit konstanter Geschwindigkeit entlang seiner Längsachse durch die Strahlenebene bewegt. Mehrzeilen-CT-Geräte weisen mehrere Detektorbögen in der Längsachse des Untersuchungsgegenstandes auf, wodurch simultan mehrere Schichtaufnahmen des Untersuchungsgegenstandes aufgezeichnet werden können. Die Untersuchungsdauer, um einen CT-Ganzkörperdatensatz zu akquirieren, beläuft sich heutzutage auf 5 bis 15 Minuten [21]. Weitere entscheidende Vorteile der Mehrzeilenspiral-CT sind die Reduktion der Schichtdicke und damit eine Erhöhung der Auflösung computertomographischer Bilder sowie die Möglichkeit der Gewinnung volumetrischer Bildpunkte mit identischen Seitenlängen, sog. isotrope Voxel. Isotrope Voxel stellen einen Vorteil für die CT- Bildbearbeitung dar [18,22].

### *CT-Bildauswertung*

An der Bedienkonsole bzw. der CT-Workstation können die CT-Bilddaten dargestellt und ausgewertet werden. Dabei ist es möglich, zwei- und inzwischen auch immer höherwertige dreidimensionale CT-Bilder zu gewinnen [16]. Bei der dreidimensionalen Bilddarstellung kommt zunehmend die Technik des *Volume Rendering* (VR) zum Einsatz, bei der jedem Voxel neben einem Farbwert ein Opazitätswert zugeordnet wird [23].

Durch die isotropen Voxel können zweidimensionale CT-Bilder nicht nur in der Transversalebene sondern durch multiplanare Reformatierung (MPR) auch in der Sagittal- und Frontalebene sowie in schrägen Ebenen oder gekrümmten Rekonstruktionen ohne Auflösungsverluste dargestellt werden [24,25]. In zweidimensionalen CT-Bildern besteht die Bildmatrix aus Bildpunkten, die den CT-Wert der ihnen entsprechenden Voxel in einem Grauton darstellen [18]. Der CT-Wert ist ein Maß für die Röntgenabschwächung durch das in dem Voxel vorhandene Gewebe und wird in Hounsfield-Einheiten (HE) angegeben. Bestimmte Gewebe und Substanzen haben typische HE-Werte und sind dadurch computertomographisch identifizierbar. Dies geschieht in der Regel, indem der Mittelwert der einzelnen HE-Werte eines definierten Bildbereiches, der sogenannten *Region of Interest* (ROI), bestimmt wird. Blutansammlungen können bspw. auf diese Art

detektiert werden: Zwar lässt sich der HE-Wert von Blut, u.a. bedingt durch Sedimentations- und Gerinnungsphänomene, nicht auf einen genauen Zahl festlegen, stattdessen wird Blut in der postmortalen Bildgebung ein HE-Wertebereich zwischen 40-80(100) HE zugewiesen [26-29].

In der CT-Bilddarstellung wird zum Zweck der Optimierung des Bildkontrastes durch eine sog. Fensterung festgelegt, welcher Ausschnitt der Hounsfield-Skala durch Grauwerte kodiert wird [18]. Darüber hinaus gibt es weitere Möglichkeiten der computertomographischen Datenauswertung: So können etwa Gewebe oder Flüssigkeitsansammlungen, bspw. über manuelle oder automatische Segmentationsverfahren, volumetrisch bestimmt werden [25,30,31]. Ebenso ist es möglich, sog. Maximum- (MIP) und Minimumintensitätsprojektionen (MinIP) zu erstellen. Dafür wird in einem zweidimensionalen Projektionsbild mehrerer hintereinanderliegender Bildschichten lediglich der Voxel einer Betrachtungslinie mit dem größten bzw. kleinsten HE-Wert angezeigt [25]. Die MinIP bietet sich für die Detektion von Gasansammlungen über einen breiteren Körperabschnitt an.

#### *Vergleich von CT und Magnetresonanztomographie (MRT)*

Die CT zeichnet sich in der Untersuchung menschlichen Körpergewebes besonders in der Darstellung von Gas und Knochenstrukturen aus, die in der Regel hohe Dichteunterschiede zu dem sie umgebenden Gewebe aufweisen [32]. Die Differenzierbarkeit von Weichgewebe ist ebenfalls möglich und verbessert sich durch die voranschreitende technische Entwicklung stetig. Dennoch ist die CT hier der MRT, die im Wesentlichen Aufschluss über den Wassergehalt der Gewebe gibt, unterlegen [32]. Im Vergleich zur CT benötigt die MRT-Untersuchung mehr Zeit und die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten eines MRT-Scanners liegen deutlich über denen eines CT-Scanners [12]. Die pmCT zeichnet sich darüber hinaus durch eine verhältnismäßig einfache Bedienbarkeit aus.

### 1.2.2 Einsatz in der Rechtsmedizin

#### *pmCT als vielversprechendes Verfahren*

Die CT als diagnostische Untersuchungsmethode ist für die postmortale Befunderhebung vielversprechend.

Durch eine computertomographische Erfassung des Leichnams nach Eintreffen im rechtsmedizinischen Institut ist es möglich, in kurzer Zeit einen CT-Ganzkörperdatensatz des Leichnams zu erzeugen und in einem Bildarchiv digital zu speichern [21]. Dieser Ganzkörperdatensatz stellt der Rechtsmedizin eine lückenlose und vollständige Gesamtaufnahme des Körpers mit Auflösungen im Submillimeterbereich zur Verfügung, die im Gegensatz zu dem Leichnam keinen weiteren Fäulnis- und Zersetzungsprozessen ausgesetzt ist [16]. Dadurch ist eine Sicherung der Daten bereits kurze Zeit nach Eintreffen des Leichnams im rechtsmedizinischen Institut möglich, deren Befundung auch zu einem späteren Zeitpunkt stattfinden kann. Zum Einen ist dies von Vorteil, wenn zu einem Zeitpunkt eine größere Anzahl an Verstorbenen mit Sektionsanordnung vorliegt und sich bspw. personalbedingt Engpässe für die zeitnahe Befundung der Verstorbenen bilden. Zum Anderen können Befunde aus dem digital hinterlegten CT-Ganzkörperdatensatz zu einem beliebigen Zeitpunkt, auch etwa Jahre später, reproduziert werden bzw. kann eine Neubewertung eines Falles vorgenommen werden, wenn der Ermittlungsverlauf dies erfordert. Die CT-Befundung ist zudem unabhängig von verschiedenen Personen durchführbar und durch digitalen Datentransfer nicht ortsgebunden, wodurch die Objektivität und Nachvollziehbarkeit der Befundung erhöht wird und auch teleradiologische Expertise hinzugezogen werden kann [33]. Diese Möglichkeiten sind der Obduktion, welche den Körper destruiert und an einen physisch vorhandenen Leichnam gebunden ist, der zudem Fäulnis- und Zersetzungsprozessen unterliegt, verwehrt.

Auch wenn die nicht-invasive pmCT nicht gänzlich frei von Manipulation am Körper des Leichnams ist (z.B. Problematik der Positionierung von Körpern auf dem CT-Tisch bei bereits eingetretener Leichenstarre, Fäulnisgasdunstung oder Hitzefixierung), erweist sie sich doch als viel spurenschonender und deutlich weniger manipulativ als die den Körper destruirende Obduktion. Somit ist anzunehmen, dass die pmCT potentiell seltener als die Obduktion Quelle möglicher Fehlinterpretationen ist [12]. Die pmCT kann der Obduktion darüber hinaus in der Diagnostik bestimmter Befunde ebenbürtig oder gar überlegen sein, nicht nur in Fällen der möglichen Befundmanipulation durch die Obduktion selbst, sondern auch als diagnostisches Instrumentarium als solches [34,35].

Eine vorausgehende pmCT kann darüber hinaus einer nachfolgend stattfindenden Obduktion wertvolle Hinweise auf das Vorliegen von Befunden geben und damit die Aufmerksamkeit des Rechtsmediziners für die Erhebung dieser Befunde während der Leichenpräparation erhöhen [21].

Die pmCT birgt weiterhin die wertvolle Möglichkeit, in Strafprozessverfahren vor Gericht die rechtsmedizinisch relevanten Befunde besser und anschaulicher darzustellen, u.a. auch für Parteien, die mit rechtsmedizinischem Vokabular nicht vertraut sind [33].

Im Unterschied zur klinischen CT kann die pmCT mit höheren, der Bildauflösung zuträglichen Röntgenstrahlendosen arbeiten, da eine Strahlenlimitation aus kanzerogenen Gesichtspunkten in der postmortalen CT-Befundung nicht beachtet werden muss [21]. In der pmCT gibt es darüber hinaus keine Bewegungs-, wie z.B. Atmungsartefakte. Die Möglichkeiten zur Angiographie mittels eines zirkulierenden Kontrastmittels sind dagegen aufgrund des postmortal fehlenden Blutkreislaufes in der pmCT eingeschränkt, auch wenn die postmortale Angiographie Gegenstand aktueller Forschung ist [36,37].

Häufige Entitäten im rechtsmedizinischen Obduktionsfallgut sind traumatische Todesursachen, die Knochenbrüche oder Gasansammlungen in Körperhöhlen oder Blutgefäßen mit sich bringen, deren Detektion zu den Stärken der pmCT im Vergleich mit der postmortalen MRT zählt [12,38]. Aus diesem und den bereits unter Pkt. 1.2.1 genannten Gründen ist eine Priorisierung der Anschaffung eines CT-Scanners für ein rechtsmedizinisches Institut gegenüber dem eines MRT-Scanners vorhanden.

#### *Implementierung der pmCT in der rechtsmedizinischen Befunderhebung*

Die Möglichkeiten der pmCT – wie auch der postmortalen MRT – wurden von rechtsmedizinischer Seite lange Zeit lediglich wenig bis kaum beachtet [39]. Trotz einer von Beginn an raschen Weiterentwicklung der Anfang der 1970er eingeführten CT und dem Hinweis von Autoren wie Brogdon, Vogel und Donchin et al. auf die Nutzbarkeit für die Rechtsmedizin dauerte es bis Anfang des 21. Jahrhunderts, bis der pmCT eine größere Bedeutung zukam [40-44]. Die wohl erste Publikation zur pmCT datiert aus dem Jahre 1983, doch stieg die Anzahl der zu diesem Thema veröffentlichten Publikationen erst um die Jahrtausendwende bemerkenswert an [45]. Das lag v.a. an Arbeitsgruppen aus Japan, Deutschland, England, Israel und der Schweiz, welche begannen, die Möglichkeiten der bildgebenden Methoden als ergänzendes Diagnostikum zur Obduktion zu erforschen [33,43,45-51].

Mit Gründung des Virtopsy-Projektes an der Universität Bern Ende der 1990er Jahre und beginnenden Publikationen seit Anfang der 2000er Jahre entstand ein Forschungsprojekt, das es sich zur Aufgabe machte, die Möglichkeiten der postmortalen bildgebenden Verfahren, darunter auch die pmCT, systematisch zu erforschen [33,52,53]. Die

Schweizer Arbeitsgruppe hat auf diesem Gebiet wertvolle Pionierarbeit geleistet und dazu in großer Anzahl publiziert [1,54].

Befördert durch die Ergebnisse des Virtopsy-Projektes gibt es seitdem weitere Forschungsgruppen in Europa, Nordamerika, Australien, Japan und Südkorea, die zur postmortalen Bildgebung und zur pmCT forschen [55]. Ferner gibt es seit 2012 mit der "*International Society of Forensic Radiology and Imaging*" (ISFRI) und der zugehörigen Fachzeitschrift "*Journal Of Forensic Radiology and Imaging*" (JOFRI) zwei übergreifende Fachorgane, welche den Austausch und die Veröffentlichung von Forschungsergebnissen über forensische Bildgebung erleichtern [56].

Auch wenn in naher Zukunft die Möglichkeit einer virtuellen Autopsie, welche die herkömmliche Obduktion ersetzt, nicht realisierbar erscheint, konnte das von der Virtopsy-Gruppe ausgegebene Ziel, durch postmortale Bildgebung zusätzlichen bzw. ergänzenden rechtsmedizinischen Beweiswert zu schaffen, bereits zu Teilen erreicht werden [21,33,57]. Das gilt auch für die pmCT [28,34].

### *Aussicht*

Die Forschung zur pmCT ist noch relativ jung und bedarf weiterer Aufmerksamkeit, um die pmCT als standardisierte Methode der postmortalen Befunderhebung in die rechtsmedizinische Praxis einführen zu können [4]. Dafür ist es wichtig, die pmCT separat von der klinischen CT zu untersuchen und Wissen über die klinische CT nicht unkritisch zu übernehmen, da Unterschiede zwischen beiden Verfahren bestehen [2].

Nachdem die Nutz- und Durchführbarkeit der pmCT bereits aufgezeigt wurden, ist es notwendig, die pmCT im Rahmen von größeren Fallstudien für den alltäglichen rechtsmedizinischen Praxisgebrauch zu validieren [4]. Das wird dadurch erschwert, dass weltweit lediglich eine überschaubare Anzahl rechtsmedizinischer Institute über regelmäßigen Zugang zu modernen bildgebenden Verfahren verfügt und diese einer wissenschaftlichen Auswertung unterzieht [55].

Sollte sich herausstellen, dass die sich stets auch technisch weiterentwickelnde (pm-)CT der Obduktion zumindest in Teilen überlegen ist und dort der Goldstandard der Obduktion angezweifelt werden muss, bestünde die Notwendigkeit, rechtsmedizinischen Instituten systematisch Zugang zu dieser Methode zu verschaffen. Vor dem Hintergrund gerichtlich relevanter Befunderhebung wäre lediglich mit ergänzenden bildgebenden Verfahren, wie der pmCT, eine objektiv beste Befunderhebung möglich.

Große, vergleichende Fallstudien können zudem dazu beitragen, den rechtsmedizinischen Instituten Argumente zu geben, um an finanzielle Mittel für die Anschaffung radiologischer Geräte zu gelangen oder Kooperationsmöglichkeiten mit vorhandenen radiologischen Einrichtungen zu etablieren.

Die Finanzierung einer Voll- oder Teilzeitanstellung eines Radiologen durch ein Rechtsmedizinisches Institut ist ebenfalls nicht unproblematisch. Es zeigt sich jedoch, dass sowohl rechtsmedizinisch geschulte Radiologen wie auch radiologisch geschulte Rechtsmediziner die Befunderhebung an den Datensätzen durchführen können [58]. Fundierte Kenntnisse in beiden Fachrichtungen sind jedoch notwendig, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

## 1.3 Scharfe Gewalt

### 1.3.1 Definition scharfer Gewalt

Scharfe Gewalt wird durch spitz zulaufende oder schneidende Werkzeuge verursacht. Bei Penetration der Haut weisen die entstandenen Verletzungen in der Regel typische morphologische Kennzeichen auf: Im Oberhautniveau finden sich regelmäßig geradlinige und glattrandige Wundränder. Aufgrund der gleichmäßigen Gewebedurchtrennung fehlen in tieferen Gewebeschichten die bei Verletzungen stumpfer Gewalt oft vorliegenden Gewebsbrücken. Je nach Ausrichtung des dominierenden Kraftvektors im Verhältnis zur Körperoberfläche wird zwischen Stich- und Schnittverletzungen unterschieden. Von diesen unterschieden werden die sogenannten Hiebverletzungen, die durch Schlagverletzungen mit scharfem Werkzeug entstehen. Scharfe Gewalt tritt sowohl in Tötungsdelikten als auch in Suizid- und Unfallgeschehen in Erscheinung und kann als Todesursache oder als Nebenbefund von Bedeutung sein [59].

### 1.3.2 Relevanz scharfer Gewalt

Verletzungen scharfer Gewalt sind von hoher rechtsmedizinischer Relevanz und regelmäßig Gegenstand rechtsmedizinischer Untersuchungen [44].

Scharfe Gewalt gehört in den USA und in Europa zu den häufigsten Ursachen des gewaltsamen Todes [60,61]. Vor allem in Ländern mit strengem Schusswaffengesetz ist

scharfe Gewalt von erhöhter Bedeutung [62]. Bei Tötungsdelikten tritt scharfe Gewalt vermehrt in Form von Stichverletzungen auf [59]. Seltener als bei Tötungsdelikten liegt scharfe Gewalt als Ursache von vollendeten Suiziden vor [63,64]. Die Beibringung scharfer Gewalt in suizidaler Absicht erfolgt meist in Form von Schnittverletzungen, die seltener als Stichverletzungen tödlich enden [59]. In Unfallgeschehen tritt scharfe Gewalt als Todesursache deutlich seltener in Erscheinung als in Tötungsdelikten und Suiziden [65].

Eine Nachfrage bei der Berliner Polizei ergab, dass für das Bundesland Berlin, aus dessen gerichtsmedizinischem Obduktionsgut die Studienfälle (SF) der vorliegenden Arbeit stammen, im Zeitraum von Juli 2011 bis Dezember 2013, also annähernd dem Erfassungszeitraum der vorliegenden Studie entsprechend, 176 durch scharfe Gewalt versuchte oder vollzogene Tötungsdelikte polizeilich erfasst wurden.

### 1.3.3 Befunderhebung bei scharfer Gewalt

#### *Medizinisch und ermittlungstechnisch relevante Aspekte*

Bei Opfern scharfer Gewalt sind die in Abbildung 3 genannten medizinischen und ermittlungstechnischen Aspekte von Interesse.

- Rekonstruktion des Geschehensablaufes:
  - Entstehungsart der scharfen Gewalt: Selbst- versus Fremdbeibringung versus Unfallgeschehen
  - bei Fremdbeibringung: Vorliegen einer tätlichen Auseinandersetzung oder Beibringung an einem arglosen bzw. handlungsunfähigen Opfer
  - ggf. Aussage zur Agoniedauer/Handlungsfähigkeit des Opfers
  
- Folgen scharfer Gewalt, ggf. Todesursache:
  - Blutverlust/Verbluten nach außen und/oder innen
  - Hämatothorax
  - Hämaskos
  - Hämoperikard
  - Pneumothorax
  - Gasembolie
  - Blutaspiration/Ersticken
  - seltener vorgefundene Folgen (z.B. zentrale Lähmung, und Infektionen [66])
  
- Kennzeichen des Tatwerkzeuges
  - bspw. Klingenbreite und -länge, ein-/zweischneidiges Messer

Abbildung 3: scharfe Gewalt: rechtsmedizinisch relevante Fragen (modifiziert nach [59])

### *Dokumentation scharfer Gewalt*

Grundlage der Beantwortung der medizinisch und ermittlungstechnisch relevanten Fragen ist die Untersuchung des Körpers eines Opfers scharfer Gewalt. Daneben bedient sich die Rechtsmedizin der Informationen vom Auffinde- bzw. Ereignisort sowie zusätzlicher fachspezifischer Untersuchungen (z.B. Toxikologie, Histologie oder Trassologie).

Bei der Untersuchung des Opfers scharfer Gewalt werden zunächst jegliche Einzelverletzungen detailliert beschrieben und dokumentiert. Dabei kann die Morphologie der Einzelverletzungen im Rahmen einer äußeren Inspektion gut und ohne grobe Manipulation am Körper des Opfers beschrieben werden. Gleiches gilt für die Anzahl und Lokalisation der Verletzungen. Diese Informationen können erste Hinweise zur Differenzierung zwischen Selbst- und Fremdbeibringung, über das Vorliegen einer tätlichen Auseinandersetzung und über die Tatdynamik liefern [59,66-69].

Der genaue Verlauf einer durch scharfe Gewalt ausgelösten Verletzung wird ebenso erfasst. Die Eindringtiefe der Verletzung lässt eine Aussage über die aufgebrachte Energie beim Zufügen der Verletzung zu und kann so ggf. einen Hinweis auf die Kraft und Intention des Täters geben [70]. Die Verlaufsrichtung der Verletzung kann bspw. zur Klärung der Intention eines mutmaßlichen Täters beitragen [66]. Die Erfassung des Verlaufs einer Verletzung ist ein aufwendigerer Prozess, v.a. bei tieferen Stichverletzungen. Der herkömmlichen Obduktion stehen hierfür zwei Methoden zur Verfügung: Zum einen werden Sonden verwendet, die in die Verletzung eingebracht werden und so eine grobe Orientierung über Verlaufsrichtung und Eindringtiefe liefern können. Zum anderen kann der Verlauf und die Tiefe einer Verletzung durch eine schichtweise vorschreitende Präparation der Verletzung nachvollzogen werden. Da beide Methoden invasiv sind und in unterschiedlichem Ausmaße die Körperintegrität selbst, z.T. ebenfalls in Form scharfer Gewalt, zerstören und so zu Fehlinterpretationen führen können, besteht ein grundsätzliches Interesse, objektivere und weniger schädigende Erfassungsverfahren einzuführen [12].

Die im Verlauf der Verletzung geschädigten Strukturen werden ebenfalls erfasst. Dazu gehören Knorpel- und Knochenstrukturen, Weichgewebe und innere Organe. Die Beschreibung von geschädigten Knorpel- und Knochenstrukturen kann einen Hinweis auf das verwendete Tatwerkzeug geben [66]. Aus den Verletzungen von Weichgewebe und inneren Organen können spezifische Befunde mit Relevanz für das Überleben der geschädigten Person resultieren. Die Klärung, welche Verletzung Ursache für einen entsprechenden Befund ist, ist ermittlungstechnisch relevant. Das Hauptaugenmerk der Arbeit liegt auf der Beurteilung dieser möglichen Folgen und Befunde scharfer Gewalt. Diese werden detaillierter dargestellt.

### *Folgen scharfer Gewalt*

- Blutverlust

Der Verlust von intravasalem Blutvolumen ist eine wesentliche Folge scharfer Gewalt [66]. Ein potentiell letaler Volumenmangelschock und Verbluten können Folge des Blutverlustes sein. Das Eintreten dieser Ereignisse ist von der Menge des verlorenen Blutes wie von der Geschwindigkeit des Blutverlustes abhängig. Ursächlich sind in der Regel die Eröffnung von Pulsadern, größeren Venen oder Verletzungen des Herzens [59]. Die Möglichkeit eines extrakorporalen Blutverlustes, der ermittlungstechnisch nicht oder nur unzureichend quantifizierbar ist, die potentiell unterschiedlichen Lokalisationen des Blutverlustes innerhalb des Körpers und die Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Blutverlustes bedingen, dass der Befund des Verblutens lediglich aufgrund von mehreren Anhaltspunkten als wahrscheinlich angenommen werden kann. Die Obduktion bedient sich morphologischer Zeichen eines Verblutungstodes, wie einer geringen Ausdehnung und Intensität der Totenflecke, einer Ausblutungsblässe innerer Organe und sog. Verblutungsblutungen am Endokard des Herzens. Diese Zeichen stellen jedoch als Singularität keine sicheren Kriterien dar [59,71].

– Hämatothorax, Hämaskos und Hämoperikard

Ursächlich für Blutansammlungen in präformierten Körperhöhlen sind v.a. entsprechend lokalisierte Stichverletzungen. Zu nennen sind die bei scharfer Gewalt gehäuft vorkommenden Blutansammlungen in den Thoraxhöhlen, sog. Hämatothoraces, in der Abdominalhöhle, sog. Hämaskos, und im Herzbeutel, sog. Hämoperikarde. Die Blutansammlungen werden nach Möglichkeit volumetrisch erfasst und hinsichtlich ihrer Gesamtbedeutung für den Organismus bewertet. Blutvolumina von 1,5 bis 2,5 Litern in den Brusthöhlen lassen bspw. auf ein inneres Verbluten schließen [59]. Die Ansammlung von Blut in der Brusthöhle kann bei einem Hämatothorax, zusätzlich zu dem häufig ebenfalls vorliegenden Pneumothorax, die Atemfunktion der Lunge beeinträchtigen [72].

– Herzbeutelamponade

Ein Hämoperikard kann bei entsprechendem Ausmaß zu einer Herzbeutelamponade führen. Die Herzbeutelamponade kann eine mögliche Todesursache sein. Blutansammlungen im Herzbeutel beeinträchtigen die Herzarbeit. Primär ist die Blutfüllung der Herzkammern in der Diastole betroffen. Bereits eine Kompression des Herzens durch 200 ml Blut können zu einer todesursächlichen Minderleistung führen. Oft werden jedoch Volumina von 300 bis 400 ml vorgefunden [66].

– Pneumothorax

Eine mögliche Folge scharfer Gewalt und potentielle Todesursache ist der Befund des Pneumothorax [59]. Durch die Eröffnung der Brusthöhle kann Gas in den Pleuraspalt eindringen. Der physiologisch im Pleuraspalt herrschende Unterdruck wird somit aufgehoben. Aus dem Kollabieren der Lunge folgt eine Beeinträchtigung bzw. ein Versagen der Atemfunktion [73].

– Gasembolie

Eine potentiell lebensbedrohliche Gasembolie entsteht durch die Eröffnung größerer herznaher Venen und ist an eine erhaltene Kreislauffunktion des Körpers gebunden [59,66]. Sie zählt somit zu den allgemeinen Vitalreaktionen [74]. In den herznahen Venen herrscht durch die Sogwirkung des rechten Herzens Unterdruck. Bei Eröffnung der Venen wird Gas angesaugt und in Richtung Herz transportiert. In Folge der Komprimierbarkeit von Gasen im Gegensatz zu Flüssigkeiten kommt es bei Ansammlung ausreichend großer Gasvolumina in der rechten Herzkammer zu einem Versagen der Pumpleistung. In den kleinkalibrigen Lungengefäßen sammeln sich Gasblasen an, die den Bluttransport im kleinen Kreislauf erst behindern und schließlich verlegen [66]. Für die Entstehung einer tödlichen Gasembolie sind Gasvolumina von 70 bis 150 ml ausreichend [59].

– Blutaspiration

Verletzungen im Bereich des Nasenrachenraumes, der Luftwege und/oder Lungen können eine Blutaspiration bedingen. Blut wird in die Lungen eingeatmet. Ein Tod durch Ersticken kann die Folge sein [66]. Der Befund der Blutaspiration ist an eine erhaltene Atemfunktion gebunden und wird als Vitalreaktion gewertet [74]. Neben Blut können auch andere Substanzen, wie etwa Wasser oder Mageninhalt, aspiriert werden. Eine Differenzierung des aspirierten Materials ist durch eine histopathologische Untersuchung des Lungengewebes möglich [75].

– seltener vorgefundene Befunde

Insgesamt seltener als die bisher genannten Befunde können als Folge scharfer Gewalt zentrale Lähmungen und als Spätfolge Infektionen auftreten. Eine zentrale Lähmung entsteht etwa durch Stichverletzungen am Gehirnschädel bzw. Rückenmark oder als Folge einer durch scharfe Gewalt ausgelösten Gehirnblutung und folgender Einklem-

mung. Speziell aus Verletzungen des Gastrointestinaltraktes resultieren oft schwerste Peritonitiden [66].

### *Identifikation des Tatwerkzeuges*

Die Identifikation des Tatwerkzeuges ist von großer Relevanz für die Ermittlungsorgane. Obwohl die Verletzungsbefunde durchaus Hinweise auf das verwendete Tatwerkzeug liefern können, bspw. durch Betrachtung der Wundwinkel, ist die Zuordnung bzw. Rekonstruktion des verwendeten Werkzeuges schwierig und oftmals nicht sicher durchführbar [66,69]. Auch hinsichtlich eines Rückschlusses auf die Werkzeuglänge aus der Tiefe der Verletzung ist größte Vorsicht geboten [66]. Umso wertvoller sind dafür im Körpergewebe in Gänze oder als Fragmente, z.B. in Form von abgebrochenen Messerspitzen, verbliebene Tatwerkzeuge [12].

## 1.4 Forschungsstand: pmCT bei Opfern scharfer Gewalt

Zur pmCT unter dem Aspekt der scharfen Gewalt gibt es bereits vereinzelt Forschungsarbeiten. Dazu zählen u.a. Fallberichte über die pmCT-Befundung von Opfern scharfer Gewalt, die darauf schließen lassen, dass der Einsatz einer pmCT einen zusätzlichen Informationsgewinn darstellen kann [76-79].

Daneben liegen Publikationen über Verfahren vor, durch welche die Qualität der pmCT in der Befundung der Auswirkungen und Folgen scharfer Gewalt erhöht werden kann. Explizit mit Bezug auf scharfe Gewalt sind hier die CT-Angiographie sowie das Einbringen von Kontrastmittel in den Wundkanal zu nennen [77,80-82].

Für die vorliegende Studie von gehobener Bedeutung ist eine im Rahmen des Virtopsy-Projektes entstandene Machbarkeitsstudie von Schnider et al., welche die Wertigkeit der pmCT bei Opfern scharfer Gewalt untersucht [44]. In diese bisher größte Studie gingen lediglich 12 Fälle ein. Untersucht wurden die Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten), Wundkanälen, Organ- und Skelettverletzungen und die Todesursachen. Schnider et al. kommen zu dem vorläufigen Schluss, dass die pmCT eine potentiell wertvolle Methode in der Beurteilung von Opfern scharfer Gewalt ist.

Für die Befunde Blutverlust/Verbluten, Hämatothorax, Hämaskos, Hämoperikard, Gasembolie und Blutaspiration, die auch Folgen scharfer Gewalt sein können, liegen einerseits zwar Forschungsarbeiten für die pmCT vor [28,30,31,34,83-88]. Einen Bezug auf

ein auslösendes Ereignis gab es dort andererseits jedoch nicht. Das bedeutet, dass weiterhin keine Studien größeren Umfanges zu diesen Befunden unter dem Aspekt der scharfen Gewalt existieren, z.B. mit Bewertung der Sichtbarkeit des sie auslösenden Ereignisses scharfer Gewalt in der pmCT.

Die aktuelle Studienlage ist für die Validierung der Hypothese, dass die pmCT für die postmortale Befundung von Opfern scharfer Gewalt notwendig ist, nicht ausreichend. Dafür fehlen Forschungsarbeiten an größeren Studienpopulationen, die bestenfalls auch eine vergleichende Betrachtung der pmCT mit der Methode der Obduktion beinhalten, um die Wertigkeit der pmCT im Verhältnis zur Obduktion beurteilen zu können [4].

## 1.5 Fragestellung der vorliegenden Arbeit

### 1.5.1 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, zu untersuchen, ob die pmCT ein notwendiges Instrument für die postmortale Befunderhebung von Opfern scharfer Gewalt ist. Dazu wird die pmCT im Vergleich zum bisherigen Goldstandard der postmortalen Befundung, der Obduktion, betrachtet, der ggf. daraufhin in Teilen in Frage gestellt werden muss.

### 1.5.2 Betrachtungsumfang der Arbeit

Die Detektion bzw. Beurteilung der durch scharfe Gewalt auslösbaren sowie durch scharfe Gewalt häufig verursachten Befunde in der pmCT werden in der vorliegenden Arbeit untersucht. Dabei werden auch die sie auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt betrachtet und bewertet. Für die Befunde Hämoperikard und Hämatothorax wird zudem eine pmCT-basierte Volumenmessung vorgenommen. Zusätzlich werden die CT-Datensätze auf sichtbare Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) hin untersucht.

Der Befund der Blutaspiration wurde im Voraus aus dem Betrachtungsumfang dieser Arbeit genommen, da aus folgenden Gründen keine objektive Beurteilungsbasis angenommen werden konnte: Einerseits lag auf Seiten der Obduktion nicht bei allen Studienfällen eine histopathologische Untersuchung des Lungengewebes mit Differenzierung des aspirierten Materials zur Absicherung des Befundes vor. Andererseits konnte auf

eine lückenlose, für die Beurteilung in der pmCT jedoch wichtige Information über etwaige Umlagerungen der Leichname nach Todeseintritt nicht zurückgegriffen werden. Durch derartige Lageveränderungen kann es innerhalb eines bestimmten Zeitfensters zu einer Umverteilung der sich bildenden inneren Leichenflecke kommen, durch die eine Beurteilung des Lungengewebes auf Inhomogenitäten des Lungengewebes im Sinne einer Blutaspilation erschwert wird [28].

Abbildung 4 gibt einen Überblick über den genauen Betrachtungsumfang dieser Arbeit.

Vergleich der postmortalen Diagnoseinstrumente:

## pmCT und Obduktion (=bisheriger Goldstandard)

- > bezogen auf die Detektion folgender Befunde,  
inkl. Sichtbarkeit des auslösenden Ereignisses scharfer Gewalt:
  - Hämatothorax
  - Hämaskos
  - Hämoperikard
  - Pneumothorax
  - Gasembolie
  
- > bezogen auf die Volumenbestimmung bei folgenden Befunden:
  - Hämatothorax
  - Hämoperikard
  
- > bezogen auf die Detektion von: Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten)  
↓  
Identifikation des Tatwerkzeuges

Abbildung 4: Betrachtungsumfang der Studie

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Studienart

In der vorliegenden Studie wird ein postmortales Diagnoseverfahren der Rechtsmedizin, die pmCT, betrachtet und mit dem klassischen Diagnoseverfahren der Obduktion verglichen.

Retrospektiv ausgewertet werden die Obduktionsergebnisse (in Form von Obduktionsprotokollen und -befunden) und pmCT-Datensätze von Verstorbenen mit Sektionsanordnung aus dem Zeitraum von Juni 2011 bis Dezember 2013 aus den beiden rechtsmedizinischen Instituten Berlins.

### 2.2 Studienpopulation

#### 2.2.1 Auswahl der Studienfälle

Die Studienfälle entstammen dem Obduktionsgut des Institutes für Rechtsmedizin und Forensische Wissenschaften der Charité - Universitätsmedizin Berlin und des Berliner Landesinstitutes für gerichtliche und soziale Medizin, die unter der Leitung von Prof. Dr. med. Michael Tsokos stehen.

Die Auswahl der Studienpopulation ist als Flussdiagramm in Abbildung 5 dargestellt.

#### *Basis*

Zwischen Juni 2011 (Beginn der computertomographischen Erfassung des Obduktionsguts) und Dezember 2013 erhielten 809 (15,6%) der insgesamt obduzierten 5194 Leichen eine der Obduktion vorausgehende pmCT.

