

Aus der Klinik und Poliklinik für Radiologie  
Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Jens Ricke  
&  
aus dem Institut der Rechtsmedizin  
Klinik & Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Direktor: Prof. Dr. Matthias Graw

**Interdisziplinäre PMCT-Auswertung und Evaluation  
rechtsmedizinischer Untersuchungsparameter bei  
tödlichen Schussverletzungen im Vergleich zur  
Autopsie**

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

vorgelegt von

Elias Federico Blattner geb. Scaparra

aus

Berlin, Deutschland

2022

---

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Sonja Mafalda Kirchhoff

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. med. Stefan Wirth

Prof. Dr. med. Karl-Hans Engelmeier

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:

Prof. Dr. med. Oliver Peschel

Dekan:

Prof. Dr. med. Thomas Gudermann

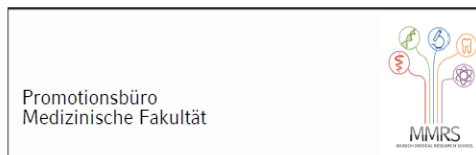
Tag der mündlichen Prüfung:

13.01.2022

---

Ich widme diese Arbeit meiner geliebten Ehefrau

## Affidavit



### Eidesstattliche Versicherung

Blattner, Elias Federico

\_\_\_\_\_  
Name, Vorname

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

**Interdisziplinäre PMCT-Auswertung und Evaluation rechtsmedizinischer Untersuchungsparameter bei tödlichen Schussverletzungen im Vergleich zur Autopsie**

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

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

Saarbrücken, den 21.02.2022

Unterschrift Doktorandin bzw. Doktorand: Elias Federico Blattner

## **Inhalt**

<b>Affidavit</b> .....	<b>3</b>
<b>Inhalt</b> .....	<b>4</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>5</b>
<b>Publikationsliste</b> .....	<b>6</b>
<b>Beitrag zu den Veröffentlichungen</b> .....	<b>7</b>
Beitrag zu „Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds – a comparative study“ .....	<b>7</b>
Beitrag zu „Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing post mortem computed tomography (PMCT) and autopsy“ ....	<b>7</b>
<b>Einleitung</b> .....	<b>8</b>
<b>Material und Methode</b> .....	<b>11</b>
Erste Publikation: „Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds—a comparative study“ (im Folgenden „Vergleichende Studie PMCT“) .....	<b>11</b>
Zweite Publikation: „Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing post mortem computed tomography (PMCT) and autopsy“ im Folgenden „Veröffentlichung Aspiration“ .....	<b>12</b>
<b>Ergebnisse</b> .....	<b>13</b>
Vergleichende Studie PMCT .....	<b>13</b>
Veröffentlichung Aspiration .....	<b>13</b>
<b>Diskussion</b> .....	<b>15</b>
Vergleichende Studie PMCT .....	<b>16</b>
Veröffentlichung Aspiration .....	<b>17</b>
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>19</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>21</b>
<b>Veröffentlichung I</b> .....	<b>23</b>
<b>Veröffentlichung II</b> .....	<b>24</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>25</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>28</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

PMCT	Postmortale Computertomographie
CT	Computertomographie
z.B.	zum Beispiel
bzw.	beziehungsweise
et al.	et alii
LMU	Ludwig- Maximilians-Universität
StPO	Strafprozessordnung
RiStBV	Richtlinien für das Strafverfahren und Bußgeldverfahren
HU	Hounsfield Units (Einheiten)

## **Publikationsliste**

1. „Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds – a comparative study“
2. „Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing post mortem computed tomography (PMCT) and autopsy“

## **Beitrag zu den Veröffentlichungen**

### **Beitrag zu „Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds – a comparative study“**

Der Promovend hat die generierten Rohdaten in ein auswertbares Modell umgesetzt und ausgewertet. Die Daten wurden für die statistische Auswertung vorbereitet und es erfolgte die Verfassung des Artikels als Ko-Autor.

### **Beitrag zu „Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing post mortem computed tomography (PMCT) and autopsy“**

Der Promovend wertete die CT-Datensätze und Autopsieberichte nach Einweisung selbstständig aus und erstellte den Versuchsaufbau. Es erfolgte die statistische Auswertung und die Verfassung des Artikels als Erstautor.



## Einleitung

Laut statistischem Bundesamt sind im Jahr 2015 in Deutschland 788 Menschen (Quelle: statistisches Bundesamt) durch Schusswaffengebrauch ums Leben gekommen [1]. Wird in einem solchen Fall korrekterweise eine „nicht natürliche Todesart“ durch den Leichenschauer attestiert, so wird in einem Teil dieser Fälle nach den polizeilichen Ermittlungen auch eine Obduktion durchgeführt. Einige dieser Obduktionen (Synonym: Autopsie) wurden im Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) in München durchgeführt. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation erfolgte noch vor der Autopsie, also vor der Eröffnung der Leiche, eine postmortale Computertomographie (PMCT) im Institut für Klinische Radiologie des Klinikums Innenstadt der LMU München [2, 3]. Die erhobenen PMCT-Daten der durch Schusswaffengebrauch Verstorbenen wurden durch den Promovenden und die Ko-Autoren nach verschiedenen Kriterien ausgewertet und bilden die Grundlage der hier vorgelegten Artikel.