#### *1. Selektionsschritt*

Die Obduktionsakten dieser 809 Fälle wurden anschließend auf die Nennung einer Einwirkung scharfer Gewalt hin untersucht. Unter scharfe Gewalt fielen dabei jegliche Befunde, die wortwörtlich mit scharfer Gewalt assoziiert oder die durch Stich- und Schnittwaffen ausgelöst wurden. Wenn ein Leichnam lediglich durch scharfe oder spitze Gegenstände zugefügte, die Oberhaut nicht durchdringende Kratzspuren aufwies, war

dies kein Einschlusskriterium für diesen Fall. Die Einwirkung scharfer Gewalt musste bei Leichen, die laut Obduktionsakten keinen hohen Fäulnis- und Zersetzungsgrad aufwiesen, in unmittelbarer zeitlicher Nähe zum Todeseintritt stehen. Bei Leichen, die bereits in fortgeschrittener Fäulnis und Zersetzung in den Instituten eintrafen, war jegliche Nennung scharfer Gewalt ausreichend.

Keine Beachtung fanden Fälle, in denen das Zufügen scharfer Gewalt im Rahmen ärztlicher Maßnahmen (Knochenmark- und Gefäßpunktion, Koniotomie) stattfand. Nach dieser ersten Selektion verblieben 46 Fälle.

## *2. Selektionsschritt*

In einem zweiten Selektionsschritt wurde die weitere Eindringtiefe der Ereignisse scharfer Gewalt in das Körpergewebe der Leichname über das Oberhautniveau hinaus betrachtet. Alle Fälle, die mindestens ein Ereignis scharfer Gewalt aufwiesen, welches das Haut- und Unterhautfettgewebe durchsetzte und tiefere Schichten wie Muskel- oder Knochengewebe erreichte, wurden ausgewählt. Fälle, die lediglich oberflächlichere Ereignisse aufwiesen (8 Fälle) wurden ausgeschlossen. Es verblieben 38 Fälle, die in die vorliegende Studie eingingen.

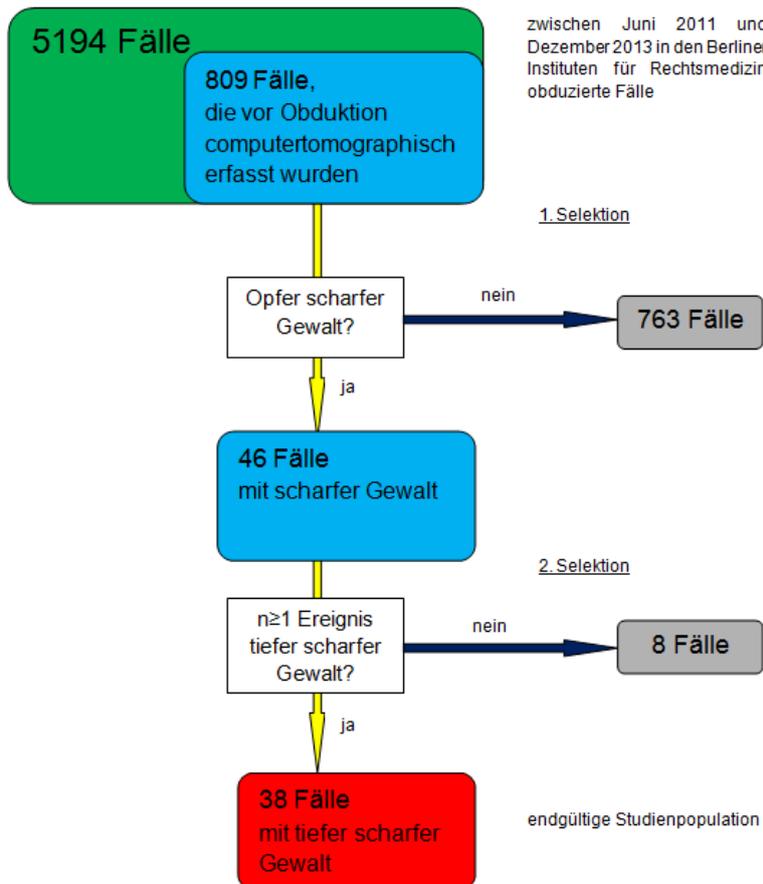


Abbildung 5: Flussdiagramm: Auswahl der Studienpopulation

### 2.2.2 Beschreibung der Studienpopulation

Die aus 38 Einzelfällen bestehende Studienpopulation weist basierend auf den Obduktionsergebnissen, den abschließenden rechtsmedizinischen Gutachten sowie den Instituten zur Verfügung stehenden Personendaten folgende Charakteristika auf:

Ausgewertet werden somit die pmCT-Datensätze und Obduktionsprotokolle von 27 männlichen (71,1%) und 11 weiblichen pseudonymisierten Verstorbenen (28,9%), deren Altersverteilung von 18 bis 82 Lebensjahren reicht, mit einem Mittelwert von 45,3 und einem Median von 45,5 Lebensjahren (Abbildung 6):

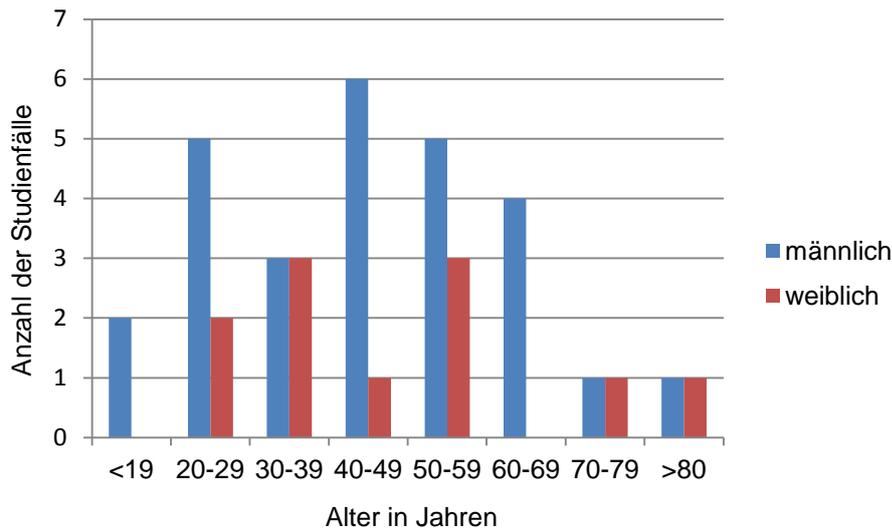


Abbildung 6: Studienpopulation: Altersverteilung (aufgeteilt nach Geschlecht)

In 26 Fällen ist die Todesursache scharfe Gewalt (68,4%), in 7 Fällen ist der Tod durch eine andere Ursache als scharfe Gewalt bedingt (18,4%), in 3 Fällen liegt eine konkurrierende Todesursache aus scharfer Gewalt und einer anderen Ursache als scharfer Gewalt vor (7,9%). In 2 Fällen blieb die Todesursache unklar (5,3%) (Abbildung 7):

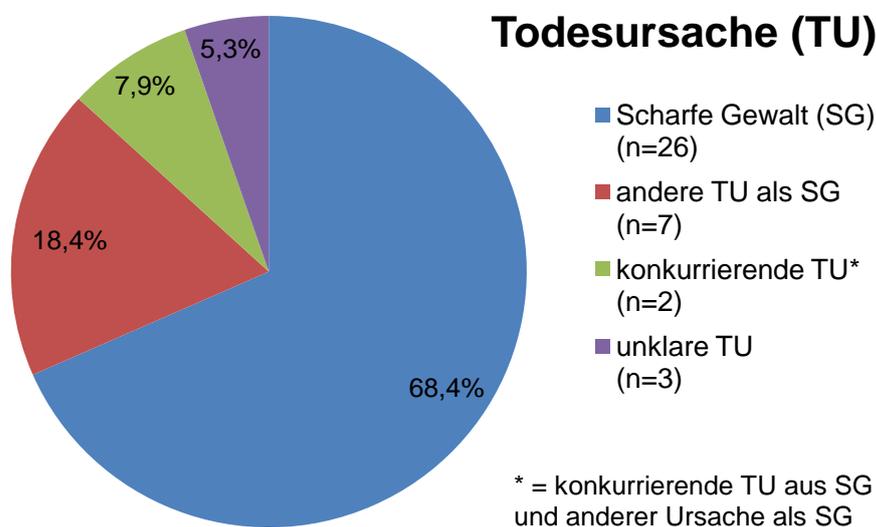


Abbildung 7: Studienpopulation: Todesursachenverteilung

23 Fälle wurden nach Vorliegen der Obduktionsbefunde und Ermittlungsergebnisse als Tötungen angesehen (60,5%), während in 15 Fällen die Einwirkung akzidentiell oder in suizidaler Absicht erfolgte (39,5%) (Abbildung 8):

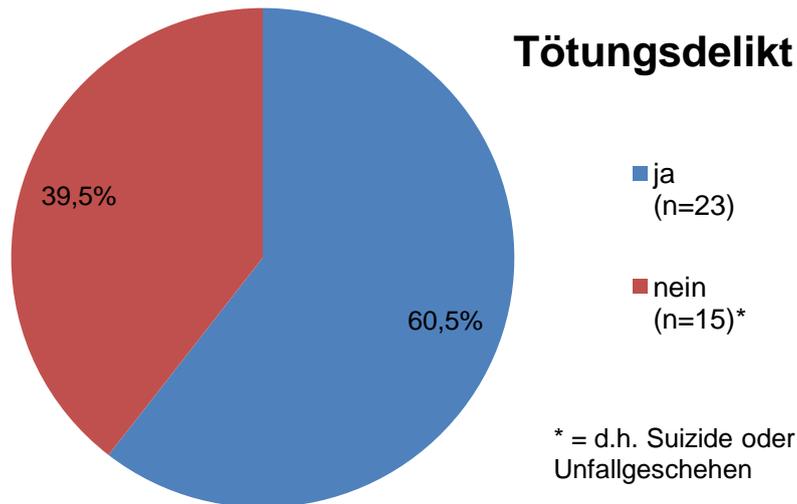


Abbildung 8: Studienpopulation: Anteil der Tötungsdelikte

Weiterhin wurden die Studienfälle auf eine Nennung der Lokalisation der Verletzungen durch scharfe Gewalt hin untersucht und eine Zuteilung der Fälle in zentrale und/oder periphere scharfe Gewalt vorgenommen. Dafür wurden ausschließlich Ereignisse scharfer Gewalt betrachtet, welche das Haut- und Unterhautfettgewebe durchsetzten und tiefere Schichten wie Muskel- oder Knochengewebe erreichten. Eine zentrale Lokalisation lag vor, wenn das Ereignis den Kopf, Hals oder Rumpf betraf, eine periphere Lokalisation, wenn die Extremitäten betroffen waren. Sobald mindestens ein entsprechendes Ereignis in zentraler bzw. peripherer Lokalisation vorlag, wurde der Studienfall der jeweiligen Kategorie zugeordnet. 20 Fälle weisen ausschließlich scharfe Gewalt in zentraler Lokalisation auf (52,6%), 6 Fälle ausschließlich in peripherer Lokalisation (15,8%). Bei 12 Fällen liegt scharfe Gewalt in zentraler und peripherer Lokalisation vor (31,6%) (Abbildung 9):

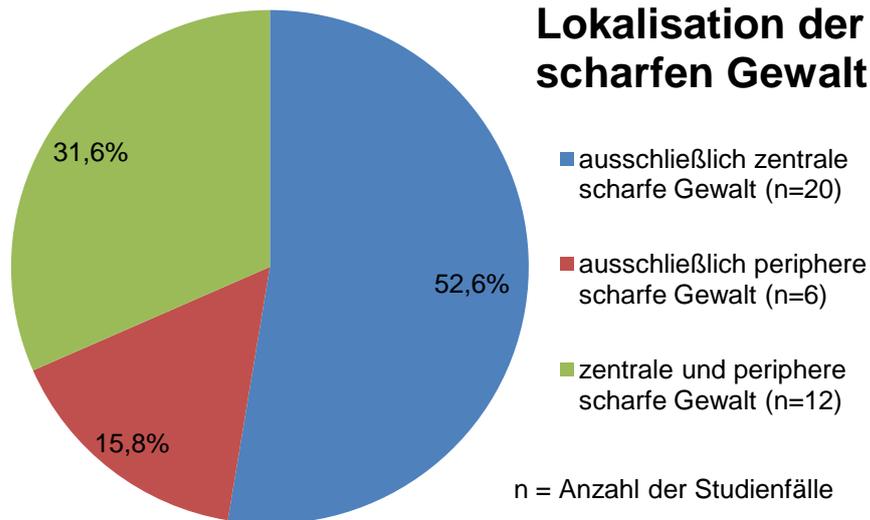


Abbildung 9: Studienpopulation: Lokalisation der scharfen Gewalt

Tabelle 1 listet die oben genannten Kriterien für jeden der 38 Studienfälle noch einmal dezidiert auf. Zudem finden sich dort unterschiedlich detaillierte Angaben zu den Zeiträumen zwischen Todeseintritt und pmCT bzw. Obduktionsbeginn sowie zwischen pmCT und Obduktionsbeginn. Nicht in allen Fällen lassen sich diese Zeitintervalle retrospektiv exakt angeben und können oft lediglich auf ein Zeitfenster eingegrenzt werden bzw. bleiben bei einigen Fällen auch nach sorgfältiger Auswertung der Ermittlungsergebnisse zeitlich unklar. Durch einen Rückgriff auf die Tabelle ist in Einzelfällen, die exaktere Angaben bei den Zeitintervallen aufweisen, ein Informationszugewinn möglich. Weiterhin ordnet Tabelle 1 den Studienfällen Angaben zu Fäulnis- und Zersetzungsercheinungen zu, welche weder bei der Auswahl der Studienpopulation noch bei der Befunderhebung als Ausschlusskriterium galten. In 28 Fällen werden sichtbare Fäulnis und Zersetzungsprozesse verneint oder nicht explizit genannt (73,7%), wobei anzunehmen ist, dass sofern Fäulnis- und Zersetzungsprozesse sichtbar gewesen waren, diese auch in Obduktionsergebnissen und Gutachten schriftlich festgehalten wurden. In 4 Fällen lag eine beginnende Fäulnis und Zersetzung (10,5%), in 6 Fällen fortgeschrittene Fäulnis und Zersetzung (15,8%) vor (Abbildung 10):

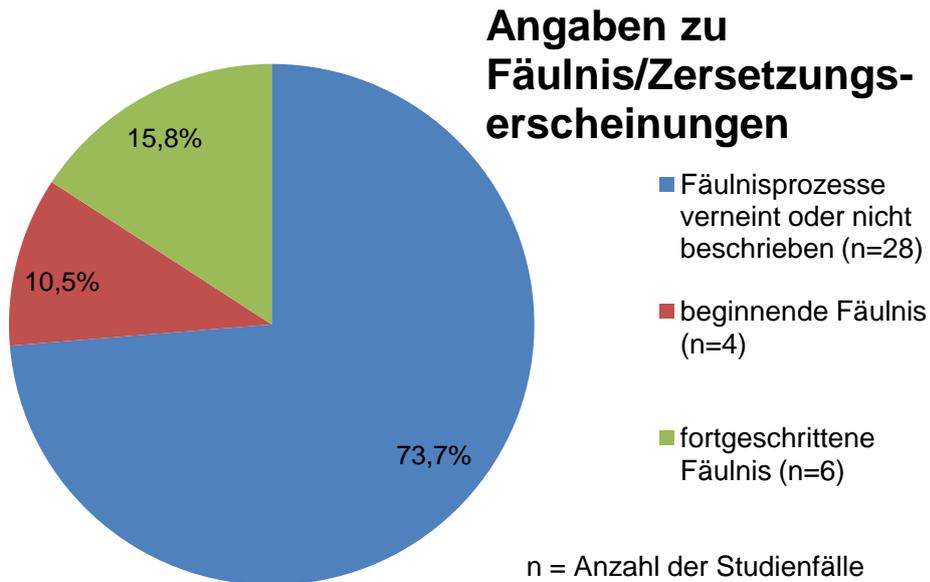


Abbildung 10: Studienpopulation: Grad der Fäulnis/Zersetzung

Ebenso gibt Tabelle 1, Auskunft darüber, ob bei den Studienfällen der Versuch einer Herz-Lungen-Wiederbelebung, durchgeführt wurde und ob in diesem Rahmen Gefäßzugänge gelegt wurden.

Tabelle 1 - Studienpopulation und Charakteristika

Falln°	Geschlecht	Alter	TU	Tötung	SG: Lokalisation	Tod>pmCT	Tod>Obduktion	pmCT>Obduktion	Fäulnis	CPR	Zugang
1	m	31	SG	nein	zen	unk	unk	<1h	-	ja	/
2	w	48	kon	ja	zen	<24h	<24h	<1h	-	ja	/
3	m	47	SG	ja	zen	unk	unk	<3h	-	ja	ja
4	w	73	SG	ja	zen	unk	unk	<1h	-	/	/
5	m	54	SG	nein	zen	6d	6d	<1h	-	ja	ja
6	m	26	SG	nein	zen	5d	6d	~24h	-	ja	ja
7	w	51	SG	ja	zen	~14d	~14d	<1h	++	nein	nein
8	w	50	kon	nein	per	~12-18d	~12-18d	<1h	+	nein	nein
9	m	31	SG	nein	per	7d	7d	<1h	-	nein	nein
10	m	18	SG	ja	zen	<24h	<24h	<24h	-	ja	ja
11	m	43	SG	nein	zen	unk	unk	<4d	-	/	/
12	m	58	SG	nein	zen	unk	unk	<24h	-	/	/
13	m	27	SG	nein	per	7d	8d	<24h	+	nein	nein
14	w	39	and	nein	zen, per	~3-5d	~4-6d	<24h	+	nein	nein
15	m	31	and	ja	zen	<24h	<24h	<24h	-	ja	ja
16	m	55	SG	ja	zen	<24h	<24h	<1h	-	ja	ja
17	m	26	SG	ja	zen	<24h	<24h	<24h	-	ja	ja
18	m	64	unk	nein	per	2d	6d	4d	-	ja	/
19	m	28	SG	ja	zen, per	~2d	~2d	<2h	-	nein	nein
20	m	42	and	ja	zen	unk	unk	~2h	-	ja	ja
21	m	62	SG	nein	zen	<24h	<24h	<1h	-	nein	nein
22	m	18	SG	ja	zen	unk	unk	<24h	-	/	ja
23	w	26	and	nein	zen	5d	6d	~24h	-	ja	ja
24	m	72	unk	nein	zen	unk	unk	<24h	++	nein	nein
25	m	62	SG	nein	per	unk	unk	<1h	++	nein	nein
26	m	41	and	ja	per	<24h	<24h	~1h	-	nein	nein
27	m	56	kon	ja	zen	~8-9d	~8-9d	<1h	++	nein	nein
28	m	21,5	SG	ja	zen	<24h	<24h	<1h	-	nein	nein
29	w	82	and	nein	zen, per	5d	7d	2d	+	nein	nein
30	m	59	SG	ja	zen, per	unk	unk	<1h	++	nein	nein
31	m	82	SG	ja	zen, per	~1d	~1d	<1h	-	ja	/
32	w	30	SG	ja	zen, per	<24h	<24h	<24h	-	nein	nein
33	w	57	and	ja	zen, per	<24h	<24h	<1h	-	nein	nein
34	m	62	SG	ja	zen, per	<24h	<24h	<1h	-	nein	nein
35	m	46	SG	ja	zen, per	13d	13d	<3h	++	nein	nein
36	w	21	SG	ja	zen, per	<24h	<24h	<24h	-	nein	nein
37	m	45	SG	ja	zen, per	<24h	<24h	<24h	-	/	/
38	w	36	SG	ja	zen, per	~1d	~1d	<24h	-	ja	/

## Legende:

-Alter in Jahren, "SG: Lokalisation" = Lokalisation der scharfen Gewalt, "Tod>pmCT" = Zeitintervall zwischen Todesertritt und postmortaler Computertomographie, "Tod>Obduktion" = Zeitintervall zwischen Todesertritt und Obduktionsbeginn, "pmCT>Obduktion" = Zeitintervall zwischen postmortaler Computertomographie und Obduktionsbeginn, "Fäulnis" = Fäulnisgrad, "CPR" = Herz-Lungen-Wiederbelebung, "Zugang" = Gefäßzugang/-zugänge  
 - "m" = männlich, "w" = weiblich, "TU" = Todesursache, "SG" = Todesursache, "SG" = scharfe Gewalt, "and" = anderes, "kon" = konkurrierende TU, "zen" = zentral, "per" = peripher, "unk" = unklar, "h" = Stunden, "d" = Tage, "-" = keine/nicht explizit genannt, "++" = beginnend, "+" = fortgeschritten, "/" = keine Angaben

## 2.3 postmortale Computertomographie und Obduktion

Nach Eintreffen der einzelnen Leichname in den rechtsmedizinischen Instituten wurden die Verstorbenen bis zur pmCT/Obduktion in Kühlvorrichtungen bei 4-6°C aufbewahrt. Zwischen dem Zeitpunkt der Auffindung des Leichnams und der Durchführung der Obduktion lagen je nach Anordnungspraxis des Gerichts bzw. der Staatsanwaltschaft 0 bis max. 4 Tage.

### 2.3.1 computertomographische Datenerfassung

#### *CT-Gerät*

Die CT-Ganzkörperdatensätze der Studienfälle wurden einheitlich mit dem 16-Zeilen-Spiral-CT-Scanner *Activion™ 16* der Firma *TOSHIBA Medical Systems GmbH* (41460 Neuss, Deutschland) erstellt.

#### *Positionierung der Leichname im Computertomographen*

Während der computertomographischen Erfassung befanden sich die Leichname der Studienfälle in Leichenbergesäcken aus CT-artefaktfreier Kunststoffolie, in welche sie bereits am Tatort nach Beendigung der dortigen Befundaufnahme verbracht wurden. Die Körper wurden in Rückenlage liegend auf dem CT-Tisch platziert. Bis auf eine in Einzelfällen notwendige Umlagerung der Extremitäten zur Einbringung der Leichname in die Gantry, wurde von einer weiteren Änderung der Körperposition abgesehen.

#### *Erfassungseinstellungen*

Von jedem Studienfall wurden mindestens zwei CT-Bildserien erstellt. Serie 1 erfasst die Körper der Studienfälle von der Kopfspitze bis zum Übergang des Halses zum Rumpf. Serie 2 besteht aus einem Ganzkörperscan, von Kopf bis Fuß. Die für die Serie 1 verwendete Kollimation betrug 0,5x16mm, für die Serie 2 1x16mm. Für beide Serien betrug der Pitchfaktor 0,938 und die Röhrenspannung 120 kV.

#### *Datenspeicherung*

Die CT-Bilddaten der Studienfälle wurden im PACS (*Curasystems GmbH* 76689 Karlsdorf, Deutschland) mit der verwendeten Software *curaArchive 3.1.184 / curaSmartClient 2.x* gespeichert und von dort zur späteren Auswertung aufgerufen.

### 2.3.2 Obduktionsverfahren

Die Obduktionen erfolgten den Vorgaben der StPO entsprechend. Dabei besaßen die Obduzenten Vorabkenntnisse der CT-Datensätze. Diese Kenntnisse mussten den Obduzenten zugänglich gemacht werden, da ein maximaler Erkenntnisgewinn aufgrund der forensischen Relevanz der behandelten Fälle zum Zeitpunkt der Obduktion unabdingbar ist. Die Untersuchungsschritte und Befunde der Obduktion wurden in den Obduktionsprotokollen und -befunden schriftlich, z.T. auch mit angehängten Farbfotografien, detailliert und nachvollziehbar beschrieben und dokumentiert.

## 2.4 Befunderhebung in vorliegender Studie

Die für diese Studie vorgenommene Auswertung setzt zu einem Zeitpunkt ein, zu dem für jeden der Studienfälle die Ergebnisse der Obduktion in schriftlicher Form sowie ein pmCT-Ganzkörperdatensatz vorlagen.

Die pmCT-Datensätze und die Obduktionsergebnisse (in Form von Obduktionsprotokollen und -befunden) wurden auf das Vorliegen folgender Befunde hin ausgewertet:

- Hämatothorax inklusive Volumenbestimmung
- Hämaskos
- Hämoperikard inklusive Volumenbestimmung
- Pneumothorax
- Gasembolie

Bei den Befunden Pneumothorax und Hämatothorax wurde eine seitengetrennte, für jede Pleurahöhle separate Betrachtung vorgenommen. Zudem wurde für jeden der Befunde untersucht, ob ein sichtbares Ereignis scharfer Gewalt vorliegt, das als Auslöser in Betracht kommt.

Des Weiteren wurden die Obduktionsergebnisse und pmCT-Datensätze auf die Sichtbarkeit von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) im Körpergewebe hin ausgewertet.

### *Auswertung der Obduktionsergebnisse*

Die Obduktionsprotokolle und -befunde lagen in Papierform in den Institutsarchiven vor. Sie wurden auf die Beschreibung obiger Befunde sowie auf die Zuordnung eines auslö-

senden Ereignisses scharfer Gewalt hin untersucht. Dabei lag einer der obigen Befunde vor, wenn er als solcher morphologisch beschrieben und bewertet wurde.

### *Auswertung der CT-Datensätze*

Die pmCT-Datensätze wurden unter Aufsicht eines radiologisch erfahrenen Rechtsmediziners auf obige Befunde und sichtbare Ereignisse scharfer Gewalt, die als Auslöser in Frage kommen, hin ausgewertet. Die Entscheidungskriterien sind unter Pkt. 2.4.2 aufgeführt.

#### 2.4.1 Software zur Auswertung der CT-Datensätze

Bis auf die Bestimmung der HE-Werte wurden das gesamte Spektrum der vorliegenden Arbeit an einer Workstation ausgewertet, welche mit der Software der Firma *Vital Images Inc.* (55343 Minnesota, USA) mit der Typbezeichnung *Vitrea fx* (Version 6.5.5) ausgestattet ist. Die Bestimmung der HE-Werte für die Befunde Hämatothorax, Hämas-kos und Hämoperikard erfolgte an einer Workstation, welche mit der Software der Firma *Pixmeo SARL* (1233 Bernex, Schweiz) mit der Typbezeichnung *OsiriX* (Version 4.1.1 64-bit) ausgestattet ist. Beide Softwares lassen 2D-Rekonstruktionen in beliebig gewählten Bildebenen zu. Für die Befunderhebung wurden vor allem axiale, sagittale und frontale Bildansichten gewählt. Diese Bildansichten können in unterschiedlichen Fensterungen angezeigt werden. Zentrum und Breite der Fensterung ist dabei entweder frei einstellbar, die Softwares lassen jedoch ebenso den Rückgriff auf voreingestellte Fensterungen für bestimmte Körperregionen und -gewebe zu. Die verwendeten Softwares erlauben zudem radiologisch etablierte Visualisierungsverfahren wie Maximum- (MIP) und Minimumintensitätsprojektionen (MinIP) sowie 3D-Bildrekonstruktionen. Zur Volumenbestimmung stand das Werkzeug der manuellen Segmentation von Bildbereichen in aufeinander folgenden Bildebenen gleicher Ausrichtung zur Verfügung, deren Aufsummierung eine Volumenschätzung in Milliliter (ml) zulässt. Die Volumenbestimmungen in dieser Studie wurden an Bildebenen axialer Ausrichtung durchgeführt.

Zur Dokumentation wurden für jeden Studienfall zu jedem Befund, ob vorliegend oder nicht, und zu jedem auslösenden Ereignis scharfer Gewalt anonymisierte Bilder in digitaler Form über die Fotofunktion der Softwares erstellt. Eine Ausnahme davon bildete die Dokumentation sichtbarer Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) im Körpergewebe. Hier wurden lediglich Bilder erstellt, welche den Befund der sichtbaren Waffen(-

fragmente) abbilden. Die Bilder wurden in Form von digitalen ".jpeg"-Dateien auf einem externen Speichermedium mit separierten Ordnern für jeden Studienfall archiviert.

#### 2.4.2 Entscheidungskriterien über Vorliegen der Befunde

Im Folgenden sind die Kriterien beschrieben, nach denen über das Vorliegen der betrachteten Befunde und der sie auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt in den Obduktionsergebnissen und pmCT-Datensätzen entschieden wurde. Da aufgrund der computertomographischen Schwächen in der Differenzierung von Weichgewebe (vgl. Pkt. 1.2.1) eine potentiell schlechtere Darstellung der auslösenden Ereignisse in der pmCT angenommen werden konnte, wurde hier zwischen sicher und potentiell ursächlichen Ereignissen unterschieden.

Die angewendeten Verfahren zur Volumenbestimmung bei Vorliegen eines Hämoperikards bzw. Hämatothorax werden erläutert. Zudem werden Ausschlusskriterien für Studienfälle bei der Erhebung der einzelnen Befunde genannt. Die Erkennungskriterien für das Vorliegen von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) im Körpergewebe in den Obduktionsergebnissen und der pmCT genannt werden ebenfalls aufgeführt.

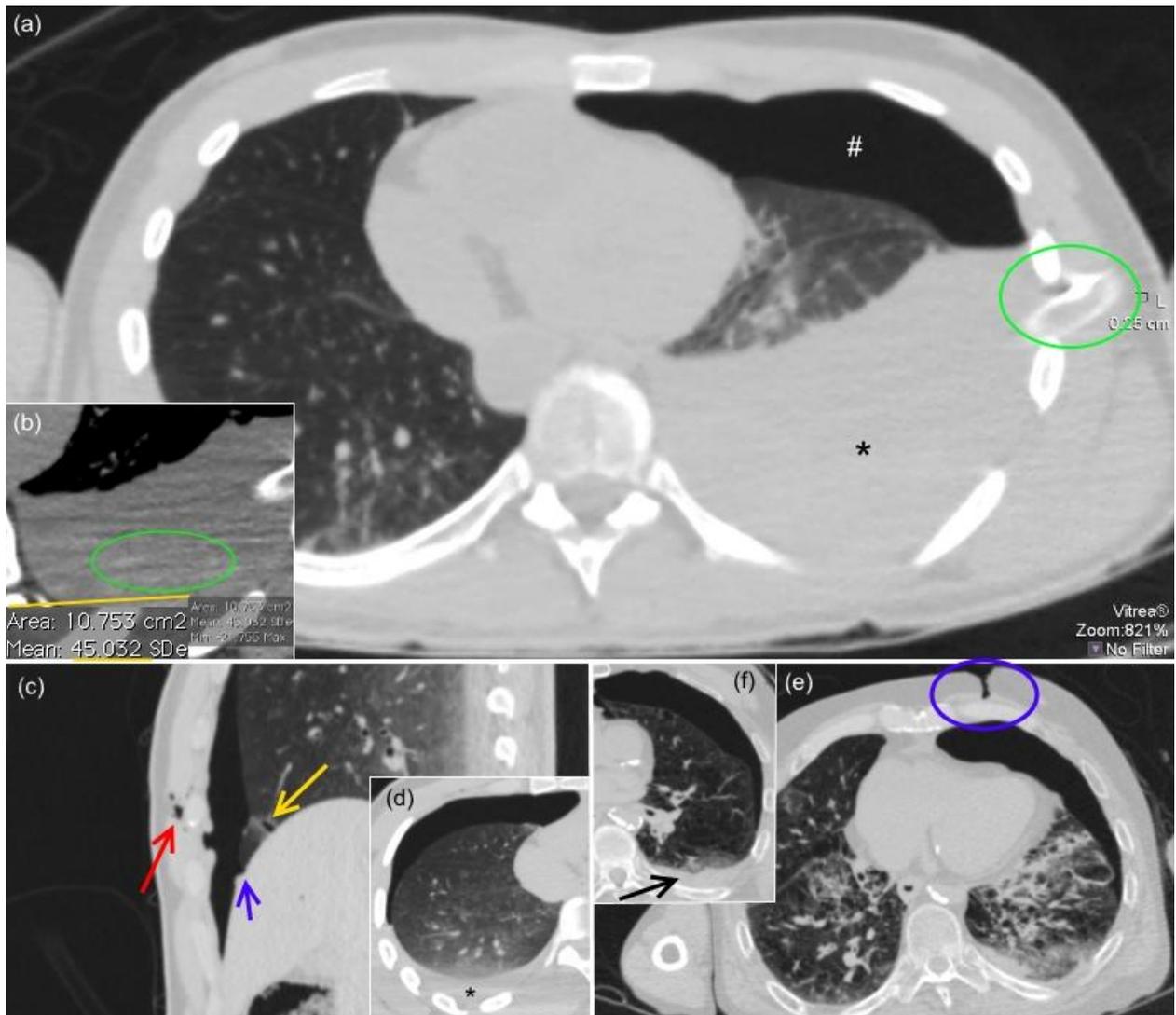
##### *Hämatothorax inkl. Volumenbestimmung*

Bei dem Befund des Hämatothorax wird eine seitentrennte Betrachtung beider Pleurahöhlen vorgenommen. Abbildung 11 beinhaltet die Entscheidungskriterien für den Befund des Hämatothorax und für das auslösende Ereignis scharfer Gewalt, Angaben zur Volumenbestimmung sowie die Ausschlusskriterien für einzelne Studienfälle.

<b>Obduktion</b>	<b>Kriterium</b>	<b>pmCT</b>
beschriebene Blutansammlung in Pleurahöhle	<b>Hämatothorax</b>	sichtbare Ansammlung von Flüssigkeit (HE: 40-80, ggf. mit Sedimentationsphänomen) in Pleurahöhle (axiales Schnittebene), die gesamte Pleurahöhle ausfüllend od. in ventral konkaver, halbmondartiger Form bei Rückenlage
Scharfe Gewalt wird als den Hämatothorax bedingend beschrieben.	<b>Ursache scharfe Gewalt</b>	<p><u>sicher</u>: sichtbare Verletzung, welche die Pleurahöhle eröffnet und das Herz, die Lunge od. intrathorakale Gefäße verletzt</p> <p><u>potentiell</u>: sichtbare Verletzung, welche die Pleurahöhle eröffnet ohne sichtbare Verletzung des Herzens, der Lunge od. intrathorakaler Gefäße oder sichtbare Verletzung des Thorax ohne sichtbare Eröffnung der Pleurahöhle</p>
Übernahme der Volumenangabe aus den Obduktionsergebnissen	<b>Volumenbestimmung</b>	Verfahren der manuelle Segmentation der Flüssigkeit in allen axialen Schichten (Schichtdicke: 1 mm), in denen diese sichtbar ist und Aufsummierung via <i>Vitrea</i> -Volumenfunktion [Angabe in ml]
Von der Betrachtung ausgenommen wurden Studienfälle, die nach Zufügen der scharfen Gewalt am Herzen operiert wurden.		

Abbildung 11: Hämatothorax: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien, Volumenbestimmung

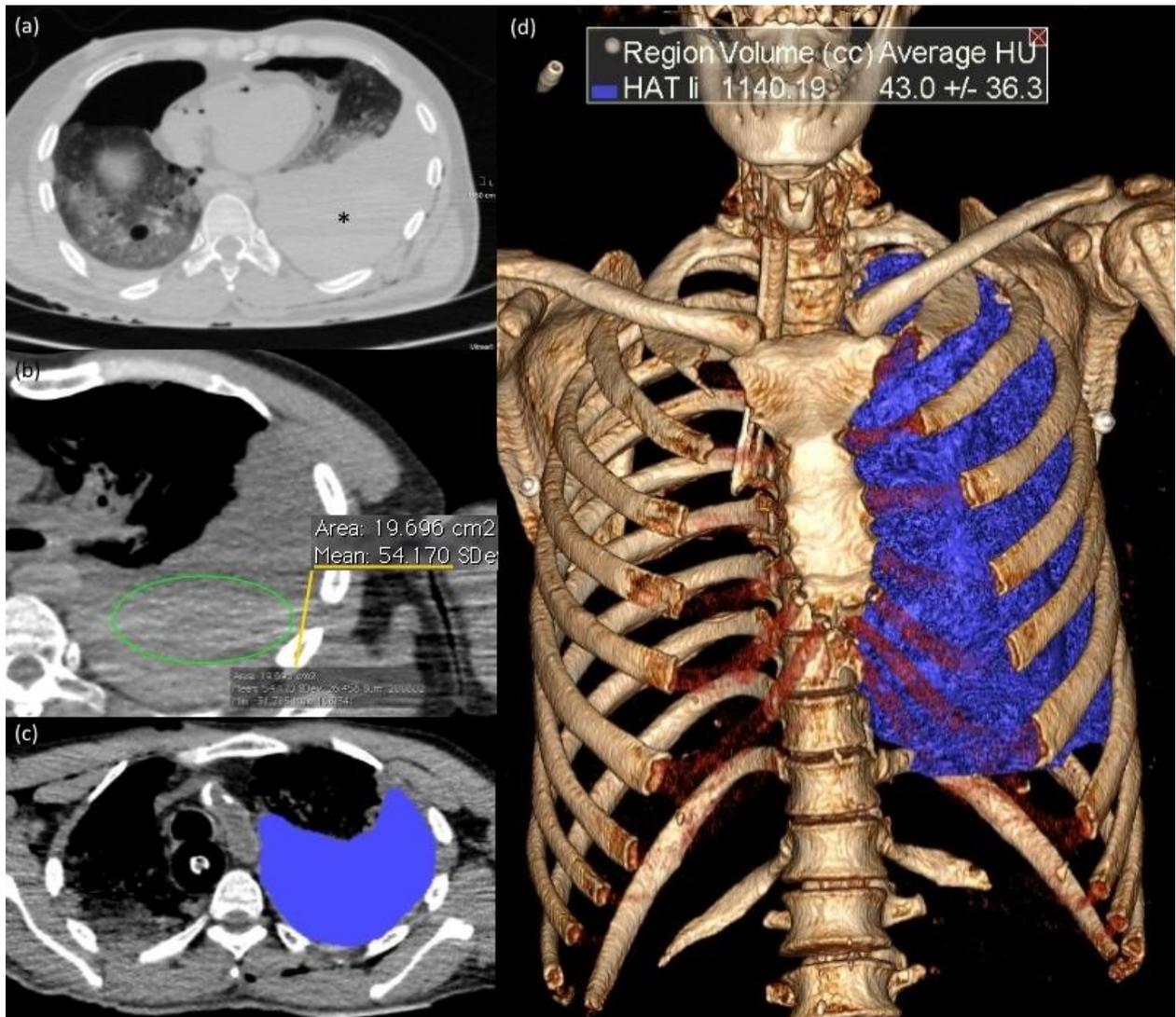
Abbildung 12 verdeutlicht exemplarisch anhand ausgesuchter Studienfälle die Entscheidungskriterien für den Befund des Hämatothorax und die ihn auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt in der pmCT.



(a,b) axial, SF 10, (b) vergrößerter Ausschnitt: (a) Flüssigkeitsansammlung in der linken Thoraxhöhle (schwarzes Sternchen) [nebenbefundlich wird ein Pneumothorax links (weiße Raute) sowie eine liegende Thoraxdrainage detektiert (grüne Ellipse)]. (b) HE-Messung der Flüssigkeitsansammlung im Sinne von Blut (HE: 45.0) (gelb unterstrichen). (c,d) SF 28: (c) sagittal: Stichverletzung mit Defekt der Thoraxwand (roter Pfeil), Lungen- (gelber Pfeil) und Herzdefekt (blauer Pfeil) (sichere Ursache). (d) axialer Thoraxausschnitt: korrespondierender Hämatothorax rechts (schwarzes Sternchen). (e,f) axial, SF 21: (e) Stichverletzung mit Verletzung der Thoraxwand (blaue Ellipse), die im Verlauf zwar die Pleurahöhle eröffnet (hier nicht sichtbar), in der pmCT jedoch keine Lungen- oder Herzverletzung aufweist (potentielle Ursache). (f) Thoraxausschnitt: korrespondierender Hämatothorax links (schwarzer Pfeil).

Abbildung 12: pmCT: Entscheidungskriterien: Hämatothorax, auslösende Ereignisse

Abbildung 13 verdeutlicht exemplarisch anhand von Studienfall 16 das Verfahren der Volumenbestimmung in der pmCT bei dem Befund des Hämatothorax.



(a,b,c) axial, SF 16: Zunächst Detektion einer Flüssigkeitsansammlung in der linken Thoraxhöhle (schwarzes Sternchen). (b) Anschließende HE-Messung der detektierten Flüssigkeitsansammlung im Sinne von Blut (HE: 54.2) (gelbe Ellipse). (c) Die Blutansammlung in der Thoraxhöhle wird wie hier in jeder axialen Schicht manuell markiert (blaue Fläche). (d) 3D-Rekonstruktion und Volumenmessung der zuvor segmentierten Blutansammlung, SF 16: 1140.19 ml.

Abbildung 13: pmCT: Volumenbestimmung: Hämatothorax

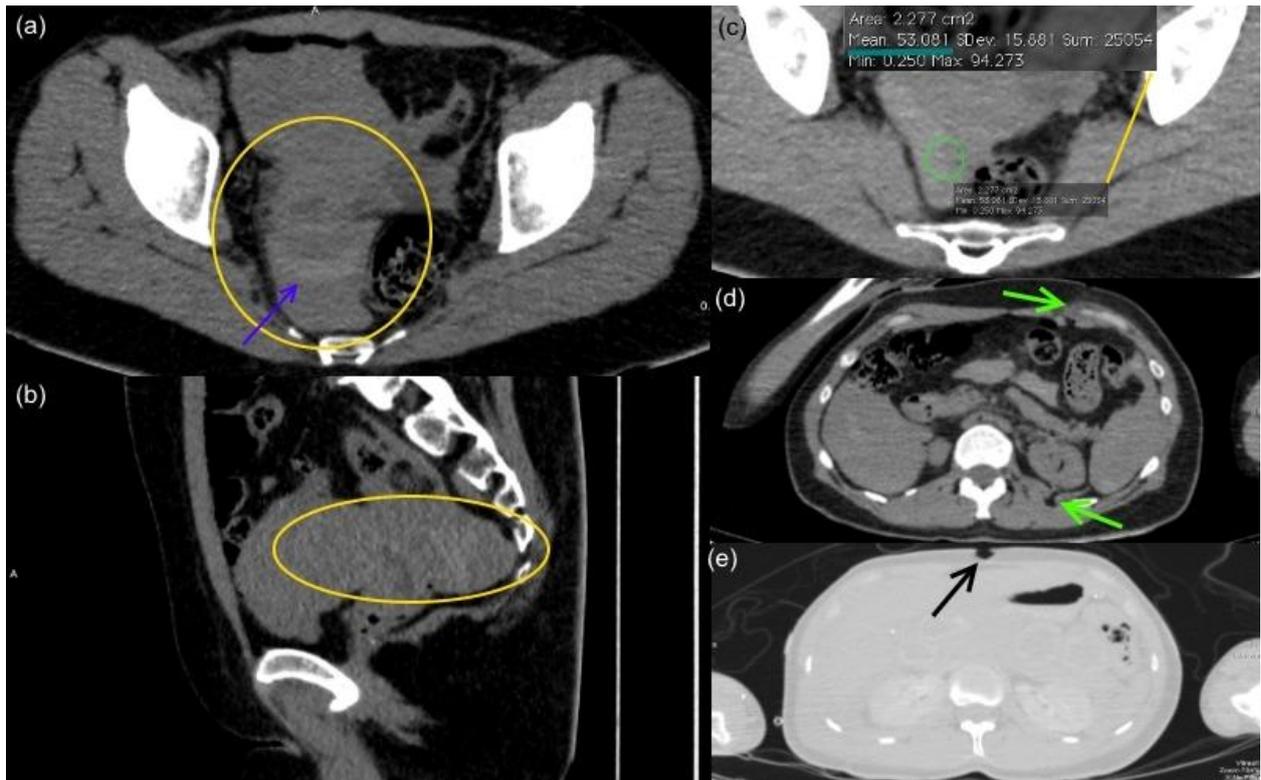
### Hämaskos

Abbildung 14 beinhaltet die Entscheidungskriterien für den Befund des Hämaskos und für das auslösende Ereignis scharfer Gewalt sowie die Ausschlusskriterien für einzelne Studienfälle.

<b>Obduktion</b>	<b>Kriterium</b>	<b>pmCT</b>
beschriebene Blutansammlung in der Abdominalhöhle	<b>Hämaskos</b>	sichtbare Ansammlung von Flüssigkeit (HE: 40-80, ggf. mit Sedimentationsphänomen) in der Abdominalhöhle, spezifischer Fokus auf: Recessus hepato-renal, Recessus spleno-renal, Excavatio rectovesicalis bzw. Excavatio rectouterina und Excavatio vesicouterina
Scharfe Gewalt wird als den Hämaskos bedingend beschrieben.	<b>Ursache scharfe Gewalt</b>	<u>sicher</u> : sichtbare Verletzung, welche die Abdominalhöhle eröffnet <hr style="border-top: 1px dashed black;"/> <u>potentiell</u> : sichtbare Verletzung in Abdominalregion, welche die Abdominalhöhle nicht sicher eröffnet
Von der Betrachtung ausgenommen wurden Studienfälle, bei denen es nach Zufügen der scharfen Gewalt zur einem ärztlichen Eingriff in der Abdominalhöhle kam.		

Abbildung 14: Hämaskos: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien

Abbildung 15 verdeutlicht exemplarisch anhand ausgesuchter Studienfälle die Entscheidungskriterien für den Befund des Hämaskos und die ihn auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt in der pmCT.



(a,b,c,d) SF 2: (a) axial: Flüssigkeitsansammlung in Excavatio rectovesicalis (Hämaskos) (gelber Kreis) mit Sedimentationsphänomen (blauer Pfeil). (b) sagittal: Flüssigkeitsansammlung in Excavatio rectovesicalis (Hämaskos) (gelbe Ellipse). (c) axial: HE-Messung der Flüssigkeitsansammlung im Sinne von Blut (HE: 53.1) (grün unterstrichen). (d) axial: Verletzung mit Eröffnung der Bauchhöhle (oberer grüner Pfeil) und retroperitoneales Stichkanalende (unterer grüner Pfeil) (sichere Ursache). (e) axial, SF 23: Stich in Bauchwand, ohne dass in der pmCT eine Eröffnung der Bauchhöhle detektiert werden konnte (potentielle Ursache).

Abbildung 15: pmCT: Entscheidungskriterien: Hämaskos, auslösende Ereignisse

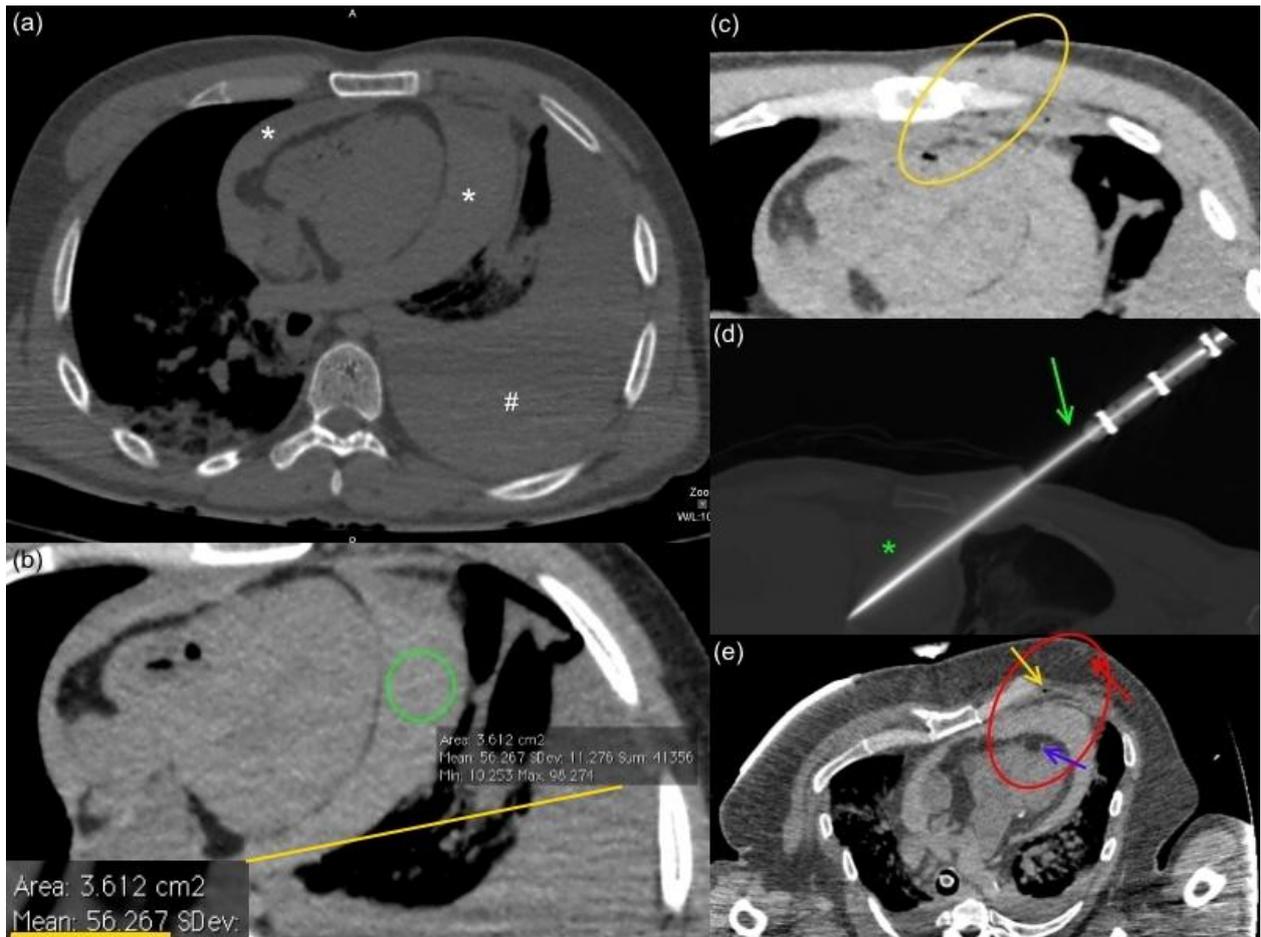
### *Hämoperikard inkl. Volumenbestimmung*

Abbildung 16 beinhaltet die Entscheidungskriterien für den Befund des Hämoperikard und für das auslösende Ereignis scharfer Gewalt, Angaben zur Volumenbestimmung sowie die Ausschlusskriterien für einzelne Studienfälle.

<b>Obduktion</b>	<b>Kriterium</b>	<b>pmCT</b>
beschriebene Blutansammlung in der Perikardhöhle	<b>Hämoperikard</b>	sichtbare Ansammlung von Flüssigkeit (HE: 40-80, ggf. mit Sedimentationsphänomen) in der Perikardhöhle
Scharfe Gewalt wird als das Hämoperikard bedingend beschrieben.	<b>Ursache scharfe Gewalt</b>	<u>sicher</u> : sichtbare Verletzung, welche den Herzbeutel eröffnet
		<u>potenziell</u> : sichtbare Verletzung in Herzhöhe, welche den Herzbeutel nicht sicher eröffnet
Übernahme der Volumenangabe aus den Obduktionsergebnissen	<b>Volumenbestimmung</b>	Verfahren der manuelle Segmentation der Flüssigkeit in allen axialen Schichten (Schichtdicke: 1 mm), in denen diese sichtbar ist und Aufsummierung via <i>Vitrea</i> -Volumenfunktion [Angabe in ml]
Von der Betrachtung ausgenommen wurden Studienfälle, die nach Zufügen der scharfen Gewalt am Herzen operiert wurden.		

Abbildung 16: Hämoperikard: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien, Volumenbestimmung

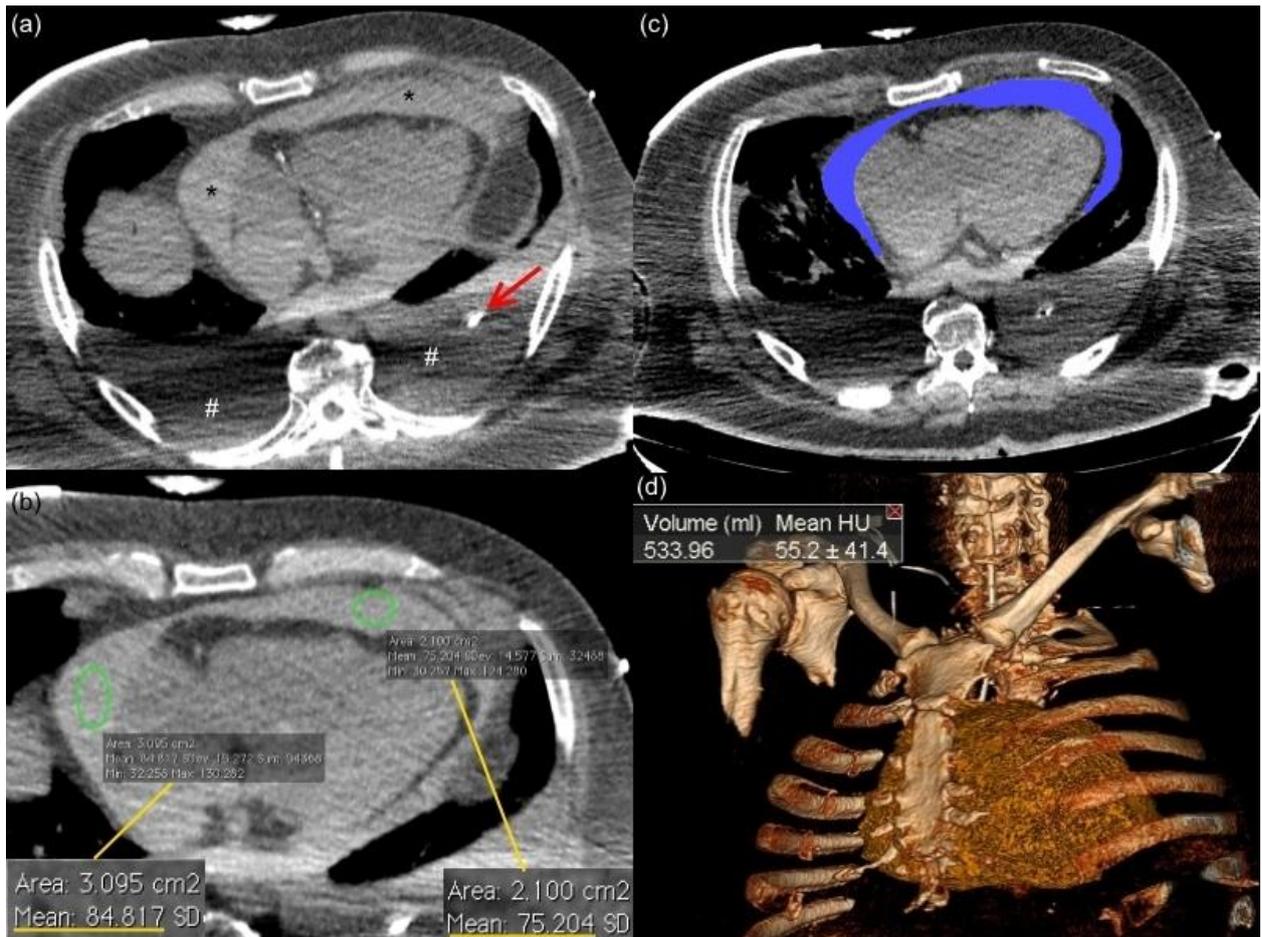
Abbildung 17 verdeutlicht exemplarisch anhand ausgesuchter Studienfälle die Entscheidungskriterien für den Befund des Hämoperikards und die ihn auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt in der pmCT.



(a,b,c) axial, SF 1: Flüssigkeitsansammlung in der Perikardhöhle (weiße Sternchen)[, nebenbefundlich: Hämatothorax links (weiße Raute)]. (b) HE-Messung der Flüssigkeitsansammlung im Sinne von Blut (HE: 56.3) (gelbe Ellipse, gelb unterstrichen). (c) Stichverletzung bis in Herzkammer (sichere Ursache). (d) schräge Aufnahme (MPR), SF 11: Im Herzen (grünes Sternchen) steckendes Messer (grüner Pfeil) (sichere Ursache). (e) schräge Aufnahme (MPR), SF 5: Stichverletzung (rote Ellipse) mit Hautdefekt (roter Pfeil), Gaseinschluss in Thoraxwand (gelber Pfeil) und Herzdefekt (blauer Pfeil) (sichere Ursache). [Ein Ereignis scharfer Gewalt, das als potentielle Ursache für den Befund des Hämoperikard angesehen werden kann, lag in der Studienpopulation nicht vor und kann deswegen hier nicht abgebildet werden.]

Abbildung 17: pmCT: Entscheidungskriterien: Hämoperikard, auslösende Ereignisse

Abbildung 18 verdeutlicht exemplarisch anhand von Studienfall 5 das Verfahren der Volumenbestimmung in der pmCT bei dem Befund des Hämoperikards.



(a,b,c) axial, SF 5: Zunächst Detektion einer Flüssigkeitsansammlung in der Perikardhöhle (schwarze Sternchen) [nebenbefundlich: beidseitige Flüssigkeitsansammlung in der Thoraxhöhle (weiße Raute) sowie linksseitige Thoraxdrainage (roter Pfeil)]. (b) Anschließende HE-Messungen der detektierten Flüssigkeitsansammlung im Sinne von Blut (HE: 84,8, HE: 75,2). (c) Die Blutansammlung in der Perikardhöhle wird wie hier in jeder axialen Schicht manuell markiert. (d) 3D-Rekonstruktion und Volumenmessung der zuvor segmentierten Blutansammlung, SF 5: 533,96 ml.

Abbildung 18: pmCT: Volumenbestimmung: Hämoperikard

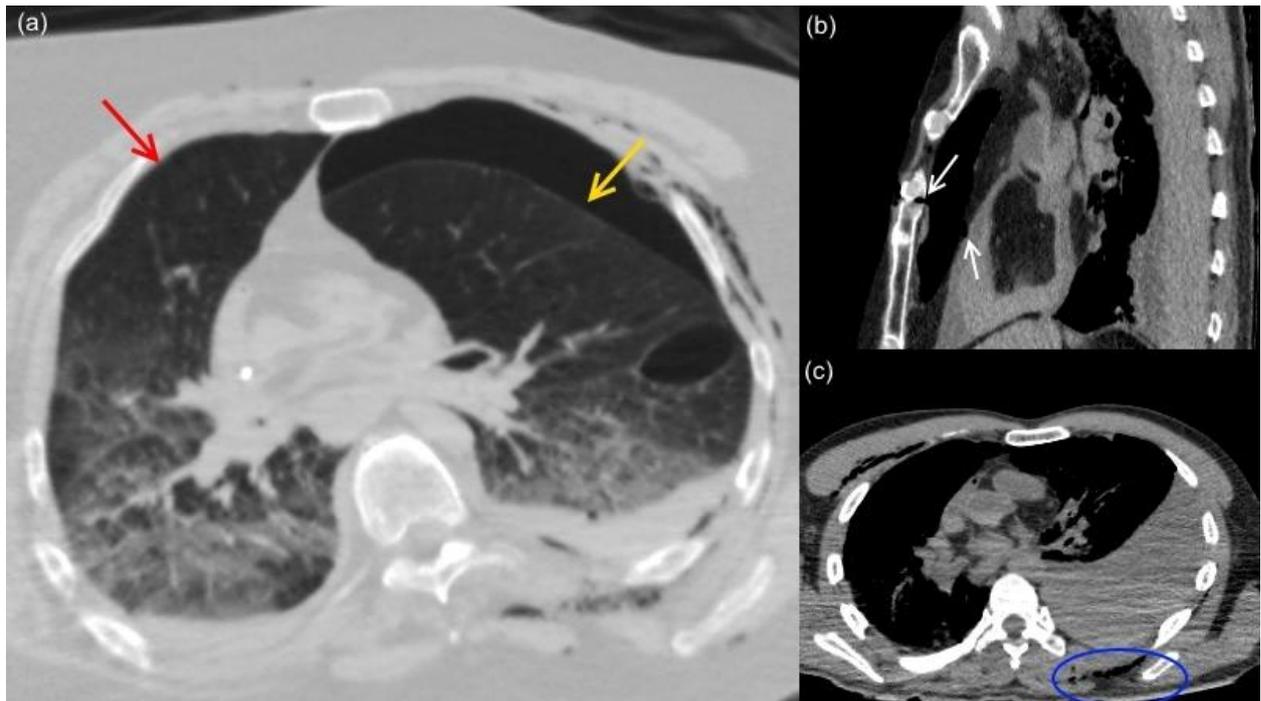
### *Pneumothorax*

Bei dem Befund des Pneumothorax wird eine seitengetrennte Betrachtung beider Pleurahöhlen vorgenommen. Abbildung 19 beinhaltet die Entscheidungskriterien für den Befund des Pneumothorax und für das auslösende Ereignis scharfer Gewalt sowie die Ausschlusskriterien für einzelne Studienfälle.

<b>Obduktion</b>	<b>Kriterium</b>	<b>pmCT</b>
Nicht-Anliegen der Lunge an der Thoraxwand und die Belüftung der Pleurahöhle wird beschrieben.	<b>Pneumothorax</b>	sichtbares Nicht-Anliegen der Lunge an Thoraxwand und via HE detektierte Gasansammlung zwischen Lunge und Thoraxwand in axialen Schnittbildern
Scharfe Gewalt wird als den Pneumothorax bedingend beschrieben.	<b>Ursache scharfe Gewalt</b>	<u>sicher</u> : sichtbare Verletzung, welche die Pleurahöhle eröffnet <hr/> <u>potentiell</u> : sichtbare Verletzung in Thoraxhöhe, welche die Pleurahöhle nicht sicher eröffnet
Von der Betrachtung ausgenommen wurden Studienfälle, bei denen nach Zufügen der scharfen Gewalt eine Thoraxdrainage gelegt wurde oder eine Operation vorgenommen wurde, welche die Pleurahöhle eröffnete.		

Abbildung 19: Pneumothorax: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien

Abbildung 20 verdeutlicht exemplarisch anhand ausgesuchter Studienfälle die Entscheidungskriterien für den Befund des Pneumothorax und die ihn auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt in der pmCT.



(a) axial, SF 33: linksseitiger Pneumothorax, Lunge liegt Thoraxwand nicht an (gelber Pfeil); rechts kein Pneumothorax, Lunge liegt Thoraxwand an (roter Pfeil). (b) sagittal, SF 31: Stich mit Eröffnung der Pleurahöhle (und Herzdefekt) (weiße Pfeile) (sichere Ursache). (c) axial, SF 16: Stich in Thoraxhöhe ohne sichere Eröffnung der Pleurahöhle (trotz Hämatothorax) (blaue Ellipse) (potentielle Ursache). [(b,c) Pneumothoraces sind in den gewählten Fensterungen nicht sichtbar.]

Abbildung 20: pmCT: Entscheidungskriterien: Pneumothorax, auslösende Ereignisse

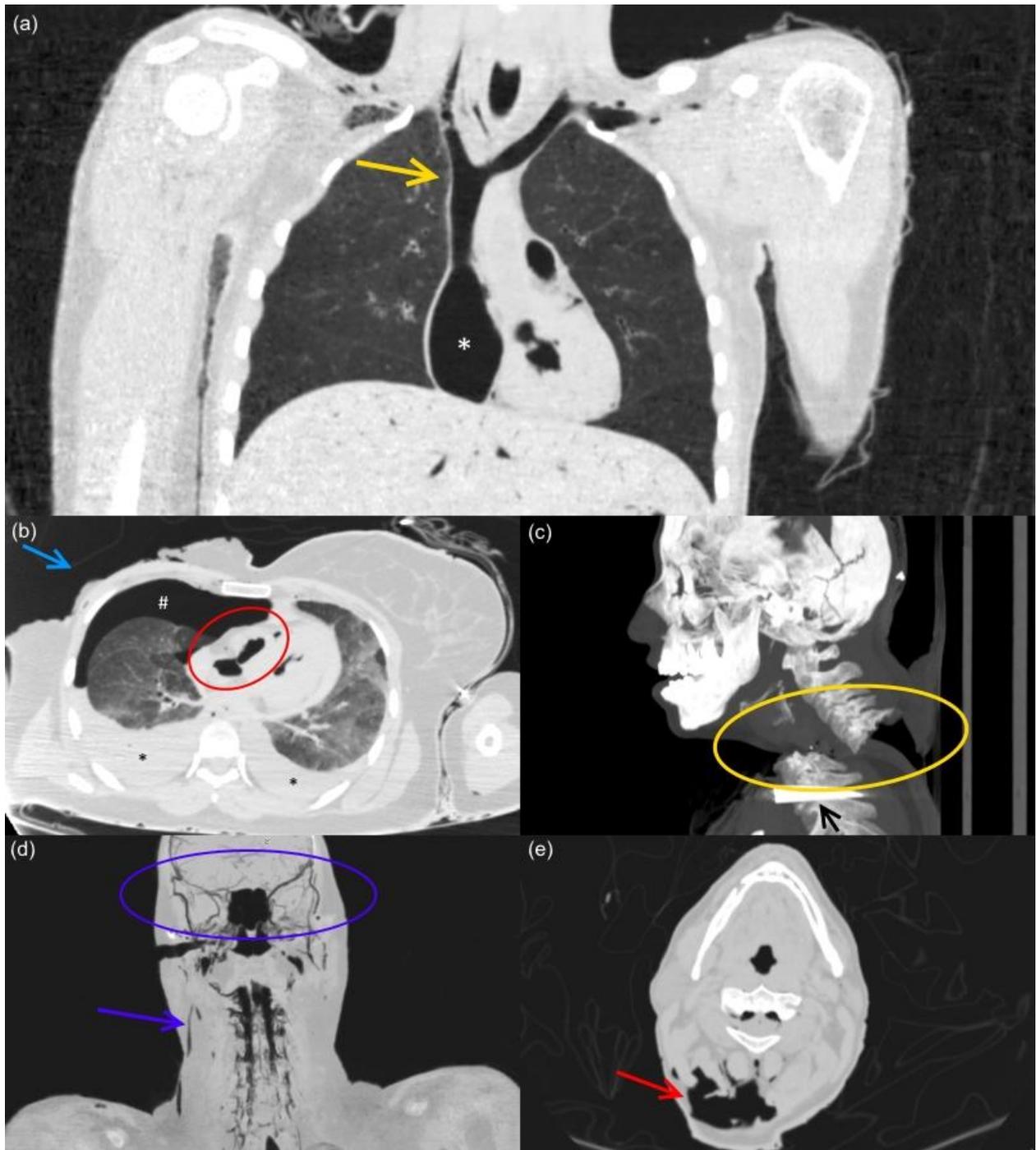
### *Gasembolie*

Abbildung 21 beinhaltet die Entscheidungskriterien für den Befund der Gasembolie und für das auslösende Ereignis scharfer Gewalt sowie die Ausschlusskriterien für einzelne Studienfälle.

Obduktion	Kriterium	pmCT
relevante Gaseinschlüsse im venösen Gefäßsystem und/oder Herzen (positive Gasembolieprobe), die als Gasembolie und nicht als Fäulnisgasansammlung gedeutet werden, werden beschrieben	<b>Gasembolie</b>	sichtbare relevante Gaseinschlüsse im venösen Gefäßsystem und/oder Herzen ohne relevante Fäulniszeichen
Scharfe Gewalt wird als die Gasembolie bedingend beschrieben.	<b>Ursache scharfe Gewalt</b>	<p><u>sicher</u>: sichtbare venöse Gefäßverletzung und/oder Herz- oder Lungenstiche</p> <hr/> <p><u>potenziell</u>: sichtbare Verletzungen scharfer Gewalt ohne sichtbare Gefäß-, Herz- oder Lungenverletzung</p>
Von der Betrachtung ausgenommen wurden Studienfälle, bei denen nach Zufügen der scharfen Gewalt ein ärztlicher Eingriff mit Eröffnung einer Körperhöhle durchgeführt wurde.		

Abbildung 21: Gasembolie: Entscheidungs- und Ausschlusskriterien

Abbildung 22 verdeutlicht exemplarisch anhand ausgesuchter Studienfälle die Entscheidungskriterien für den Befund der Gasembolie und die sie auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt in der pmCT.



(a) frontal, SF 36: massive Gasansammlung im Sinne einer Gasembolie in den herznahen Venen (gelber Pfeil) und im rechten Vorhof (weißes Sternchen). (b,c) SF 32: (b) axial: Gasansammlung im rechten Herzen (rote Ellipse) im Sinne einer Gasembolie. [nebenbefundlich: beidseitiger Hämatothorax (schwarze Sternchen), Pneumothorax rechts (weiße Raute), subtotale Mamma-Amputation rechts (blauer Pfeil).] (c) MIP: subtotale Abtrennung des Kopfes im Halsbereich und damit sichere Eröffnung herznaher Venen (sichere Ursache) [nebenbefundlich: Messerspitze im Körpergewebe (schwarzer Pfeil)]. (d,e) SF 37: (d) frontale MinIP: intravasale Gasansammlung in den Kopf- (blaue Ellipse) und Halsgefäßen (exemplarisch blauer Pfeil) im Sinne einer Gasembolie. (e) axial: massive Stichverletzung im dorsalen Halsbereich (roter Pfeil) mit nicht sicherer Gefäßöffnung (potentielle Ursache).