Die Obduktion stellt den Goldstandard für die Untersuchung von Toten dar. Gemäß den Paragraphen § 87 und § 89 der Strafprozessordnung (StPO) werden die Umstände der Leichenöffnung geregelt und die Durchführung der Obduktion beschrieben. Hierbei wird *„die Leichenschau [...] von der Staatsanwaltschaft, auf Antrag der Staatsanwaltschaft auch vom Richter, unter Zuziehung eines Arztes vorgenommen. Die Leichenöffnung wird von zwei Ärzten vorgenommen. Einer der Ärzte muß Gerichtsarzt oder Leiter eines öffentlichen gerichtsmedizinischen oder pathologischen Instituts [...] sein [...]. Die Staatsanwaltschaft kann an der Leichenöffnung teilnehmen. Auf ihren Antrag findet die Leichenöffnung im Beisein des Richters statt.“*

Vor einer Autopsie, die sich laut § 89 StPO *„stets auf die Öffnung der Kopf-, Brust- und Bauchhöhle“* erstreckt, muss der Tod nach dem Fund des Leichnams vor Ort bzw. bei der Leichenschau durch einen Arzt festgestellt werden. § 159 der StPO regelt die Anzeigepflicht der Behörden, sobald

*„Anhaltspunkte dafür vorhanden [sind], daß jemand eines nicht natürlichen Todes gestorben ist [...].“*

In vielen Fällen von tödlichem Schusswaffengebrauch wird eine Obduktion durch die Staatsanwaltschaft laut den Richtlinien für das Strafverfahren und Bußgeldverfahren (RiStBV) Nr. 33/2 durchgeführt, da eine Fremdeinwirkung bei Verdacht auf eine nicht natürliche Todesursache ausgeschlossen werden muss. Nach der äußeren Untersuchung und vor der Öffnung der Leiche sollte nach aktuellem Standard, wenn möglich, eine weitere apparative Diagnostik, z.B. eine PMCT erfolgen [4, 5].

Seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen im Jahr 1895 durch Wilhelm Conrad Röntgen hat die Röntgendiagnostik in der klinischen Medizin Einzug gehalten [6]. Aus einfachen Aufnahmetechniken wurde in den frühen 1970er Jahren die erste Computertomographie (CT) entwickelt, die die Darstellung von Körperquerschnitten ermöglichte [7]. Ab 1989 wurde eine neue Generation von CT-Geräten entwickelt, die die Erhebung einer größeren Anzahl an Querschnitten pro Minute ermöglichte und somit aufgrund der höheren Untersuchungsgeschwindigkeit eine höhere Detailgenauigkeit lieferte [7]. Der technische Fortschritt führte dann zu den heute eingesetzten CT-Geräten der IV. Generation. Diese sind in der Lage in kürzester Zeit ein dreidimensionales Abbild eines Volumens zu erzeugen. Bei einer computertomographischen Untersuchung rotiert die Strahlenquelle zusammen mit dem gegenüberliegenden Detektor um das zu untersuchende Volumen, zum Beispiel den menschlichen Körper. Die so gemessenen dichteabhängigen Abschwächungen des Röntgenstrahls innerhalb des Volumens werden in elektrische Signale umgewandelt. Der so erzeugte Datensatz kann anschließend in einem komplexen Bearbeitungsprozess zum Beispiel in ein dreidimensionales Modell umgerechnet und ausgewertet werden [8].

Die PMCT wird zunehmend in vielen Teilen der Welt eingesetzt [9], so vor allem in der Schweiz, Deutschland, Frankreich, Schweden und Australien [10-12]. PMCT-Untersuchungen, die potentiellen Einsatzmöglichkeiten und Auswertung der Daten sind aktuell Fokus vieler Forschungsgruppen [9, 13]. Es gibt sogar Ansätze die postulieren, dass zukünftig mehrdimensionale Untersuchungsmethoden dazu in der Lage sein werden die

konventionelle Autopsie im Sinne einer virtuellen Autopsie zu ersetzen [14]. Die Bedeutung, die die PMCT für die Rechtsmedizin annehmen könnte, ist in ihrer Gänze noch nicht erfasst [15]. Derzeitige Verwendungen der PMCT beziehen sich bei Verstorbenen durch Schusswaffenverletzungen z.B. auf Lokalisation und Anzahl von Projektilen und deren Verlauf [14, 11, 16, 17, 13, 7]. Dennoch wird die PMCT heute bereits als unabdingbar bei tödlichen Schussverletzungen im Kopfbereich erachtet [14, 18]. Dies bezieht sich insbesondere auf Fälle bei denen sich noch Projektile oder ganze Projektile im Leichnam befinden [16].

Bis zum Zeitpunkt der Datenanalyse für beide Artikel war in der gängigen Literatur keine Studie zu finden, die die PMCT mit der Autopsie bei tödlichen Schussverletzungen in ähnlicher Weise verglichen hat. In den vorliegenden Publikationen wurde besonderes Augenmerk auf die Aus- und Eintrittswunde, den Projektilverlauf, das Ausmaß der Zerstörung des umliegenden Gewebes, die Information zum Projektil und die Aspiration nach tödlichen Schussverletzungen gelegt. Zudem wurde unter anderem erstmals eine interdisziplinäre Untersucherguppe bestehend aus einem Rechtsmediziner und einem Radiologen gebildet mit dem Ziel den Informationsgewinn dieser Konstellation zu evaluieren.

Im Folgenden finden sich die beiden Publikationen in der Reihenfolge des Erscheinungsdatums:

„Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds – a comparative study“

„Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing post mortem computed tomography (PMCT) and autopsy“

## **Material und Methode**

In den Jahren 2008-2011 wurden im Institut für Klinische Radiologie der LMU 57 PMCTs von Leichen durchgeführt, die an Schussverletzungen verstorben waren. Der Leichnam wurde am Auffindungsort in einen Leichensack verbracht, vor der Aufbewahrung in der Rechtsmedizin in die Radiologie gebracht und die PMCT in diesem Leichensack angefertigt. Die CT-Untersuchungen wurden je nach Verfügbarkeit an zwei unterschiedlichen CT-Geräten durchgeführt (Brilliance 64, Philips, Amsterdam, Netherlands; GE Discovery 750 HD, GE Healthcare, Massachusetts, USA). Alle Untersuchungen erfolgten nativ, das heißt ohne Verwendung von Kontrastmittel. Nach Anwendung der Ein- bzw. Ausschlußkriterien der jeweiligen Studie wurden 51 bzw. 41 PMCTs eingeschlossen.

### **Erste Publikation: „Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds—a comparative study“ (im Folgenden „Vergleichende Studie PMCT“)**

Der Fokus dieser Publikation lag auf dem Vergleich der PMCT-Auswertung durch zwei unterschiedliche Gruppen: Zum einen durch Gruppe I, bestehend aus zwei Radiologen, und zum anderen durch Gruppe II, einem Radiologen und einem Rechtsmediziner. Zudem sollte die Frage durch welche Konstellation ein potentiell höherer Zugewinn an Informationen erzielt werden kann geklärt werden. Die PMCT-Auswertungsergebnisse der beiden Gruppen wurden mit dem Goldstandard, der Autopsie, verglichen. Die PMCTs wurden auf die für Schussverletzungen wesentlichen Parameter wie Schussanzahl, Schusslokalisation, Kalibergröße und Schusskanalverlauf mit Einschuss-Ausschuss-Differenzierung ausgewertet. Es erfolgte eine dreidimensionale Einteilung des Corpus, die es ermöglichte in der Transversalebene die Richtungen „rechts nach links“ und „links nach rechts“ darzustellen. In der Sagittalebene erfolgte die Unterscheidung in „anterior nach posterior“ und „posterior nach anterior“. Die Schussrichtung von kaudal nach kranial oder umgekehrt wurde ebenso berücksichtigt, jedoch nicht als Hauptkriterium gewertet. Generell wurden alle PMCTs berücksichtigt, die Schussverletzungen durch Handfeuerwaffen aufwiesen.

Ausgeschlossen wurden sechs Fälle, die eine lückenhafte Dokumentation zeigten oder in welchen die Nutzung anderer Waffen (z.B. Armbrust) zum Tode führte.

### **Zweite Publikation: „Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing post mortem computed tomography (PMCT) and autopsy“ im Folgenden „Veröffentlichung Aspiration“**

Dieser Artikel befasste sich mit der Diagnostik der Blutaspiration bei Schusstodesfällen. Auch in dieser Arbeit wurden die Ergebnisse der PMCT mit dem Goldstandard Autopsie verglichen. Die PMCTs wurden auf das Vorliegen bzw. das Ausmaß einer Aspiration ausgewertet. Die Befunde „Aspiration“ wurden mit Hilfe einer semiquantitativen Skala Grad 0-III eingeteilt. Alle PMCTs, die Schussverletzungen im Kopfbereich zeigten, wurden eingeschlossen. Fälle mit zusätzlichen Verletzungen im Thoraxbereich sowie bei Zustand nach Reanimation wurden nicht in die Auswertung einbezogen. Dadurch konnte eine retrograde Aspiration bei Verletzungen des Thorax bzw. Regurgitation weitestgehend ausgeschlossen werden [19]. Als Zeichen einer Aspiration wurden okkludierte Anteile in den Luftwegen sowie die Quantität und Qualität von Milchglasverschattungen im Lungenparenchym gewertet [20]. Zusätzlich fand eine digitale Dichtemessung mittels Hounsfield Einheiten (HU) statt. In einem Bereich von 20-90 HU in den großen Luftwegen und 50-70 HU im Lungenparenchym ist mit einer hohen Wahrscheinlichkeit Blut die Ursache der Okklusion der Luftwege bzw. als Ursache von Milchglasverschattungen anzusehen. Sowohl bei der Autopsie als auch in der PMCT erfolgte eine Gradeinteilung, welche von „keine Zeichen einer Aspiration“ (Grad-0) bis hin zu „maximalen Anzeichen einer erfolgten Aspiration“ mit vollständiger Verlegung der Atemwege (Grad-III) reichte. Die Auswertung der PMCT wurde mit den Autopsiedaten verglichen und korreliert.