Abbildung 22: pmCT: Entscheidungskriterien: Gasembolie, auslösende Ereignisse

Fäulnis- und Zersetzungsprozesse stellten bei der Betrachtung der oben genannten Befunde kein bereits im Voraus bestehendes Ausschlusskriterium dar. Wenn die Beur-

teilung über das Vorliegen eines Befundes durch Fäulnis- und Zersetzungsprozesse in der Obduktion und/oder pmCT nicht zweifelsfrei möglich war, wurde der Befund in der entsprechenden Methode (Obduktion und/oder pmCT) als nicht (eindeutig positiv) vorliegend gewertet.

Um die in der pmCT detektierten Verletzungen, die als (potentiell) ursächlich für einen Befund angesehen wurden, mit höherer Sicherheit der scharfen Gewalt zuordnen zu können, flossen hier in einem späteren Schritt die Ergebnisse der äußeren Leichenschau (Wundlokalisierung und Morphologie) in die Bewertung mit ein. Die Ergebnisse der äußeren, wenig manipulativen Leichenschau konnten als separater Teil der Obduktionsdokumentation eingesehen werden.

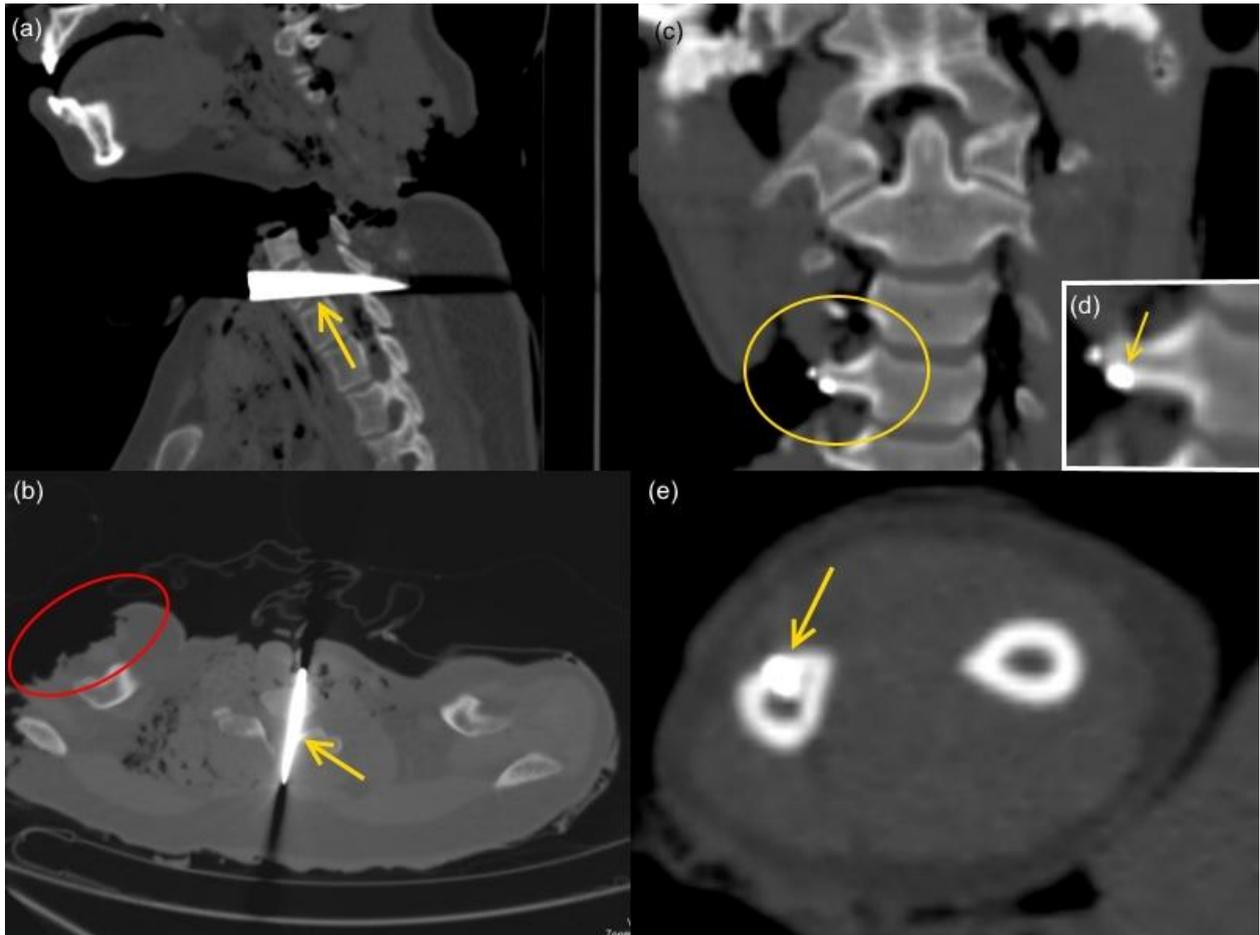
#### *Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente)*

Abbildung 23 beinhaltet die jeweiligen Entscheidungskriterien für die Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) im Körpergewebe.

<b>Obduktion</b>	<b>Kriterium</b>	<b>pmCT</b>
Erwähnung von Stich- bzw. Schnittwaffen (-fragmenten) im Körpergewebe	<b>Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente)</b>	sichtbare Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) im Körpergewebe mit Fokus auf oft charakteristische Form und oftmals relativ hohe HE-Werte

Abbildung 23: Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente): Entscheidungskriterien

Abbildung 24 verdeutlicht exemplarisch anhand ausgesuchter Studienfälle die Entscheidungskriterien für die Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) im Körpergewebe in der pmCT.



(a-e) schräge Aufnahmen (MPR) zur besseren Darstellung der Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente). (a,b) SF 32: Sichtbare, abgebrochene Messerklinge (gelbe Pfeile), die im Körpergewebe verblieb [nebenbefundlich: Amputation des rechten Armes im Tatverlauf (rote Ellipse)]. (c,d,e) SF 36: (c,d) Waffenfragmente im 4. Halswirbelkörper (gelbe Ellipse, gelber Pfeil), (c) sichtbarer Gewebedefekt, verursacht durch scharfe Gewalt (gelbe Ellipse). (d) Ausschnitt von Bild (c). (e) sichtbare Messerspitze in rechter Ulna (gelber Pfeil). Die HE-Werte liegen jeweils (a-e) über denen des Knochens.

Abbildung 24: pmCT: Entscheidungskriterien: Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten)

## 2.6 Darstellung und Auswertung der Ergebnisse

### *Betrachtung der durch scharfe Gewalt bedingten pathologischen Befunde*

Gesondert für jeden der betrachteten Befunde (Hämatothorax, Hämaskos, Hämoperikard, Pneumothorax und Gasembolie) werden die Ergebnisse der pmCT mit denen der Obduktion verglichen. Bei beiden Diagnoseverfahren (Obduktion und pmCT) wird eine binäre Klassifikation (Befund positiv vs. Befund nicht positiv) vorgenommen (Abbildung 25). Die Methode der Obduktion wird dabei zunächst als sog. Goldstandard angesehen, da es sich um die bisher etablierte Methode der postmortalen Befunderhebung handelt. In Bezug auf die Obduktion wird die pmCT als neuer diagnostischer Test bzw. Klassifikator geprüft.

		Obduktion	
		Befund positiv	Befund nicht positiv
pmCT	Befund positiv	$n_a$	$n_b$ <<falsch positiv>> (bezogen auf Obduktion)
	Befund nicht positiv	$n_c$ <<falsch negativ>> (bezogen auf Obduktion)	$n_d$

$n$  = Anzahl der Studienfälle

Abbildung 25: Darstellung der Ergebnisse: Kontingenztafel

Um den neuen Klassifikator entsprechend beurteilen zu können, werden folgende in Abbildung 26 beschriebenen Kenngrößen inkl. der 95%-Konfidenzintervalle (KI) ermittelt (s. auch Abbildung 25):

Kenngröße <sup>z</sup> :	Berechnung:	Bedeutung:	Aussage über:
Sensitivität (SEN)	$\frac{n_a}{n_a+n_c}$	Anteil der richtig* positiv klassifizierten Befunde an der Gesamtheit der positiven Befunde des Goldstandards	Sicherheit der Erfassung eines Befundes
Spezifität (SPE)	$\frac{n_d}{n_b+n_d}$	Anteil der richtig* negativ klassifizierten Befunde an der Gesamtheit der negativen Befunde des Goldstandards	Sicherheit des Ausschlusses eines Befundes
Vertrauenswahrscheinlichkeit (VWK)	$\frac{n_a+n_d}{n_a+n_b+n_c+n_d}$	Anteil der richtig* klassifizierten Befunde an der Gesamtheit aller Befunde	X
positiv prädiktiver Wert (PPW)	$\frac{n_a}{n_a+n_b}$	Anteil der richtig* positiv klassifizierten Befunde an der Gesamtheit der als positiv klassifizierten Befunde des zu prüfenden diagnostischen Testes	Wahrscheinlichkeit des Vorhandenseins des Befundes bei positivem Befundergebnis im zu prüfenden diagnostischen Test <sup>#</sup>
negativ prädiktiver Wert (NPW)	$\frac{n_d}{n_c+n_d}$	Anteil der richtig* negativ klassifizierten Befunde an der Gesamtheit der als negativ klassifizierten Befunde des zu prüfenden diagnostischen Testes	Wahrscheinlichkeit des Nicht-Vorhandenseins des Befundes bei negativem Befundergebnis im zu prüfenden diagnostischen Test <sup>#</sup>

\* richtig = Die Befundergebnisse des zu prüfenden diagnostischen Testes und des Goldstandards stimmen überein.

# Der PPW und der NPW sind stark abhängig von der in der Studienpopulation vorliegenden Prävalenz der jeweiligen Befunde.

z bezogen auf den Goldstandard

Abbildung 26: Beurteilung des Klassifikators: Kenngrößen

Die Berechnung der zugehörigen 95%-KI erfolgte unter Zuhilfenahme der Software der Firma *MedCalc Software bvba* (8400 Ostend, Belgien). Es wurde das statistische Rechenprogramm zur Evaluation von diagnostischen Tests der *MedCalc*-Software (Version 15.11) verwendet. Die 95%-KI der Sensitivität, Spezifität, des negativen und des positiven prädiktiven Wertes berechnet die Software in Form von Clopper-Pearson-Intervallen. Die Berechnung des 95%-KI der VWK erfolgte in analoger Weise und ist ebenso ein Clopper-Pearson-Intervall.

Die errechneten Kenngrößen sowie die zugehörigen 95%-KI sind auf die vierte Nachkommastelle gerundet.

Jeder pathologische Befund wird in zwei aufeinander folgenden Schritten betrachtet, wobei zwischen Schritt 1 und Schritt 2 das Einschlussspektrum für das Vorliegen eines Befundes in der pmCT erweitert wird. Die Kriterien der jeweiligen Schritte sind wie folgt:

- Auf Seiten der **Obduktion** ist das Kriterium stets, ob der entsprechende Befund, der durch ein Ereignis scharfer Gewalt ausgelöst wurde, vorliegt (oder nicht).
- Im ersten Schritt für das Vorliegen des Befundes in der **pmCT** ist die Bedingung, dass neben dem eigentlichen Befund auch ein sichtbares Ereignis scharfer Gewalt vorliegt, das den Befund sicher auslöst.
- Im zweiten Schritt für das Vorliegen des Befundes in der **pmCT** ist die Bedingung, dass neben dem eigentlichen Befund auch ein sichtbares Ereignis scharfer Gewalt vorliegt, das den Befund sicher oder potentiell auslöst.

Vor dem Hintergrund, dass nicht uneingeschränkt von der Gültigkeit der Obduktion als Goldstandard ausgegangen werden kann, findet in einem dritten Schritt eine kritische Auseinandersetzung mit den ermittelten Kenngrößen statt. Dafür wird beispielhaft auf die Befunde relevanter Studienfälle eingegangen, welche die ermittelten Kenngrößen beeinflussen. Zudem verbietet sich eine ausschließlich auf die Kenngrößen und zugehörigen Konfidenzintervalle vertrauende Betrachtung der Studienpopulation, weil die Obduzenten die pmCT-Datensätze zum Zeitpunkt der Obduktion einsehen konnten. Die Kenntnisse eines CT-Vorbefundes mussten den Obduzenten zugänglich gemacht werden, da ein maximaler Erkenntnisgewinn aufgrund der forensischen Relevanz der behandelten Fälle zum Zeitpunkt der Obduktion unabdingbar war.

#### *Vergleich der gemessenen Volumina in der Obduktion und pmCT*

Für den Vergleich der in der Obduktion und pmCT gemessenen Volumina bei den Befunden Hämatothorax und Hämoperikard wurden die Befunde betrachtet, in denen in der Obduktion und/oder in der pmCT der Befund in Verbindung mit scharfer Gewalt vorlag. Beide Verfahren müssen für den Vergleich der Volumina den entsprechen Befund detektieren und die Volumina in der Einheit Liter angeben.

Es werden die Wertepaare der Volumina für jeden der Fälle sowie die absolute und prozentuale Abweichung des gemessenen Volumens in der pmCT vom gemessenen Wert in der Obduktion angegeben. Zudem wird der Mittelwert der gemessenen Volumi-

na in der Obduktion und pmCT ermittelt und die absolute und prozentuale Abweichung des Mittelwertes der pmCT vom ermittelten Mittelwert der Obduktion angegeben. Zudem wurde mittels Mandel-F-Test (mit einem Signifikanzniveau von 99%) geprüft, ob für die in Obduktion und pmCT gemessenen Wertepaare ein lineares Regressionsmodell angenommen werden darf. Der Mandel-F-Test wurde mit der *VALISTAT 2.0*-Software der Firma *ARVECON GmbH* (69190 Walldorf, Deutschland) durchgeführt. Falls eine lineare Regression zulässig war, erfolgte unter Verwendung der *Excel*-Software der Firma *Microsoft Corp.* (Redmond, USA) die Berechnung einer linearer Regressionsgeraden sowie des damit verbundenen Bestimmtheitsmaßes ( $R^2$ ).

#### *Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten)*

Die vergleichende Betrachtung der beiden Methoden (Obduktion und pmCT) bzgl. der Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) beschränkt sich auf die Angabe, wie groß der Anteil der in der pmCT detektierten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) an allen in der Obduktion detektierten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) ist und wie viele Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) in der pmCT detektiert wurden, welche in den Obduktionsergebnissen nicht genannt wurden.

## 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie werden gegliedert nach den einzelnen pathologischen Befunden (Hämatothorax, Hämaskos, Hämoperikard, Pneumothorax und Gasembolie) dargestellt. Bei den Befunden des Hämatothorax und Hämoperikards erfolgt angegliedert die vergleichende Betrachtung der in der pmCT und Obduktion gemessenen Blutvolumina. Abschließend wird auf die Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) in der Obduktion und pmCT eingegangen.

### 3.1 Hämatothorax

Bei der Betrachtung des Befundes des Hämatothorax findet für jeden Studienfall eine seitengetrennte Betrachtung der linken und rechten Pleurahöhle statt. Somit ist die hier insgesamt betrachtete Fallzahl größer als die Anzahl der Studienfälle (n=38).

#### 3.1.1 positive und ausgeschlossene Studienfälle

Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die Studienfälle, in denen in der Obduktion und/oder pmCT ein Hämatothorax in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegt. Zudem werden die gemessenen Blutvolumina angegeben.

Tabelle 2 - Studienfälle mit Hämatothorax in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT

Studi- enfall:	Seite:	Obduktion				pmCT				
		HT	durch SG	nicht durch SG	Vol. [ml]	HT	durch SG	pot. durch SG	nicht sichtbar durch SG	Vol. [ml]
1	links	x	x	-	1700	x	-	x	-	1579,4
5	links	x	x	-	600	x	-	x	-	687,3
6	links	x	x	-	1500	x	-	-	x	1318,5
10	links	x	x	-	1280	x	x	-	-	1354,4
11	links	x	x	-	2080	x	-	x	-	1589,6
16	links	x	x	-	600	x	-	x	-	1140,2
21	links	x	x	-	150	x	-	x	-	113,9
28	rechts	x	x	-	50	x	x	-	-	144,7
31	rechts	x	x	-	700	x	x	-	-	657,4
32	rechts	x	x	-	(BS)	x	x	-	-	567,5
32	links	x	x	-	(BS)	x	-	x	-	417,7
33	links	x	x	-	50	x	x	-	-	79,9
38	rechts	x	x	-	40	x	x	-	-	41
38	links	x	x	-	50	x	x	-	-	690,9

Abkürzungen:

HT = Hämatothorax; SG = scharfe Gewalt; pot. = potentiell (d.h. sichtbares und potentiell Befund bedingendes Ereignis scharfer Gewalt); x = zutreffend; - = nicht zutreffend; Vol. = Volumenangabe; BS = in Obduktionsergebnissen wird lediglich von "Blutseen" gesprochen; ml = Milliliter

Studienfall 22 wurde beidseits von der Betrachtung des Befundes des Hämatothorax ausgeschlossen, da hier eine Herzoperation nach Zufügung der scharfen Gewalt erfolgte. In den Vergleich zwischen pmCT und Obduktion bzgl. des Befundes des Hämatothorax gingen damit 74 Betrachtungsfälle ein.

### 3.1.2 Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache)

#### *Schritt 1: Hämatothorax mit scharfer Gewalt als sichere Ursache*

Tabelle 3 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Hämatothorax, für den in der Obduktion und pmCT ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 3 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämatothorax mit SG als sichere Ursache

		Obduktion	
		durch SG verursachter HT liegt vor	durch SG verursachter HT liegt nicht vor
pmCT	sicher durch SG ausgelöster HT liegt vor	7	0
	sicher durch SG ausgelöster HT liegt nicht vor	7	60

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; HT = Hämatothorax

### *Schritt 2: Hämatothorax mit scharfer Gewalt als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT*

Tabelle 4 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Hämatothorax, für den in der Obduktion ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt und in der pmCT ein sicher oder potentiell auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 4 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämatothorax mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

		Obduktion	
		durch SG verursachter HT liegt vor	durch SG verursachter HT liegt nicht vor
pmCT	sicher oder potentiell durch SG ausgelöster HT liegt vor	13	0
	sicher oder potentiell durch SG ausgelöster HT liegt nicht vor	1	60

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; HT = Hämatothorax

### *Kenngößen des diagnostischen Tests*

Tabelle 5 enthält die ermittelten Kenngößen inkl. der 95%-KI des diagnostischen Tests der pmCT bezogen auf den Goldstandard der Obduktion für den Befund des Hämatothorax. Die Kenngößen werden jeweils für Schritt 1 und 2 angegeben.

Tabelle 5 - Hämatothorax: Kenngrößen

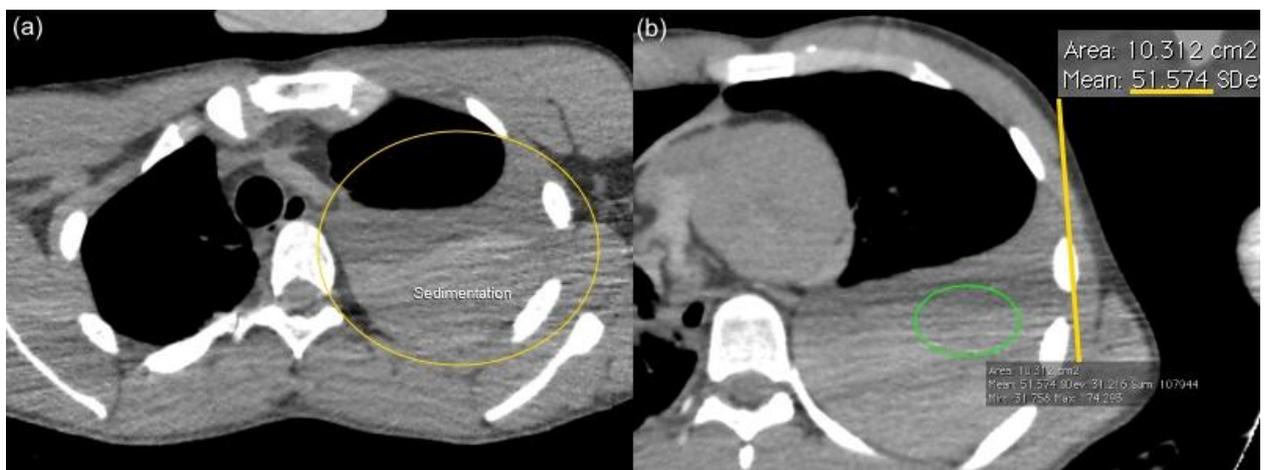
Kenngröße:	Schritt 1		Schritt 2		
		95%-KI		95%-KI	
SEN	+ 95%-KI	0.5	0.2304-0.7696	0.9286	0.6613-0.9982
SPE	+ 95%-KI	1	0.9404-1	1	0.9404-1
VWK	+ 95%-KI	0.9054	0,8148-0,9611	0.9865	0.9270-0.9997
PPW	+ 95%-KI	1	0.5904-1	1	0.7529-1
NPW	+ 95%-KI	0.8955	0.7965-0.9570	0.9836	0.9120-0.9996

Abkürzungen:

SEN = Sensitivität; SPE = Spezifität; VWK = Vertrauenswahrscheinlichkeit; PPW = positiv prädiktiver Wert; NPW = negativ prädiktiver Wert; KI = Konfidenzintervall

### Auseinandersetzung mit den ermittelten Kenngrößen

Der verbleibende falsch negative Befund in Tabelle 4 (Schritt 2) liegt bei Studienfall 6 (linksseitig) vor. Das wirkt sich auf die Sensitivität, Vertrauenswahrscheinlichkeit und den negativ prädiktiven Wert aus. Die pmCT detektiert bei Studienfall 6 einen linksseitigen Hämatothorax, wenn auch nicht das auslösende Ereignis scharfer Gewalt (Abbildung 27). Wird in einem dritten Schritt der sicher durch scharfe Gewalt ausgelöste Befund des Hämatothorax in der Obduktion mit dem für die pmCT geltenden Einschlusskriterium eines lediglich vorliegenden Hämatothorax verglichen, ergibt sich eine Sensitivität von 100% (95%-KI: 0.7694-1).



(a,b) axial, SF 6: (a) linksseitige Flüssigkeitsansammlung (gelbe Ellipse) mit Sedimentationsphänomen. (b) HE-Messung im Sinne von Blut (HE:51.6). Die pmCT detektiert einen linksseitigen Hämatothorax, jedoch im Gegensatz zur Obduktion kein ursächliches Ereignis scharfer Gewalt.

Abbildung 27: SF 6: pmCT: Hämatothorax ohne sichtbares ursächliches Ereignis

### 3.1.3 Vergleich der ermittelten Blutvolumina

Tabelle 6 enthält die ermittelten Volumina der detektierten Hämatothoraces, die in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegen und die in der Obduktion und pmCT in der Volumeneinheit Liter angegeben werden. Zudem wird die absolute und prozentuale Abweichung der detektierten Volumina in der pmCT von den in der Obduktion gemessenen Werten angegeben.

Bei Studienfall 32 lagen in der Obduktion keine Volumenangaben in der Einheit Liter vor. Eine Auswertung dieses Falles ist daher nicht möglich.

Tabelle 6 - Hämatothorax: Volumenvergleich

Studi- enfall:	Seite:	Obduktion Vol. [ml]	pmCT Vol. [ml]	Abweichung der Werte der pmCT von denen der Obduktion	
				absolut [ml]	prozentual [%]
1	links	1700	1579,4	- 120,6	- 7,1
5	links	600	687,3	+ 87,3	+ 14,6
6	links	1500	1318,5	- 181,5	- 12,1
10	links	1280	1354,4	+ 74,4	+ 5,8
11	links	2080	1589,6	- 490,4	- 23,6
16	links	600	1140,2	+ 540,2	+ 90
21	links	150	113,9	- 36,1	- 24,1
28	rechts	50	144,7	+ 94,7	+ 189,4
31	rechts	700	657,4	- 42,6	- 6,1
33	links	50	79,9	+ 29,9	+ 59,8
38	rechts	40	41	+ 1	+ 2,5
38	links	50	690,9	+ 640,9	+ 1281,8

Abkürzungen:

ml = Milliliter; Vol. = Volumen

Tabelle 7 enthält die Mittelwerte der gemessenen Volumina der Hämatothoraces in Obduktion und pmCT sowie die absolute und prozentuale Abweichung des Mittelwertes der pmCT vom Mittelwert der Obduktion.

Tabelle 7 - Hämatothorax: Volumenvergleich: Mittelwert und Abweichung der pmCT

	n	Obduktion Vol. [ml]	pmCT Vol. [ml]	Abweichung des Mittelwertes der pmCT von dem der Obduktion	
				absolut [ml]	prozentual [%]
Mittelwert	12	733,3	783,1	+ 49,8	+ 6,8

Abkürzungen:

ml = Milliliter; n = Anzahl der gemessenen Volumina; Vol. = Volumen

Der Mandel-F-Test ergab für die ermittelten Wertepaare die Zulässigkeit eines linearen Regressionsmodells. Abbildung 28 stellt die Messwerte sowie die daraus ermittelte lineare Regressionsgerade mit mathematischer Gleichung und zugehörigem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) in einem Achsendiagramm dar.

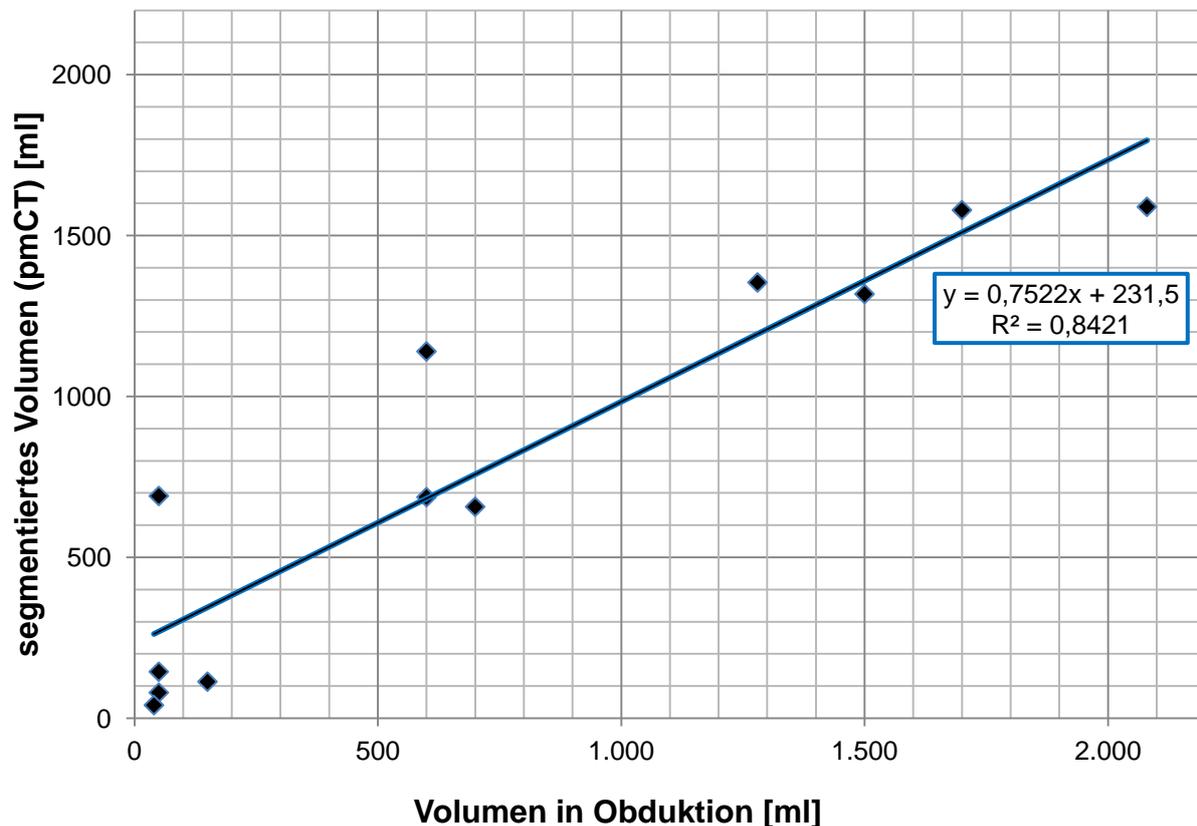


Abbildung 28: Hämatothorax: Vergleich der Volumenmessungen in pmCT und Obduktion

## 3.2 Hämaskos

### 3.2.1 positive und ausgeschlossene Studienfälle

Tabelle 8 gibt eine Übersicht über die Studienfälle, in denen in der Obduktion und/oder pmCT ein Hämaskos in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegt. Zudem enthält sie die Angaben der Obduktion zur Blutmenge der jeweiligen Hämaskos.

Tabelle 8 - Studienfälle mit Hämaskos in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT

Studienfall:	Obduktion				pmCT			
	HK	durch SG	nicht durch SG	Volumenangabe	HK	durch SG	pot. durch SG	nicht sichtbar durch SG
2	x	x	-	1500ml	x	x	-	-
6	x	x	-	150ml	x	-	-	x
12	x	x	-	"filmartig"	-	-	-	-
21	x	x	-	200ml	x	x	-	-
23	x	x	-	800ml	x	-	x	-
24	x	x	-	20ml	-	-	-	-
33	x	x	-	"filmartig"	-	-	-	-
36	x	x	-	150ml	x	x	-	-
37	x	x	-	"wenig"	-	-	-	-

Abkürzungen:

HK = Hämaskos; SG = scharfe Gewalt; pot. = potentiell (d.h. sichtbares und potentiell Befund bedingendes Ereignis scharfer Gewalt); x = zutreffend; - = nicht zutreffend; ml = Milliliter

Kein Studienfall wurde von der Betrachtung des Befundes des Hämaskos ausgeschlossen. In den Vergleich zwischen pmCT und Obduktion bzgl. des Befundes des Hämaskos gingen damit 38 Betrachtungsfälle ein.

### 3.2.2 Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache)

#### Schritt 1: Hämaskos mit scharfer Gewalt als sichere Ursache

Tabelle 9 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Hämaskos, für den in der Obduktion und pmCT ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 9 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämaskos mit SG als sichere Ursache

		Obduktion	
		durch SG verursachter HK liegt vor	durch SG verursachter HK liegt nicht vor
pmCT	sicher durch SG ausgelöster HK liegt vor	3	0
	sicher durch SG ausgelöster HK liegt nicht vor	6	29

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; HK = Hämaskos

### Schritt 2: Hämaskos mit scharfer Gewalt als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

Tabelle 10 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Hämaskos, für den in der Obduktion ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt und für den in der pmCT ein sicher oder potentiell auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 10 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämaskos mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

		Obduktion	
		durch SG verursachter HK liegt vor	durch SG verursachter HK liegt nicht vor
pmCT	sicher oder potentiell durch SG ausgelöster HK liegt vor	4	0
	sicher oder potentiell durch SG ausgelöster HK liegt nicht vor	5	29

**Abkürzungen:**

SG = scharfe Gewalt; HK = Hämaskos

### Kenngroßen des diagnostischen Tests

Tabelle 11 enthält die ermittelten Kenngroßen inkl. der 95%-KI des diagnostischen Tests der pmCT bezogen auf den Goldstandard der Obduktion für den Befund des Hämaskos. Die Kenngroßen werden jeweils für Schritt 1 und 2 angegeben.

Tabelle 11 - Hämaskos: Kenngroßen

Kenngroße:		Schritt 1		Schritt 2	
		95%-KI		95%-KI	
SEN	+ 95%-KI	0.3333	0.0749-0.7007	0.4444	0.137-0.788
SPE	+ 95%-KI	1	0.8806-1	1	0.8806-1
VWK	+ 95%-KI	0.8421	0.6875-0.9398	0.8684	0.7191-0.9559
PPW	+ 95%-KI	1	0.2924-1	1	0.3976-1
NPW	+ 95%-KI	0.8286	0.6635-0.9344	0.8529	0.6894-0.9505

**Abkürzungen:**

SEN = Sensitivität; SPE = Spezifität; VWK = Vertrauenswahrscheinlichkeit; PPW = positiv prädiktiver Wert; NPW = negativ prädiktiver Wert; KI = Konfidenzintervall

### Auseinandersetzung mit den ermittelten Kenngroßen

In Tabelle 10 (Schritt 2) verbleiben fünf falsch negative Befunde in der pmCT (Studienfälle 6,12,24,33 und 37). Das wirkt sich auf die Sensitivität, Vertrauenswahrscheinlich-

keit und den negativ prädiktiven Wert aus. Bei Studienfall 6 detektiert die pmCT einen Hämaskos, wenn auch nicht das auslösende Ereignis scharfer Gewalt (Abbildung 29). Dadurch steigt der Wert der Sensitivität in einem dritten Schritt, in dem der sicher durch scharfe Gewalt ausgelöste Befund des Hämaskos in der Obduktion mit dem für die pmCT geltenden Einschlusskriterium eines lediglich vorliegenden Hämaskos verglichen wird, auf 55,56% (95%-KI: 0.2120-0.8630).

Bei den Studienfällen 12,24,33 und 37 detektiert die pmCT den Befund des Hämaskos nicht.



axial, SF 6: Blutansammlung (blauer Pfeil) in Excavatio rectovesicalis mit Messung des HE-Wertes (gelbe Ellipse) im Bereich von Blut (HE: 74.4) (gelb unterstrichen). Ein ursächliches Ereignis scharfer Gewalt konnte in der pmCT im Gegensatz zur Obduktion nicht detektiert werden.

Abbildung 29: SF6: pmCT: Hämaskos ohne sichtbares ursächliches Ereignis

### 3.3 Hämoperikard

#### 3.3.1 positive und ausgeschlossene Studienfälle

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Studienfälle, in denen in der Obduktion und/oder pmCT ein Hämoperikard in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegt. Zudem werden die gemessenen Blutvolumina angegeben.