## Ergebnisse

### Vergleichende Studie PMCT

Diese Studie zeigte, dass zwischen den Ergebnissen der beiden Betrachtergruppen und der Autopsie als Goldstandard eine gute Korrelation besteht. Bezüglich der Anzahl der Schussverletzungen wurden 66 Einschüsse mittels Autopsie detektiert, während beide Gruppen auf den PMCT-Aufnahmen eine statistisch signifikant geringere Zahl von nur 56 Schüssen erkannten (84,4%,  $p < 0,001$ ). Bei der Lokalisation der Einschüsse ergab sich ein Cohen's Kappa von 0,98 (Gruppe I versus Autopsie: 0,71; Gruppe II versus Autopsie 0,73). Somit schnitten beide Gruppen hier ähnlich ab, wobei Gruppe I in einigen Fällen nicht zwischen Verletzungen von Kopf, Mundboden oder Mund differenzierte. Bei der Auswertung der Ein- und Austrittswunden ergab sich eine Fehlerrate von 21% für Gruppe I und 19% für Gruppe II. Beide Gruppen detektierten gleichermaßen keine Schussverletzung in posterior-anteriorer Richtung. In zehn Fällen wurden in der PMCT von beiden Gruppen Fragmente und Fragmentwolken von Projektilen sowie Fragmente kleiner als 7mm bestimmt, die in der Autopsie unentdeckt blieben. In den ersten drei Kategorien Schussanzahl (Cohen's Kappa 0,89), Schusslokalisierung (Cohens's Kappa 0,98) und Schussrichtung (Cohens's Kappa 0,79) schnitten beide Betrachtergruppen vergleichbar ab. Bei der Erkennung und Zuordnung des Projektilkalibers konnte die interdisziplinäre Betrachtergruppe (Gruppe II) mit nur 15,9% Abweichung zur Autopsie im Vergleich zu 23,4% von Gruppe I bessere Ergebnisse erzielen.

### Veröffentlichung Aspiration

Die Auswertung der PMCTs für diese Studie ergab in 29 (70,7%) von 41 eingeschlossenen Fällen denselben Aspirationsgrad wie in der Autopsie. Hierbei zeigten sechs der 29 Fälle keine Anzeichen einer Aspiration, in einem Fall eine Grad-I-, in zwei Fällen eine Grad-II- und in 18 Fällen konnte eine Grad-III-Aspiration detektiert werden. Beim Vergleich des Aspirationsgrades von PMCT und Autopsie fand sich eine Grad-I-

## Ergebnisse

---

Abweichung in fünf (12,2%) Fällen; für weitere sieben (17,2%) Fälle ergab sich eine Abweichung von mehr als einem Grad. Fünf (12,2%) dieser sieben Fälle zeigten eine Abweichung von drei Graden, zwei (4,9%) eine Abweichung von zwei Graden. Zwei dieser fünf Fälle wurden in der Autopsie mit dem Grad-0 dokumentiert. In der PMCT wurden diese Fälle jedoch als Grad-III-Aspiration bewertet. Dem gegenüber wurden drei dieser fünf Fälle in der Autopsie mit Grad-III beziffert und in der PMCT mit Grad-0. Insgesamt wurden in den untersuchten PMCTs bei 15 Fällen keine Anzeichen einer Aspiration gefunden, während in der Autopsie nur zehn Fälle ohne Anzeichen einer Aspiration beschrieben wurden.

## Diskussion

Beide Studien der vorgelegten Publikationen befassen sich mit der übergeordneten Fragestellung, inwieweit die PMCT einen ergänzenden Informationsgewinn zur Autopsie, dem Goldstandard der Untersuchung von Todesfällen, leisten kann. Es wurde hierbei evaluiert, welchen Zugewinn die PMCT in Bezug auf Schussrichtung, Ein- und Austrittswunde, Aspiration, Projektilart und Kalibergröße im Vergleich zur Autopsie bei tödlichen Schussverletzungen bietet. Beiden Arbeiten lag derselbe Datenpool zugrunde, der jedoch jeweils unterschiedlich selektiert wurde. So wurden generell Fälle mit unvollständiger Dokumentation und fehlenden Daten exkludiert. Ebenfalls wurden für die zweite Studie thorakale Schussverletzungen ausgenommen, um eine retrograde Aspiration auszuschließen.

In der gängigen Literatur [21, 16] beschäftigten sich bisher einige Arbeitsgruppen mit dem Vergleich von PMCT-Datensätzen und Autopsie in Bezug auf Schussverletzungen vor allem im Kopfbereich. Allerdings existiert keine Arbeit, die das hier vorgelegte oder ein ähnliches Studiendesign aufweist. Erstmalig wurde eine interdisziplinäre Betrachtergruppe, bestehend aus einem Rechtsmediziner und einem Radiologen, gebildet. Bei allen untersuchten Kriterien konnte eine nahezu perfekte Kohärenz der Betrachtergruppen aufgezeigt werden, wobei beide Gruppen dieselben Informationen und identische Fälle auswerteten mit der Möglichkeit der direkten Vergleichbarkeit. Bezüglich der Lokalisierung der Einschüsse zeigte sich die Autopsie im Vergleich zur PMCT überlegen. Bei der Bestimmung von Kaliberfragmenten, Projektilwolken und Schädigung des umliegenden Gewebes, konnte jedoch die PMCT einen Vorteil verbuchen. Diese Ergebnisse sind bereits in der Literatur in ähnlicher Weise beschrieben [14, 22, 23].

Die PMCT ist ein non-invasives Untersuchungsverfahren, welches einen Datensatz erzeugt der langfristig und jederzeit, auch retrospektiv, abrufbar gespeichert werden kann. Dies ermöglicht den Zugriff verschiedener Expertengruppen auf den ursprünglichen Datensatz mit der Möglichkeit diesen multimodal zu rekonstruieren. Dadurch können zum Beispiel zu beliebigen Zeitpunkten der Ermittlungen bestimmte Gesichtspunkte neu



evaluiert werden. Durch die digitale Weiterverarbeitung und vorherige Auswertung der PMCT-Daten, wie Schussrichtungen und Kaliber, lassen sich eventuell weitere Schlüsse, z.B. digitale Rekonstruktionen der Situation, ziehen [24, 16]. Eine Autopsie ist dagegen zeitlich gebunden und die Ergebnisse nicht mehr reproduzierbar. Nachteilig sind bei der PMCT die relativ hohen Anschaffungskosten eines CT-Scanners [17]. Ebenfalls entstehen nicht unerhebliche Kosten durch das zusätzliche Personal, das hierfür geschult werden muss. *Makhlouf et al.* zeigten zudem, dass eine gewisse Expertise auf dem Gebiet der forensischen Medizin bei der Auswertung von PMCT-Daten bestehen muss [16].

### **Vergleichende Studie PMCT**

Bei Mehrfachschussverletzungen ist eine CT-morphologische Differenzierung der Einzelschussverletzung ausgesprochen problematisch. In einem solchen Fall wurden statt der vorhandenen sieben Schüsse nur drei bzw. vier von beiden Betrachtergruppen erkannt. Dies schildern auch *Makhlouf et al.* [16]. So sind lediglich die Ergebnisse bei Einzelschüssen eindeutig. Dies stellt eine weitere Einschränkung der Auswertbarkeit der PMCT dar, die bei einer Untersuchung berücksichtigt werden sollte. Zudem kann durch angrenzende Organe oder Kleidungsstücke ein extrinsischer Druck entstehen, der die Ermittlung von Austritts- und Eintrittswunde in der PMCT erschwert [3]. Weiterführend ist ohne Kontrastmittel die Unterscheidung zwischen Organ- und Gefäßstrukturen schwierig. So kann es besonders bei Durchschüssen zu einer falsch positiven Bewertung von Gefäßverletzungen und Fehlinterpretation kommen. Hierbei könnte in weiterführenden Studien z.B. eine CT-Angiografie hilfreich sein. Dies ist Gegenstand aktueller Forschung mehrerer Arbeitsgruppen.

Insgesamt ergab sich, dass die interdisziplinäre Betrachtergruppe keine signifikant besseren Ergebnisse aufwies. Bezüglich der Kaliberbestimmung konnte jedoch ein Vorteil des interdisziplinären Teams verbucht werden. Dies könnte einen vielversprechenden Ansatzpunkt zu weiterer Forschung und Schulung von Radiologen und Rechtsmedizinern darstellen. 2011 wurde in diesem Zuge die „International Society of Forensic Radiology and Imaging“ gegründet, die sich mit dem Bestreben nach

allgemeinen Richtlinien und der Förderung von Spezialisten auf diesem Gebiet beschäftigt [25]. Dies unterstreicht das Bedürfnis nach einem weltweiten Standard zur Durchführung und Interpretation von PMCTs [16].

### **Veröffentlichung Aspiration**

Hier wurden anhand einer semiquantitativen Einteilung das Vorhandensein und Ausmaß von Aspirationen ermittelt. Eine Aspiration in Zusammenhang mit tödlichen Schussverletzungen kann wichtige forensische Bedeutung haben, da sie Rückschlüsse auf die Todesursache geben kann. Beispielsweise ist bei einer Verletzung bestimmter Hirnregionen im Stammhirn, der Medulla oblongata oder der Pons mit einem unmittelbaren und schlagartigen Eintritt des Todes bei geringer Auftrittswahrscheinlichkeit von Aspirationen zu rechnen. Bei Verletzungen anderer Hirnregionen kann der Tod durch Ersticken an einer Blutaspiration unter Umständen vordergründig sein. Die PMCT ermöglicht eine Abbildung des gesamten Lungenparenchyms. Bei einer Autopsie können hingegen nur definierte Teile der Lunge schnittabhängig bei manueller Schnittführung betrachtet werden. Im Kontext mit der gängigen Literatur wurde die Aspiration in der PMCT bereits von *Filograna et al.* untersucht [20, 26]. Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe sind denen der vorliegenden Arbeit in Bezug auf die Erkennung von Aspirationen recht ähnlich. Bei *Filograna et al.* wurden jedoch anhand der Autopsie die Fälle präselektiert. Im vorliegenden Artikel wurden 41 PMCTs auf die Anzeichen von Aspiration untersucht und diese anschließend mit den Ergebnissen der Autopsie verglichen. Die semiquantitative Skalierung ermöglichte eine graduelle Einteilung der Ergebnisse, die in der vorliegenden Arbeit unmittelbar an den Autopsieberichten ausgerichtet wurde. Hierbei ist wie bei allen graduellen Einteilungen der limitierende Faktor die individuelle radiologische und forensische Erfahrung der Betrachter, die je nach Ausbildungsstand und Weiterbildung sehr unterschiedlich sein kann. *Filograna et al.* verwendeten hierfür eine Ja/Nein-Skalierung, die aber ebenfalls auf einer erfahrungsbasierten Betrachtung basiert [20, 26]. Weiterführend wäre eine objektivere Skalierung erstrebenswert. Hierbei könnte ein interessanter Ansatzpunkt eine normierte Dichtegraduierung mittels HU darstellen [27].