Tabelle 12 - Studienfälle mit Hämoperikard in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT

Studi- enfall:	Obduktion				pmCT				
	HP	durch SG	nicht durch SG	Vol. [ml]	HP	durch SG	pot. durch SG	nicht sichtbar durch SG	Vol. [ml]
1	x	x	-	350	x	x	-	-	461,37
5	x	x	-	500	x	-	x	-	533,96
6	x	x	-	150	x	-	-	x	133,08
11	x	x	-	170	x	x	-	-	89,56
31	x	x	-	200	x	x	-	-	434,45
32	x	x	-	200	x	x	-	-	159,12
38	-	-	-	-	x	x	-	-	6,87

Abkürzungen:

HP = Hämoperikard; SG = scharfe Gewalt; pot. = potentiell (d.h. sichtbares und potentiell Befund bedingendes Ereignis scharfer Gewalt); x = zutreffend; - = nicht zutreffend; ml = Milliliter

Studienfall 22 wurde von der Betrachtung des Befundes des Hämoperikards ausgeschlossen, da hier eine Herzoperation nach Zufügen der scharfen Gewalt erfolgte. In den Vergleich zwischen pmCT und Obduktion bzgl. des Befundes des Hämoperikards gingen damit 37 Betrachtungsfälle ein.

### 3.3.2 Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache)

#### Schritt 1: Hämoperikard mit scharfer Gewalt als sichere Ursache

Tabelle 13 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Hämoperikard, für den in der Obduktion und pmCT ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 13 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämoperikard mit SG als sichere Ursache

		Obduktion	
		durch SG verursachtes HP liegt vor	durch SG verursach- tes HP liegt nicht vor
pmCT	sicher durch SG ausgelöstes HP liegt vor	5	1
	sicher durch SG ausgelöstes HP liegt nicht vor	1	30

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; HP = Hämoperikard

### Schritt 2: Hämoperikard mit scharfer Gewalt als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

Tabelle 14 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Hämoperikard, für den in der Obduktion ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt und für den in der pmCT ein sicher oder potentiell auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 14 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Hämoperikard mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

		Obduktion	
		durch SG verursachtes HP liegt vor	durch SG verursachtes HP liegt nicht vor
pmCT	sicher oder potentiell durch SG ausgelöstes HP liegt vor	5	1
	sicher oder potentiell durch SG ausgelöstes HP liegt nicht vor	1	30

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; HP = Hämoperikard

### Kenngroßen des diagnostischen Tests

Tabelle 15 enthält die ermittelten Kenngroßen inkl. der 95%-KI des diagnostischen Tests der pmCT bezogen auf den Goldstandard der Obduktion für den Befund des Hämoperikard. Die Kenngroßen werden jeweils für Schritt 1 und 2 angegeben.

Tabelle 15 - Hämoperikard: Kenngroßen

Kenngroße:	Schritt 1		Schritt 2	
	95%-KI		95%-KI	
SEN + 95%-KI	0.8333	0.3588-0.9958	0.8333	0.3588-0.9958
SPE + 95%-KI	0.9677	0.833-0.9992	0.9677	0.833-0.9992
VWK + 95%-KI	0.9459	0.8181-0.9934	0.9459	0.8181-0.9934
PPW + 95%-KI	0.8333	0.3588-0.9958	0.8333	0.3588-0.9958
NPW + 95%-KI	0.9677	0.8330-0.9992	0.9677	0.8330-0.9992

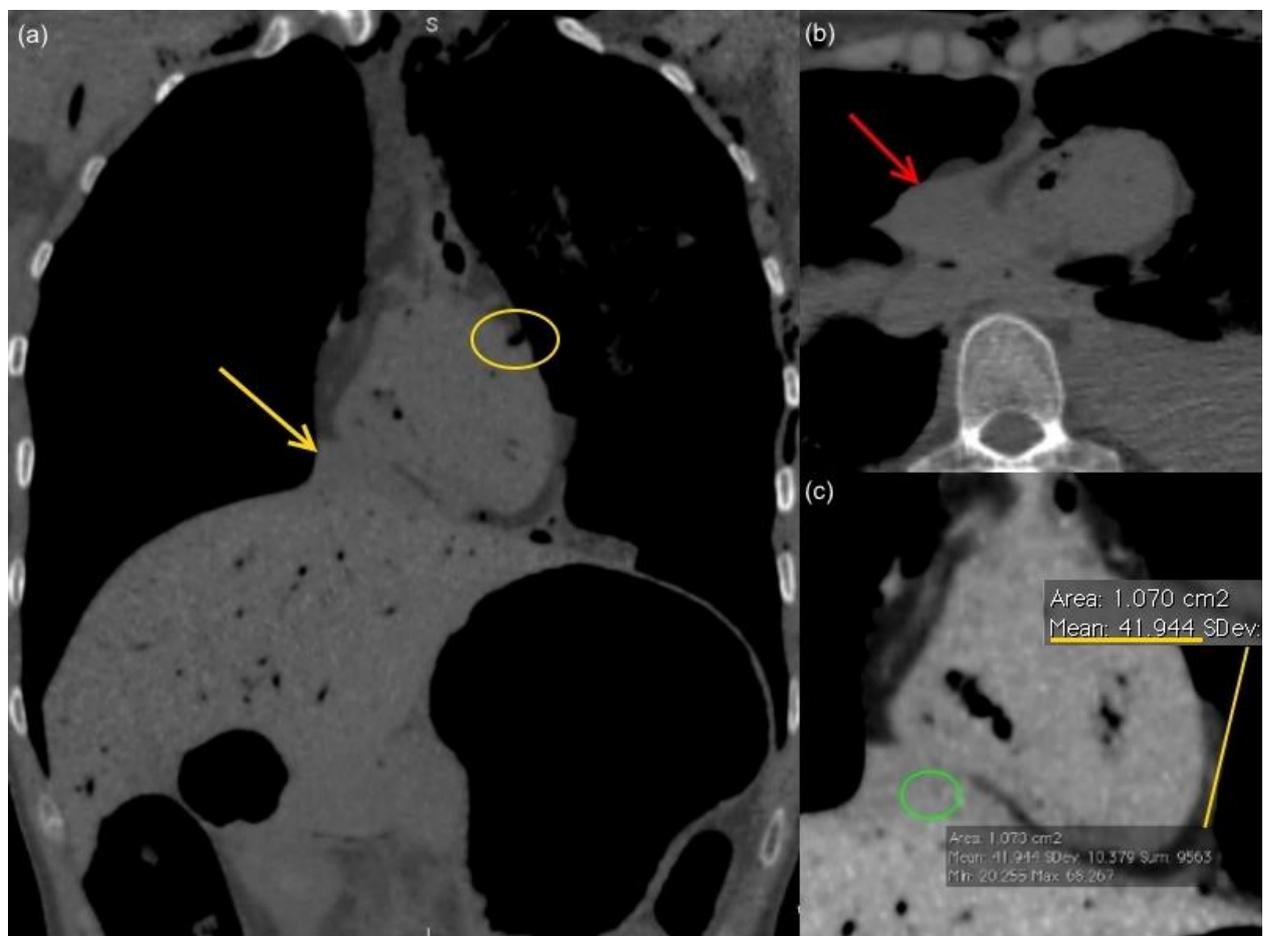
Abkürzungen:

SEN = Sensitivität; SPE = Spezifität; VWK = Vertrauenswahrscheinlichkeit PPW = positiv prädiktiver Wert; NPW = negativ prädiktiver Wert; KI = Konfidenzintervall

### Auseinandersetzung mit den ermittelten Kenngroßen

Der verbleibende falsch negative Befund in Tabelle 14 (Schritt 2) liegt bei Studienfall 6 vor. Das wirkt sich auf die Sensitivität, Vertrauenswahrscheinlichkeit und den negativ

prädiktiven Wert aus. Die pmCT detektiert bei Studienfall 6 ein Hämoperikard, wenn auch nicht das auslösende Ereignis scharfer Gewalt. Wird in einem dritten Schritt der sicher durch scharfe Gewalt ausgelöste Befund des Hämoperikards in der Obduktion mit dem für die pmCT geltenden Einschlusskriterium eines lediglich vorliegenden Hämoperikards verglichen, ergibt sich eine Sensitivität von 100% (95%-KI: 0.5407-1). Zudem liegt in Tabelle 13 und Tabelle 14 ein falsch positiver Befund in der pmCT vor, der sich auf die Spezifität, Vertrauenswahrscheinlichkeit und den positiv prädiktiven Wert auswirkt. Dies betrifft Studienfall 38. Während die pmCT hier ein Hämoperikard sowie ein ursächliches Ereignis scharfer Gewalt detektiert (Abbildung 30), wurde in der Obduktion kein Hämoperikard erkannt.



(a) frontal, SF 38: Flüssigkeitsansammlung in der Perikardhöhle (gelber Pfeil). Eine von diversen Stichverletzungen des Herzens als Auslöser des Hämoperikards (gelbe Ellipse). (b) axial, SF 38: Flüssigkeitsansammlung in der Perikardhöhle (roter Pfeil). (c) frontal, SF 38: HE-Messung der Flüssigkeitsansammlung im Sinne von Blut (HE: 41.9) (gelb unterstrichen). Die Obduktion detektierte bei SF 38 kein Hämoperikard.

Abbildung 30: SF 38: pmCT: Hämoperikard

### 3.3.3 Vergleich der ermittelten Blutvolumina

Tabelle 16 enthält die ermittelten Volumina der detektierten Hämoperikarde, die in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegen und die in der Obduktion und pmCT in der Volumeneinheit Liter angegeben werden. Zudem wird die absolute und prozentuale Abweichung der detektierten Volumina in der pmCT von den in der Obduktion gemessenen Werten angegeben.

Bei Studienfall 38 wurde alleinig in der pmCT ein Hämoperikard detektiert. Eine Auswertung dieses Falles ist daher nicht möglich.

Tabelle 16 - Hämoperikard: Volumenvergleich

Studienfall:	Obduktion Vol. [ml]	pmCT Vol. [ml]	Abweichung der Werte der pmCT von denen der Obduktion	
			absolut [ml]	prozentual [%]
1	350	461,4	+ 111,4	+ 31,8
5	500	534	+ 34	+ 6,8
6	150	133,1	- 16,9	- 11,3
11	170	89,6	- 80,4	- 47,3
31	200	434,5	+ 234,5	+ 117,3
32	200	159,1	- 40,9	- 20,5

Abkürzungen:

ml = Milliliter; Vol. = Volumen;

Tabelle 17 enthält die Mittelwerte der gemessenen Volumina der Hämoperikarde in Obduktion und pmCT sowie die absolute und prozentuale Abweichung des Mittelwertes der pmCT vom Mittelwert der Obduktion.

Tabelle 17 - Hämoperikard: Volumenvergleich: Mittelwert und Abweichung der pmCT

	n	Obduktion Vol. [ml]	pmCT Vol. [ml]	Abweichung des Mittelwertes der pmCT von dem der Obduktion	
				absolut [ml]	prozentual [%]
<u>Mittelwert</u>	6	261,7	302	+ 40,3	+ 15,4

Abkürzungen:

ml = Milliliter; n = Anzahl der gemessenen Volumina; Vol. = Volumen

Der Mandel-F-Test ergab für die ermittelten Wertepaare die Zulässigkeit eines linearen Regressionsmodells. Abbildung 31 stellt die Messwerte sowie die daraus ermittelte li-

neare Regressionsgerade mit mathematischer Gleichung und zugehörigem Bestimmtheitsmaß ( $R^2$ ) in einem Achsendiagramm dar.

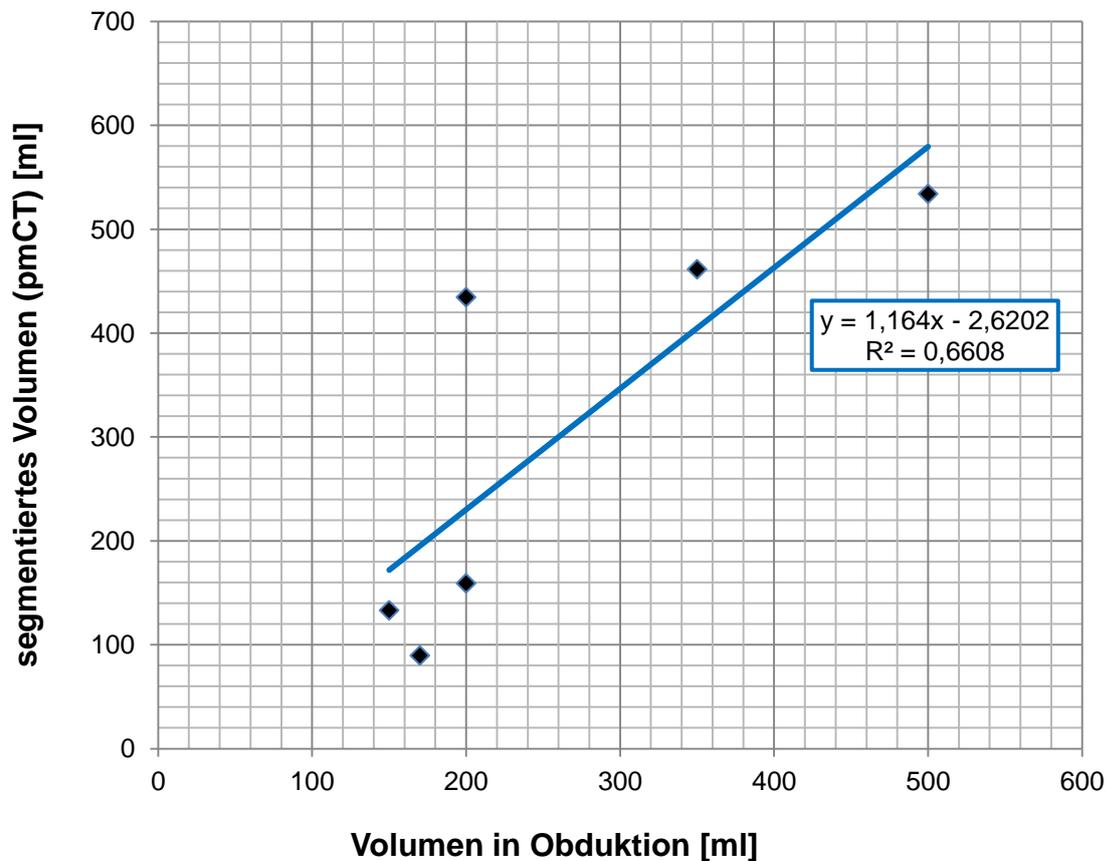


Abbildung 31: Hämoperikard: Vergleich der Volumenmessungen in pmCT und Obduktion

### 3.4 Pneumothorax

Bei der Betrachtung des Befundes des Pneumothorax findet für jeden Studienfall eine seitengetrennte Betrachtung der linken und rechten Pleurahöhle statt. Somit ist die hier insgesamt betrachtete Fallzahl größer als die Anzahl der Studienfälle ( $n=38$ ).

#### 3.4.1 positive und ausgeschlossene Studienfälle

Tabelle 18 gibt eine Übersicht über die Studienfälle, in denen in der Obduktion und/oder pmCT ein Pneumothorax in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegt.

Tabelle 18 - Studienfälle mit Pneumothorax in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT

Studi- fall:	Seite:	Obduktion			pmCT			
		PT	durch SG	nicht durch SG	PT	durch SG	pot. durch SG	nicht sichtbar durch SG
11	links	x	x	-	-	-	-	-
16	rechts	x	x	-	x	x	-	-
16	links	x	x	-	x	-	x	-
21	links	x	x	-	x	x	-	-
28	rechts	x	x	-	x	x	-	-
31	rechts	x	x	-	x	x	-	-
32	rechts	x	x	-	x	x	-	-
32	links	x	x	-	-	-	-	-
33	links	x	x	-	x	x	-	-
38	rechts	x	x	-	x	x	-	-
38	links	x	x	-	x	x	-	-

Abkürzungen:

PT = Pneumothorax; SG = scharfe Gewalt; pot. = potentiell (d.h. sichtbares und potentiell Befund bedingendes Ereignis scharfer Gewalt); x= zutreffend; - = nicht zutreffend

Folgende Studienfälle wurden von der Betrachtung des Befundes des Pneumothorax ausgeschlossen (ein- oder beidseitig):

- Studienfälle 5 (einseitig, links), 10 (einseitig, links), 15 (einseitig, rechts) und 17 (beidseits) wegen liegender Thoraxdrainagen
- Studienfall 22 (beidseits) wegen einer erfolgten Herz-/Thoraxoperation nach Zufügung der scharfen Gewalt

In den Vergleich zwischen pmCT und Obduktion bzgl. des Befundes des Pneumothorax gingen damit 69 Betrachtungsfälle ein.

### 3.4.2 Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache)

#### *Schritt 1: Pneumothorax mit scharfer Gewalt als sichere Ursache*

Tabelle 19 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Pneumothorax, für den in der Obduktion und pmCT ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 19 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Pneumothorax mit SG als sichere Ursache

		Obduktion	
		durch SG verursachter PT liegt vor	durch SG verursach- ter PT liegt nicht vor
pmCT	sicher durch SG ausge- löster PT liegt vor	8	0
	sicher durch SG ausge- löster PT liegt nicht vor	3	58

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; PT = Pneumothorax

### *Schritt 2: Pneumothorax mit scharfer Gewalt als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT*

Tabelle 20 enthält die Kontingenztafel für den Befund des Pneumothorax, für den in der Obduktion ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt und für den in der pmCT ein sicher oder potentiell auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 20 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Pneumothorax mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

		Obduktion	
		durch SG verursachter PT liegt vor	durch SG verursach- ter PT liegt nicht vor
pmCT	sicher oder potentiell durch SG ausgelöster PT liegt vor	9	0
	sicher oder potentiell durch SG ausgelöster PT liegt nicht vor	2	58

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; PT = Pneumothorax

### *Kenngößen des diagnostischen Tests*

Tabelle 21 enthält die ermittelten Kenngößen inkl. der 95%-KI des diagnostischen Tests der pmCT bezogen auf den Goldstandard der Obduktion für den Befund des Pneumothorax. Die Kenngößen werden jeweils für Schritt 1 und 2 angegeben.

Tabelle 21 - Pneumothorax: Kenngrößen

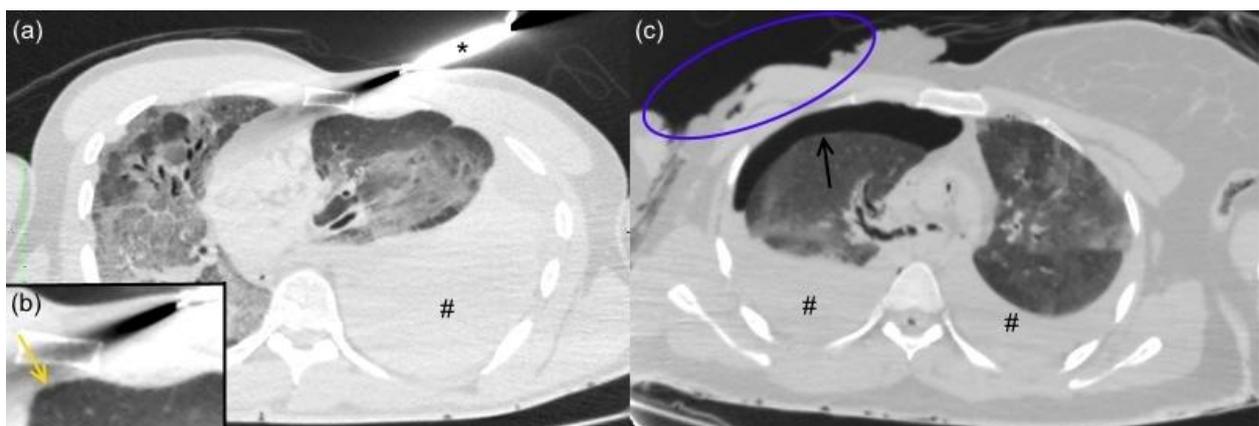
Kenngröße:	Schritt 1		Schritt 2	
		95%-KI		95%-KI
SEN + 95%-KI	0.7273	0.3903-0.9398	0.8182	0.4822-0.9772
SPE + 95%-KI	1	0.9384-1	1	0.9384-1
VWK + 95%-KI	0.9565	0.8782-0.9909	0.971	0.8992-0.9965
PPW + 95%-KI	1	0.6306-1	1	0.6637-1
NPW + 95%-KI	0.9508	0.8629-0.9897	0.9667	0.8847-0.9959

Abkürzungen:

SEN = Sensitivität; SPE = Spezifität; VWK = Vertrauenswahrscheinlichkeit; PPW = positiv prädiktiver Wert; NPW = negativ prädiktiver Wert; KI = Konfidenzintervall

*Auseinandersetzung mit den ermittelten Kenngrößen*

In Tabelle 20 (Schritt 2) verbleiben zwei falsch negative Befunde in der pmCT (Studienfälle 11 und 32, jeweils linksseitig). Das wirkt sich auf die Sensitivität, Vertrauenswahrscheinlichkeit und den negativ prädiktiven Wert aus. Die pmCT detektiert in beiden Fällen keinen Pneumothorax (Abbildung 32).



(a,b) axial, SF 11, (b) vergrößerter Bildausschnitt von (a); (c) axial, SF 32: In beiden Studienfällen liegt das Lungengewebe der Thoraxwand linksseitig an (u.a. gelbe Pfeilspitze in (b)). Die Obduktion detektierte im Gegensatz zur pmCT in beiden Fällen einen linksseitigen Pneumothorax [Nebenbefunde: (a) sichtbares Messer (Sternchen), Hämatothorax (Raute). (c) rechtsseitiger Pneumothorax (schwarzer Pfeil), subtotale Mamma-Amputation rechts (blaue Ellipse), Hämatothorax links und rechts (Rauten)].

Abbildung 32: SF 11, 32: pmCT: kein Pneumothorax (links)

## 3.5 Gasembolie

### 3.5.1 positive und ausgeschlossene Studienfälle

Tabelle 22 gibt eine Übersicht über die Studienfälle, in denen in der Obduktion und/oder pmCT eine Gasembolie in Verbindung mit scharfer Gewalt vorliegt.

Tabelle 22 - Studienfälle mit Gasembolie in Verbindung mit SG in Obduktion und/oder pmCT

Studienfall:	Obduktion			pmCT			
	GE	durch SG	nicht durch SG	GE	durch SG	pot. durch SG	nicht sichtbar durch SG
1	-	-	-	x	x	-	-
28	-	-	-	x	x	-	-
32	x	x	-	x	x	-	-
34	-	-	-	x	-	x	-
36	x	x	-	x	x	-	-
37	-	-	-	x	-	x	-
38	-	-	-	x	x	-	-

Abkürzungen:

GE = Gasembolie; SG = scharfe Gewalt; pot. = potentiell (d.h. sichtbares und potentiell Befund bedingendes Ereignis scharfer Gewalt); x= zutreffend; - = nicht zutreffend

Folgende Studienfälle wurden von der Betrachtung des Befundes der Gasembolie ausgeschlossen:

- Studienfälle 5, 10, 15, 17 wegen ärztlicher Manipulation im Brustkorb (z.B. Drainageanlagen)
- Studienfall 22 wegen einer erfolgten Herz-/Thoraxoperation nach Zufügung der scharfen Gewalt

In den Vergleich zwischen pmCT und Obduktion bzgl. des Befundes der Gasembolie gingen damit 33 Betrachtungsfälle ein.

### 3.5.2 Vergleich der Befunderkennung (inkl. Ursache)

#### *Schritt 1: Gasembolie mit scharfer Gewalt als sichere Ursache*

Tabelle 23 enthält die Kontingenztafel für den Befund der Gasembolie, für die in der Obduktion und pmCT ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 23 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Gasembolie mit SG als sichere Ursache

		Obduktion	
		durch SG verursachte GE liegt vor	durch SG verursachte GE liegt nicht vor
pmCT	sicher durch SG ausgelöste GE liegt vor	2	3
	sicher durch SG ausgelöste GE liegt nicht vor	0	28

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; GE = Gasembolie

### *Schritt 2: Gasembolie mit scharfer Gewalt als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT*

Tabelle 24 enthält die Kontingenztafel für den Befund der Gasembolie, für die in der Obduktion ein sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt und für die in der pmCT ein sicher oder potentiell auslösendes Ereignis scharfer Gewalt eruiert wurde.

Tabelle 24 - Ergebnisse von Obduktion und pmCT: Gasembolie mit SG als sichere oder potentielle Ursache in der pmCT

		Obduktion	
		durch SG verursachter GE liegt vor	durch SG verursachter GE liegt nicht vor
pmCT	sicher oder potentiell durch SG ausgelöste GE liegt vor	2	5
	sicher oder potentiell durch SG ausgelöste GE liegt nicht vor	0	26

Abkürzungen:

SG = scharfe Gewalt; GE = Gasembolie

### *Kenngößen des diagnostischen Tests*

Tabelle 25 enthält die ermittelten Kenngößen inkl. der 95%-KI des diagnostischen Tests der pmCT bezogen auf den Goldstandard der Obduktion für den Befund der Gasembolie. Die Kenngößen werden jeweils für Schritt 1 und 2 angegeben.

Tabelle 25 - Gasembolie: Kenngrößen

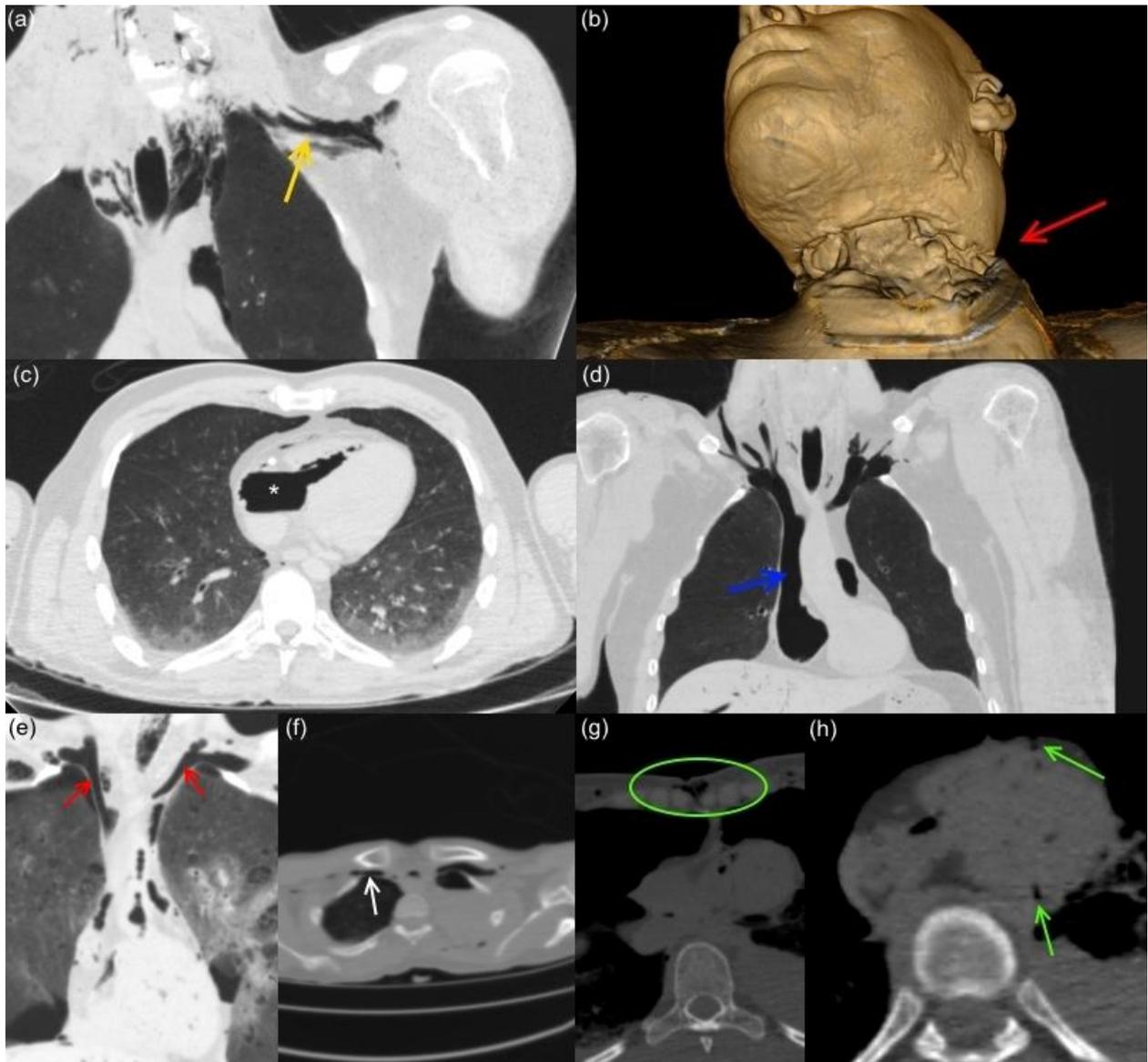
Kenngröße:	<i>Schritt 1</i>		<i>Schritt 2</i>	
	95%-KI		95%-KI	
SEN + 95%-KI	1	0.1581-1	1	0.1581-1
SPE + 95%-KI	0.9032	0.7425-0.9796	0.8387	0.6627-0.9455
VWK + 95%-KI	0.9091	0.7576-0.9808	0.8485	0.6810-0.9489
PPW + 95%-KI	0.4	0.527-0.8534	0.2857	0.0367-0.7096
NPW + 95%-KI	1	0.8766-1	1	0.8766-1

Abkürzungen:

SEN = Sensitivität; SPE = Spezifität; VWK = Vertrauenswahrscheinlichkeit; PPW = positiv prädiktiver Wert; NPW = negativ prädiktiver Wert; KI = Konfidenzintervall

*Auseinandersetzung mit den ermittelten Kenngrößen*

In Schritt 1 liegen drei (Studienfälle 1, 28 und 38), in Schritt 2 fünf (zusätzlich Studienfälle 34 und 37) falsch positive Befunde in der pmCT vor. Das wirkt sich auf die Spezifität, Vertrauenswahrscheinlichkeit und den positiv prädiktiven Wert aus. Während in der Obduktion bei diesen Studienfällen keine Gasembolien diagnostiziert wurden, detektiert die pmCT hier Gasembolien und sicher auslösende Ereignisse scharfer Gewalt bei den Studienfällen 1, 28 und 38 und potentiell auslösende Ereignisse scharfer Gewalt bei den Studienfällen 34 und 37. Abbildung 33 zeigt exemplarisch einige pmCT-Bilder dieser Studienfälle.



(a,b) SF 28: (a) schräge Bildebene, annähernd frontal, MinIP: intravasale Gasansammlung in herznaher Vene links (gelber Pfeil). (b) 3D-Rekonstruktion: tiefer Halsschnitt (roter Pfeil) mit Blick auf geöffnete Trachea (sichere Ursache). (c,d) SF 37: (c) axial: massive Gasansammlung (weißes Sternchen) im rechten Herzen im Sinne einer Gasembolie. (d) frontal: Gasansammlung im rechten Herzen und in den herznahen Venen (blauer Pfeil) im Sinne einer Gasembolie. (e,f,g,h) SF 38: (e) frontal: intravasale Gasansammlung in herznahen Venen (rote Pfeile) im Sinne einer Gasembolie. (f) axial: intravasale Gasansammlung in herznaher Vene rechts (weißer Pfeil) im Sinne einer Gasembolie. (g,h) axiale Bildausschnitte der Thoraxregion: Exemplarisch werden aus der Vielzahl der erlittenen Stichverletzungen bei SF 38 zwei der Verletzungen gezeigt (grüne Ellipse und grüne Pfeile = Verletzung des Herzens) (sichere Ursache).

Abbildung 33: SF 28, 37, 38 (exemplarisch): pmCT: Gasembolien durch scharfe Gewalt

## 3.6 Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen

### 3.6.1 positive Studienfälle

Tabelle 26 gibt eine Übersicht über die Studienfälle, in denen in der Obduktion und/oder pmCT Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) detektiert wurden.

Tabelle 26 - Studienfälle mit detektierten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) in Obduktion und/oder pmCT

Studienfall:	<u>Obduktion</u>	<u>pmCT</u>
11	x	x
27	x	x
32	x	x
36	x	x
36	x	x

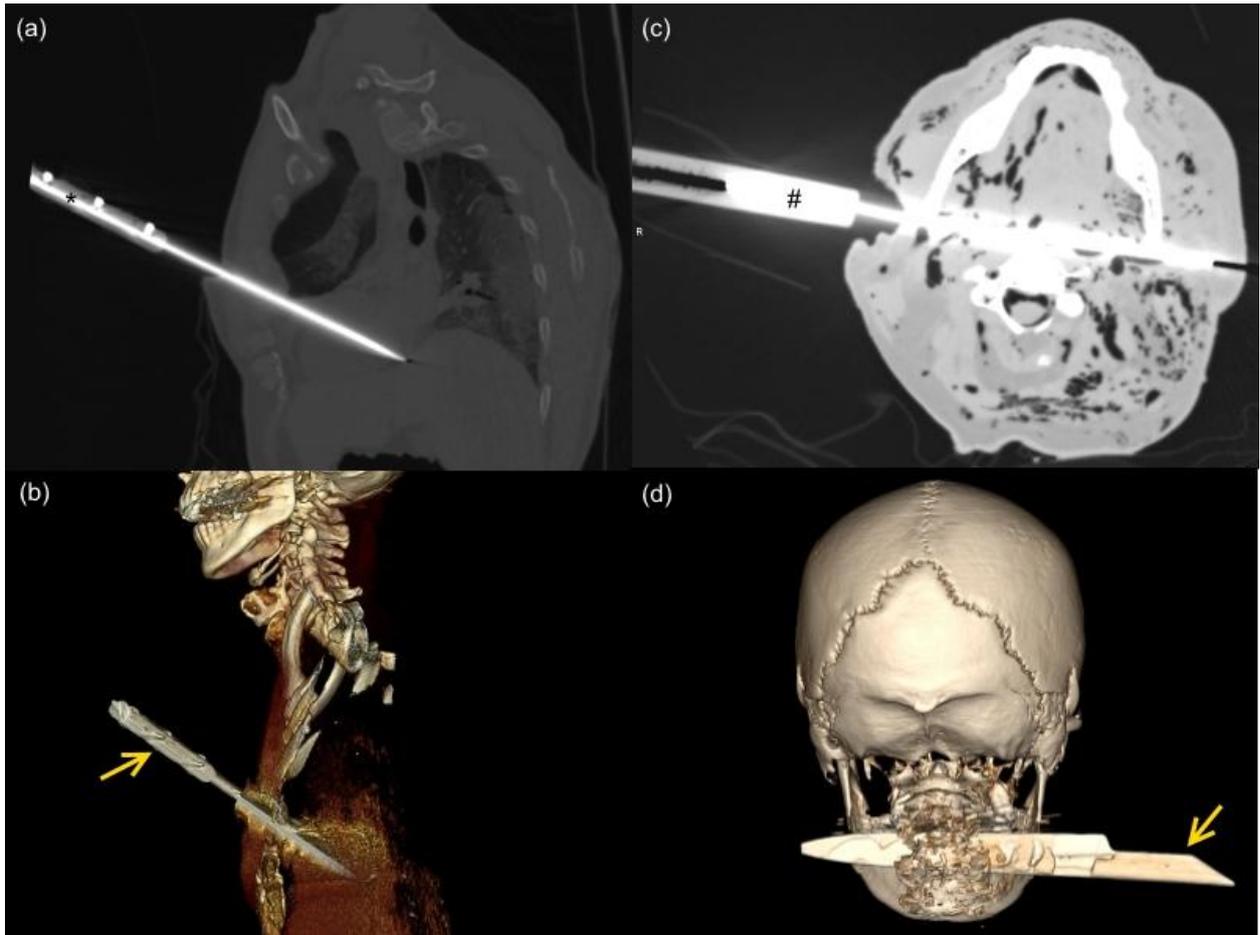
Abkürzungen:

x = detektiert

### 3.6.2 Vergleich der Befunderkennung

In der Studienpopulation (n=38) wurden insgesamt fünf Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) detektiert, die in allen Fällen sowohl in der Obduktion als auch in der pmCT detektiert wurden. Studienfall 36 weist dabei 2 Waffenfragmente im Körpergewebe auf. Der Anteil der in der pmCT detektierten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) an allen in der Obduktion detektierten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmenten) beträgt somit 100%. Darüber hinaus wurden keine Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) in der pmCT detektiert, die in der Obduktion nicht genannt wurden.