In 70,7% der untersuchten Fälle war eine komplette Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Autopsie und der PMCT zu finden. Abweichungen um ein bis drei Grade sind unter anderem durch andere Pathologien, die den Milchglastrübungen ähneln, zu erklären. Zudem können beginnende Zersetzungsprozesse, posttraumatische Schäden und Ödeme zu einer Fehlinterpretation führen.

Zusammenfassend ist die PMCT ein valides Mittel zur Untersuchung und Dokumentation von Schussverletzungen und Projektilen welche in Ergänzung zur konventionellen Autopsie einen Informationsgewinn liefern kann. Eine weitere Ausbildung der Untersucher im Sinne einer Spezialisierung ist mit Sicherheit sinnvoll und könnte zu einer weiteren Qualitätssteigerung der postmortalen CT-Befundung beitragen. Ebenfalls würde die Evaluation im Team von Radiologen und Rechtsmedizinern zu einer Reduktion von Betrachtungsfehlern ein wichtiges Konzept, das der steigenden Vernetzung und Interdisziplinarität der heutigen Zeit entspricht, liefern.

Beide Artikel ergänzen sich gegenseitig und diskutieren Themen, die in der heutigen modernen und digitalen Rechtsmedizin Gegenstand der täglichen Arbeit sind. Diese Aspekte können dazu beitragen, die Todesursache sowie die Umstände eines unnatürlichen Todes sicherer zu evaluieren und eventuell zu einer lückenlosen Beweisführung beitragen. Die Einsatzmöglichkeiten der PMCT sind aus der Perspektive der Autoren noch erweiterbar und deren vollumfängliche Anwendung noch längst nicht erschöpft.

## Zusammenfassung

In der vorgelegten Dissertationsarbeit wurden zwei Studien zusammengefasst und vorgestellt. Beide Arbeiten zielen mit unterschiedlichen Schwerpunkten darauf ab, die PMCT- Befundung reliabel und fundiert in Korrelation und Ergänzung zur Autopsie zu evaluieren.

Nach Anwendung der Ein- bzw. Ausschlusskriterien der jeweiligen Studie wurden 51 bzw. 41 PMCTs eingeschlossen.

Für den Artikel „Vergleichende Studie PMCT“ wurden PMCTs auf für Schussverletzungen typische Kriterien wie Schusszahl, Schusslokalisation, Kalibergröße und Einschuss-Ausschuss-Differenzierung ausgewertet. Jeder Fall wurde durch beide Untersucherguppen unabhängig analysiert. Diese Ergebnisse wurden mit den Ergebnissen der Autopsie verglichen. Die erste Untersucherguppe bestand aus zwei Radiologen, die zweite aus einem Radiologen und einem Rechtsmediziner. Die Ergebnisse zeigen, dass zwischen den Ergebnissen der einzelnen Untersucherguppen und der Autopsie als Goldstandard eine gute Korrelation besteht. Es wurden 66 Einschüsse mittels Autopsie detektiert, während beide Untersucherguppen in der PMCT nur 56 Schüsse erkannten (84,4%,  $p < 0,001$ ). Bei der Lokalisation der Einschüsse ergab sich ein Cohen's Kappa von 0,98 (Gruppe I versus Autopsie 0,71; Gruppe II versus Autopsie 0,73). Bei der Auswertung der Ein- und Austrittswunden ergab sich eine Fehlerrate von 21% für Gruppe I und 19% für Gruppe II. Beide Untersucherguppen detektierten in 10 Fällen Fragmente und Fragmentwolken von Projektilen sowie Fragmente kleiner als 7mm, die in der Autopsie unentdeckt blieben. Bei der Erkennung und Zuordnung des Projektilkalibers konnte die interdisziplinäre Betrachtergruppe (Gruppe II) mit nur 15,9% Abweichung zur Autopsie im Vergleich zu 23,4% von Gruppe I bessere Ergebnisse erzielen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die PMCT wichtige Zusatzinformationen zur Autopsie bei Schußdelikten generieren kann. Gewisse Grundkenntnisse in beiden Fachgebieten scheinen bei der Auswertung von PMCTs von Vorteil zu sein.

Der Artikel „Veröffentlichung Aspiration“ befasste sich mit dem quantitativen Vergleich der spezifischen Diagnose Aspiration bei tödlichen Schussdelikten. Hier wurden die PMCT-Daten hinsichtlich des Vorhandenseins bzw. des Ausmaßes einer Aspiration hin untersucht. Als Zeichen einer Aspiration wurden okkludierte (verlegte) Anteile in den Luftwegen sowie die Quantität und Qualität von Milchglasverschattungen im Lungenparenchym gewertet [20]. Die Auswertung der PMCTs ergab in 29 (70,7%) von 41 Fällen denselben Aspirationsgrad wie in der Autopsie. Eine Grad-I-Abweichung fand sich in fünf (12,2%) Fällen; für weitere sieben (17,2%) Fälle ergab sich eine Abweichung von mehr als einem Grad zwischen dem Aspirationsgrad in der Obduktion und in der PMCT. Insgesamt wurden in den PMCTs-Daten bei 15 Fällen keine Anzeichen einer Aspiration gefunden, während in der Autopsie nur zehn Fälle ohne Aspiration beschrieben wurden. Die vorliegende Studie lässt annehmen, dass die PMCT vielversprechende Ergänzungen bei Aspirationsdiagnostik bei Kopfschüssen zum Goldstandard Autopsie liefern kann. Weiterführende Studien könnten sich mit einer objektivierbaren Einteilung der Aspirationsgrade beschäftigen.

## Abstract

Both papers focused on the possibility to contribute to the further development of post mortal computed tomography as a growing examination tool in the post mortal medicine [9].

After applying inclusion and exclusion criteria for both studies, 51 and 41 cases were enrolled respectively.

Imaging data of gunshot related death provided by postmortem computed tomography (PMCT) were assessed by two reader groups. The same cases' autopsy results were taken as gold standard. The results of both assessments were compared to each other to determine forensic pathology criteria. Two board certified radiologists formed reader group I. The second reader group consisted of one board certified radiologist and one certified forensic pathologist. 51 PMCTs of deaths related to gunshot injury were assessed by evaluation of forensic pathology criteria such as number of gunshots, localization of entry and exit wounds, gunshot direction and others. In general, good correlation between all reader groups and autopsy was found. The rate of the overall discrepancy for group I was 12 out of 51 (23.4%) and for reader group II 8 out of 51 (15.6%). In 66 by autopsy detected gunshots group I and II counted only 56 shots (84.8%,  $p < 0.001$ ). Cohen's Kappa of gunshot localization was 0.98 for both groups (group I vs autopsy 0.71; group II vs autopsy 0.73). Regarding the gunshot direction an error rate of 21% was calculated for group I and 19% for group II. With 15.9% discrepancy to autopsy the interdisciplinary group performed slightly better (group II 23.4%). Unlike autopsy, both reader groups were able to detect small projectile parts (<7mm) and fragment clouds in 10 cases. Available data showed that there is an advantage by combining expertise in forensic pathology and imaging for the assessment of gunshot related deaths. It seems to be crucial for both specialties (forensic pathology and radiology) to have a certain amount of insight into each other's working field.

For the second work 41 PMCTs were evaluated and compared to autopsy to determine the detection rate of blood aspiration. By using a semi-

## Abstract

---

quantitative scale from zero to three (0:no aspiration; III: significant aspiration) the presence and level of blood aspiration in lungs and major airways were assessed. The level of aspiration and localization detected by PMCT and autopsy were equal in 29 of 41 cases (70.7%). For the other 12 cases (12.2%) one level difference was evaluated for five cases. The remaining seven cases (17.2%) showed a difference of more than one level. In 10 out of 41 cases autopsy described no signs of aspiration whereas 31 cases revealed signs of aspiration with varying intensity. In PMCT 15 cases were assessed with no signs of blood aspiration whereas 26 cases showed signs of aspiration. The evidence given in this study suggests that PMCT could contribute to detect blood aspiration in deadly gunshot wounds to the head. However, further investigations should be driven forward with regard to an objective scale.

## Veröffentlichung I

[Postmortem computed tomography \(PMCT\) and autopsy in deadly gunshot wounds--a comparative study.](#)

Kirchhoff SM, Scaparra EF, Grimm J, Scherr M, Graw M, Reiser MF, Peschel O.

Int J Legal Med. 2016 May;130(3):819-26.

doi: 10.1007/s00414-015-1225-z. Epub 2015 Jul 9.

PMID: 26156451



## Veröffentlichung II

[Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing postmortem computed tomography \(PMCT\) and autopsy.](#)

Scaparra E, Peschel O, Kirchhoff C, Reiser M, Kirchhoff SM.

Eur J Med Res. 2016 Nov 1;21(1):43.

doi: 10.1186/s40001-016-0237-6.

PMID: 27802829

## Literaturverzeichnis

1. Bonn S B Z, (2016), Sterbefälle, (nur tätliche Angriffe, selbstverletzendes Verhalten) Gesundheitsberichterstattung des Bundes nach ICD-10
2. Scaparra E, Peschel O, Kirchhoff C, Reiser M, Kirchhoff S M, (2016), Detection of blood aspiration in deadly head gunshots comparing postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy, *Eur J Med Res*, 1, 21, 43
3. Kirchhoff S M, Scaparra E F, Grimm J, Scherr M, Graw M, Reiser M F, Peschel O, (2016), Postmortem computed tomography (PMCT) and autopsy in deadly gunshot wounds-a comparative study, *Int J Legal Med*, 3, 130, 819-826
4. Wyatt J P, (2011), *Oxford handbook of forensic medicine*, Oxford handbooks, Oxford University Press: Oxford ; New York p. xxxii, 571 p., 512 p. of plates.
5. (Recommendation no. R (99) 3 of the Committee of Ministers to member states on the harmonization of medico-legal autopsy rules, *Forensic Sci Int*, 1-3, 111, 5-58
6. Rubin G D, (2014), Computed tomography: revolutionizing the practice of medicine for 40 years, *Radiology*, 2 Suppl, 273, S45-74
7. Poulsen K, Simonsen J, (2007), Computed tomography as routine in connection with medico-legal autopsies, *Forensic Sci Int*, 2-3, 171, 190-197
8. Hounsfield G N, (1973), Computerized transverse axial scanning (tomography). 1. Description of system, *Br J Radiol*, 552, 46, 1016-1022
9. Bedford P J, Oesterhelweg L, (2013), Different conditions and strategies to utilize forensic radiology in the cities of Melbourne, Australia and Berlin, Germany, *Forensic Sci Med Pathol*, 3, 9, 321-326
10. Andenmatten M A, Thali M J, Kneubuehl B P, Oesterhelweg L, Ross S, Spendlove D, Bolliger S A, (2008), Gunshot injuries detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): a feasibility study, *Leg Med (Tokyo)*, 6, 10, 287-292
11. Harcke H T, Levy A D, Getz J M, Robinson S R, (2008), MDCT analysis of projectile injury in forensic investigation, *AJR Am J Roentgenol*, 2, 190, 106-111
12. Thali M, (2011), Virtual autopsy (virtopsy) in forensic science: from the scalpel to the scanner, *Pathologe*, 32 Suppl 2, 292-295
13. Thali M J, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross S G, Dirnhofer R, (2007), VIRTOPSY - the Swiss virtual autopsy approach, *Leg Med (Tokyo)*, 2, 9, 100-104