Abbildung 34 zeigt exemplarisch bei Studienfall 11 und 27 die in der pmCT detektierten Stichwaffen.



(a,b) SF 11: (a) schräge Aufnahme (MPR): Stichverletzung des Herzens mit steckendem Messer (schwarzes Sternchen). (b) 3D-Rekonstruktion des im Thorax steckenden Messers (gelber Pfeil). (c,d) SF 27: (a) schräge Aufnahme (MPR): Stichverletzung von rechts im Kopf-Hals-Bereich mit steckendem Messer (schwarze Raute) [nebenbefundlich: Fäulnisgasansammlungen im gesamten Halsbereich]. (d) 3D-Rekonstruktion des im Kopf-Hals-Bereich steckenden Messers (gelber Pfeil).

Abbildung 34: SF11, 32: pmCT: Waffendetektion und -visualisierung

## 4 Diskussion

### 4.1 Diskussion der einzelnen Befunde

Bei den Kenngrößen liegt der Fokus auf den Werten der Sensitivität, Spezifität und Vertrauenswahrscheinlichkeit, da die prädiktiven Werte (PPW und NPW) stark von der in der Studienpopulation vorliegenden Prävalenz der jeweiligen Befunde abhängen [89]. Die z.T. größeren Wertebereiche bei den ermittelten 95%-Konfidenzintervallen sind bedingt durch die Größe der Studienpopulation. Die vorliegende Studie umfasst bereits vergleichsweise große Fallzahlen und nach Kenntnisstand des Autors ist bezogen auf den Aspekt der scharfen Gewalt keine Studie mit größeren Fallzahlen bekannt [5,44].

#### 4.1.1 Hämatothorax

##### *Befund: Hämatothorax*

In der Literatur wird auf die Möglichkeit der pmCT zur Detektion von Hämatothoraces hingewiesen [44,84,90,91]. Die vorliegende Studie ist mit der großen Anzahl betrachteter Fälle (n=74) für die Validierung der Hypothese, dass mit Hilfe der pmCT Hämatothoraces sicher diagnostiziert werden können, von Bedeutung. Die ermittelten Kenngrößen zeigen, dass die pmCT der Obduktion in der Erkennung des Befundes des Hämatothorax ebenbürtig ist: Ein Hämatothorax kann in axialen Schnittbildern über eine sichtbare Ansammlung von Flüssigkeit in der Thoraxhöhle mit Hounsfield-Werten im Bereich von Blut sicher diagnostiziert werden. In Rückenlage liegt z.T. die typische ventral konkave Form vor. Durch Koagulations- und Sedimentationsphänomene können größere Hämatothoraces durch unterschiedliche HE-Werte den Aspekt einer Schichtung aufweisen (vgl. Abbildung 27) [30,44]. Die Diagnosestellung eines Hämatothorax in der pmCT ist mit weniger Aufwand verbunden als in der Obduktion [91]. Liegt der Fokus auf dem Befund des Hämatothorax und werden die auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt außer Acht gelassen, ergibt sich eine Sensitivität von 100% (95%-KI: 0.7694-1) (vgl. Pkt. 3.1.2). Die Spezifität, die in vergleichbaren Studien in der Regel nicht untersucht wird, beträgt ebenfalls 100% (95%-KI: 0.9404-1) [44,91].

In 50% (95%-KI: 0.2304-0.7696) der Fälle detektiert die pmCT das auslösende Ereignis scharfer Gewalt; wenn die Ereignisse scharfer Gewalt, die den Befund des Hämatotho-

rax potentiell auslösen, einbezogen werden, gelingt dies sogar in 92,9% (95%-KI: 0.6613-0.9982) der Fälle, in denen die Obduktion einen durch scharfe Gewalt ausgelösten Hämatothorax diagnostizierte. In Fällen, in denen in der pmCT kein auslösendes Ereignis scharfer Gewalt detektiert wurde, das den Befund des Hämatothorax sicher auslöst, besteht weiterhin die Notwendigkeit eines Verfahrens, das die auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt sicher detektiert und zuordnet. Diesbezüglich gibt es eine auf der Methode der pmCT basierende Arbeit von Burke et al., die zeigt, dass mit Hilfe von angiographischen Techniken zumindest eine Blutungsquelle im Bereich der thorakalen Aorta und ihrer Abgänge gut detektiert werden kann [84]. Obwohl die pmCT nicht die Gesamtzahl der den Befund des Hämatothorax auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt detektiert, liegt die Vertrauenswahrscheinlichkeit für die Entscheidung über das Vorliegen eines Hämatothorax und detektiertem sicher bzw. potentiell auslösendem Ereignis scharfer Gewalt in der pmCT bei 98,7% (95%-KI: 0.9270-0.9997).

#### *Volumenvergleich*

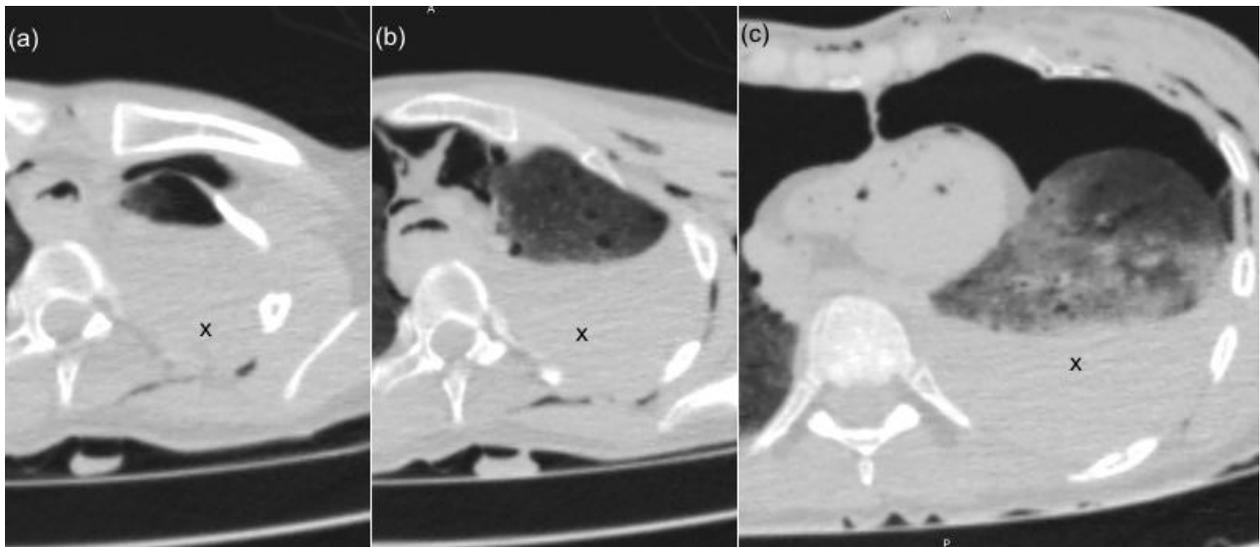
Die 12 in der Obduktion und pmCT volumetrisch erfassten Hämatothoraces weisen in mehreren Fällen annähernd gleiche Volumenwerte auf (prozentuale Abweichung des Volumenwertes der pmCT vom Wert der Obduktion <10% bei SF 1, 10, 31 und 38 (rechts)), z.T. mit einer Abweichung um lediglich 1 Milliliter (SF 38 (rechts)) (vgl. Tabelle 6). Aufgrund der Übereinstimmung der Messwerte ist anzunehmen, dass in diesen Fällen beide Methoden die Volumina hinreichend korrekt bestimmen. Die pmCT ist zur volumetrischen Erfassung eines Hämatothorax also grundsätzlich geeignet. Veljkovic et al. zeigten bereits, dass eine pmCT-basierte, volumetrisch korrekte Bestimmung von Flüssigkeitsansammlungen im Pleuraraum möglich ist [86].

Es liegen jedoch auch größere Abweichungen zwischen den korrespondierenden Volumenwerten von Obduktion und pmCT vor (vgl. Tabelle 6). Es steht zur Diskussion, welche der beiden untersuchten Methoden in diesen Fällen das tatsächlich vorliegende Volumen besser bestimmt.

In der Mehrzahl der divergierenden Wertepaare wird in der pmCT ein größeres Volumen ermittelt als in der Obduktion (vgl. Tabelle 6). Im Gegensatz zur nicht-destruktiven pmCT kommt es im Verlauf der Obduktion zu einer präparationsbedingten Manipulation am Körpergewebe des Leichnams (Präparation des Rückens mit anschließender Umlagerung des Körpers in Rückenlage), bevor ein Hämatothorax nach Eröffnung der Thoraxhöhle volumetrisch erfasst wird. Ein nicht bemerkter Volumenverlust durch eine vo-

rausgegangene Inzision der Thoraxhöhle bzw. durch den Vorgang der Umlagerung ist denkbar und kann dazu führen, dass in der Obduktion z.T. fälschlicherweise zu kleine Volumenwerte ermittelt wurden.

Bei der Bestimmung des linksseitigen Hämatothorax bei Studienfall 38 kommt es zu einer massiven Divergenz der gemessenen Volumenwerte (Obduktion: 50 ml vs. pmCT: 690,9 ml). Die pmCT-Befundbilder dieses Hämatothorax lassen darauf schließen, dass die Obduktion ein deutlich zu geringes Volumen ermittelte (Abbildung 35). Die möglichen manipulationsbedingten Volumenverluste vor Durchführung der Messung des Volumens in der Obduktion erklären jedoch nicht eine Divergenz der Ergebnisse dieser Größenordnung.



(a,b,c) axial, SF 38: Die drei axialen pmCT-Schnittbilder (a-c) zeigen einen ausgeprägten linksseitigen Hämatothorax (schwarze Kreuze) in verschiedenen Schnittbildhöhen der Thoraxhöhle. Das in der Obduktion ermittelte Volumen des Hämatothorax (50 ml) erscheint aufgrund dieser pmCT-Bilder unwahrscheinlich. Die pmCT ermittelte dagegen ein Volumen von 690,9 ml.

Abbildung 35: SF 38: pmCT: Hämatothorax (links)

Mögliche Fehlerquellen können auch bei dem in der pmCT verwendeten Verfahren der manuellen Segmentation auftreten. Die Abgrenzung der Blutansammlung eines Hämatothorax von sie umgebenden Lungengewebe kann schwierig sein und Lungengewebe fälschlicherweise dem Blutvolumen zugerechnet werden, so dass in der pmCT ermittelte Volumina fälschlicherweise als zu groß bestimmt werden. Diese Schwierigkeiten sind vor allem bei Vorliegen eines Hämatothorax mit kollabierter Lunge mit dadurch erhöhten HE-Werten zu erwarten. Bei entfalteter Lunge gelingt eine Differenzierung zwischen Lungengewebe und Hämatothorax in der Regel problemlos.

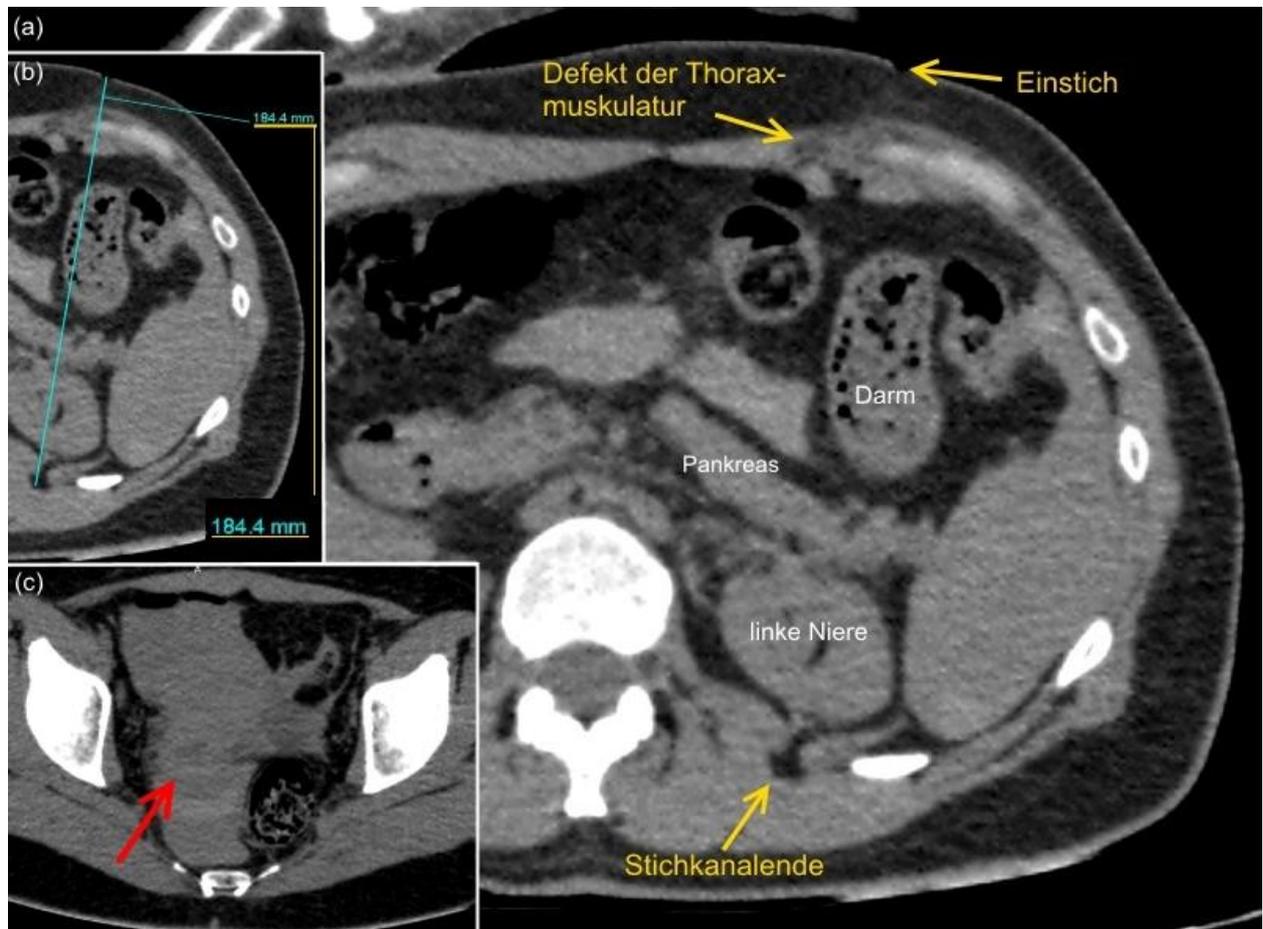
In einer kleineren Anzahl der Fälle werden in der pmCT deutlich kleinere Volumina als in der Obduktion ermittelt (vgl. Tabelle 6). Die maximale prozentuale Abweichung des Volumenwertes der pmCT vom Wert der Obduktion beträgt hier 24,1%. Sie ist damit kleiner als die prozentuale Abweichung der 4 Fälle, bei denen die in der pmCT bestimmten Volumina maximal über den in der Obduktion gemessenen Volumina lagen (vgl. Tabelle 6). Die Ursachen für einen größeren Volumenwert in der Obduktion sind nicht eindeutig zu klären.

Bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,84 zeigt sich eine gute lineare Korrelation zwischen den in der pmCT und Obduktion ermittelten Volumina (s. Abbildung 28). Der positive Ordinatenabschnitt (+231,5) kann als Ausdruck eines häufig fälschlicherweise zu klein bestimmten Volumens in der Obduktion angesehen werden. Die präparationsbedingte Manipulation am Körpergewebe des Leichnams vor der volumetrischen Erfassung eines Hämatothorax kommt hierfür als Ursache in Betracht.

#### 4.1.2 Hämaskos

Da die pmCT bei 4 Studienfällen im Gegensatz zur Obduktion den Befund des Hämaskos nicht detektiert, liegt die Sensitivität für die Erkennung eines Hämaskos mit sicher oder potentiell auslösendem Ereignis scharfer Gewalt lediglich bei 44,4% (95%-KI: 0.137-0.788). Eine alleinige Betrachtung der Detektion der Hämaskos lässt die Sensitivität auf 55,56% (95%-KI: 0.2120-0.8630) steigen. Werden für diese 4 Studienfälle (SF 12, 24, 33 und 37) die Angaben der Obduktion zu den Volumina der Hämaskos hinzugezogen, zeigt sich, dass es sich ausschließlich um geringe (bis 20 ml), z.T. filmartige Blutansammlungen in der Abdominalhöhle handelt (vgl. Tabelle 8). Die pmCT zeigt Schwächen in der Erkennung geringer Blutansammlungen in der Abdominalhöhle. Dies kann durch die unterschiedlichen Erscheinungsformen von abdominalen Blutansammlungen erklärt werden, deren Hounsfield-Werte oft in den Bereichen der sie umgebenden Organe liegen [31]. Hier könnte eine postmortale MRT ggf. bessere Ergebnisse erzielen [12]. Für die pmCT ist anzunehmen, dass bei einer Betrachtung größerer, eher verblutungsrelevanter Blutansammlungen in der Abdominalhöhle eine höhere Sensitivität vorliegt [31]. Der verhältnismäßig niedrigen Sensitivität steht eine Spezifität von 100% (95%-KI: 0.8806-1) gegenüber. Die niedrige Sensitivität bedingt eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 86,8% (95%-KI: 0.7191-0.9559). Auch wenn die pmCT z.T. Schwierigkeiten bei der Detektion der auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt

aufweist (bspw. SF 6), ist es in Einzelfällen möglich, Stichverletzungen, die den Befund des Hämaskos erklären, detailliert zu dokumentieren (Abbildung 36). Dadurch kann vor Gericht eine Anschaulichkeit hergestellt werden, die mit den Dokumenten der Obduktion nur schwerlich erreicht wird [33].



(a,b,c) SF2: (a) schräge Aufnahme (MPR): Detaillierte Verfolgung des Stichkanals in der pmCT mit Einstich und Stichkanalende. (b) Ausschnitt von (a): Vermessung der Länge des Stichkanals (18,44 cm). (c) axial: korrespondierende Blutansammlung, kaudaler gelegen (roter Pfeil).

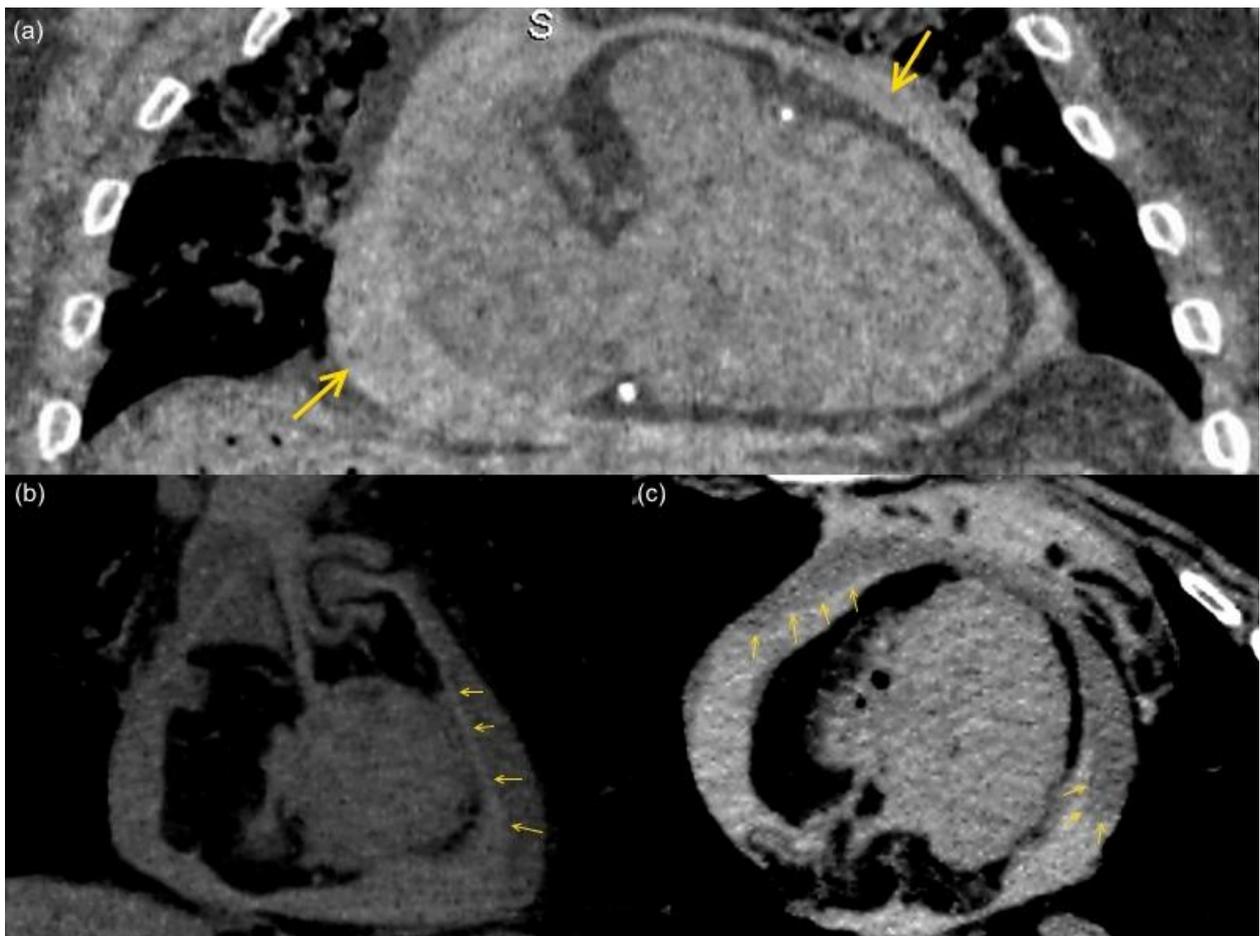
Abbildung 36: SF 2: pmCT: Stichkanal: Dokumentation

Ein Hämaskos kann in der pmCT ebenfalls volumetrisch erfasst werden. Ampanozi et al. zeigen, dass das in der pmCT ermittelte Volumen freier abdominaler Blutansammlungen nicht signifikant von dem in der Obduktion gemessenen Volumen abweicht [31].

### 4.1.3 Hämoperikard

#### *Befund: Hämoperikard*

Die in der Literatur beschriebene sichere Diagnostizierbarkeit eines Hämoperikards in der pmCT wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie unterstrichen [30,84,92]: Alle in der Obduktion detektierten, durch ein Ereignis scharfer Gewalt ausgelösten Hämoperikarde werden detektiert (Sensitivität: 100% (95%-KI: 0.5407-1)). Für die Detektion eines Hämoperikards in der pmCT hilfreich sind typische morphologische Zeichen, wie bspw. eine signifikant verbreiterte Herzsilhouette mit einem homogen erscheinenden, verbreiterten Perikard mit HE-Werten im Bereich von Blut oder einem in zwei Schichten separierten Perikard, die durch Koagulation des Blutes entstanden sind (Abbildung 37) [85,93]. Als weiteres Zeichen wird eine Abflachung der vorderen Herzstruktur durch den erhöhten Druck innerhalb des Perikards beschrieben [93-95].



(a) frontal, SF 5: Homogen verbreitetes Perikard (gelbe Pfeile) im Sinne eines Hämoperikards. Eine hier nicht dargestellte Messung des HE-Wertes ergab einen Wert im Bereich von Blut (HE: 75,2). (b,c) SF 31: Hämoperikard: (b) frontal: In dem verbreiterten Perikard zeigt sich eine innere Schichtung, die auf koaguliertes Blut hinweist (gelbe Pfeile). (c) axial: Die bereits in der frontalen Ansicht sichtbare Schichtung ist auch hier zu beobachten (gelbe Pfeile).

Abbildung 37: SF 5, 31: pmCT: Hämoperikard: Morphologie

In der Detektion der auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt ist die pmCT der Obduktion unterlegen. In 83,3% (95%-KI: 0.3588-0.9958) der Fälle wird jedoch auch in der pmCT das auslösende Ereignis scharfer Gewalt erkannt. Die Spezifität liegt bei 96,8% (95%-KI: 0.833-0.9992). Das liegt daran, dass die pmCT in einem Studienfall (SF 38) ein Hämoperikard sowie auslösende Ereignisse scharfer Gewalt detektiert, während dies in der Obduktion nicht gelang. Da die pmCT das Hämoperikard sowie die auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt eindeutig detektiert (vgl. Abbildung 30), kann angenommen werden, dass dieser Befund der Obduktion entging und der bisherige Goldstandard zu einem falschen Ergebnis kommt. Die volumetrische Bestimmung des Hämoperikards von Studienfall 38 in der pmCT ergibt 6,87 ml (vgl. Tabelle 12). Es ist möglich, dass dieses Volumen im Rahmen der routinemäßigen Öffnung des Herzbeutels während der Obduktion entwichen ist, bevor der Obduzent es als solches registrieren und dem Befund des Hämoperikards zuordnen konnte [30]. Der für die pmCT ermittelte Wert der Spezifität ist also kritisch in Frage zu stellen. Bedingt durch diesen vermeintlich falsch positiven Befund in der pmCT sowie durch die Tatsache, dass in der pmCT in einem Studienfall (SF 6) für ein Hämoperikard kein auslösendes Ereignis scharfer Gewalt detektiert werden konnte, liegt die Vertrauenswahrscheinlichkeit lediglich bei 94,6% (95%-KI: 0.8181-0.9934). Analog zu der in der klinischen Praxis etablierten ultraschallbasierten Diagnostik eines Hämoperikards ist dieses kostengünstige Verfahren für die postmortale Diagnostik untersucht worden [96]: Hämoperikarde können postmortal durch Ultraschall detektiert werden, die pmCT liefert jedoch detailliertere Information über den Befund. Zudem ist im Gegensatz zum Ultraschall in der pmCT durch die Möglichkeit, den gesamten Herzbeutel darzustellen, eine Volumenmessung möglich [97].

### *Volumenvergleich*

Bei einer Anzahl von 6 Hämoperikarden, die in den Volumenvergleich von pmCT und Obduktion eingingen, ist das zulässige lineare Regressionsmodell mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,66 nur bedingt aussagekräftig (vgl. Abbildung 31).

Die annähernde Übereinstimmung der Volumenwerte der pmCT und Obduktion in einzelnen Fällen (prozentuale Abweichung des Volumenwertes der pmCT vom Wert der Obduktion bei SF 5: +6,8% und bei SF 6: -11,3%) (vgl. Tabelle 16) lässt darauf schließen, dass hier beide Methoden die Volumina hinreichend korrekt bestimmen. Die pmCT ist zur volumetrischen Erfassung eines Hämoperikards grundsätzlich geeignet.

Es liegen jedoch auch stärkere Divergenzen zwischen korrespondierenden Volumina mit maximalen prozentualen Abweichungen der Werte der pmCT von -47,3% (SF 11) bzw. +117,3% (SF31) (vgl. Tabelle 16) vor. Ähnlich starke Divergenzen finden sich auch in einer Studie von Ebert et al. (maximale prozentuale Abweichung der Volumenwerte der pmCT von den Werten der Obduktion von -18% bzw. +170%), in die 15 Studienfälle mit dem Befund eines Hämoperikards eingingen [30]. Ebert et al. kommen jedoch ebenfalls zu dem Ergebnis, dass das pmCT-basierte Verfahren der manuellen Segmentierung zur volumetrischen Bestimmung eines Hämoperikards eine geeignete Methode darstellt [30].

Für die starken Divergenzen zwischen ermittelten Volumenwerten kommen mögliche Fehlerquellen bei beiden Methoden in Betracht. Durch die in der Obduktion zur Volumenbestimmung notwendige Inzision des Herzbeutels kann unkontrolliert eine mehr oder minder geringe Menge Blut aus dem Herzbeutel austreten, bevor es in einem Messgefäß zur Durchführung der Volumenmessung aufgefangen werden kann [30]. Zudem ist es möglich, dass zu Koageln geronnenes Blut nicht immer vollständig aus dem Herzbeutel entfernt wird [30]. Dies kann zu fälschlicherweise zu niedrig bestimmten Blutvolumina in der Obduktion führen [30]. Beim Verfahren der manuellen Segmentierung in der pmCT kann epikardiales Fettgewebe aufgrund ähnlicher HE-Werte fälschlicherweise zum segmentierten Blutvolumen hinzugerechnet und das Volumen zu groß bestimmt werden.

#### 4.1.4 Pneumothorax

Die Stärken der pmCT bei der Detektion eines Pneumothorax sind bereits beschrieben worden [91,98,99]. Durch den bei einem Pneumothorax durch das Zurücksinken von Lungengewebe verbreiterten, mit Gas ausgefüllten Pleuraraum in direkter Nachbarschaft zur Thoraxwand kommt es zum direkten Aneinandergrenzen von Strukturen mit großen Unterschieden in der Röntgendichte, deren Darstellung in der (pm)CT sehr gut gelingt [32]. 1982 berichteten bereits Schmidt und Kallieris von der Nutzbarkeit konventioneller Röntgenthoraxaufnahmen für die Diagnose eines Pneumothorax in der Rechtsmedizin [100]. Die Computertomographie ist den konventionellen Röntgenaufnahmen wie auch den durch postmortale MRT erzeugten Thoraxschnittbildern bei der Diagnose eines Pneumothorax überlegen [98,101]. Dies trifft auch in Bezug auf die Methode der Obduktion zu: In einer Reihe von Arbeiten wurde gezeigt, dass Pneumotho-

paces, die in der pmCT diagnostiziert wurden, der Obduktion entgingen [91,102-104]. Pneumothoraces sind nach Zerbini et al. in der Obduktion unterdiagnostiziert [79]. Im Gegensatz dazu weist die vorliegende Studie zwei Fälle (SF 11 und SF 32, jeweils linksseitig) auf, in denen die pmCT im Gegensatz zur Obduktion keinen Pneumothorax detektiert. Das wirkt sich auf die Sensitivität der pmCT aus, die für die Detektion eines Pneumothorax, der laut Obduktion durch scharfe Gewalt ausgelöst wurde, bei 81,8% (95%-KI: 0.4822-0.9772) liegt. Ein Aneinanderanliegen der Pleurablätter über das gesamte Ausmaß der Thoraxhöhle konnte in der pmCT bei einer Schichtdicke von 1 mm jedoch detailliert beobachtet werden (bspw. Abbildung 32), bevor es im Rahmen der Obduktion zu einer zwangsläufigen Eröffnung der Thoraxhöhle kam. Es ist wahrscheinlich, dass in der Obduktion zweimal fälschlicherweise ein Pneumothorax detektiert wurde. Die Obduktion detektiert Pneumothoraces, indem bei einer Fensterung der Zwischenrippenmuskulatur auf die Lage der Lungen geachtet wird: Sinkt die Lunge in die Thoraxhöhle zurück, kann ein Pneumothorax weitgehend ausgeschlossen werden [12]. Diese Untersuchung ist in ihrem Verlauf einmalig, nicht reproduzierbar, manipulationsanfällig und untersucherabhängig. Art und Verlauf der Untersuchung können Unsicherheiten und Fehlbefunde in beide Richtungen bedingen. In der Obduktion kann etwa ein kleiner, lokaler Pneumothorax übersehen werden, falls die diagnostische Fensterung nicht in unmittelbarer Umgebung des Pneumothorax erfolgt oder ein Zurücksinken der Lunge durch Verwachsungen oder Verklebungen partiell verhindert wird. Im Gegensatz zur pmCT, die eine Übersicht über den gesamten Pleuraspalt erlaubt, kann durch die diagnostische Fensterung bei der Obduktion nur ein begrenzter Abschnitt des Pleuraspaltes beurteilt werden. Andererseits könnte durch eine unbemerkte, präparationsbedingte Eröffnung der Thoraxhöhle in der Obduktion, etwa bei der Präparation der Körperrückseite vor Öffnung der Brusthöhle, fälschlicherweise der Befund eines Pneumothorax diagnostiziert werden. Die pmCT als nicht-destruktives Verfahren birgt dieses Risiko nicht. In Studienfall 11 liegt bspw. eine Stichverletzung des Herzens mit einer zum Zeitpunkt der Obduktion noch im Körpergewebe befindlichen Tatwaffe vor (vgl. Abbildung 32-a). In der pmCT ist deutlich erkennbar, dass die Stichverletzung zwar das Mediastinum, jedoch nicht die linke Pleurahöhle eröffnet. Eine leichte Manipulation der Tatwaffe in unmittelbarer Umgebung der linken Pleurahöhle im Rahmen der Obduktion vor Durchführung der diagnostischen Fensterung der Zwischenrippenmuskulatur reicht aus, um einen ursprünglich nicht vorhandenen Pneumothorax auszulösen und anschließend fälschlicherweise zu diagnostizieren.

Die Diagnose eines Pneumothorax in der Obduktion ist rein qualitativ. Die pmCT kann neben der Diagnose auch das Ausmaß eines Pneumothorax beurteilen [12].

Abgesehen von den 2 Fällen, in denen die pmCT keinen Pneumothorax diagnostizierte, verbleiben 9 Fälle, in denen die pmCT die in der Obduktion detektierten, durch scharfe Gewalt ausgelösten Pneumothoraces ebenfalls diagnostiziert. In 88,8% dieser Fälle gelingt in der pmCT ebenso die Detektion eines sicher auslösendes Ereignis scharfer Gewalt, in 12,2% (n=1) der Fälle konnte ein potentiell auslösendes Ereignis scharfer Gewalt detektiert werden. Die pmCT ist in der Lage, die auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt bei dem Befund des Pneumothorax relativ zuverlässig zu detektieren.

Die Spezifität liegt wie bereits bei den Befunden des Hämatothorax und des Hämaskos bei 100% (95%-KI: 0.9384-1). Bedingt durch die beiden vermeintlich falsch negativen Fälle in der pmCT (SF 11 und 32) ergibt sich für die Methode der pmCT für die Detektion eines Pneumothorax mit sicher oder potentiell auslösendem Ereignis scharfer Gewalt eine Vertrauenswahrscheinlichkeit von 97,1% (95%-KI: 0.8992-0.9965).

Die Diagnose eines Pneumothorax sollte routinemäßig durch die pmCT als neuem Goldstandard gestellt werden. Eine der Obduktion vorausgehende pmCT kann zudem nützliche Informationen für die Planung einer bezogen auf den Befund des Pneumothorax mit ausreichender Vorsicht durchzuführenden Obduktion liefern [105].

#### 4.1.5 Gasembolie

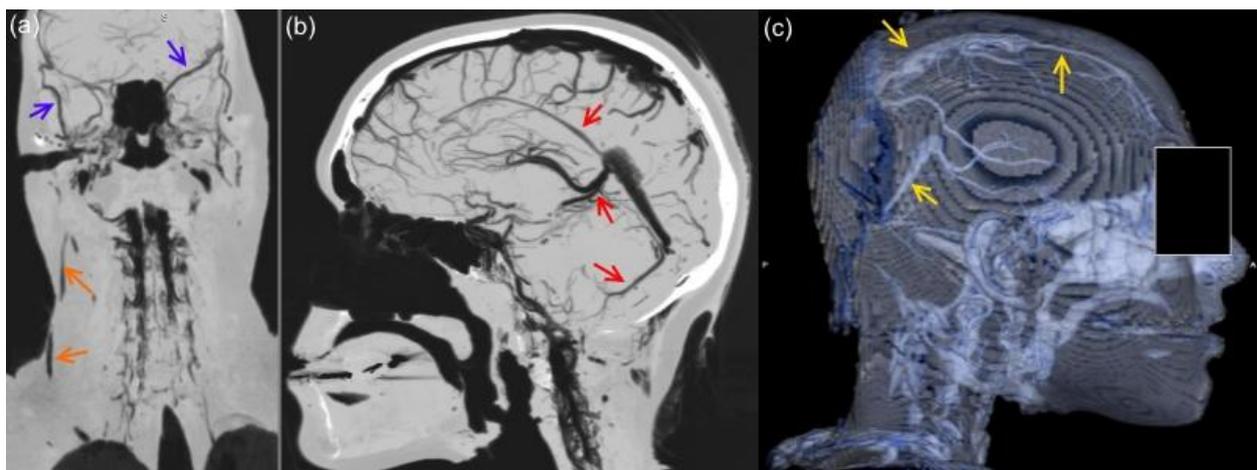
Die Sensitivität der pmCT für die Detektion einer durch scharfe Gewalt ausgelösten Gasembolie liegt bei 100% (95%-KI: 0.1581-1). Die in der Obduktion detektierten, durch scharfe Gewalt ausgelösten Gasembolien (SF 32 und SF 36) werden mitsamt auslösendem Ereignis in der pmCT erkannt.

Im Gegensatz zur Obduktion erkennt die pmCT jedoch in 5 von 38 Studienfällen zusätzlich Gasembolien und kann zudem sicher (SF 1, 28 und 38) bzw. potentiell (SF 34 und 37) auslösende Ereignisse scharfer Gewalt detektieren. Die Spezifität und Vertrauenswahrscheinlichkeit für die pmCT fallen dadurch auf 83,9% (95%-KI: 0.6627-0.9455; SPE) und 84,9% (95%-KI: 0.6810-0.9489; VWK).

Die Qualität der Obduktion, eine Gasembolie zu diagnostizieren, ist jedoch äußerst kritisch zu bewerten. In der Obduktion ist die Möglichkeit, zur Diagnose einer Gasembolie zu gelangen, auf eine Untersuchung des Herzens beschränkt [44]. Rein vaskuläre Gasembolien entgehen der Obduktion. Eine Embolieprobe am Herzen wird in der Obduktion

meistens nur bei Verdacht auf eine Gasembolie durchgeführt. Dafür wird der Herzbeutel eröffnet, künstlich mit Wasser gefüllt und das Herz unter Wasser punktiert. Aufsteigende Gasblasen weisen Gas in den Herzhöhlen nach [44]. Eine chemische Gasanalyse, durch die der Ursprung des Gases näher eingegrenzt werden kann, ist nicht mehr möglich [106]. Eine weitere Methode stellt die Verwendung eines sog. Spirometers dar, mit dessen Hilfe intrakardiales Gas aspiriert, somit nachgewiesen und einer Quantifizierung und chemischen Gasanalyse zugänglich gemacht werden kann [107,108]. Diese Methode wird selten routinemäßig durchgeführt, da sie äußerst zeitintensiv und schwierig ist [44].

Die Stärken auf Röntgenstrahlung basierender Verfahren bei der Detektion von Gas sind bekannt [32]. Der Nutzen zweidimensionaler Röntgenverfahren für die Diagnose einer Gasembolie konnte bereits 1982 gezeigt werden [100]. Das Schnittbildverfahren der pmCT besitzt den Vorteil, Gasansammlungen im Körpergewebe überlagerungsfrei, ortsgenau und hochauflösend dokumentieren zu können. Zudem ist eine volumetrische Bestimmung möglich [34]. Minimumintensitätsprojektionen (MinIP) erlauben die intravasale Lokalisation von Gasansammlungen, 3D-Rekonstruktionen eine anschauliche Visualisierung (vgl. Pkt. 1.2.1). Damit können bspw. zerebrale Gefäßgasembolien, die in der Obduktion nicht nachweisbar sind, detektiert und mit großer Anschaulichkeit dargestellt werden (Abbildung 38). Auf den Nutzen der pmCT für die Diagnose einer Gasembolie wurde von Gebhart et al. sowie Jackowski et al. bereits hingewiesen [34,87].

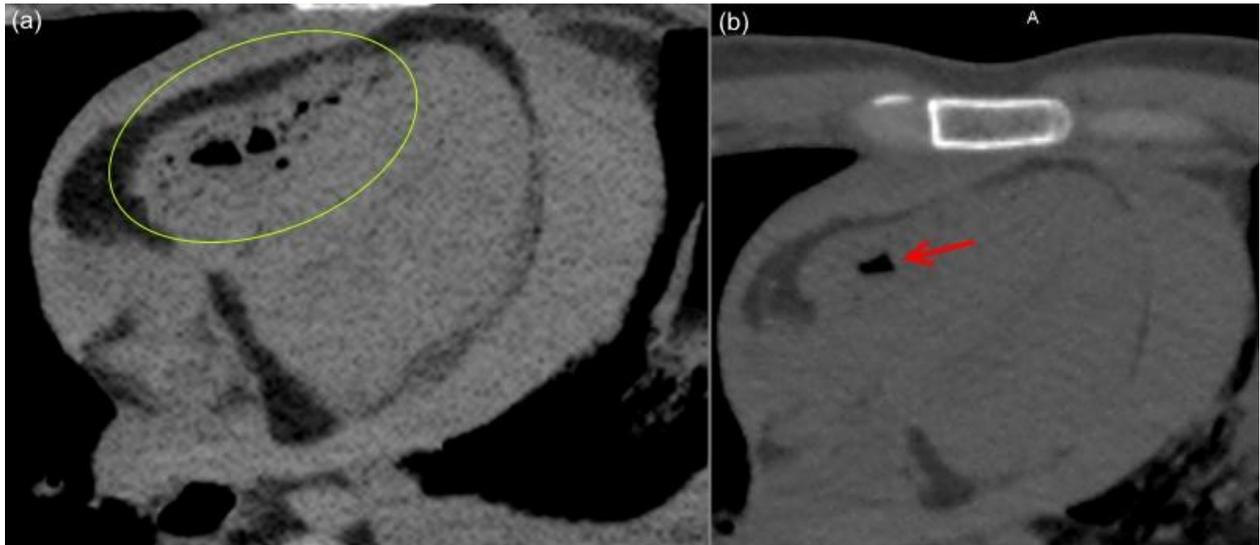


(a) frontale MinIP, SF 37: Durch die Funktion der MinIP kann in der pmCT eine intravasale Gasakkumulation im Sinne einer Gasembolie besser erkannt werden (kraniale Gefäße - blaue Pfeile; Halsgefäß - grüne Pfeile). (b,c) SF 36: (b) sagittale MinIP: Durch die MinIP kann die intrakranielle, intravasale Lokalisation der Gasansammlungen im Sinne einer Gasembolie detektiert werden (rote Pfeile). (c) 3D-Rekonstruktion, sagittale Aufsicht: Mithilfe von 3D-Rekonstruktionen mit besonderer Wichtung der HE-Werte von Gas gelingt die anschauliche Visualisierung der kranialen, intravasalen Gasembolie (gelbe Pfeile). (a,b,c) Die Obduktion kann diese zerebralen Gasembolien nicht detektieren.

Abbildung 38: SF 36, 37: pmCT: Gasembolie: MinIP- und 3D-Rekonstruktionsdarstellungen

Für intravasale bzw. -kardiale Gasansammlungen kommen neben der Gasembolie weitere Ursachen in Frage. Dies muss sowohl in der Obduktion als auch in der pmCT berücksichtigt werden.

Ursächlich können Fäulnis- und Zersetzungsprozesse sein [87]. Für die pmCT liegen Kriterien zur Differenzierung zwischen einer Gasembolie und Ansammlungen von Fäulnisgasen vor: Eine symmetrische, generalisierte Gasverteilung in anatomischen Räumen, im Herzen und in Gefäßen lässt auf Fäulnisgase schließen [109,110]. Eine durch Fäulnisgase aufgelockerte Organ- und Gewebestruktur, bspw. des Unterhautfettgewebes, gilt zudem als radiologisches Fäulnis- und Zersetzungszeichen [109]. Für eine Gasembolie sprechen asymmetrisch verteilte bzw. fokale Gasansammlungen, die intravasal bzw. -kardial (hier v.a. in der rechten Herzkammer) auftreten [44,110]. Bestanden bei Durchführung der Studie anhand der Differenzierungskriterien Zweifel an dem Befund der Gasembolie, wurde er nicht als solcher gewertet. Die Obduktionsergebnisse beschreiben bei den 7 Studienfällen (SF 1, 28, 32, 34, 36-38), in denen die pmCT eine Gasembolie detektierte, keine typischen Fäulnis- und Zersetzungsveränderungen (vgl. Tabelle 1). Das postmortale Intervall bis zum Beginn der pmCT lag bei 6 dieser 7 Studienfälle unter 24 Stunden. Bei dem Studienfall (SF 1), für den keine Angabe zum postmortalen Intervall vorlag, detektiert die pmCT eine auf die rechte Herzkammer beschränkte, lokale Gasansammlung (Abbildung 39). Da eine eindeutige Zuordnung von intrahepatischen Gasansammlungen in der pmCT nach aktuellem Forschungsstand nicht möglich ist, wurde von einer Betrachtung der Leber für die Diagnose einer Gasembolie abgesehen [35,111-113]. Eine chemische Gasanalyse kann den Ursprung einer Gasansammlung näher bestimmen [106]. Die Probengewinnung erfolgt durch Nadelpunktion und -aspiration. Um Gasansammlungen vor einer Punktion adäquat detektieren zu können, ist eine pmCT notwendig.



(a,b) axial, SF 1: Auf die rechte Herzkammer begrenzte, lokale Gasansammlung (gelbe Ellipse, roter Pfeil), die in der pmCT als Gasembolie gewertet wurde.

Abbildung 39: SF 1: pmCT: Gasembolie

Eine zur Lebensrettung eingesetzte Herzdruckmassage kann ebenso Ursache intravasaler bzw. -kardialer Gasansammlungen sein [44,87,114,115]. Es wird angenommen, dass durch den verwendeten intravenösen Zugang, der üblicherweise gelegt wird, lediglich kleine Gasvolumina in das Gefäßsystem gelangen können [87,115]. 2 der 7 Studienfälle (SF 1 und 38), denen die pmCT eine Gasembolie zuwies, erhielten eine Herzdruckmassage, bei einem Studienfall (SF 37) lagen keine Angaben dazu vor. Bei allen 3 Studienfällen liegen jedoch größere intravasale bzw. -kardiale Gasvolumina vor (SF 1: vgl. Abbildung 39; SF 37: vgl. Abbildung 33-c,d; SF 38: vgl. Abbildung 33-e), wodurch eine Gasembolie durch scharfe Gewalt als wahrscheinlich angenommen werden kann. Die Ergebnisse der Studie mitsamt den in der Literatur beschriebenen Differenzierungskriterien zeigen, dass die pmCT der Obduktion bei der Diagnosestellung einer Gasembolie überlegen ist. Die Obduktion ist kein valider Goldstandard und die ermittelten Werte der Spezifität und der Vertrauenswahrscheinlichkeit müssen angezweifelt werden. In der Detektion der für die Gasembolie ursächlichen Ereignisse scharfer Gewalt erweist sich die pmCT als alleiniges postmortales Diagnoseverfahren jedoch als unzureichend. Obwohl in Einzelfällen der Rückschluss auf eine sichere Gefäßeröffnung in der pmCT gelingt (vgl. Abbildung 22-c (SF 32), vgl. Abbildung 33-b (SF 28)), ist eine detaillierte Darstellung venöser Gefäßeröffnungen im Weichgewebe in der Regel nicht möglich [32,38]. Hierfür muss gegenwärtig auf das Verfahren der Obduktion zurückgegriffen werden, welches hierbei jedoch ebenfalls diagnostische Schwächen aufweist (vgl. Pkt.

4.2.1). Ob eine postmortale MRT aufgrund der guten Darstellung von Weichgewebe dies leisten kann, bedarf weiterer Forschungsarbeit.

#### 4.1.6 Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen

Informationen über das Tatwerkzeug sind in der Rechtsmedizin von besonderer Bedeutung. Die Identifikation von Stich- bzw. Schnittwaffen stellt den Rechtsmediziner oft vor eine Herausforderung [116]. Ähnlich wie bei der Detektion von Projektilen im Körpergewebe bei ballistischen Verletzungen kann die pmCT wertvolle Hinweise über das verwendete Tatwerkzeug liefern, sofern Stich- oder Schnittwaffen bzw. deren Fragmente im Körpergewebe verbleiben [117,118]. In der vorliegenden Studie wurden 100% der Stich- bzw. Schnittwaffen, z.T. als Fragmente vorkommend, die in der Obduktion im Körpergewebe detektiert wurden, auch in der pmCT erkannt. Die Erkennung in der pmCT gelingt so gut, da die Tatwerkzeuge als metallische Fremdkörper hohe HE-Werte aufweisen, die zur Identifikation des Materials ebenfalls bestimmt werden können [32,119,120]. Im Gegensatz zur Obduktion kann die pmCT das Tatwerkzeug und dessen Lokalisation detailliert und ohne Manipulation am Körper in situ darstellen, wodurch bspw. die Richtung einer Stichverletzung mit großer Präzision erkennbar ist (vgl. Abbildung 17-d und Abbildung 34-c) [12,52]. Die Visualisierung ist zudem in beliebig wählbaren Ebenen sowie in 3D-Rekonstruktionen möglich [16,23,24]. In konventionellen Röntgenaufnahmen sind derart detaillierte Darstellungen des Tatwerkzeuges sowie charakterisierende Bestimmungen des HE-Wertes nicht möglich [12,120,121]. Die pmCT ermöglicht eine Anschaulichkeit, die auch im Kontakt mit dem Gericht genutzt werden kann [116].

Neben vollständig erhaltenen Stich- bzw. Schnittwaffen können auch Fragmente dieser Waffen im Körpergewebe verbleiben. Bei Stichverletzungen mit Kontakt zum Knochengewebe brechen Messerspitzen oder andere Teile der Messerklinge ggf. ab. Diese Fragmente liefern wertvolle Hinweise auf den Messertyp oder das speziell verwendete Messer [12]. Die pmCT kann diese Fragmente mit großer Genauigkeit identifizieren und visualisieren (vgl. SF 36: Abbildung 24-c,d,e). Es ist gut vorstellbar, dass kleine Metallfragmente, wie das abgebrochene Fragment der Messerklinge in der rechten Ulna bei Studienfall 36, bei der Präparation im Rahmen der Obduktion nicht erkannt werden, während die pmCT sie schnell und einfach detektiert [52]. In der vorliegenden Studie ist es möglich, dass die Detektion der Stich- und Schnittwaffenfragmente in der Obduktion

durch Vorabkenntnisse durchgeführter Schnellübersichten der pmCT-Datensätze erleichtert wurde (vgl. Pkt. 2.3.2) und Waffenfragmente, wie sie bei Studienfall 36 vorkommen, der Obduktion sonst entgangen wären.

Die pmCT erkennt alle in der Obduktion genannten Stich- bzw. Schnittwaffen(-fragmente) und ist der Obduktion damit sicher ebenbürtig. Da dem Obduzenten das Ergebnis der pmCT im Hinblick auf vorhandenen Fremdkörper vor bzw. während der Obduktion bekannt war und eine gezielte Asservierung vorgenommen werden konnte, ist es wahrscheinlich, dass die pmCT der Obduktion in der Erkennung von Stich- und Schnittwaffenfragmente überlegen ist. Die Vorteile einer orientierenden pmCT, die der Obduktion vorausgeht, sind beschrieben worden [119,120]. Die Obduktion ist besser planbar und die Verletzungsgefahr des Obduzenten sinkt [120]. Informationen über die verwendete(n) Waffe(n) können auch durch Analyse von Knochendefekten, die in der pmCT gut sicht- und visualisierbar sind, gewonnen werden, wie Thali et al. und Woźniak et al. zeigen konnten [122,123]. Trotz aller technischen Fortschritte in den bildgebenden Verfahren bleiben für die Identifikation des Tatwerkzeuges nach wie vor auch andere Informationsquellen, bspw. die Erkenntnisse vom Tatort und eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit mit den Ermittlungsbehörden, von Bedeutung [116].

## 4.2 zusammenfassende Betrachtung

### 4.2.1 Betrachtung der Befunde

Die Stärken der pmCT liegen in der Entscheidung über das Vorliegen der betrachteten Befunde. Hier kann eine Ebenbürtigkeit bzw. bei mehreren Befunden eine Überlegenheit der pmCT im Vergleich zur Obduktion angenommen werden:

- Die pmCT ist der Obduktion in der Entscheidung, ob die Befunde eines Hämatorax und eines größeren, eher verblutungsrelevanten Hämaskos vorliegen, ebenbürtig. Hämaskos mit kleineren Blutvolumina (hier: <20 ml) werden in der pmCT schlechter detektiert als in der Obduktion.
- Es kann angenommen werden, dass die pmCT der Obduktion in der Entscheidung, ob die Befunde eines Hämoperikards, eines Pneumothorax und einer Gasembolie vorliegen, überlegen ist. Hier ist der bisherige Goldstandard der Obduktion anzuzweifeln.

- Die Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen, die im Körpergewebe verblieben sind, gelingt in der pmCT ebenso verlässlich wie in der Obduktion. Über eine bessere Detektion in der pmCT kann diskutiert werden.

Die pmCT stellt in Bezug auf die betrachteten Befunde eine notwendige Ergänzung zur Obduktion dar. Die Qualität der postmortalen Befunderhebung wird durch Einsatz der pmCT signifikant erhöht.

Schwächen zeigt die pmCT in der Detektion der Ereignisse scharfer Gewalt, welche ursächlich für die betrachteten Befunde sind. Um diese Verletzungen scharfer Gewalt durch ein bildgebendes Verfahren adäquat detektieren und in ihrem Verlauf vollständig nachverfolgen zu können, ist eine differenzierte Darstellung von Weichgewebe nötig. Die computertomographischen Schwächen in der Differenzierung von Weichgewebe sind bekannt [32,38]. Hinzu kommt, dass durch Verletzungen scharfer Gewalt in der Regel glatte Wundränder ohne große Gewebeerstörungen entstehen und die Wundränder sich nach Entfernung der Tatwaffe wieder aneinanderlegen. Bleibende, in der pmCT detektierbare Dichtewertänderungen liegen deshalb oft nicht vor. Da eine potentiell schlechtere Darstellung der auslösenden Ereignisse in der pmCT angenommen werden konnte, wurde in der Studie zwischen sicher und potentiell ursächlichen Ereignissen unterschieden (vgl. Pkt. 2.4.2). Die Ergebnisse zeigen, dass die pmCT eine Vielzahl der auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt als sichere oder potentielle Ursachen detektieren kann. Dennoch ist hier die Obduktion der pmCT überlegen. Eine geübte Leichenpräparation scheint den Verlauf von Verletzungen scharfer Gewalt besser nachverfolgen zu können. Die Möglichkeit, dass die Obduktion, deren Leichenpräparation selbst eine Form scharfer Gewalt darstellt, Quelle von Fehlbefunden sein kann, muss stets bedacht werden [12]. Die vorliegende Studie bestätigt die bereits von Schnider et al. formulierte Erkenntnis, dass die pmCT Schwächen in der Detektion von Stich- und Schnittverletzungen aufweist [44].

Es zeigt sich jedoch ebenso, dass die pmCT in Einzelfällen in der Lage ist, Verletzungen scharfer Gewalt in ihrem Verlauf äußerst detailliert und anschaulich zu dokumentieren (vgl. Abbildung 36). Dies kann in einem Gerichtsverfahren genutzt werden [33,124]. Durch die Methode der Obduktion, welche die Körperintegrität zerstört, kann dieser Grad der Anschaulichkeit nicht immer erreicht werden. Eine gezielte Untersuchung der pmCT-Ganzkörperdatensätze in Hinblick auf die Dokumentation der Verletzungen scharfer Gewalt ist lohnenswert.

In der postmortalen MRT gelingt die Detektion und Beurteilung einzelner Verletzungsverläufe aufgrund der überlegenen Weichteildarstellung besser als in der pmCT [12,32,38]. Bolliger et al. zeigten zudem, dass sich in der pmCT durch Kontrastmittelinstillation in Stichverletzungen deren Tiefe und Verlaufsrichtung wesentlich besser darstellen lassen [81]. Durch den retrospektiven Charakter der vorliegenden Arbeit war eine Kontrastmittelinstillation in die durch scharfe Gewalt verursachten Verletzungen nicht mehr möglich.

#### 4.2.2 Betrachtung der Volumenbestimmung

Für die pmCT stellt das hier verwendete Verfahren der manuellen Segmentation den Goldstandard zur Volumenbestimmung dar [31,86].

In der Diskussion der bei der Volumenbetrachtung erzielten Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass eine begrenzte Anzahl an Vergleichswerten (6 bzw. 12 Vergleichswerte für Befund des Hämoperikards bzw. Hämatothorax) vorliegt. Zudem besteht weder für die Obduktion noch für die pmCT eine absolute Sicherheit, dass die tatsächlich vorliegenden Volumina korrekt ermittelt werden. Potentielle Fehlerquellen bei beiden Verfahren erklären die z.T. deutlichen Divergenzen der Messwerte (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 16).

Durch eine der Volumenbestimmung vorausgehende, nicht immer vermeidbare, präparations- und lagerungsbedingte Manipulation am Leichnam kann der in der Obduktion ermittelte Volumenwert verfälscht sein [30]. Darüber hinaus muss die Messgenauigkeit in der Obduktion kritisch hinterfragt werden: Volumenangaben werden häufig auf den nächstliegenden 50 ml-Wert, bei größeren Volumina ( $\geq 500$  ml) gar auf den nächstliegenden 100 ml-Wert gerundet [30,31]. Retrospektiv war eine genaue Überprüfung des Messverfahrens in der Obduktion nicht möglich. Der Großteil der in der Obduktion ermittelten Volumenwerte besteht aus einem Vielfachen von 50 bzw. 100 Milliliter (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 16). In der pmCT hängt die Genauigkeit der Segmentation von der Fähigkeit ab, Blutansammlungen von dem sie umgebenden Gewebe zu differenzieren. Aufgrund ähnlicher HE-Werte von Blut und Weichgewebe und der allgemein schlechten Kontrastierung von Weichgewebe in der pmCT ist eine klare Abgrenzung mitunter schwierig [30,31,38]. Dies kann die Volumenmessung in der pmCT verfälschen, wahrscheinlich jedoch nicht in großem Ausmaß.

Aufgrund von z.T. nahezu identischen Messwerten (vgl. Tabelle 6 und Tabelle 16, vgl. Pkt. 4.1.1 und 4.1.3) und der damit verbundenen Annahme, dass in diesen Fällen beide Methoden die Volumina hinreichend korrekt bestimmen, ist die pmCT als grundsätzlich geeignetes Verfahren zur volumetrischen Erfassung von Hämatothoraces bzw. Hämoperikarden anzusehen.

Als nicht-destruktives Verfahren birgt die pmCT im Gegensatz zur Obduktion nicht das Risiko einer präparations- und lagerungsbedingten Verfälschung der Volumenmessung. Ebenso kann die Volumenmessung stets reproduziert werden. Damit besteht bspw. die Möglichkeit, auch eine ausgeprägte Fehlbestimmung des Volumens in der Obduktion, wie sie bei dem linksseitigen Hämatothorax in Studienfall 38 wahrscheinlich ist (vgl. Pkt. 4.1.1 und Abbildung 35), zu einem späteren Zeitpunkt noch zu revidieren. Aufgrund der Reproduzierbarkeit der Volumenmessungen können die Messungen in der pmCT einer Überprüfung der Reproduzierbarkeit und der Variabilität zwischen verschiedenen Untersuchern unterzogen werden. [31].

Weitere Forschungsarbeiten zur Validierung und Verbesserung der Volumenmessung in der pmCT sind aufgrund dieser vielversprechenden Vorteile der pmCT gegenüber der Obduktion sowie aufgrund der grundsätzlichen Eignung der pmCT zur adäquaten Volumenbestimmung wünschenswert. Geeignet dafür sind experimentelle Ansätze mit definierten Volumina. Ebert et al. konnten die Volumenmessung in der pmCT bereits an einem Phantommodell validieren [30]. Die Validierung einer pmCT-basierten Volumenbestimmung von Flüssigkeiten innerhalb des menschlichen Körpers, die auch als experimenteller Ansatz denkbar ist, steht weiterhin aus.

Die für die Volumenmessung in der pmCT benötigte Zeit wurde nicht registriert. Sie ist jedoch als potentielle Limitation der Methode für die rechtsmedizinische Praxis zu nennen [31]. Es besteht die Möglichkeit, die Messzeit zu verkürzen, indem für die manuelle Segmentierung die betrachtete Schichtdicke erhöht wird [30]. Durch den vergrößerten Partialvolumeneffekt kann es jedoch zu Messungenauigkeiten kommen [31]. Ebert et al. konnten zeigen, dass eine Erhöhung der Schichtdicke von 1,25 mm auf 10 mm bei der manuellen Segmentierung die in der pmCT ermittelten Volumina von Flüssigkeitsansammlungen im Herzbeutel nicht wesentlich beeinflusste [30]. Eine weitere potentielle Alternative, die Messzeit zu verkürzen, stellt der Ansatz dar, das interessierende Volumen mittels einer mathematischen Formel zu schätzen. In die Formel gehen dann bestenfalls lediglich wenige Flächenausmessungen aus vorher definierten pmCT-

Bildebenen ein. Veljkovic et al. zeigten, dass sich das Volumen von Pleuraergüssen anhand einer solchen Formel annähernd korrekt bestimmen lässt [86].

### 4.3 Begründung des Betrachtungsumfanges

Der Betrachtungsumfang der vorliegenden Arbeit stellt keine komplette Erfassung der Auswirkungen scharfer Gewalt am Körper der Opfer in der pmCT dar, sondern beschränkt sich auf die Detektion der bei scharfer Gewalt häufig anzutreffenden Befunde sowie der sie auslösenden Ereignisse scharfer Gewalt. Zudem wurde die Fähigkeit zur Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen untersucht (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4). Seltener vorkommende Befunde, wie bspw. Infektionen und zentrale Lähmungen, waren nicht Teil der Untersuchung, auch weil für sie bisher keine klar definierten Erkennungskriterien für die pmCT beschrieben wurden, die als Bewertungsgrundlagen dieser Studie hätten fungieren können.

Ebenso wurde davon abgesehen, den Befund des Verblutungstodes in den Betrachtungsumfang dieser Arbeit einzuschließen. Die Diagnose Verblutungstod wird stets aus dem Vorliegen verschiedener Einzelbefunde gestellt wird, die z.T. auch am Tat- bzw. Auffindungsort erhoben werden. Ein extrakorporaler Blutverlust entgeht bspw. der Erfassung in der pmCT und Obduktion. Hinweise auf einen Verblutungstod können die in der Studie betrachteten Befunde innerer Blutansammlungen wie Hämoperikard, Hämatothorax und Hämaskos liefern. Aghayev et al. entwickelten einen Algorithmus, durch den in der postmortalen Bildgebung die Möglichkeit besteht, auf einen tödlichen Blutverlust zu schließen [83]. Hierfür ist jedoch die kombinierte Anwendung von pmCT und postmortaler MRT nötig. Die Evaluation dieses Algorithmus in einer prospektiven Studie steht noch aus.

Hämoperikarde und Hämatothoraces wurden in der pmCT volumetrisch erfasst. Aufgrund der z.T. bestehenden und unter Pkt. 4.1.2 beschriebenen Schwierigkeiten der Detektion eines Hämaskos in der pmCT und der potentiell unterschiedlichen Lokalisationen von Blutansammlungen in der Abdominalhöhle, deren Hounsfield-Werte in dem Bereich der sie umgebenden Organe liegen, wurde von einer pmCT-Volumenmessung der Hämaskos abgesehen. Hier sei auf die entsprechende Studie von Ampanozi et al. verwiesen [31].

Ebenso wurde von einer Betrachtung jeglicher Einzelereignisse scharfer Gewalt abgesehen, da dies über den zulässigen Umfang der vorliegenden Arbeit hinausgehen würde und zudem Einzelereignisse scharfer Gewalt in den Obduktionsergebnissen z.T. gruppiert dokumentiert wurden, wodurch eine vergleichende Betrachtung der Einzelverletzungen nicht mehr realisierbar war. Damit war auch eine Beurteilung der Wundmorphologie nicht Teil des Betrachtungsumfanges. Die Wundmorphologie lässt sich über eine wenig manipulative, äußere Leichenschau gut dokumentieren.

Von einer Betrachtung der durch scharfe Gewalt verursachten Knochen- und Knorpelschäden wurde mit derselben Begründung, die für die Betrachtung der Einzelereignisse scharfer Gewalt angeführt wurde, abgesehen. Die Stärken der (pm)CT bei der Detektion von Knochenschäden sind beschrieben worden [32,104,125].

Die Entscheidung über eine Selbst- oder Fremdbeibringung der scharfen Gewalt anhand der pmCT, war nicht Teil des Betrachtungsumfanges, da für diese Einschätzung stets auch Informationen, die über die pmCT-, aber auch über die Obduktionsergebnisse hinausgehen, einbezogen werden müssen [59].

#### 4.4 Limitationen der Studie

Wie jede Studie hat auch die vorliegende retrospektive Studie Limitationen.

Da ein maximaler Erkenntnisgewinn zum Zeitpunkt der Obduktion aufgrund der forensischen Relevanz der behandelten Fälle unabdingbar ist, mussten dem Obduzenten Vorabkenntnisse durchgeführter Schnellübersichten der pmCT-Datensätze zugänglich gemacht werden, wobei die Kenntnisnahme der CT-Befunde durch den Obduzenten und die Intensität, mit der sich zuvor mit den CT-Daten auseinandergesetzt wurde, stark variierte. Bei der Auswertung der pmCT-Datensätze war lediglich bekannt, dass die Studienfälle Opfer scharfer Gewalt waren. Bei der Durchsicht der Obduktionsergebnisse wurde darauf geachtet, dass die entsprechenden Befunde genannt wurden und die Befunderhebung als aus dem Verlauf der Obduktion hervorgehend beschrieben wurde, z.B. durch eine morphologische Beschreibung. Es ist nicht auszuschließen, dass der Obduzent durch Kenntnis der pmCT-Schnellübersichten die Obduktion in Bezug auf eventuell in der pmCT detektierte Befunde gezielter durchführte. Dieser im Einzelfall nicht mehr überprüfbare Vorteil der Obduktion ist ohne Einfluss auf die festgestellten Möglichkeiten der pmCT bei der Detektion der Befunde (vgl. Pkt. 3). Es besteht jedoch

die Möglichkeit, dass die pmCT im Vergleich der beiden Methoden schlechter bewertet wird, als es ihr entspricht.

Die pmCT wurde in Bezug auf den gegenwärtigen Goldstandard der Obduktion untersucht. Bei unterschiedlichen Ergebnissen bzgl. eines Befundes besteht für keine der beiden Methoden eine endgültige Deutungshoheit. Ein Goldstandard, der die Befunde definitiv korrekt diagnostiziert, existiert nicht. Die Annahme der Überlegenheit einer Methode über die andere Methode ergibt sich durch logische Betrachtungen. Gleiches gilt für den Vergleich der Volumina. Ebert et al. zeigen, dass ein experimentelles Studiendesign möglich ist, mit dem in der pmCT gemessene Volumina objektiv überprüfbar sind [30].

Die Dokumentation der Obduktionsergebnisse erfolgte nach rechtsmedizinischem Standard, wurde jedoch nicht durchgeführt mit dem Wissen um eine später stattfindende retrospektive Studie und der für sie relevanten Kriterien. In einigen Fällen liefern die Obduktionsergebnisse die Angaben zu den betrachteten Aspekten nicht in dem präferierten, vollständig detaillierten Ausmaß. Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Obduktion detektierte Befunde und auslösende Ereignisse scharfer Gewalt stets Erwähnung finden.