## Literaturverzeichnis

---

14. Thali M J, Yen K, Vock P, Ozdoba C, Kneubuehl B P, Sonnenschein M, Dirnhofer R, (2003), Image-guided virtual autopsy findings of gunshot victims performed with multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging and subsequent correlation between radiology and autopsy findings, *Forensic Sci Int*, 1-3, 138, 8-16
15. Kirchhoff S, Fischer F, Grimm J, (2010), Is post-mortem CT of the dentition adequate for correct forensic identification? Comparison of dental computed tomography and visual dental record, *Int J Legal Med*, 3, 124, 257-258; author reply 259
16. Makhlof F, Scolan V, Ferretti G, Stahl C, Paysant F, (2013), Gunshot fatalities: correlation between post-mortem multi-slice computed tomography and autopsy findings: a 30-months retrospective study, *Leg Med (Tokyo)*, 3, 15, 145-148
17. Thomsen A H, Jurik A G, Uhrenholt L, Vesterby A, (2009), An alternative approach to computerized tomography (CT) in forensic pathology, *Forensic Sci Int*, 1-3, 183, 87-90
18. Brough A L, Morgan B, Ruttly G N, (2015), Postmortem computed tomography (PMCT) and disaster victim identification, *Radiol Med*, 9, 120, 866-873
19. Yen K, Plattner T, Dirnhofer R, (2005), Retrograde blood aspiration: a vital reaction, *Forensic Sci Int*, 1, 154, 13-18
20. Filograna L, Bolliger S A, Ross S G, Ruder T, Thali M J, (2011), Pros and cons of post-mortem CT imaging on aspiration diagnosis, *Leg Med (Tokyo)*, 1, 13, 16-21
21. Jacobsen C, Lynnerup N, (2010), Craniocerebral trauma-congruence between post-mortem computed tomography diagnoses and autopsy results: a 2-year retrospective study, *Forensic Sci Int*, 194, 1-3, 9-14
22. Oehmichen M, Meissner C, Konig H G, Gehl H B, (2004), Gunshot injuries to the head and brain caused by low-velocity handguns and rifles. A review, *Forensic Sci Int*, 2-3, 146, 111-120
23. Filograna L, Tartaglione T, Filograna E, Cittadini F, Oliva A, Pascali V L, (2010), Computed tomography (CT) virtual autopsy and classical autopsy discrepancies: radiologist's error or a demonstration of post-mortem multi-detector computed tomography (MDCT) limitation?, *Forensic Sci Int*, 1-3, 195, 13-17
24. Maiese A, Gitto L, De Matteis A, Panebianco V, Bolino G, (2014), Post mortem computed tomography: useful or unnecessary in gunshot wounds deaths? Two case reports, *Leg Med (Tokyo)*, 6, 16, 357-363
25. Ruttly G N, Gorincour G, Thali M, (2013), Post-mortem cross-sectional imaging: are we running before we can walk?, *Forensic Sci Med Pathol*, 3, 9, 466

## Literaturverzeichnis

---

26. Filograna L, Ross S, Bolliger S, Germerott T, Preiss U, Flach P M, Thali M, (2011), Blood aspiration as a vital sign detected by postmortem computed tomography imaging, J Forensic Sci, 3, 56, 630-637
27. Zech W D, Jackowski C, Buetikofer Y, Kara L, (2014), Characterization and differentiation of body fluids, putrefaction fluid, and blood using Hounsfield unit in postmortem CT, Int J Legal Med, 5, 128, 795-802

### **Danksagung**

An erster Stelle möchte ich Frau Professor Sonja Kirchhoff und Herrn Professor Oliver Peschel für die hervorragende Betreuung und die Überlassung des Themas danken.

Trotz ihrer vielfältigen Aufgaben in Forschung, Patientenversorgung und klinischer Tätigkeit sowie Lehre nahmen sich beide persönlich viel Zeit bei auftretenden Fragen und Problemen. Die Zusammenarbeit war stets konstruktiv und machte viel Spaß.

Bedanken möchte ich mich auch recht herzlich bei den Ko-Autoren Dr. Jochen Grimm, Dr. Michael Scherr, Prof. Dr. Matthias Graw, Prof. Dr. Maximilian Reiser und Prof. Dr. Chlodwig Kirchhoff für die bereichernde und angenehme Zusammenarbeit.

Von Herzen bedanke ich mich bei meiner Frau für ihre liebevolle Begleitung und die vielen aufbauenden Gespräche.

Meiner Familie danke ich für den Rückhalt, die Möglichkeit zu studieren und Arzt zu werden.