Falls ein Befund in der Obduktion und/oder pmCT nicht eindeutig beurteilt werden konnte, wurde der Befund in der jeweiligen Methode als nicht (positiv) vorliegend gewertet. Dies gilt z.B. vereinzelt bei Fäulnisercheinungen, die kein generelles Ausschlusskriterium darstellten. Dies darf bei der Betrachtung der Werte der Spezifität nicht vergessen werden: Eine hohe Spezifität, welche sonst Auskunft über die Sicherheit des Ausschlusses eines Befundes gibt, bedeutet hier, dass in der pmCT und Obduktion große Übereinstimmungen in der Aussage bestehen, dass ein Befund als nicht (positiv) vorliegend bewertet wird und die beiden Diagnosemethoden sich nicht widersprechen.

Die Studie wurde unter Aufsicht eines radiologisch erfahrenen Rechtsmediziners durchgeführt. Es wurde gezeigt, dass die Befunderhebung an pmCT-Datensätzen durch radiologisch geschulte Rechtsmediziner valide ist [58].

## 4.5 Fazit

Die Berliner Rechtsmedizin verfügt über gute Bedingungen für die Forschung zur pmCT. Sie zählt im bundesrepublikanischen Vergleich zu den drei größten Prosekturen

mit durchschnittlich etwa 2000 Obduktionen pro Jahr aus einem städtischen Fallspektrum. Durch den Zugriff auf ein CT-Gerät in Institutsbesitz, der in der deutschen Rechtsmedizin kein Normalfall ist, besteht in Berlin ein niederschwelliger Zugang zur pmCT [55]. Im Erfassungszeitraum der vorliegenden Studie zwischen Juni 2011 und Dezember 2013 wurden 5194 Fälle obduziert, von denen 809 Fälle eine der Obduktion vorausgehende Ganzkörper-CT (15,6%) erhielten. Zudem verfügt die Berliner Rechtsmedizin durch entsprechend radiologisch geschulte Rechtsmediziner über fundierte Kenntnisse und Expertise im Bereich der postmortalen Bildgebung.

Um den Nutzen der pmCT für die Rechtsmedizin evaluieren zu können und um ggf. rechtsmedizinischen Instituten Argumente zu geben, um die Anschaffung radiologischer Geräte zu ermöglichen oder Kooperationsmöglichkeiten mit vorhandenen radiologischen Einrichtungen etablieren zu können, sind Studien mit größeren Fallzahlen nötig, welche die Möglichkeiten der pmCT beleuchten und sie im Vergleich zur herkömmlichen Methode der Obduktion betrachten. Dies kann in Bezug auf bestimmte Opfergruppen geschehen. Während es bspw. für die Opfer von Schussverletzungen bereits eine Studie zur pmCT mit größeren Fallzahlen gibt, gab es für die Opfer scharfer Gewalt bisher lediglich eine Machbarkeitsstudie von Schnider et al., welche 12 Studienfälle einschloss [44,91]. Die vorliegende Studie führt die notwendige weitere Evaluation der pmCT in Bezug auf scharfe Gewalt systematisch fort und kann sich dabei auf eine größere Studienpopulation beziehen.

Die Studie lässt folgende Schlüsse zu:

In der Entscheidung über das Vorliegen der betrachteten, durch scharfe Gewalt ausgelösten Befunde (Hämatothorax, Hämaskos, Hämoperikard, Pneumothorax, Gasembolie, Detektion von Stich- bzw. Schnittwaffen) ist die pmCT der Obduktion ebenbürtig und bei mehreren Befunden überlegen. Hier kann die Obduktion nicht als Goldstandard der postmortalen Befunderhebung angesehen werden. Die Detektion der auslösenden Einzelereignisse scharfer Gewalt gelingt in der pmCT in einer Vielzahl der Fälle, jedoch nicht so regelmäßig wie in der Obduktion.

Die pmCT ist grundsätzlich geeignet, Hämatothoraces und Hämoperikarde volumetrisch hinreichend korrekt zu erfassen. Im Vergleich mit der Obduktion, in der es manipulationsbedingt leicht zu einer Fehlbestimmung von Volumina kommen kann, stellt die pmCT-basierte Volumenbestimmung eine vielversprechende Alternative dar. Für eine Implementierung in der rechtsmedizinischen Praxis ist jedoch weitere Forschungsarbeit nötig.

Aufgrund der forensischen Relevanz besteht in der Rechtsmedizin die Notwendigkeit, auf Diagnoseverfahren zurückzugreifen, welche die maximale Qualität der postmortalen Befunderhebung sicherstellen. Die Studie zeigt, dass die pmCT in Bezug auf die postmortale Befunderhebung bei Opfern scharfer Gewalt eine notwendige Ergänzung zur Methode der Obduktion darstellt, die routinemäßig implementiert werden sollte. Die pmCT und die Obduktion erweisen sich als alleinige Methoden der postmortalen Befunderhebung als unzureichend.

Eine vorausgehende pmCT kann zudem genutzt werden, die Obduktion mit erhöhter Achtsamkeit bezogen auf bereits in der pmCT detektierte Befunde durchzuführen und in ihrer Qualität zu verbessern.

Ein großer Vorteil der pmCT gegenüber der Obduktion liegt in der Reproduzierbarkeit der Befundaufnahme. Die pmCT-Ganzkörperdatensätze können jederzeit, ortsungebunden, von verschiedenen Untersuchern einer erneuten Betrachtung unterzogen werden. Vor Gericht können die erhobenen Befunde zudem in einer objektiven, untersucherunabhängigen Form anschaulich dargestellt werden [33,52,124].

Es ist anzunehmen, dass die Detektion der Ereignisse scharfer Gewalt, welche die hier betrachteten Befunde auslösen, in der postmortalen MRT aufgrund ihrer überlegenen Weichteildarstellung besser gelingt als in der pmCT [12,32,38]. Eine kombinierte Anwendung von pmCT und postmortaler MRT wäre unter diesem Gesichtspunkt wünschenswert. Die weitaus höheren Anschaffungskosten eines MRT-Gerätes übersteigen jedoch in der Regel die finanziellen Budgets rechtsmedizinischer Institute. Der Erwerb eines CT-Scanners erscheint insbesondere für Institute mit einer höheren Obduktionszahl realistischer. Aufgrund der in der postmortalen Bildgebung vorliegenden Toleranz längerer Untersuchungszeiten könnte sich die Anschaffung älterer, in der klinischen Medizin nicht mehr genutzter Geräte als kostengünstige Alternative erweisen.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die pmCT, auch ohne postmortale MRT, als notwendiges, zusätzliches Diagnoseverfahren in der postmortalen Befunderhebung bei Opfern scharfer Gewalt angesehen werden muss.

## Literaturverzeichnis

- 1 Bolliger SA, Thali MJ. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2015;370.
- 2 Christe A, Flach P, Ross S, Spendlove D, Bolliger S, Vock P, Thali MJ. Clinical radiology and postmortem imaging (Virtopsy) are not the same: Specific and unspecific postmortem signs. *Leg Med (Tokyo)* 2010;12:215-222.
- 3 Bolliger SA, Thali MJ, Ross S, Buck U, Naether S, Vock P. Virtual autopsy using imaging: bridging radiologic and forensic sciences. A review of the Virtopsy and similar projects. *Eur Radiol* 2008;18:273-282.
- 4 Aghayev E, Staub L, Thali MJ. The Virtopsy Database. In: Thali MJ, Dirnhöfer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:135-142.
- 5 Jalalzadeh H, Giannakopoulos GF, Berger FH, Fronczek J, van de Goot FR, Reijnders UJ, Zuidema WP. Post-mortem imaging compared with autopsy in trauma victims - A systematic review. *Forensic Sci Int* 2015;257:29-48.
- 6 Strafprozessordnung. Berlin, Deutschland: Bundesrepublik Deutschland. (aufgerufen am 02. September, 2015, unter: <http://www.gesetze-im-internet.de/stpo/index.html>.)
- 7 Tag B, Madea B, Stenzinger A, Dietel M, Pollak S, Zollinger U, Grellner W. Obduktionen. In: Madea B, ed. *Die ärztliche Leichenschau*. 3rd ed. Berlin, Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014:177-205.
- 8 Arbeitskreis "Autopsie". Stellungnahme zur "Autopsie". Bundesärztekammer, ed. Berlin, Deutschland: 2005:1- 61.
- 9 Richtlinien für das Strafverfahren und das Bußgeldverfahren. Berlin, Deutschland: Bundesrepublik Deutschland. (aufgerufen am 02. September, 2015, unter: [http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund\\_01011977\\_420821R5902002.htm](http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_01011977_420821R5902002.htm).)
- 10 Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin. Die rechtsmedizinische Leichenöffnung (Leitlinie). Deutsche Gesellschaft für Rechtsmedizin, ed. Essen, Deutschland: 2012:1-17.

- 11 Dirnhofer, R. From Autopsy to Virtopsy. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:5-19.
- 12 Thali MJ, Oesterhelweg L. Incident-Specific Cases. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:219-387.
- 13 Thali MJ, Segal G, Bolliger S. Religion. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:41-50.
- 14 Cormack A. Representation of a Function by Its Line Integrals, with Some Radiological Applications. *J. oAppl. Phys.* 1963;34:2722-2727.
- 15 Hounsfield GN. Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system. *Br J Radiol* 1973;46:1016-1022.
- 16 Kalender WA. X-ray computed tomography. *Phys Med Biol* 2006;51:R29-43.
- 17 Mull RT. Mass estimates by computed tomography: physical density from CT numbers. *AJR Am J Roentgenol* 1984;143:1101-1104.
- 18 Prokop M. Grundlagen. In: Prokop M, ed. *Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT*. 2nd ed. Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme Verlag, 2007:1-50.
- 19 Gerson LP: Computerized Axial Tomography: A Brief Survey. *Cardiovasc Dis* 1977;4:237-239.
- 20 Centre for Evidence-based Purchasing. Buyer's Guide: Multi-slice CT Scanners. National Health Trust (NHS), eds. London, England: 2009:1-181.
- 21 Dirnhofer R, Thali MJ. Virtopsy after More Than Some 100 Cases. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:19-26.
- 22 Dalrymple NC, Prasad SR, El-Merhi FM, Chintapalli KN. Price of isotropy in multidetector CT. *Radiographics* 2007;27:49-62.
- 23 Calhoun PS, Kuszyk BS, Heath DG, Carley JC, Fishman EK. Three-dimensional volume rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics* 1999;19:745-764.
- 24 Kalender WA. Thin-section three-dimensional spiral CT: Is isotropic imaging possible?. *Radiology* 1995;197:578-580.

- 25 Prokop M. Bildbearbeitung und Darstellungstechniken. In: Prokop M, ed. Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT. 2nd ed. Stuttgart, Deutschland: Georg Thieme Verlag, 2007:51-88.
- 26 Jackowski C, Thali MJ, Aghayev E, Yen K, Sonnenschein M, Zwygart K, Dirnhofer R, Vock P. Postmortem imaging of blood and its characteristics using MSCT and MRI. *Int J Legal Med* 2006;120:233-240.
- 27 Levine CD, Patel UJ, Silverman PM, Wachsberg RH. Low attenuation of acute traumatic hemoperitoneum on CT scans. *AJR Am J Roentgenol* 1996;166:1089-1093.
- 28 Filograna L, Ross S, Bolliger S, Germerott T, Preiss U, Flach PM, Thali MJ. Blood aspiration as a vital sign detected by postmortem computed tomography imaging. *J Forensic Sci* 2011;56:630-637.
- 29 Berger N, Ebert LC, Ampanozi G, Flach PM, Gascho D, Thali MJ, Ruder TD. Smaller but denser: postmortem changes alter the CT characteristics of subdural hematomas. *Forensic Sci Med Pathol* 2015;11:40-46.
- 30 Ebert LC, Ampanozi G, Ruder TD, Hatch G, Thali MJ, Germerott T. CT based volume measurement and estimation in cases of pericardial effusion. *J Forensic Leg Med* 2012;19:126-131.
- 31 Ampanozi G, Hatch GM, Ruder TD, Flach PM, Germerott T, Thali MJ, Ebert LC. Post-mortem virtual estimation of free abdominal blood volume. *Eur J Radiol* 2012;81:2133-2136.
- 32 Brant W. Diagnostic Imaging Methods. In: Brant W, Helms C, eds. *Fundamentals of Diagnostic Radiology*. 4th ed. Philadelphia, USA: Lippincott Williams and Wilkins, 2012:2-25.
- 33 Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Boesch C, Ozdoba C, Schroth G, Ith M, Sonnenschein M, Doernhoefer T, Scheurer E, Plattner T, Dirnhofer R. 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.
- 34 Jackowski C, Thali MJ, Sonnenschein M, Aghayev E, Yen K, Dirnhofer R, Vock P. Visualization and quantification of air embolism structure by processing postmortem MSCT data. *J Forensic Sci* 2004;49:1339-1342.
- 35 Jackowski C, Sonnenschein M, Thali MJ, Aghayev E, Yen K, Dirnhofer R, Vock P. Intrahepatic gas at postmortem computed tomography: forensic experience as a potential guide for in vivo trauma imaging. *J Trauma* 2007;62:979-988.

- 36 Jackowski C, Sonnenschein M, Thali MJ, Aghayev E, von Allmen G, Yen K, Dirnhofer R, Vock P. Virtopsy: postmortem minimally invasive angiography using cross section techniques-implementation and preliminary results. *J Forensic Sci* 2005;50:1175-1186.
- 37 Grabherr S, Grimm J, Dominguez A, Vanhaebost J, Mangin P. Advances in post-mortem CT-angiography. *Br J Radiol* 2014;87:20130488.
- 38 Vock P. Intravital versus Postmortem Imaging. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:145-146.
- 39 Brogdon BG. Preface. In: Brogdon BG, Thali MJ, eds. *Forensic Radiology*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1998:Einleitung.
- 40 Ambrose J, Hounsfield G. Computerized transverse axial tomography. *Br J Radiol* 1973;46:148-149.
- 41 Brogdon BG. *Forensic radiology*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1998.
- 42 Vogel H. Gewalt im Röntgenbild: Befunde bei Krieg, Folter und Verbrechen. *Echomed* 1997:13-42.
- 43 Donchin Y, Rivkind AI, Bar-Ziv J, Hiss J, Almog J, Drescher M. Utility of postmortem computed tomography in trauma victims. *J Trauma* 1994;37:552-556.
- 44 Schnider J, Thali MJ, Ross S, Oesterhelweg L, Spendlove D, Bolliger SA. Injuries due to sharp trauma detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): a feasibility study. *Leg Med (Tokyo)* 2009;11:4-9.
- 45 Schumacher M, Oehmichen M, König HG, Einighammer H. Intravital and postmortal CT examinations in cerebral gunshot injuries. *Rofo* 1983;139:58-62.
- 46 Ezawa H, Yoneyama R, Kandatsu S, Yoshikawa K, Tsujii H, Harigaya K. Introduction of autopsy imaging redefines the concept of autopsy: 37 cases of clinical experience. *Pathol Int* 2003;53:865-873.
- 47 Takatsu A, Suzuki N, Hattori A, Shigeta A. The concept of the digital morgue as a 3D database. *Leg Med (Tokyo)* 1999;1:29-33.
- 48 Stein KM, Bahner ML, Merkel J, Ain S, Mattern R. Detection of gunshot residues in routine CTs. *Int J Legal Med* 2000;114:15-18.

- 49 Riepert T, Schultes A, Graß H, Schuff A, Paperno S, Krug B, Lackner K, Staak M. Autopsie und postmortale Computertomographie - ein prospektiver Vergleich. *Rechtsmedizin* 2001;11:160.
- 50 Wilson CA, Bonner AK, Ritty GN. Radiological investigation in autopsy practice. In: Ritty GN, ed. *Essentials of Autopsy Practice*. 2nd ed. London, England: Springer-Verlag, 2003:129-158.
- 51 Farkash U, Scope A, Lynn M, Kugel C, Maor R, Abargel A, Eldad A. Preliminary experience with postmortem computed tomography in military penetrating trauma. *J Trauma* 2000;48:303-309.
- 52 Thali MJ, Schwab CM, Tairi K, Dirnhofer R, Vock P. Forensic radiology with cross-section modalities: spiral CT evaluation of a knife wound to the aorta. *J Forensic Sci* 2002;47:1041-1045.
- 53 Thali MJ, Yen K, Plattner T, Schweitzer W, Vock P, Ozdoba C, Dirnhofer R. Charred body: virtual autopsy with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. *J Forensic Sci* 2002;47:1326-1331.
- 54 Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009.
- 55 Thali MJ, Oesterhelweg L. Experiences with Virtual Autopsy Approach Worldwide. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009:475-478.
- 56 Gorincour G, Ruder TD, Ritty GN, Viner MD, Hatch GM, Thali MJ, ISFRI Board Members. From Gil Brogdon to modern post-mortem imaging. *Diagn Interv Imaging* 2014;95:1001-1002.
- 57 Aghayev E, Yen K, Sonnenschein M, Jackowski C, Thali MJ, Vock P, Dirnhofer R. Pneumomediastinum and soft tissue emphysema of the neck in postmortem CT and MRI - a new vital sign in hanging?. *Forensic Sci Int* 2005;153:181-188.
- 58 Leth PM. Computed tomography in forensic medicine. *Dan Med J* 2015;62.
- 59 Oehmichen, M, Madea B. Mechanische Insulte: Scharfe Gewalt. In: Madea B, ed. *Praxis Rechtsmedizin*. 2nd ed. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007:125-133.
- 60 Karch DL, Logan J, McDaniel D, Parks S, Patel N. Surveillance for violent deaths-National Violent Death Reporting System, 16 states, 2009. *MMWR Surveill Summ* 2012;61:1-43.

- 61 Hunt AC, Cowling RJ. Murder by stabbing. *Forensic Sci Int* 1991;52:107-112.
- 62 Scolan V, Telmon N, Blanc A, Allery JP, Charlet D, Rouge D. Homicide-suicide by stabbing study over 10 years in the toulouse region. *Am J Forensic Med Pathol* 2004;25:33-36.
- 63 Start RD, Milroy CM, Green MA. Suicide by self-stabbing. *Forensic Sci Int* 1992;56:89-94.
- 64 Karger B, Niemeyer J, Brinkmann B. Suicides by sharp force: typical and atypical features. *Int J Legal Med* 2000;113:259-262.
- 65 Prahlow JA, Ross KF, Lene WJ, Kirby DB. Accidental sharp force injury fatalities. *Am J Forensic Med Pathol* 2001;22:358-366.
- 66 Eisenmenger W. Spitze, scharfe und halbscharfe Gewalt. In: Brinkmann B, Madea B, eds. *Handbuch gerichtliche Medizin (Band 1)*. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003:571-592.
- 67 Herbst J, Hoppe B, Haffner H. Kriterien der Fremd- oder Selbstbeibringung bei Todesfällen durch scharfe Gewalt. *Rechtsmedizin* 1999;10:14-20.
- 68 Metter D, Benz D. Self-defense injuries in homicides caused by penetrating forces. *Z Rechtsmed* 1989;102:277-291.
- 69 Mueller B. Verletzungen und Todesfälle durch scharfe und halbscharfe Gewalteinwirkungen. In: Mueller B, ed. *Gerichtliche Medizin (Teil 1)*. Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1975:359-382.
- 70 Weber W, Milz U. Dynamics of manual stabbing tests. Contribution to the understanding of the "Outer stabbing dynamics". *Z Rechtsmed* 1975;75:285-292.
- 71 Wohlfarth S. Einflussfaktoren für Blutverlustvolumina bei Todesfällen. Berlin, Deutschland: Medizinische Fakultät der Charité - Universitätsmedizin Berlin, 2006.
- 72 Wiedenhöfer B, Mau H, Breusch S. Thorax. In: Breusch S, Clarius M, Mau H, Sabo D, eds. *Klinikleitfaden Orthopädie Unfallchirurgie*. 6th ed. Edinburgh, Schottland, Hamburg, Heidelberg, Deutschland: Elsevier-Verlag, 2009:409-420.
- 73 Kurtz A. Atmung. In: Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S, eds. *Physiologie*. 7th ed. Stuttgart, Deutschland: Thieme-Verlag, 2014:304-364.

- 74 Oehmichen M, Banaschak S, Madea B. Vitale Reaktionen und Zeitschätzungen. In: Madea B, ed. Praxis Rechtsmedizin. 2nd ed. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007: 103-110.
- 75 Janssen W. Vital Reactions. In: Janssen W., ed. Forensic Histopathology. Berlin, Deutschland: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1984:131-141.
- 76 Oesterhelweg L, Ross S, Spendlove D, Schoen CA, Christie A, Thali MJ, Bolliger SA. Virtopsy: fatal stab wounds to the skull-the relevance of ante-mortem and post-mortem radiological data in case reconstructions. Leg Med (Tokyo) 2007;9:314-317.
- 77 Ruder TD, Ketterer T, Preiss U, Bolliger M, Ross S, Gotsmy WF, Ampanozi G, Germerott T, Thali MJ, Hatch GM. Suicidal knife wound to the heart: challenges in reconstructing wound channels with post mortem CT and CT-angiography. Leg Med (Tokyo) 2011;13:91-94.
- 78 Kawasumi Y, Hosokai Y, Usui A, Saito H, Ishibashi T, Funayama M. Postmortem computed tomography images of a broken piece of a weapon in the skull. Jpn J Radiol 2012;30:167-170.
- 79 Zerbini T, Silva LF, Ferro AC, Kay FU, Amaro Junior E, Pasqualucci CA, Saldiva PH. Differences between postmortem computed tomography and conventional autopsy in a stabbing murder case. Clinics (Sao Paulo) 2014;69:683-687.
- 80 Savall F, Dedouit F, Mokrane FZ, Rougé D, Saint-Martin P, Telmon N. An unusual homicidal stab wound of the cervical spinal cord: A single case examined by post-mortem computed tomography angiography (PMCTA). Forensic Sci Int 2015;254:e18-21.
- 81 Bolliger SA, Preiss U, Glaeser N, Thali MJ, Ross S. Radiological stab wound channel depiction with instillation of contrast medium. Leg Med (Tokyo) 2010;12:39-41.
- 82 Bolliger SA, Ruder TD, Ketterer T, Gläser N, Thali MJ, Ampanozi G. Comparison of stab wound probing versus radiological stab wound channel depiction with contrast medium. Forensic Sci Int 2014;234:45-49.
- 83 Aghayev E, Sonnenschein M, Jackowski C, Thali MJ, Buck U, Yen K, Bolliger S, Dirnhofer R, Vock P. Postmortem radiology of fatal hemorrhage: measurements of cross-sectional areas of major blood vessels and volumes of aorta and spleen on MDCT and volumes of heart chambers on MRI. AJR Am J Roentgenol 2006;187:209-215.

- 84 Burke M, Parsons S, Bassed R. Management of medicolegal natural deaths from hemopericardium or hemothorax using postmortem CT scanning. *Forensic Sci Med Pathol* 2012;8:367-372.
- 85 Watanabe S, Hyodoh H, Shimizu J, Okazaki S, Mizuo K, Rokukawa M. Classification of hemopericardium on postmortem CT. *Leg Med (Tokyo)* 2015;17:376-380.
- 86 Veljkovic B, Franckenberg S, Hatch GM, Bucher M, Schwendener N, Ampanozi G, Thali MJ, Ruder TD. Quantification of pleural effusion from single area measurements on CT. *Emerg Radiol* 2013;20:285-289.
- 87 Gebhart FT, Brogdon BG, Zech WD, Thali MJ, Germerott T. Gas at postmortem computed tomography-an evaluation of 73 non-putrefied trauma and non-trauma cases. *Forensic Sci Int* 2012;222:162-169.
- 88 Filograna L, Bolliger SA, Ross SG, Ruder T, Thali MJ. Pros and cons of post-mortem CT imaging on aspiration diagnosis. *Leg Med (Tokyo)* 2011;13:16-21.
- 89 Altman DG, Bland JM. Diagnostic tests 2: Predictive values. *BMJ* 1994;309:102.
- 90 Aghayev E, Jackowski C, Thali MJ, Yen K, Dirnhofer R, Sonnenschein M. Heart luxation and myocardium rupture in postmortem multislice computed tomography and magnetic resonance imaging. *Am J Forensic Med Pathol* 2008;29:86-88.
- 91 Makhoulouf F, Scolan V, Ferretti G, Stahl C, Paysant F. Gunshot fatalities: correlation between post-mortem multi-slice computed tomography and autopsy findings: a 30-months retrospective study. *Leg Med (Tokyo)* 2013;15:145-148.
- 92 Gitto L, Serinelli S, Busardò FP, Panebianco V, Bolino G, Maiese A. Can post-mortem computed tomography be considered an alternative for autopsy in deaths due to hemopericardium?. *J Geriatr Cardiol* 2014;11:363-367.
- 93 Restrepo CS, Lemos DF, Lemos JA, Velasquez E, Diethelm L, Ovella TA, Martinez S, Carrillo J, Moncada R, Klein JS. Imaging findings in cardiac tamponade with emphasis on CT. *Radiographics* 2007;27:1595-1610.
- 94 Filograna L, Thali MJ, Marchetti D. Forensic relevance of post-mortem CT imaging of the haemopericardium in determining the cause of death. *Leg Med (Tokyo)* 2014;16:247-251.

- 95 Hernández-Luyando L, Calvo J, González de las Heras E, de la Puente H, López C. Tension pericardial collections: sign of 'flattened heart' in CT. *Eur J Radiol* 1996;23:250-252.
- 96 Uchigasaki S, Oesterhelweg L, Sperhake JP, Püschel K, Oshida S. Application of ultrasonography to postmortem examination. Diagnosis of pericardial tamponade. *Forensic Sci Int* 2006;162:167-169.
- 97 Horowitz MS, Schultz CS, Stinson EB, Harrison DC, Popp RL. Sensitivity and specificity of echocardiographic diagnosis of pericardial effusion. *Circulation* 1974;50:239-247.
- 98 Currie GP, Alluri R, Christie GL, Legge JS. Pneumothorax: an update. *Postgrad Med J* 2007;83:461-465.
- 99 Omar HR, Mangar D, Khetarpal S, Shapiro DH, Kolla J, Rashad R, Helal E, Camporesi EM. Anteroposterior chest radiograph vs. chest CT scan in early detection of pneumothorax in trauma patients. *Int Arch Med* 2011;4:30.
- 100 Schmidt G, Kallieris D. Use of radiographs in the forensic autopsy. *Forensic Sci Int* 1982;19:263-270.
- 101 Cha JG, Kim DH, Paik SH, Park JS, Park SJ, Lee HK, Hong HS, Choi DL, Yang KM, Chung NE, Lee BW, Seo JS. Utility of postmortem autopsy via whole-body imaging: initial observations comparing MDCT and 3.0 T MRI findings with autopsy findings. *Korean J Radiol* 2010;11:395-406.
- 102 Thomsen AH, Jurik AG, Uhrenholt L, Vesterby A. An alternative approach to computerized tomography (CT) in forensic pathology. *Forensic Sci Int* 2009;183:87-90.
- 103 Leth PM, Struckmann H, Lauritsen J. Interobserver agreement of the injury diagnoses obtained by postmortem computed tomography of traffic fatality victims and a comparison with autopsy results. *Forensic Sci Int* 2013;225:15-19.
- 104 Wichmann D, Obbelode F, Vogel H, Hoepker WW, Nierhaus A, Braune S, Sauter G, Püschel K, Kluge S. Virtual autopsy as an alternative to traditional medical autopsy in the intensive care unit: a prospective cohort study. *Ann Intern Med* 2012;156:123-130.
- 105 Hasegawa I, Heinemann A, Tzikas A, Vogel H, Püschel K. Criminal gunshot wound and iatrogenic tension pneumothorax detected by post-mortem computed tomography. *Leg Med (Tokyo)* 2014;16:154-156.

- 106 Varlet V, Smith F, Giuliani N, Egger C, Rinaldi A, Dominguez A, Chevallier C, Bruguier C, Augsburg M, Mangin P, Grabherr S. When gas analysis assists with postmortem imaging to diagnose causes of death. *Forensic Sci Int* 2015;251:1-10.
- 107 Mallach HJ, Schmidt WK. Über ein quantitatives und qualitatives Verfahren zum Nachweis der Luft- oder Gasembolie. *Beitr Gerichtl Med* 1980;38:409-419.
- 108 Keil W, Bretschneider K, Patzelt D, Behning I, Lignitz E, Matz J. Air embolism or putrefaction gas? The diagnosis of cardiac air embolism in the cadaver. *Beitr Gerichtl Med* 1980;38:395-408.
- 109 Thali MJ, Yen K, Schweitzer W, Vock P, Ozdoba C, Dirnhofer R. Into the decomposed body-forensic digital autopsy using multislice-computed tomography. *Forensic Sci Int* 2003;134:109-114.
- 110 Levy AD, Harcke HT, Mallak CT. Postmortem imaging: MDCT features of postmortem change and decomposition. *Am J Forensic Med Pathol* 2010;31:12-17.
- 111 Fischer F, Grimm J, Kirchhoff C, Reiser MF, Graw M, Kirchhoff S. Postmortem 24-h interval computed tomography findings on intrahepatic gas development and changes of liver parenchyma radiopacity. *Forensic Sci Int* 2012;214:118-123.
- 112 Takahashi N, Higuchi T, Shiotani M, Maeda H, Hirose Y. Intrahepatic gas at postmortem multislice computed tomography in cases of nontraumatic death. *Jpn J Radiol* 2009;27:264-268.
- 113 Asamura H, Ito M, Takayanagi K, Kobayashi K, Ota M, Fukushima H. Hepatic portal venous gas on postmortem CT scan. *Leg Med (Tokyo)* 2005;7:326-330.
- 114 Shiotani S, Kohno M, Ohashi N, Atake S, Yamazaki K, Nakayama H. Cardiovascular gas on non-traumatic postmortem computed tomography (PMCT): the influence of cardiopulmonary resuscitation. *Radiat Med* 2005;23:225-229.
- 115 Yokota H, Yamamoto S, Horikoshi T, Shimofusa R, Ito H. What is the origin of intravascular gas on postmortem computed tomography? *Leg Med (Tokyo)* 2009;11 Suppl 1:S252-255.
- 116 Aromatario M, Cappelletti S, Bottoni E, Fiore PA, Ciallella C: Weapon identification using antemortem CT with 3D reconstruction, is it always possible?-A report in a case of facial blunt and sharp injuries using an ashtray. *Leg Med (Tokyo)* 2016;18:1-6.

- 117 Ritty GN, Boyce P, Robinson CE, Jeffery AJ, Morgan B. The role of computed tomography in terminal ballistic analysis. *Int J Legal Med* 2008;122:1-5.
- 118 O'Donnell C, Woodford N. Post-mortem radiology-a new sub-speciality? *Clin Radiol* 2008;63:1189-1194.
- 119 Bolliger SA, Oesterhelweg L, Spendlove D, Ross S, Thali MJ. Is differentiation of frequently encountered foreign bodies in corpses possible by Hounsfield density measurement?. *J Forensic Sci* 2009;54:1119-1122.
- 120 Ruder TD, Thali Y, Bolliger SA, Somaini-Mathier S, Thali MJ, Hatch GM, Schindera ST. Material differentiation in forensic radiology with single-source dual-energy computed tomography. *Forensic Sci Med Pathol* 2013;9:163-169.
- 121 O'Donnell C, Iino M, Mansharan K, Leditscke J, Woodford N. Contribution of postmortem multidetector CT scanning to identification of the deceased in a mass disaster: Experience gained from the 2009 Victorian bushfires. *Forensic Sci Int* 2011;205:15-28.
- 122 Woźniak K, Rzepecka-Woźniak E, Moskała A, Pohl J, Latacz K, Dybała B. Weapon identification using antemortem computed tomography with virtual 3D and rapid prototype modeling-a report in a case of blunt force head injury. *Forensic Sci Int* 2012;222:e29-32.
- 123 Thali MJ, Taubenreuther U, Karolczak M, Braun M, Brueschweiler W, Kalender WA, Dirnhofer R. Forensic microradiology: micro-computed tomography (Micro-CT) and analysis of patterned injuries inside of bone. *J Forensic Sci* 2003;48:1336-1342.
- 124 Harris LS. Postmortem magnetic resonance images of the injured brain: effective evidence in the courtroom. *Forensic Sci Int* 1991;50:179-185.
- 125 Thali M J, Bolliger S. Thanatology. In: Thali MJ, Dirnhofer R, Vock P, eds. *The Virtopsy Approach*. Boca Raton, USA: CRC Press, 2009: 187-218.

## Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Frederick Haase, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: "Postmortale Computertomographie - Ein notwendiges Instrumentarium bei der rechtsmedizinischen Beurteilung von Todesfällen im Zusammenhang mit scharfer Gewalt?" selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

---

Ort, Datum

---

Unterschrift: Frederick Haase

Anteilserklärung an den erfolgten Publikationen:

Frederick Haase ist bisher noch nicht als Autor oder Co-Autor von publizierten wissenschaftlichen Arbeiten in Erscheinung getreten.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers:

---

Unterschrift des Doktoranden:

---

## Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

## Publikationsliste (Stand 10/2016)

Der Autor dieser Arbeit, Frederick Haase, ist bisher noch nicht als Autor oder Co-Autor von publizierten wissenschaftlichen Arbeiten in Erscheinung getreten.

## Danksagung

Ich möchte Herrn Prof. Dr. med. Michael Tsokos, dem Direktor des Instituts für Rechtsmedizin der Charité - Universitätsmedizin Berlin, für die Überlassung dieses spannenden Themas und die Möglichkeit, dazu zu promovieren, danken.

Besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn Dr. med. Lars Oesterhelweg, dem stellvertretenden Institutsdirektor und leitenden Oberarzt des oben genannten Institutes. Ich danke ihm für die ausdauernde Unterstützung sowie die ausgesprochen engagierte und freundliche Betreuung dieser Arbeit. Herr Dr. Oesterhelweg stand für Fragen jederzeit zur Verfügung und ich habe das Arbeitsklima durchweg als sehr angenehm empfunden.

Des Weiteren danke ich allen Mitarbeitern des Instituts für die Unterstützung bei der Datenerhebung und für fachliche Ratschläge.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, die mich immer unterstützt haben und deren Unterstützung ich mir stets gewiss sein kann. Ich bedanke mich von Herzen, dass sie in schwierigeren Momenten fest an meiner Seite standen und sich in guten Zeiten so mit mir freuen.